

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades

A finales del siglo XIX, la demanda de aceites comestibles estaba aumentando en Europa y Estados Unidos. Al mismo tiempo, en países tropicales como India, Filipinas, Malasia, entre otros, el Aceite de Coco tenía diversos usos en la medicina popular y como aceite de cocina. Una vez que los europeos se dieron cuenta de la utilización del Aceite de Coco y sus aplicaciones, comenzaron a establecer plantaciones de coco en el Caribe, el sudeste asiático, y el Pacífico Sur desde la década de 1890 a la década de 1920. Después de esto, el Aceite de Coco se convirtió en un aceite comestible muy popular en Países europeos y en EE. UU. (Cassiday, 2015). El primer boom del Aceite de Coco duró hasta el inicio de la Segunda Guerra Mundial (alrededor del año 1940), cuando se cortó el suministro del producto a los Países occidentales y se produjo una escasez del mismo. Como resultado, su precio se disparó, mientras la industria de la soja comenzaba a expandirse y desarrollarse, lo cual fue posible gracias a la tecnología moderna empleada en el procesamiento de estos aceites (Oils and Fats International, 2018).

Una vez terminada la guerra, a pesar de que los países con alta producción de coco intentaron reintroducir su producto en países del este, el Aceite de Coco fue rechazado esta vez debido a su alto contenido en grasas saturadas (AOCS, 2016). Este rechazo se asoció con los hallazgos de estudios epidemiológicos realizados por el fisiólogo estadounidense Ancel Keys, quien, basado en tales datos, formuló una hipótesis acerca de la asociación entre el consumo de grasas saturadas, con un nivel alto de colesterol en sangre y un incremento en el desarrollo de Enfermedades Cardiovasculares (CVDs, por sus siglas en inglés) (Cassiday, 2015). Keys formuló su hipótesis científica basada en la observación de que empresarios estadounidenses bien alimentados presentaban altas tasas de CVDs, mientras que las personas de los países europeos posguerra que enfrentan escasez de alimentos mostraron una disminución de las tasas de CVDs. Su hipótesis condujo al desarrollo de lo que se convertiría en uno de sus trabajos más importantes: Estudio de los Siete Países. Este estudio describió el estilo de vida de la población que vive en el sur de Italia, donde

la incidencia de las CVDs era muy baja. Este hecho fue atribuido por Keys a la disminución de la ingesta de grasa animal, lo que presenta un alto nivel de grasas saturadas y colesterol, ambos factores se asociaron con la incidencia de enfermedades coronarias del corazón (Keys et al., 1984).

La Asociación Estadounidense del Corazón (AHA, por sus siglas en inglés) comenzó en 1956, en paralelo con la investigación de Key, informando a la población que un gran consumo de alimentos con alto contenido de grasas saturadas, como: la mantequilla, manteca de cerdo, huevos y carne de res podría incrementar el riesgo de CVDs. Además, el gobierno americano lanzó una recomendación declarando que adoptar una dieta baja en grasas era necesario para prevenir estas enfermedades.

En las décadas siguientes, un mayor número de investigaciones correlacionó el Aceite de Coco con el aumento del colesterol sérico total. Sin embargo, en la mayoría de estos estudios, los sujetos fueron alimentados exclusivamente con dicho aceite como fuente de grasa, mientras que un grupo de control sería alimentado con un aceite vegetal como soja o maíz. Estos estudios fueron criticados porque el Aceite de Coco carece de ácidos grasos omega-3 en su composición, y podría ser otra posible explicación de los resultados informados (Heek y Zilvermit, 1991; Cox et al., 1995). Por otra parte, estudios que utilizaron Aceite de Coco hidrogenado contenía ácidos grasos trans como otro posible factor que podría explicar los resultados negativos asociados con el consumo de Aceite de Coco (Frantz y Carey, 1961; Huang et al., 1984).

Otros estudios acerca del metabolismo del Aceite de Coco indicaron que este al igual que otras grasas saturadas aumenta tanto las lipoproteínas de alta densidad (HDL, por sus siglas en inglés) y colesterol LDL (lipoproteína de baja densidad), también conocido como 'colesterol bueno y malo', respectivamente. Sin embargo, las partículas de LDL elevadas por el consumo de estas grasas son grandes y flotantes, las cuales están menos relacionadas con las enfermedades coronarias en comparación con partículas LDL pequeñas y densas (Katan et al., 1994).

En la última década, el Aceite de Coco comenzó a publicitarse masivamente como una alternativa de aceite de cocina más saludable, cambiando la percepción de los consumidores. Sin embargo, esta noción fue motivada por una mezcla de información no científica disponible en Internet.

Además, los países con mayor producción de coco también tienen una participación en la promoción positiva del Aceite de Coco por razones económicas. Por lo tanto, es necesario analizar cuidadosamente el perfil químico de este aceite y evidencia científica sobre sus efectos en la salud. (Silva & Block, 2019)

1.2. Descripción de la materia prima

1.2.1. Características del Cocotero

Clasificación y Descripción Botánica.

Taxonomía.

El cocotero (*Cocos Nucífera L.*) es una especie de la familia Arecaceae, es monotípica y alcanza los 20 m de altura; la teoría más aceptada es la que indica que, el origen puede ubicarse en el Sudeste asiático; en una zona que abarca desde la península malaya por el oeste, hasta Nueva Guinea y la Melanesia en el este.

De acuerdo con la clasificación realizada por el herbario académico de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la UAJMS. (ver Anexo 2); la taxonomía de la especie es la siguiente:

- Reino: Vegetal
- Phylum: Telemophytae
- División: Tracheophytae
- Sub división: Anthophyta
- Clase: Angiospermae
- Sub clase: Monocotyledoneae
- Orden: Arecales

- Familia: Arecaceae
- Nombre científico: *Cocos nucifera* L.
- Nombre común: Coco

Fuente: (Ing.MSc. Ismael Acosta Galarza - Herbario Universitario, 2021)

El cocotero requiere clima cálido, sin grandes variaciones de temperatura. Una temperatura media diaria en torno a los 27 °C con variaciones de 5 a 7 °C.

El régimen de precipitación pluvial ideal se caracteriza por una lluvia anual promedio de 1500 mm, con precipitación mensual mayor a 130 mm.

Los suelos aptos para el cultivo del cocotero son aquellos con texturas livianas (de francos a arenosos), aluviales, profundos (más de 1 metro), con una capa freática superficial de 1 a 2 metros de profundidad. El rango óptimo de elevación en que se desarrolla el cocotero está entre los 0 a 900 msnm. (Lizano, 2008)

Raíz.

El sistema radicular del cocotero es fasciculado. Las raíces primarias son las encargadas de la fijación de la planta y de la absorción de agua. Las terciarias (que se derivan de las secundarias) son las verdaderas extractoras de nutrientes. Las raíces activas se localizan en un radio de hasta 4 metros del tronco, a una profundidad de 2 metros, dependiendo de la profundidad efectiva del suelo y de la profundidad del nivel freático. (Lizano, 2008)

Tallo.

El tronco del cocotero es un espite no ramificado. En su extremo superior o ápice presenta un grupo de hojas que protegen el único punto de crecimiento o yema terminal que posee la planta. La inflorescencia es la única ramificación del tallo. En ocasiones se presentan anomalías como las ramificaciones múltiples. Debido a que el tronco no posee tejido meristemático, no engruesa; sin embargo, las variaciones en la disponibilidad de agua inducen cambios en el diámetro del tronco. El

crecimiento en altura, depende de las condiciones ecológicas y de la edad de la planta, también varía entre los diferentes tipos de cocoteros. (Lizano, 2008)

Hojas.

La hoja del cocotero es de tipo pinnada y está formada por un pecíolo que casi circunda el tronco, continúa un ráquis del cual se desprenden de 200 a 300 folíolos.

El largo de la hoja puede alcanzar los 6 metros y es menor al aumentar la edad de la planta. La copa presenta de 25 a 30 hojas. (Lizano, 2008)

Inflorescencia.

Posee inflorescencias paniculadas, axilares, protegidas por una bráctea llamada espada.

La espada se desarrolla en 3 ó 4 meses, después se abre y libera las espigas. Cada espiga posee flores masculinas en los dos tercios terminales y femeninas en el tercio basal. Las flores masculinas se abren antes que las femeninas estén receptivas, induciendo así la polinización cruzada. (Lizano, 2008)

Fruto.

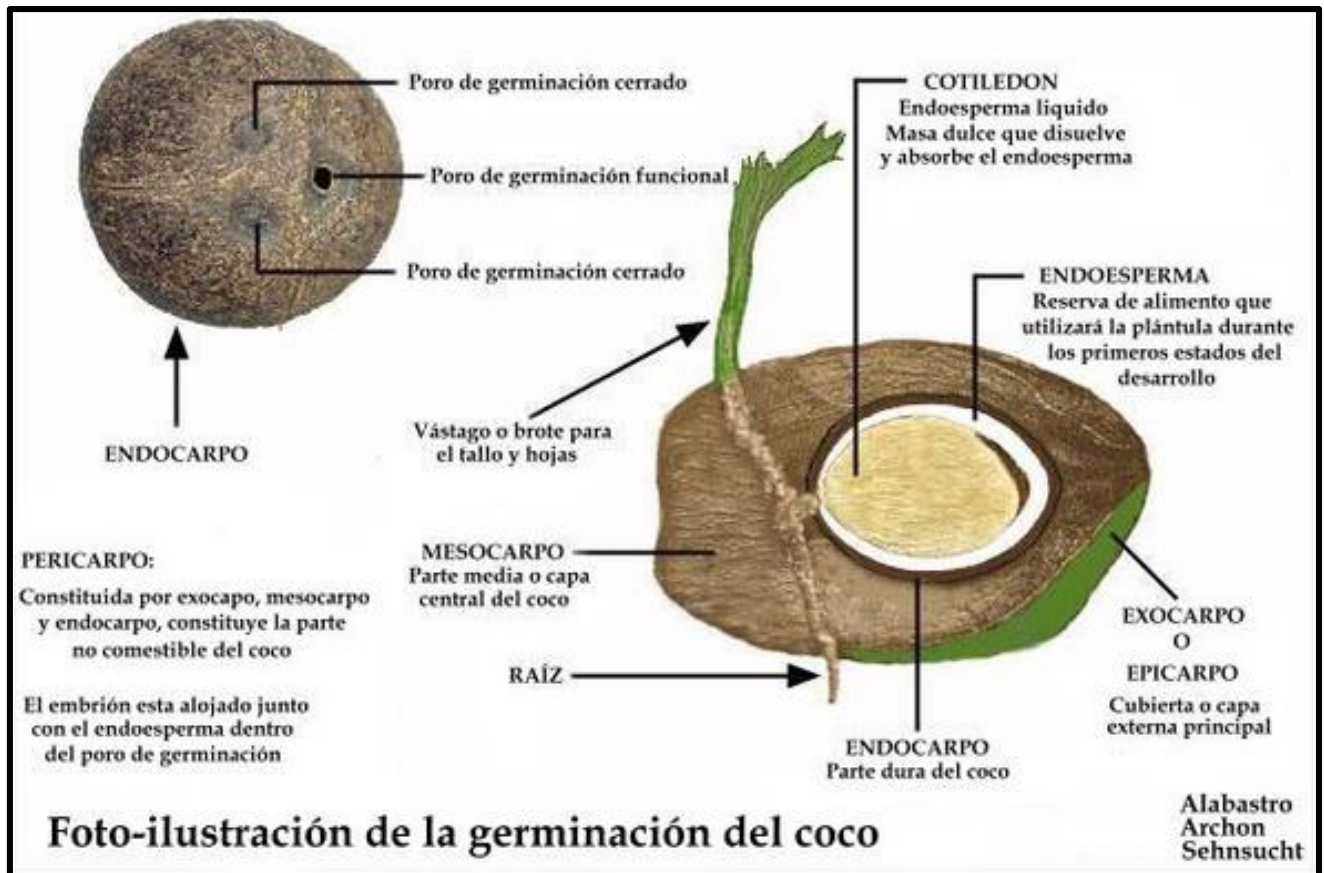
El fruto es una drupa, formado por una epidermis lisa, un mesocarpio espeso (también conocido como estopa) del cual se extrae fibra.

Semilla.

La semilla está cubierta por el endocarpio que es una capa fina y dura de color marrón llamada hueso o concha, envuelto por él se encuentra el albumen sólido o endosperma que forma una cavidad grande donde se aloja el albumen líquido, también conocido como agua de coco.

El embrión se encuentra próximo a dos orificios del endocarpo, envuelto por el albumen sólido. (Lizano, 2008)

Figura 1- 1 Partes del Coco



Fuente: (UMSA; HERRERA, GONZALES, 2018)

Pulpa.

Es el albumen sólido o endosperma más comúnmente conocida como pulpa de coco, antes mencionada como parte de la semilla de coco, es donde se encuentra el aceite de coco.

En la siguiente tabla se puede observar la composición proximal de la pulpa de coco en base húmeda reportada por varios autores en diferentes regiones del mundo.

La variabilidad presente en los diferentes resultados para cada uno de los parámetros mencionados en la tabla se debe, probablemente, a las condiciones edafo-climáticas que presentan cada una de las regiones donde es cultivado el coco, a la especie y la

variedad genética del coco; así como su grado de madurez; lo que ocasiona que el perfil de cada fruto sea muy diferente.

Tabla I- 1 Composición proximal de la pulpa de Coco

Humedad (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Carbohidratos (%)	Fibra cruda (%)	Ceniza (%)	Referencias
42,2	37,0	7,5	12,3	14,3	10	(Zaragoza, 2018)
46,6	36	3,2	3,7	10,5	-	(Moreiras, Carbajal, Cabrera, Cuadrado, 2013)
46,9	33,49	3,33	15,23	9	-	(USDA, 2019)
47,3	35,5	3,6	12,6	9	1,1	(ICBF & UNAL, 2018)
47	33,5	3,9	6,22	9	0,97	(ANSES, 2017)

Fuente: (Restrepo & Zabala, 2020)

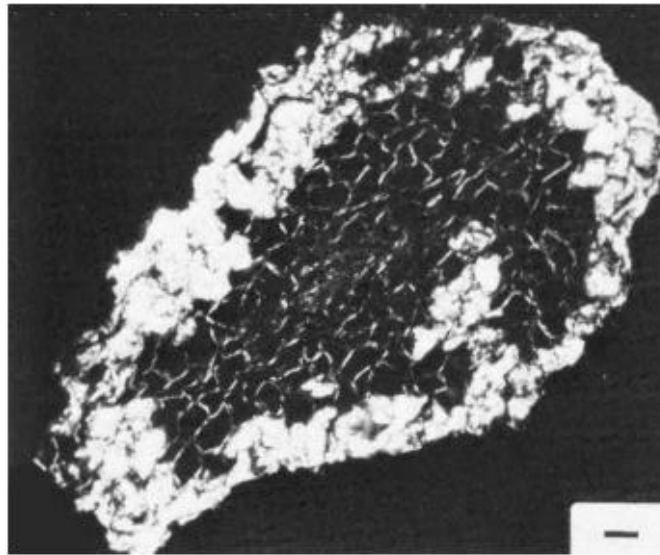
Tabla I- 2 Cuantificación de los componentes del coco en función a su estado de madurez

Composición	Coco tierno 1	Coco tierno 2	Coco maduro
Contenido de agua (g/semilla)	312 ± 11,7 ^a	308 ± 7,2 ^a	117 ± 42,5 ^b
Sólidos totales (g/semilla)	11 ± 0,2 ^a	11 ± 0,1 ^a	5 ± 0,1 ^b
Contenido de pulpa (g/semilla)	80 ± 4,5 ^a	142 ± 14,4 ^b	330 ± 19,5 ^c
Relación Agua/Pulpa	4:1	2:1	1:3

Fuente: (Prakruthi Appaiah, 2015)

Para observar la estructura de coco seco, muestras de pulpa de coco fresca obtenidas a partir de cocos procedentes de Sri Lanka y Filipinas, fueron tomadas de varias regiones del endosperma, trituradas a un tamaño entre 1mm^2 a 1cm^2 y secadas a un contenido de humedad de 2 – 3% para ser analizadas microscópicamente, como se observa a continuación:

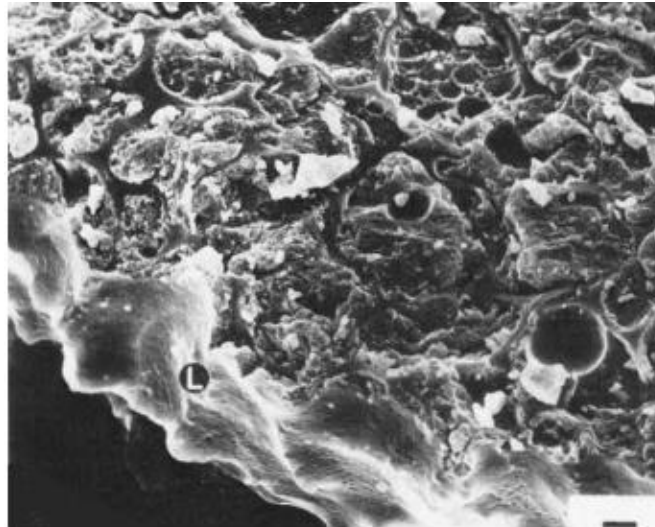
Figura 1- 2 Estructura microscópica de una partícula de pulpa de coco seca



Sección transversal de coco seco visto con polares cruzados. Un “anillo” de grasa cristalino está presente alrededor de la sección y corresponde en origen a la capa externa de celdas dañadas. Bar = 50 μm .

Fuente: (Heathcock & Chapman, 1983)

Figura 1- 3 Micrografía electrónica de barrido de coco seco congelado



Micrografía electrónica de barrido de coco seco. Una muestra de coco seco ha sido fracturada – congelada y examinada a -180°C . Las celdas periféricas externas están incompletas y una capa externa de lípido es aparente (L). Bar = $10\ \mu\text{m}$.

Fuente: (Heathcock & Chapman, 1983)

Se puede observar claramente la presencia de un “anillo” de grasa externo presente alrededor de las partículas individuales de coco seco.

La posición del “anillo” corresponde a la capa externa de celdas dañadas producido durante el proceso de triturado/desintegración de la pulpa de coco.

(Heathcock & Chapman, 1983)

1.3. Ácidos grasos.

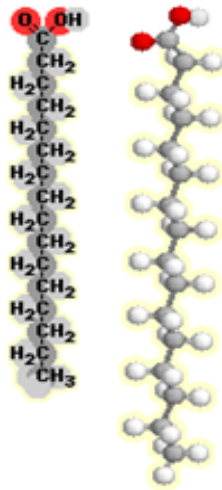
Los ácidos grasos están formados por una larga cadena hidrocarbonada con un grupo ácido (carboxilo) en el extremo. La cadena hidrocarbonada puede tener según el ácido graso entre 12 y 24 átomos de carbono. Los ácidos grasos pueden ser insaturados con dobles enlaces entre algunos de sus carbonos, son líquidos a temperatura ambiente. Los ácidos grasos saturados, no tienen dobles enlaces en su cadena hidrocarbonada y son sólidos a temperatura ambiente. (Pons, 2013)

Los ácidos grasos son moléculas bipolares o anfipáticas (del griego *amphi*, doble). La cabeza de la molécula es polar o iónica y, por tanto, hidrófila (-COOH). La cadena es apolar o hidrófoba (grupos -CH₂- y -CH₃ terminal).

Todas las cadenas de los ácidos grasos forman entre sí enlaces débiles de Van der Waals entre los grupos -CH₂-.

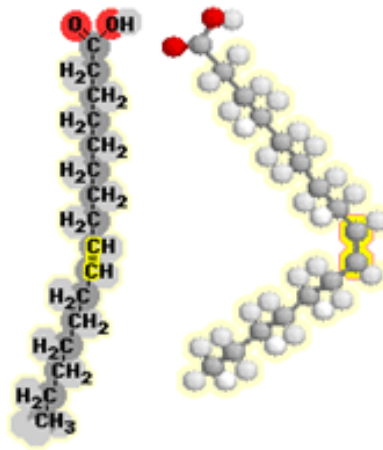
Las propiedades físicas de los ácidos grasos aumentan con la longitud de sus cadenas, ya que cuanto más largas sean más enlaces de Van der Waals se formarán entre ellas. Los ácidos grasos insaturados tienen un punto de fusión más bajo que los saturados con igual número de carbonos, debido a que los codos de la cadena reducen el número de enlaces de Van der Waals.

Figura 1- 4 Ácido graso saturado



Fuente: (Pons, 2013)

Figura 1- 5 Ácido graso insaturado



Fuente: (Pons, 2013)

1.4. Descripción general del Aceite Virgen de Coco

1.4.1. Aceite Virgen de Coco

El Estándar Nacional de Filipinas para Aceite Virgen de Coco (PNS/BAFPS 22:2004/ICS 67.2000.10) oficialmente define el Aceite Virgen de Coco como: “Aceite obtenido a partir de pulpa de coco madura y fresca por medio de medios mecánicos o naturales, con o sin el uso de calor, sin necesidad de un refinado químico, blanqueamiento o desodorizado, y el cual no conduce a la alteración de la naturaleza del aceite. El Aceite Virgen de Coco es apto para el consumo humano sin la necesidad de un mayor procesado.”

- El Aceite Virgen de Coco consiste principalmente de triglicéridos de cadena media, las cuales son resistentes a la peroxidación. Los ácidos grasos saturados en este aceite son distintos de las grasas animales, las cuales consisten principalmente de ácidos grasos saturados de cadena larga.
- El Aceite Virgen de Coco es la forma más pura de aceite de coco, esencialmente incolora o color claro como el agua. Contiene vitamina E natural y no ha pasado por oxidación atmosférica e hidrolítica demostrado por su bajo contenido de ácidos grasos libres (incluso sin refinado) y bajo índice de peróxido. Tiene un

aroma fresco a coco que puede ser suave o intenso dependiendo del proceso de extracción utilizado.

- El Aceite Virgen de Coco difiere ampliamente del aceite de coco derivado de copra producido naturalmente, el cual debe someterse a procesos de refinado químico, blanqueamiento, desodorización, para que sea apto para el consumo humano. El aceite de coco refinado, blanqueado y desodorizado (RBD) extraído a partir de copra es de color amarillo, inodoro, incoloro e insípido y no contiene Vitamina E natural ya que es removida cuando el aceite es sometido a alta temperatura y varios procesos químicos. (FAO, Bawalan, & Chapman, 2006)

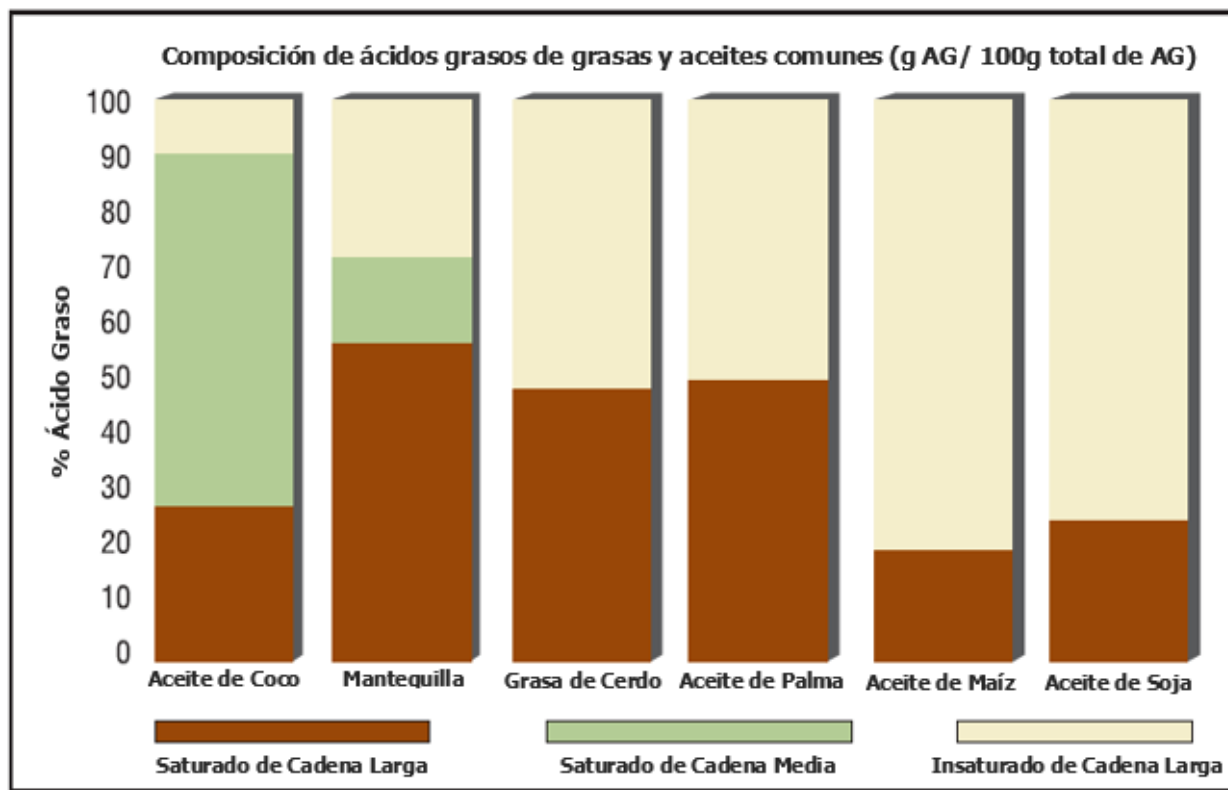
1.4.2. Características del Aceite Virgen de Coco.

El Aceite Virgen de Coco es único entre las grasas y aceites porque contiene el más alto porcentaje de ácidos grasos de cadena media (MCFA) con una longitud de cadena de 8 a 12 átomos de carbono, se comporta y metaboliza de forma diferente en el cuerpo humano a otras grasas o aceites saturados e insaturados. El porcentaje de ácidos grasos de cadena media en el Aceite Virgen de Coco es de aproximadamente 64%, donde el ácido láurico (C12) es el que se encuentra en mayor cantidad de 47% a 53% dependiendo de la variedad del coco.

La propiedad física más significativa del aceite de coco es que a diferencia de la mayoría de las grasas, no exhibe un derretimiento gradual con el incremento de la temperatura, pero pasa de forma abrupta del estado sólido al líquido dentro de un estrecho rango de temperaturas. En éste sentido se asemeja a la mantequilla de cocoa (Spectrum of Coconut Products Philippine Coconut Authority). El aceite de coco es líquido a 27°C o más y se solidifica a 22°C aproximadamente, aunque otros autores indican que se solidifica a ~ 24°C

El perfil de ácido graso comparativo de grasas y aceites comunes se muestra en la siguiente figura:

Figura 1- 6 Gráfico comparativo del perfil de ácidos grasos de aceites y grasas comunes



(FAO, Bawalan, & Chapman, 2006)

1.4.3. Usos y aplicaciones del Aceite Virgen de Coco

En años recientes el Aceite de Coco ha atraído la atención de los medios de comunicación y de la población mundial, especialmente en Europa y Norte América. Celebrities, influencers digitales e incluso doctores han avalado el uso de este aceite como medio de cocción en sustitución a otros aceites vegetales. Blogs, videos de internet y artículos están promocionando el consumo de aceite de coco basado en alegaciones que este producto es capaz de aportar beneficios a la salud.

Estos beneficios incluyen efectos de reducción de colesterol, reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, pérdida de peso, mejoramiento de las funciones cognitivas, actúa como un agente antimicrobiano, y otros (BBC News, 2018; Medical News Today, 2018; New Straits Times, 2018; SBS, 2018; The Indian Weekender, 2018).

Sin embargo, los efectos del Aceite de Coco que promueven la salud están lejos de llegar a un consenso. Esto puede atribuirse a la naturaleza saturada del producto con aproximadamente 90% de ácidos grasos saturados en su composición. La ingesta excesiva de ácidos grasos saturados ha sido correlacionada con el incremento del colesterol LDL (lipoproteínas de baja densidad), con el desarrollo consecuente de enfermedades cardiovasculares (Eyres et al., 2016).

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud (OMS, por sus siglas en inglés) recomiendan que la ingesta diaria de grasa saturada no debe sobrepasar el 10% de las calorías totales (USDA, 2015) (World Health Organization, 2018). Por otra parte, la Autoridad Europea de Seguridad Alimenticia (EFSA, por sus siglas en inglés), no especifica un límite para la ingestión de grasa saturada, pero recomienda que la ingesta de la misma sea lo más baja posible (EFSA, 2017).

La Asociación Americana del Corazón (AHA, por sus siglas en inglés) no recomienda el consumo de Aceite de Coco específicamente por encima del límite establecido por la USDA para ingestión de grasa saturada (Sacks et al., 2017; USDA, 2015). Considerando que el perfil de ácidos grasos del Aceite de Coco está mayormente compuesto por ácidos grasos saturados, el consumo de esta grasa al límite de 10% establecido en una dieta de 2000 kcal significa que el sujeto ingeriría una cantidad aproximada de 24g de grasa saturada diaria.

Como el USDA y la Asociación Americana del Corazón, la EFSA también ha emitido una opinión científica acerca de las afirmaciones específicas sobre los ácidos grasos de cadena media (MCFAs, por sus siglas en inglés) como agentes de reducción de peso. En la composición de ácidos grasos saturados del aceite de coco

los ácidos grasos de cadena media cuentan como el 62% del total. El panel de la EFSA concluyó que no existe suficiente evidencia en estudios de intervención humana que apoyen la afirmación de que los ácidos grasos de cadena media muestran un efecto positivo en el manejo del peso. La declaración concluye que esta alegación específica de débil y no convincente. (EFSA, 2011).

La evidencia científica de los supuestos beneficios del aceite de coco debe ser examinada y más información debe llegar a la población. En esta revisión, la química y el procesamiento, así como también los datos publicados en las declaraciones de las propiedades saludables mayores y menores atribuidas al aceite de coco por los medios de comunicación, el público en general y las compañías manufactureras son presentados y discutidos.

Desde un punto de vista bioquímico, el Aceite Virgen de Coco es preferible al Aceite de Coco refinado blanqueado y desodorizado (RBDCO) debido a que contiene una cantidad de sustancias o propiedades antioxidantes más alta. Sin embargo, una dieta basada en Aceite de Coco como fuente principal de grasa no contendría ácidos grasos que sean esenciales para los humanos (ácidos grasos linoleico y linolénico). La falta de dichos ácidos grasos en la dieta puede causar problemas a la salud innumerables tales como condiciones a la piel, dermatitis, baja cicatrización, crecimiento deteriorado e incremento de la susceptibilidad a contraer infecciones (Simopoulos, 2002).

El Aceite de Coco debido a su alto contenido de ácidos grasos saturados es más resistente a la oxidación y polimerización que aceites insaturados tales como aceite de girasol y aceite de oliva. Sin embargo, a pesar de su naturaleza saturada, el uso de Aceite de Coco como aceite de cocina no debe ser apoyado, pues exhibe un punto de humeo bajo (171°C) y su uso como aceite para freír conduce a la producción de sustancias carcinogénicas tales como hidrocarburos aromáticos poli-cíclicos y aminas aromáticas. Aceite con puntos de humeo más altos son preferidos para freír tales como aceite de canola (238°C), aceite de maíz (232°C) y aceite de soya (238°C) (Srivastava et al., 2010). (Lima & Block, 2019)

A continuación, se describe la incidencia del Aceite de Coco en:

- Pérdida de peso.

Ensayos clínicos que estudien la relación entre el consumo de Aceite de Coco y la reducción de peso son aún escasos en la literatura. El análisis de los datos existentes muestra una falta de evidencia que este aceite puede trabajar como un agente de pérdida de peso. Los pocos datos existentes no son suficientes para indicar que el metabolismo pueda ser acelerado a través del consumo de la semilla de coco.

Además, debido al perfil de ácidos grasos discrepante, los datos sobre el aceite de triglicéridos de cadena media son irrelevantes para entender el comportamiento de digestión del aceite de coco. Por lo tanto, basado en conocimientos actuales las alegaciones de que el aceite de coco ayuda a adelgazar son poco realistas y no están apoyadas por evidencia científica. (Lima & Block, 2019)

- Reducción de los niveles del colesterol.

Los efectos del Aceite de Coco en la reducción de los niveles de colesterol no cuentan aún con un apoyo científico sólido. El insuficiente número de estudios, el pequeño número de sujetos, los períodos cortos y las diferentes concentraciones de Aceite de Coco en la dieta, en los estudios realizados contribuyen a la falta de consistencia entre los resultados reportados en la literatura.

Ya que no existe un consenso acerca de los efectos de la ingesta de aceite de coco en la salud de la población, la información transportada en avisos o presente en etiquetas de aceite de coco no tiene apoyo científico y puede ser considerado engañoso. (Lima & Block, 2019)

- Enfermedades cardiovasculares.

Los pocos estudios que han reportado un efecto cardioprotectivo del Aceite de Coco son predominantemente ensayos en animales. No existe suficiente información sobre este tema, de igual forma hay una falta de estudios usando sujetos humanos.

Por lo tanto, no es posible asumir que el consumo continuo de esta grasa pueda tener un impacto en disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares. (Lima & Block, 2019)

- Tratamientos de afecciones a la piel.

El presente estudio demostró que la aplicación tópica del Aceite Virgen de Coco produce una actividad anti-inflamatoria al inhibir los diversos niveles de citosinas pro-inflamatorias incluyendo: factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), interferon gamma (IFN- γ), Interleucina – 6 (IL-6), Interleucina 5 (IL-5) e Interleucina 8 (IL-8), como también mejorar la función de barrera cutánea al regular la acuaporina-3 (AQP-3), filagrina e involucrina, la expresión del ARN mensajero y también al proteger de la radiación ultravioleta.

Por lo tanto, el Aceite Virgen de Coco puede ser útil en el tratamiento de trastornos de la piel con disfunción de la barrera de permeabilidad, especialmente esos que son acompañados por una expresión proteica a nivel epidérmico reducida tales como dermatitis atópica y eczema. (R.Varm, 2017)

- Tratamientos de cuidado del cabello.

Resultados previamente publicados mostraron que ambos tratamientos en vitro y en vivo de Aceite de Coco previenen el daño del peinado de varios tipos de cabello.

Usando la misma metodología un intento fue realizado para estudiar las propiedades de aceite mineral y aceite de girasol en el cabello.

Los resultados claramente indican el fuerte impacto que la aplicación de Aceite de Coco tiene en el cabello comparado a la aplicación de ambos aceites mineral y girasol. Entre los tres aceites, el Aceite de Coco fue el único que reduce notablemente la pérdida de proteína para ambos cabello dañado y cabello sano utilizado como un producto de aseo de pre-lavado y post-lavado.

Ambos, el aceite mineral y el aceite de girasol, no atribuyen en absoluto a reducir la pérdida de proteína del cabello. Esta diferencia en resultados puede surgir a raíz de la composición de cada uno de estos aceites.

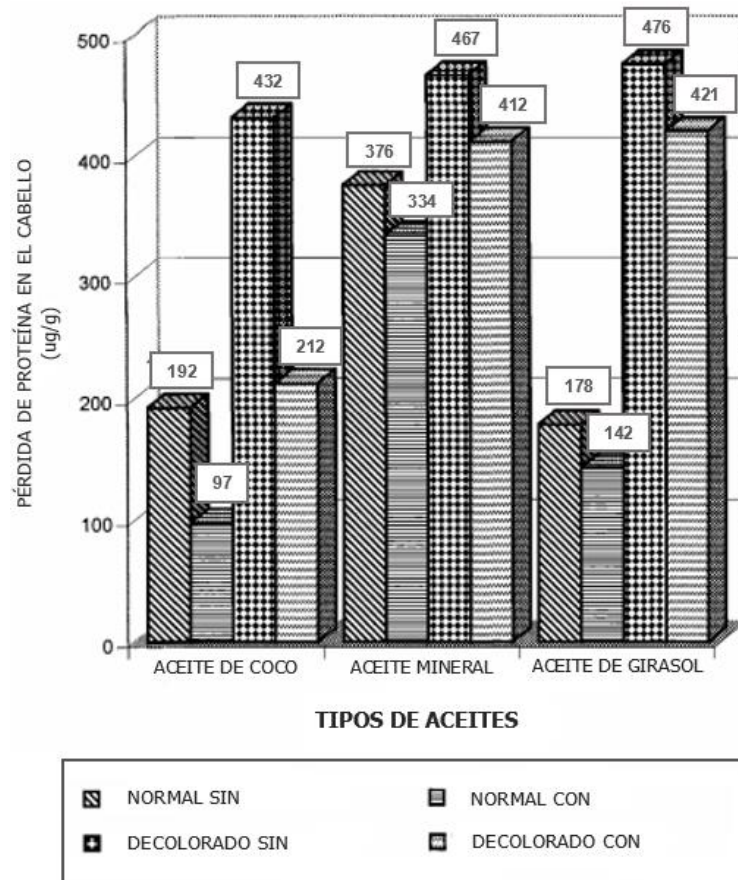
El Aceite de Coco al ser un triglicérido de ácido láurico (ácido graso principal), tiene una alta afinidad por las proteínas del cabello y, debido a su peso molecular bajo y cadena linear recta es capaz de penetrar dentro del tallo del cabello, el aceite mineral al ser un hidrocarburo no presenta afinidad para las proteínas y, por lo tanto, no es capaz de penetrar dentro del tallo del cabello y producir mejores resultados. En el caso del aceite de girasol, aunque es un triglicérido de ácido linoleico debido a su estructura por la presencia de enlaces dobles no penetra la fibra, consecuentemente resulta en un impacto no favorable para la pérdida de proteína.

El estudio involucra muestras de cabello liso, rizado, ondulado y cabello sometido a un proceso de ondulación permanente de origen indio.

Por otra parte, ha establecido firmemente la superioridad del efecto protector del Aceite de Coco en cuanto al daño del cabello durante procesos de aseo cuando es utilizado como un pre-acondicionador, este efecto protector actúa en cabello sano, cabello tratado químicamente, cabello tratado con rayos ultra-violetas y cabello tratado con agua hirviendo (cabello en agua a 100°C por 2 horas).

La habilidad del Aceite de Coco para penetrar en la cutícula y corteza del cabello es responsable por este efecto. Recubierto en la superficie de la fibra puede prevenir o reducir la cantidad de agua penetrando en la fibra y reducir la hinchazón. Esto, a su vez, reduce el levantamiento de la cutícula de la superficie y evita que se desprenda durante el peinado en húmedo. (Journal Of Cosmetic Science, 2003)

Figura 1- 7 Cuadro comparativo de la pérdida de proteína en el cabello con y sin la aplicación de aceite virgen de coco, aceite mineral y aceite de girasol



Fuente: (Journal Of Cosmetic Science, 2003)

- La industria de los combustibles.

Con la llegada de la crisis energética en 1970 el uso de aceite de coco y metil éster derivado del coco ha sido usado exitosamente como un sustituto del combustible diésel. En la actualidad el metil éster de coco está siendo usado en Filipinas como un aditivo de combustible o un combustible potenciador del diésel (hasta un 5% de mezcla) para apoyar el Acta de Aire Limpio del país. Ha sido probado por varios estudios que la adición de metil éster de coco a combustible diésel reduce sustancialmente la emisión de humo y formación de óxido nitroso.

(FAO, Bawalan, & Chapman, 2006)

Nota: El uso que se propone dar al Aceite Virgen de Coco es para la humectación del cabello y piel, tomando en cuenta si existen enfermedades o afecciones existentes que puedan condicionar su uso, por ejemplo: Una persona con seborrea, lo cual genera una producción excesiva de grasa en el cuero cabelludo no podría utilizar Aceite Virgen de Coco pues empeoraría la situación actual del cabello.

1.4.4. Características de identificación del Aceite Virgen de Coco

El rango de composición del Aceite Virgen de Coco obtenido por medio de Cromatografía Gas - Líquido, debe ser de acuerdo a la tabla:

Tabla I- 3 Rango de composición de ácidos grasos del Aceite Virgen de Coco obtenido por Cromatografía Gas - Líquido

Nombre común	Composición	(%)
Ácido Caproico	C 6:0	ND – 0,7
Ácido Caprílico	C 8:0	4,6 – 10,0
Ácido Cáprico	C 10:0	5,0 – 8,0
Ácido Láurico	C 12:0	45,1 y mayor
Ácido Mirístico	C 14:0	16,8 – 21
Ácido Palmítico	C 16:0	7,5 – 10,2
Ácido Palmitoleico	C 16:1	ND*
Ácido Esteárico	C 18:0	2,0 – 4,0
Ácido Oleico	C 18:1	5,0 – 10,0
Ácido Linoleico	C 18:2	1,0 – 2,5
Ácido Linolénico	C 18:3	ND – 0,2
	C 24:1	ND
*ND = no detectable		

Fuente: (FAO, Bawalan, & Chapman, 2006)

El perfil de ácidos grasos del aceite virgen de coco es muy dependiente de la variedad del coco. Estudios realizados por la Autoridad Filipina de Coco (PCA) el Centro de Investigación de Zamboanga reveló que las variedades híbridas de coco

tienen un contenido de ácido graso láurico más alto (por encima del 50%) que las variedades altas locales.

Color, Olor, Sabor.

El aceite virgen de coco debe ser incoloro, libre de sedimentos, con aroma natural de coco fresco y libre de sabores y olores rancios.

Especificaciones.

El aceite virgen de coco debe conformar los requerimientos especificados en la tabla siguiente:

Tabla I- 4 Propiedades del Aceite Virgen de Coco requeridas

Propiedades	Especificación
Humedad y contenido volátil	0,20 % máx.
Ácidos grasos libres (expresado como Ácido Láurico)	0,20 % máx.
Índice de Peróxido	3,0 meq/kg aceite máx.
Aditivos alimentarios	No permitido
Contaminantes	
Materia volátil a 105°C	0,20 % máx.
Metales pesados	mg/kg máx.
Hierro (Fe)	5,0
Cobre (Cu)	0,40
Plomo (Pb)	0,10
Arsénico (As)	0,10

Fuente: (FAO, Bawalan, & Chapman, 2006)

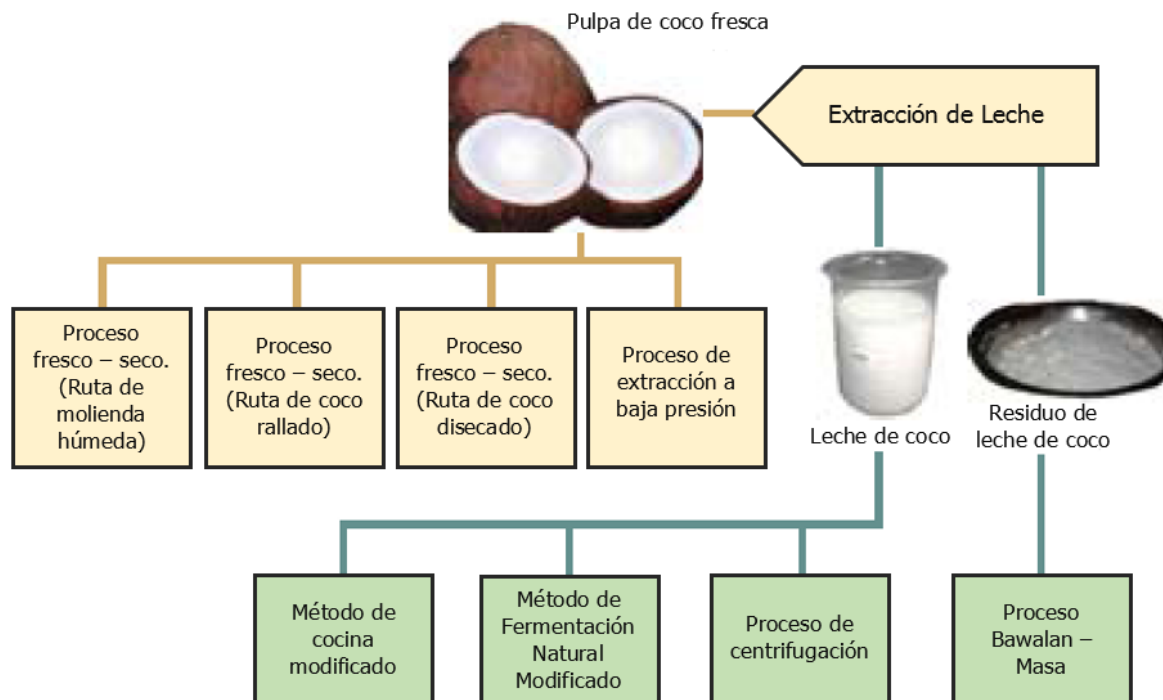
1.4.5. Procesamiento del Aceite Virgen de Coco

El aceite virgen de coco puede ser producido directamente a partir de la pulpa triturada (rallada, picada, granulada) de coco o a partir de residuo de leche de coco.

La elección de la tecnología a ser adoptada depende en una gran parte de la escala de operación, el grado de mecanización deseada, la cantidad de inversión disponible y las demandas del comprador prospectivo. La escala de operación a ser

implementada es significativamente dependiente de la base de suministro de coco disponible. La base de suministro de coco puede ser estimada usando la Tabla I – 5, que muestra capacidades específicas de procesamiento.

Figura 1- 8 Métodos de procesamiento del Aceite Virgen de Coco



Fuente: (FAO, Bawalan, & Chapman, 2006)

El Aceite de Coco producido por cada proceso exhibe diferentes características organolépticas, así que el proceso utilizado para producir Aceite Virgen de Coco puede ser identificado por evaluación sensorial. La leche de coco es una emulsión de aceite y agua que es estabilizada por la proteína que contiene. Para recuperar el aceite de la leche de coco el enlace proteico debe romperse ya sea por calor, por enzimas o algún otro medio mecánico.

Para elegir el método correcto de obtención, se deben analizar sus ventajas y desventajas con respecto a equipamiento, costos de inversión, así como también la

calidad del aceite que producirán. De esta forma se describen éstos métodos en el siguiente cuadro:

Tabla I- 5 Tabla comparativa de los métodos de obtención del Aceite Virgen de Coco a media y pequeña escala

Tipo de proceso	Calidad y recuperación de aceite	Ventajas y limitaciones
1) Método fresco-seco. (Ruta de molienda húmeda) (Método a alta presión) Porcentaje de humedad de la pulpa para la extracción = 3% – 4 %.	Ácidos grasos libres: 0,05% – 0,08% Porcentaje de Humedad: 0,07% – 0,1% Color: Claro similar al agua. Recuperación de aceite: 31 kg/100kg de pulpa de coco fresca molida. (Basado en un 50% de porcentaje de humedad inicial de la pulpa fresca)	Produce harina de coco con contenido graso medio y proteína como co-producto. Tiempo de vida de alacena del aceite: 1 año y más. Utiliza equipamiento del tipo mecánico para producir el aceite. Puede ser producido a escala de operación de planta en pueblo.
2) Método fresco-seco. (Ruta de coco desecado) (Método a alta presión) Porcentaje de humedad de la pulpa para la extracción = 3% – 4 %.	Ácidos grasos libres: 0,05% – 0,08% Porcentaje de Humedad: 0,07% – 0,1% Color: Claro similar al agua. Recuperación de aceite: 30 kg/100kg de pulpa de coco fresca molida. (Basado en un 50% de porcentaje de humedad inicial de la pulpa fresca)	Produce harina de coco con contenido graso medio y proteína como co-producto, sin testa. Tiempo de vida de alacena del aceite: 1 año y más. Utiliza equipamiento del tipo mecánico para producir el aceite. Alto costo de inversión, adecuado solo para operación de planta a escala media (10,000 cocos/día)
3) Método fresco-seco. (Ruta de coco rallado) (Método a alta presión) Porcentaje de humedad de la pulpa para la extracción = 3% – 4 %.	Ácidos grasos libres: 0,05% – 0,08% Porcentaje de Humedad: 0,07% – 0,1% Color: Claro similar al agua. Recuperación de aceite: 31 kg/100kg de pulpa de coco fresca molida. (Basado en un 50% de porcentaje de humedad inicial de la pulpa fresca)	Produce harina de coco con contenido graso medio y proteína como co-producto. Tiempo de vida de alacena del aceite: 1 año y más. Utiliza equipamiento del tipo mecánico para producir el aceite. Puede ser producido en una operación de planta a micro-escala.
4) Método a baja presión. El contenido de humedad de la pulpa para extracción debe ser de 10% – 12 % para prensa de puente y extractor para micro extracción directa, 7% – 10 % para Extractor de acero inoxidable tailandés.	Ácidos grasos libres: 0,1% – 0,2% Porcentaje de Humedad: 0,17% y mayores. Color: Claro similar al agua. Recuperación de aceite: 24,5 kg/100kg de pulpa de coco fresca molida. (Basado en un 50% de porcentaje de humedad inicial de la pulpa fresca)	Utiliza equipo operado manualmente para producir el aceite. Produce un residuo de coco semi-seco que tiene que ser secado aún más o procesado para tener valor en el mercado. El tiempo de vida de alacena del aceite es bastante corto si no es deshidratado inmediatamente mediante secado suave después de la extracción para remover el agua.
5) Método tradicional húmedo o método de cocina modificado.	Ácidos grasos libres: 0,06% – 0,2% Porcentaje de Humedad: 0,07% – 0,14%	Costo bajo de inversión. Puede ser producido en una operación a escala casera utilizando utensilios ordinarios de cocina.

<p>El porcentaje de humedad de la pulpa fresca para extracción es aproximadamente 50%. La leche de coco es el punto de partida para la extracción de aceite virgen de coco.</p>	<p>Color: De claro similar al agua a amarillo pálido dependiendo en el proceso de secado (temperatura máxima = 90°C) Recuperación de aceite: 19 kg/100kg de pulpa de coco fresca molida. (Basado en un 50% de porcentaje de humedad inicial de la pulpa fresca). La extracción de la leche es realizada utilizando una prensa operada de forma manual, una prensa hidráulica de leche cremosa de coco de tipo mercado-húmedo tailandés o un extractor de acero inoxidable tailandés.</p>	<p>Produce un residuo húmedo de coco que debe secado o procesado para tener valor de mercado. Produce un subproducto (residuo proteínico) sin valor comercial. Después de 5 días el aceite se vuelve rancio si no es calentado apropiadamente para secarlo después de la extracción para remover el agua. El aceite de clase B puede ser recuperado a partir del residuo después de que el aceite de clase A es desnatado. Esto da una recuperación total de aceite de 19kg (Clase A + Clase B).</p>
<p>6) Método de Fermentación Natural Modificado El porcentaje de humedad de la pulpa fresca de coco para la extracción es de aproximadamente 50%.</p>	<p>Ácidos grasos libres: 0,1% Porcentaje de Humedad: 0,12% y más bajas. Color: Claro similar al agua. Recuperación de aceite: 19,8 kg/100kg de pulpa de coco fresca molida. (Basado en un 50% de porcentaje de humedad inicial de la pulpa fresca). La extracción de la leche es realizada utilizando una prensa operada manualmente , una prensa hidráulica de leche cremosa de coco de tipo mercado-húmedo tailandés o un extractor de acero tailandés para crema y aceite virgen de coco.</p>	<p>Puede ser producido en una operación a escala casera utilizando utensilios ordinarios de cocina o mediante una operación a micro-escala utilizando un equipo semi-mecanizado. La disposición de la leche desnatada fermentada puede ser un problema si es llevado a cabo a capacidades por encima de 2000 cocos/día. La leche desnatada debe ser diluida con agua antes de disposición a la basura. El aceite producido puede tornarse amargo si el período de fermentación es prolongado. El aceite debe ser propiamente calentado para su secado después de la extracción para remover el agua y prevenir el desarrollo de la rancidez. Aceite de clase B puede ser recuperado del residuo después de que el aceite de clase A es desnatado. Esto dará una cantidad total de 19kg de aceite recuperado (Clase A + Clase B).</p>
<p>7) Proceso de centrifugación. El porcentaje de humedad de la pulpa fresca para extracción es aproximadamente 50%. La leche de coco es el punto de partida para la extracción de aceite virgen de coco.</p>	<p>Ácidos grasos libres: 0,1% Porcentaje de Humedad: 0,17% y más bajo. Color: Claro similar al agua. Recuperación de aceite: 19,8 kg/100kg de pulpa de coco fresca molida. (Basado en un 50% de porcentaje de humedad inicial de la pulpa fresca). Nota: El valor de aceite recuperado reportado aquí fue calculado a partir de un procesador de aceite virgen de coco en las</p>	<p>Produce la mejor calidad de aceite de coco con aroma dulce si es extraído mediante un proceso de centrifugado en 2 etapas. Solo puede ser producido en una operación a media y larga escala (por encima de los 10.000 cocos/día), mientras el costo de inversión es muy alto. Un mayor procesamiento de la leche desnatada para convertirla en una bebida saludable y el residuo de pulpa en harina de coco puede mejorar la rentabilidad.</p>

	<p>Filipinas utilizando un proceso de centrifugado de dos etapas.</p> <p>El proceso de centrifugado de una etapa puede tener una tasa de recuperación de aceite diferente.</p> <p>La extracción es realizada utilizando un extractor de leche motorizado.</p>	<p>Tablas 10 y 11 en el Anexo 1 dan detalles de la composición nutricional y aminoácidos de la leche desnatada de coco.</p>
<p>8) Proceso Bawalan – Masa</p> <p>El proceso utiliza residuo de leche de coco como materia prima. El residuo es blanqueado y secado a un contenido de humedad específico y desgrasado bajo condiciones controladas. Equipamiento específicamente diseñado produce aceite virgen de coco y hojuelas de coco que contienen alta fibra y baja grasa. Las hojuelas son molidas para producir harina de coco con alto contenido de fibra dietética.</p>	<p>Ácidos grasos libres: 0,05% – 0.08%</p> <p>Porcentaje de Humedad: 0,07% – 0.12%</p> <p>Color: Claro similar al agua.</p> <p>Recuperación de aceite: 17 kg/ 100kg de residuo húmedo</p> <p>A partir de 100 kg de pulpa fresca molida se generan 46,7 kg de residuo húmedo el cual puede aún ser procesado para dar unos 7,94kg extra de aceite.</p>	<p>La recuperación de aceite de alto valor a partir del residuo hace que el procesado de leche de coco sea más rentable.</p> <p>Tiempo de vida de alacena del aceite: 1 año y más.</p> <p>Produce harina de coco que contiene altos valores de fibra y bajos valores de grasa como co-producto.</p> <p>Requiere equipamiento del tipo mecánico para producir el aceite.</p> <p>El proceso de producción debe estar unido o integrado a una planta de procesamiento de leche de coco existente.</p>

Fuente: (FAO, Bawalan, & Chapman, 2006)

1.4.6. Significancia socio-económica del procesamiento del Aceite Virgen de Coco.

Desde 2001, cuando el Aceite Virgen de Coco fue enviado por primera vez por una compañía herbal de Filipinas a los Estados Unidos, la demanda por el producto ha estado creciendo continuamente ahí y en otros países desarrollados (Canadá, Australia, Reino Unido). El aceite Virgen de Coco es la adición más reciente en la línea de productos de coco que las Filipinas ha introducido al mundo. Otros países productores de coco como India, Indonesia, Fiji, Papua Nueva Guinea están ahora exportando productos de este aceite debido a su valor promedio es alrededor de 400 a 500% más alto que el valor de exportado de Aceite de Coco derivado de copra. En la actualidad, la demanda para Aceite Virgen de Coco es aún más alta que la oferta ya que la mayoría de su producción es a partir de operaciones a pequeña escala.

Generalmente hablando la pulpa de coco de quince cocos maduros es requerida para producir un litro de aceite si es extraído mediante una operación a micro-escala. (FAO, Bawalan, & Chapman, 2006)

1.5. Leyes y reglamentos que norman el uso, distribución y valor del Aceite Virgen de Coco.

En Bolivia no se han elaborado aún normas específicas de calidad para el aceite de coco. Tal como se describe en el problema, nuestro país es mercado para diversos países productores de semilla de coco. Dicha importación se realiza de acuerdo a normas internacionales tales como:

- EL REGLAMENTO DE CONTROL DE LA INDUSTRIA DEL COCO, 1945 (FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).
- LEY DE CONTROL DE LA INDUSTRIA DE COCO (FAO/FAOLEX/ECOLEX) (Jamaica, 2008) (Proveedor de aceite de coco a Bolivia).
- ORDEN ADMINISTRATIVA N°1 (Serie de 2005) DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LA REPÚBLICA DE FILIPINAS (Proveedor de aceite de coco a Bolivia).
- COMISIÓN DEL CODEX ALIMENTARIUS Y EL PROGRAMA CONJUNTO FAO/OMS SOBRE NORMAS ALIMENTARIAS - STANDARD FOR NAMED VEGETABLE OILS (CXS 210-1999). Adoptada en 1999. Revisada en 2001, 2003, 2009, 2017, 2019. Enmendada en 2005, 2011, 2013, 2015, 2019.

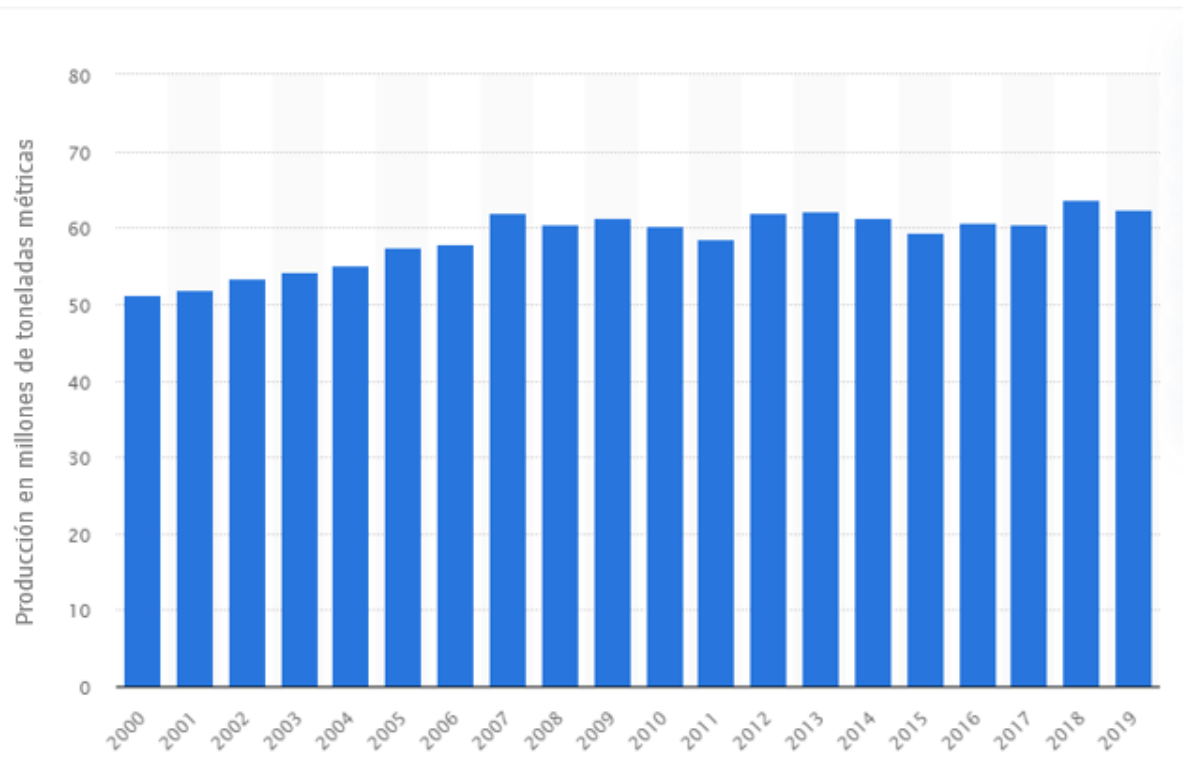
La Comisión del Codex Alimentarius se encarga de ejecutar el Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias, que tiene por objeto proteger la salud de los consumidores y asegurar prácticas equitativas en el comercio de alimentos.

- ASIAN AND PACIFIC COCONUT COMMUNITY (APCC)
- COMUNIDAD INTERNACIONAL DE COCO (ICC)
- ESTÁNDAR NACIONAL DE FILIPINAS (PNS)

1.6. Mercado

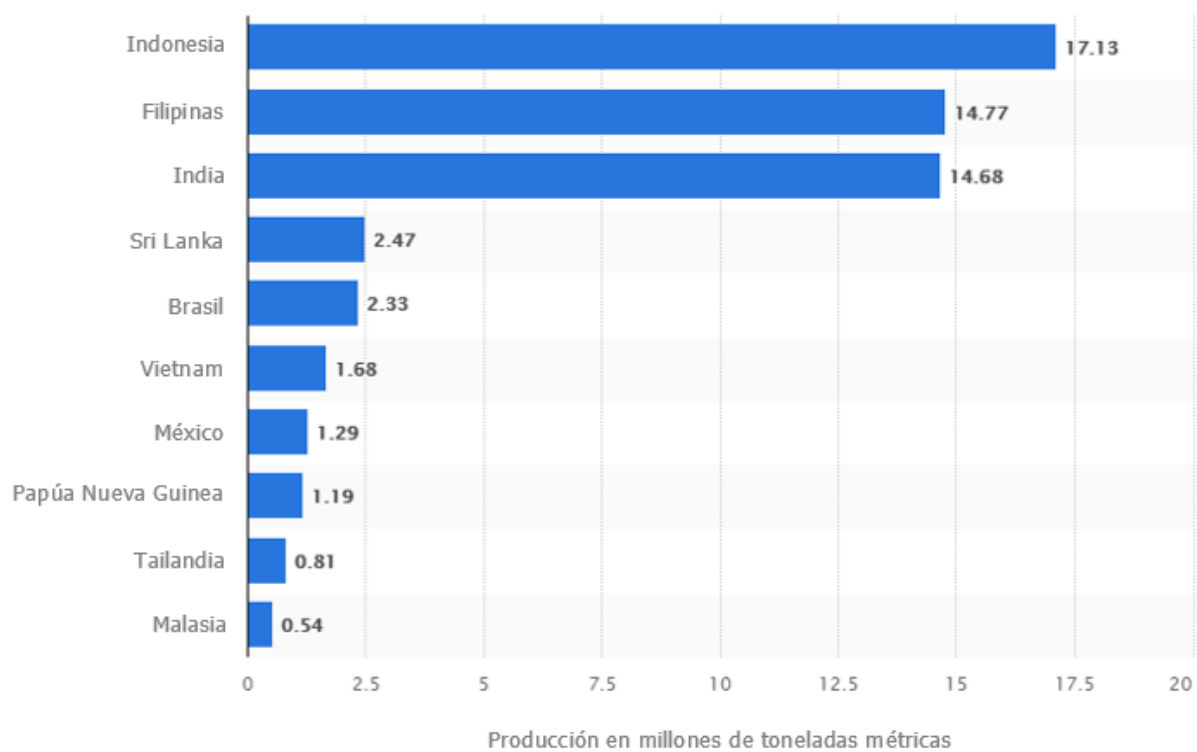
1.6.1. Mercado mundial

Figura 1- 9 Producción de Coco mundial desde el año 2000 al 2019 (millones de toneladas métricas)



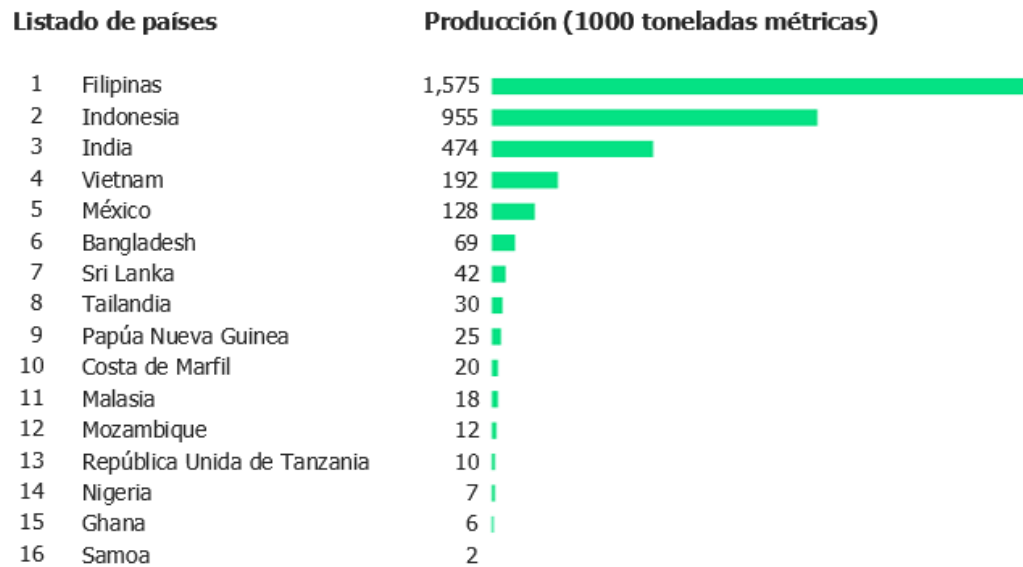
Fuente: (statista, 2019)

Figura 1- 10 Producción de Coco a nivel mundial en 2019, por países productores (millones de toneladas métricas)



Fuente: (statista, 2019)

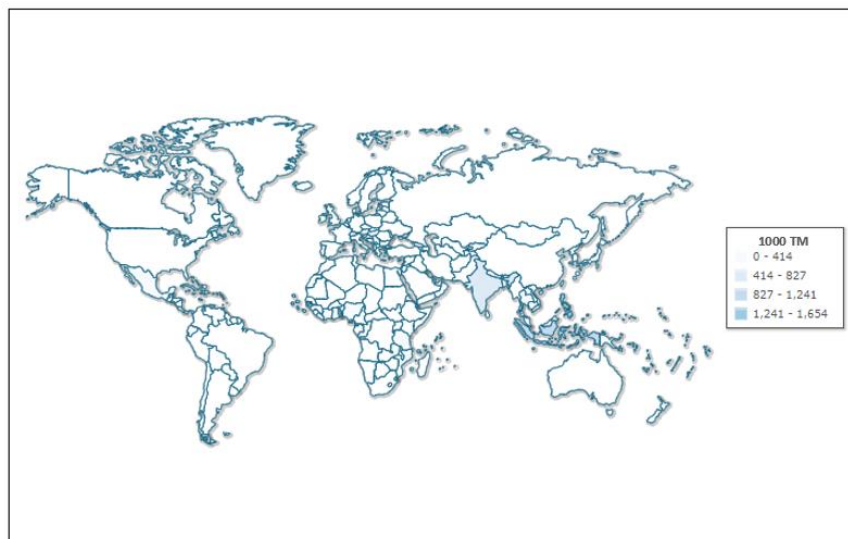
Figura 1- 11 Producción mundial de Aceite de Coco por país (1000 toneladas métricas)



Año de estimación: 2020

Fuente: (Índex mundi, 2020)

Figura 1- 12 Mapa de la producción mundial de Aceite de Coco por país (1000 toneladas métricas)



Año de estimación: 2020

Fuente: (Índex mundi, 2020)

*Tabla I- 6 Distribución y Suministro de los principales Aceites Vegetales del Mundo
(millones de toneladas métricas)*

	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	Feb 2020/21	Mar 2020/21
Producción						
Aceite de Coco	3,41	3,67	3,76	3,60	3,57	3,57
Aceite de Algodón	4,38	5,10	4,97	5,12	4,89	4,86
Aceite de Oliva	2,49	3,29	3,17	3,13	3,20	3,13
Aceite de Palma	65,25	70,54	74,14	73,20	75,46	75,09
Aceite de Palmiste	7,64	8,27	8,58	8,53	8,72	8,65
Aceite de Maní	5,69	5,88	5,83	6,15	6,14	6,09
Aceite de Colza	27,54	27,93	27,71	28,02	27,83	27,95
Aceite de Soja	53,75	55,20	56,00	58,25	60,30	60,60
Aceite de Semilla de girasol	18,22	18,52	19,49	21,50	19,47	19,44
Total	188,36	198,38	203,64	207,51	209,58	209,38
Importaciones						
Aceite de Coco	1,51	1,71	1,82	1,83	1,87	1,87
Aceite de Algodón	0,06	0,09	0,10	0,11	0,09	0,09
Aceite de Oliva	0,85	1,03	1,02	1,22	1,15	1,24
Aceite de Palma	46,19	46,65	50,50	47,90	49,93	49,72
Aceite de Palmiste	2,70	2,88	3,02	3,01	3,09	3,09
Aceite de Maní	0,23	0,24	0,29	0,31	0,35	0,37
Aceite de Colza	4,39	4,51	4,87	5,57	5,36	5,44
Aceite de Soja	10,98	9,86	10,68	11,30	11,44	11,71
Aceite de Semilla de girasol	9,06	8,91	9,45	11,45	9,76	9,68
Total	75,97	75,88	81,75	82,69	83,04	83,20
Exportaciones						
Aceite de Coco	1,76	1,74	2,11	1,85	1,88	1,88
Aceite de Algodón	0,08	0,10	0,11	0,11	0,09	0,09
Aceite de Oliva	0,90	1,05	1,11	1,38	1,23	1,21
Aceite de Palma	48,89	48,66	51,77	48,34	51,34	51,19

Aceite de Palmiste	3,08	3,11	3,39	3,29	3,25	3,32
Aceite de Maní	0,27	0,28	0,31	0,29	0,35	0,38
Aceite de Colza	4,50	4,61	4,96	5,64	5,60	5,63
Aceite de Soja	11,27	10,57	11,23	12,15	12,12	12,40
Aceite de Semilla de girasol	10,53	10,03	11,29	13,22	10,87	10,97
Total	81,28	80,15	86,27	86,27	86,72	87,07
Consumo Doméstico						
Aceite de Coco	3,23	3,44	3,55	3,64	3,65	3,65
Aceite de Algodón	4,34	5,05	4,99	5,11	4,93	4,91
Aceite de Oliva	2,75	2,87	2,94	3,05	3,11	3,15
Aceite de Palma	61,54	66,90	72,41	72,12	75,16	74,90
Aceite de Palmiste	7,22	7,83	8,34	8,22	8,53	8,45
Aceite de Maní	5,52	5,71	5,92	6,22	6,21	6,15
Aceite de Colza	28,90	28,86	28,08	28,06	27,60	27,70
Aceite de Soja	53,45	54,49	55,14	57,10	59,59	59,93
Aceite de Semilla de girasol	16,37	17,42	18,10	19,44	19,24	18,95
Total	183,32	192,56	199,45	202,96	208,02	207,79
Stocks Finales						
Aceite de Coco	0,42	0,63	0,55	0,49	0,39	0,39
Aceite de Algodón	0,12	0,15	0,12	0,12	0,08	0,08
Aceite de Oliva	0,26	0,65	0,78	0,71	0,88	0,72
Aceite de Palma	10,00	11,63	12,08	12,72	10,99	11,44
Aceite de Palmiste	0,72	0,93	0,80	0,83	0,86	0,80
Aceite de Maní	0,39	0,52	0,42	0,36	0,21	0,29
Aceite de Colza	4,20	3,16	2,70	2,59	2,58	2,64
Aceite de Soja	3,94	3,94	4,25	4,56	4,58	4,53
Aceite de Semilla de girasol	2,26	2,24	1,80	2,09	1,09	1,28
Total	22,29	23,84	23,50	24,46	21,66	22,18

Fuente: (Statista, 2020)

Tabla I- 7 Distribución y suministro de Aceite Virgen de Coco (millones de toneladas métricas)

	Stocks Iniciales	Producción	Importaciones	Suministro Total	Exportaciones	Consumo Doméstico Industrial	Consumo Doméstico Uso Alimenticio	Consumo Doméstico Total	Stocks Finales
Coco,									
Aceite									
2007/08	0,49	3,41	1,91	5,81	1,93	1,52	1,78	3,33	0,55
2008/09	0,55	3,37	1,67	5,60	1,48	1,57	1,66	3,26	0,86
2009/10	0,86	3,49	2,30	6,65	2,07	1,71	2,08	3,83	0,75
2010/11	0,75	3,61	1,78	6,14	1,80	1,67	1,86	3,57	0,77
2011/12	0,77	3,41	1,83	6,01	1,86	1,55	1,92	3,51	0,64
2012/13	0,64	3,63	1,89	6,16	1,93	1,70	1,99	3,72	0,52
2013/14	0,52	3,40	1,74	5,65	1,91	1,56	1,74	3,33	0,40
2014/15	0,40	3,38	1,82	5,61	1,94	1,51	1,74	3,29	0,38
2015/16	0,38	3,34	1,58	5,29	1,58	1,54	1,66	3,23	0,49
2016/17	0,49	3,41	1,21	5,41	1,76	1,61	1,59	3,23	0,42
2017/18	0,42	3,67	1,71	5,80	1,74	1,70	1,70	3,44	0,63
2018/19	0,63	3,76	1,82	6,20	2,11	1,76	1,75	3,55	0,55
2019/20	0,55	3,60	1,83	5,98	1,85	1,80	1,81	3,64	0,49
2020/21	0,49	3,57	1,87	5,92	1,88	1,79	1,83	3,65	0,39

Fuente: (Statista, 2020)

1.6.2. Mercado Nacional

La producción nacional del Aceite de Coco, no cubre la demanda actual, motivo por el que es importado de otros países y se considera que se incrementará, lo que implica una pérdida de las divisas (dólares americanos).

Tabla I- 8 Países importadores de Aceite de Coco a Bolivia (miles de dólares americanos)

Proveedores	Valor importado en 2014	Valor importado en 2015	Valor importado en 2016	Valor importado en 2017	Valor importado en 2018
Mundial	233	1	20	75	53
Estados Unidos de América	0	0	20	30	20
Brasil	0	0	0	11	17
Países Bajos	37	0	0	0	10
Sri Lanka	0	0	0	0	6
Chile	34	0	0	0	0
Dinamarca	66	0	0	0	0
Malasia	96	0	0	0	0
Filipinas	0	1	0	34	0

Fuente: (MAP, 2019)

En Bolivia existen factorías semi-industriales que realizan la producción y comercialización del aceite y sus derivados.

- LEMAT, que se encarga de realizar todo el proceso en Santa Rosa de Yacuma, en Beni.
- BIOCOCO, empresa distribuidora de Aceite de Coco Extra Virgen prensado en Frío.
- ITENEZ, PRODUCTOS ORIENTALES. Produce aceites de maní, coco, sésamo, linaza. Se obtiene aceite de coco de las plantaciones naturales de la provincia Itenez del departamento de Santa Cruz.
- Hay una propuesta en diseño para instalar una extractora de aceite de coco en Villa Tunari, provincia Chapare del departamento de Cochabamba. (Céspedes & Herbas, 2016).

1.6.3. Mercado Proyectado

De acuerdo con “Verified Market Research” el tamaño del mercado global de Aceite Virgen de Coco fue valorizado en 1.280,6 millones de dólares estadounidenses en 2019 y es proyectado para alcanzar 2.874,9 millones de dólares estadounidenses en 2027, creciendo en una tasa anual compuesto de 10.04% desde el 2020 al 2027.

Un incremento en la adopción del Aceite Virgen de Coco en varias aplicaciones de uso final tales como belleza, cosméticos y cuidado de la salud son el factor clave esperado para estimular el crecimiento del mercado del mismo.

Figura 1- 13 Mercado global del Aceite Virgen de Coco proyectado en base a la tasa de crecimiento anual compuesto (2020 – 2027)

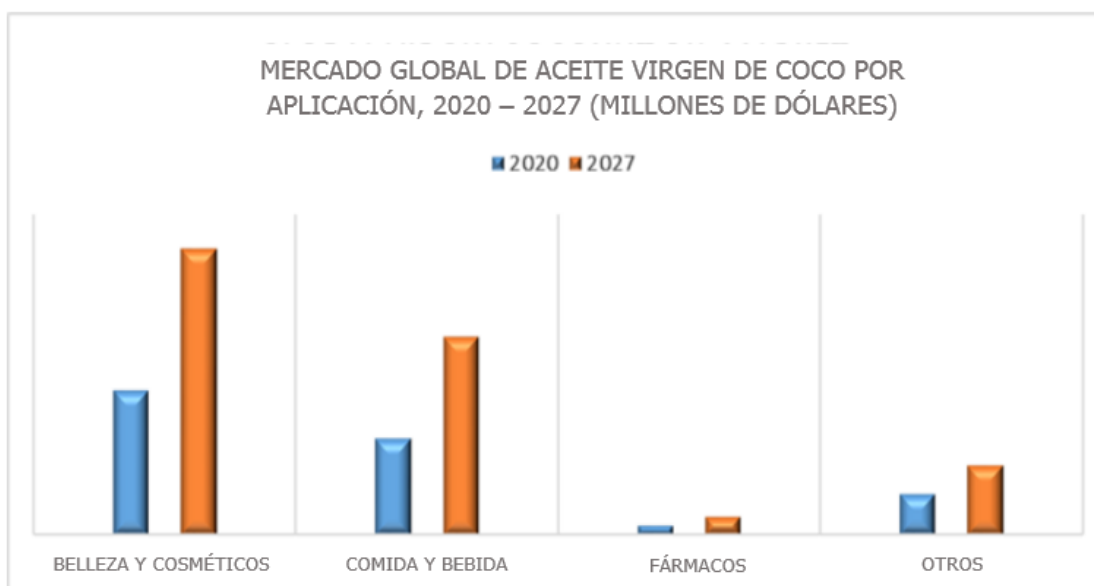


Fuente: (Verified Market Research, 2021)

1.6.3.1. Mercado global de Aceite Virgen de Coco proyectado por aplicación.

En base a la aplicación, el mercado ha sido segmentado en “Belleza y Cosméticos”, “Alimentos y Bebidas”, “Fármacos” y “otros”. Belleza y Cosméticos fue contado como la mayor cuota de mercado en 2019. Las aplicaciones del Aceite Virgen de Coco en el cuidado personal y cosméticos tales como productos de cuidado para el cabello y la piel han proporcionado el camino para el crecimiento del mercado del Aceite Virgen de Coco.

Figura 1- 14 Mercado global del Aceite Virgen de Coco proyectado por aplicación (2020 – 2027)



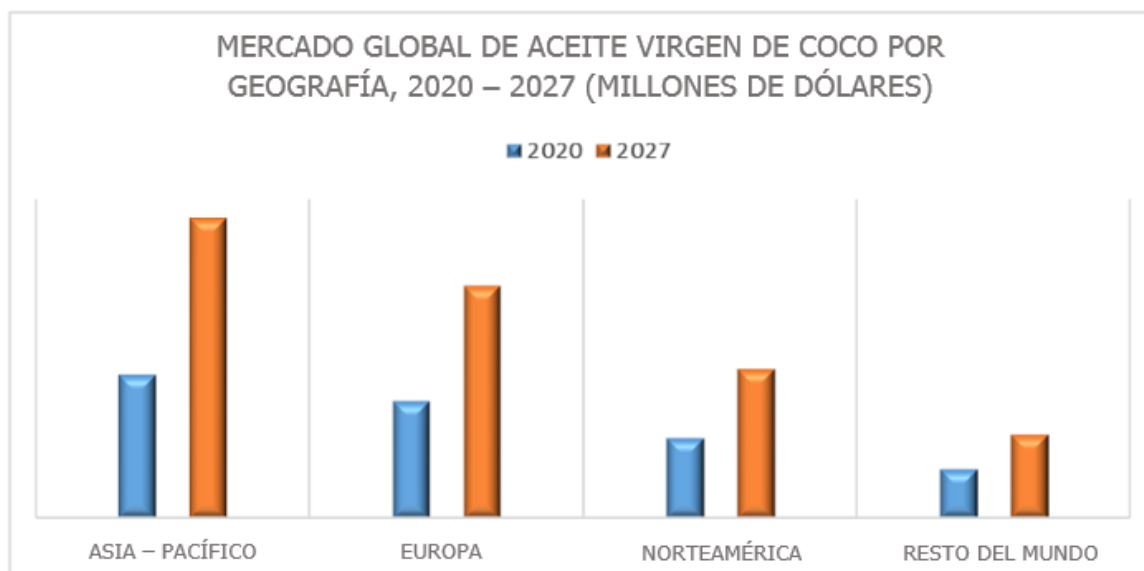
Fuente: (Verified Market Research, 2021)

1.6.3.2. Mercado global del Aceite Virgen de Coco proyectado por geografía.

Sobre la base del análisis regional, el mercado es clasificado en: Norteamérica, Europa, Asia – Pacífico y el resto del mundo. Se espera que Asia – Pacífico tenga la mayor cuota del mercado del Aceite Virgen de Coco durante el período de previsión, seguido por Europa. Asia – Pacífico tiene una presencia significativa de empresas de fabricación de Aceite Virgen de Coco, incluidas: “Edward and Sons Trading Company”, “MaxCare”, “Greenville Agro Corporation” y muchas más. Es

probable que el uso de Aceite Virgen de Coco para cocinar en países como China, India y Japón aumente la demanda en esta región.

Figura 1- 15 Mercado Global de Aceite Virgen de Coco proyectado por geografía (2020 – 2027)



Fuente: (Verified Market Research, 2021)

1.6.4. Oferta de materia prima en el área de influencia (Departamento de La Paz).

Actualmente existe materia prima en el municipio de Alto Beni, como también en los municipios aledaños. Estos cultivos son sembrados de forma aleatoria en sistemas agroforestales o en combinación con otras plantas perennes. De esta forma la densidad es calculada sobre el espacio necesario para su crecimiento de 10 x 10 (m), donde se deduce la cantidad que no se está aprovechando.

Con base en datos del Observatorio Agroambiental y productivo, Censo agropecuario 2015, en el departamento de La Paz la producción potencial de coco alcanza los 840.433,58 Kg, de los que se cosechan 95.958,80 Kg anualmente y 744.474,78 Kg que no se cosechan debido a la falta de demanda a precios convenientes. (UMSA; HERRERA, GONZALES, 2018)

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

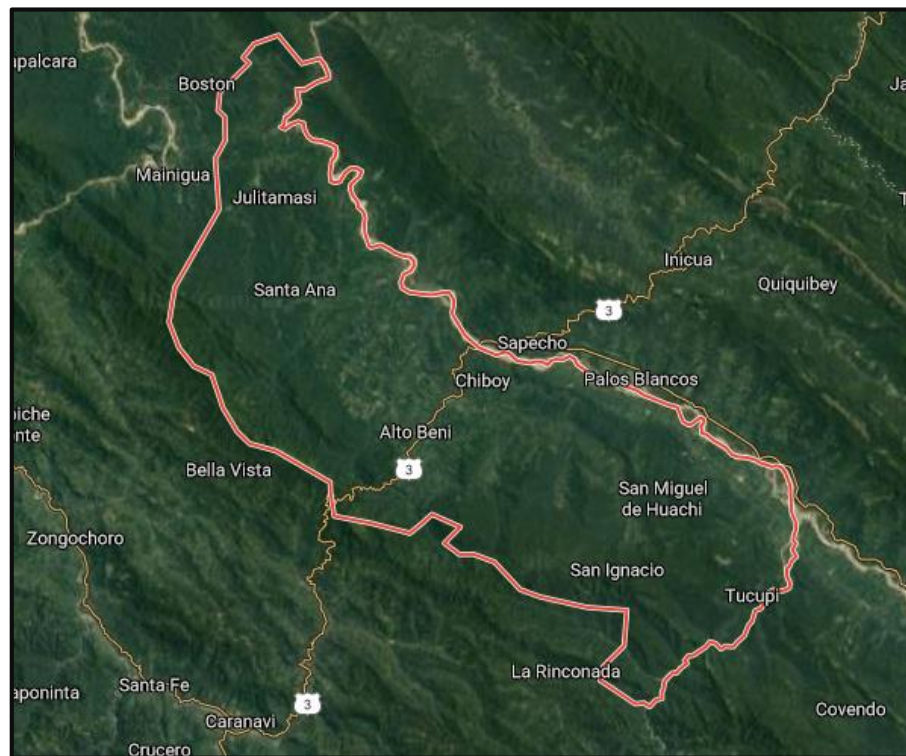
2.1. Descripción y Análisis de la materia prima

2.1.1. Ubicación del municipio del que procede la materia prima.

El municipio de Alto Beni; ubicado en la provincia Caranavi al noroeste del departamento de La Paz, entre las coordenadas 15°10'; 15°55'' de latitud sur y 66°55'; 67°40' de longitud oeste a una distancia de 270 Km al noroeste de la ciudad de La Paz.

Los límites territoriales del Municipio de Alto Beni son: al norte con el municipio de Teoponte perteneciente a la provincia Larecaja, al sur con el municipio de Caranavi, al este con los municipios de Palos Blancos y La Asunta de la provincia Sud Yungas, y al oeste colinda también con el Municipio de Caranavi y Teoponte. La extensión del municipio es de aproximadamente de 1045 Km². (UMSA; HERRERA, GONZALES, 2018)

Figura 2- 1 Ubicación geográfica del municipio de Alto Beni

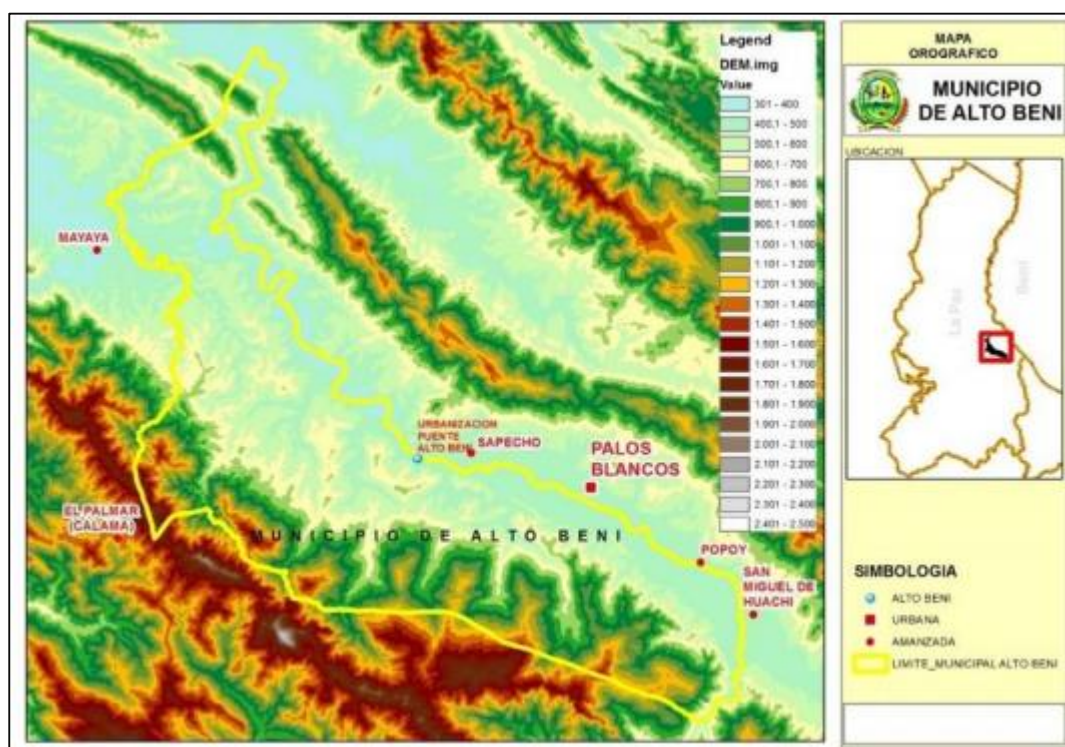


Fuente: Maps (2021)

Topografía

El Municipio de Alto Beni presenta variadas gradientes altitudinales, con diferentes relieves topográficos y pendientes. La primera caracterizada por la presencia constante de serranías, laderas y ríos, con predominancia de pequeñas colinas y llanuras aluviales relativamente extensas. La conjunción de ambos conforma la región de Alto Beni con presencia de relieves como: serranías, laderas, colinas y llanuras.

Figura 2- 2 Mapa Orográfico del Municipio de Alto Beni



Fuente: Plan de Desarrollo Municipal (PDM) 2015

(UMSA & MAYDANA, 2016)

2.1.2. Superficie y área geográfica de cultivo de cocos

En Bolivia existe plantaciones de coco de forma raleada, para poder cuantificar las hectáreas se realizan mediante la densidad de cultivo de 8x8 (m). En la actualidad existen cultivos en los departamentos de Cochabamba, Santa Cruz, Beni, La Paz y Pando. A continuación, se muestran los departamentos con sus diferentes superficies:

Tabla II- 1 Cultivo de Coco en Bolivia (has)

Departamento	has
Cochabamba	30,400
Beni	22,420
La Paz	40,865
Pando	1,730
Santa Cruz	85,520
TOTAL	180,935

Fuente: Elaboración con base en datos del Censo agropecuario 2013, dados por el Observatorio del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.

Según la Tabla II-1 el departamento con mayores hectáreas de cultivo es el departamento de Santa Cruz con 85,520 (has), seguido del departamento de La Paz con 40,865 (has) cabe resaltar que estos cultivos se encuentran en el norte de La Paz.

La distribución de las plantaciones de cocoteros en el Departamento de La Paz, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla II- 2 Cultivo de Coko en el departamento de La Paz (has)

N°	Municipio	has
1	Alto Beni	3,970
2	La Asunta	2,550
3	Coroico	0,319
4	Coripata	0,875
5	Ixíamas	0,080
6	San Buenaventura	2,825
7	Palos Blancos	7,809
8	Caranavi	4,802
9	Sorata	0,001
10	Guanay	10,540
11	Tipuani	0,524
12	Teoponte	5,500
13	Apolo	0,520
14	Cajuata	0,250
15	Mapiri	0,300
	Total	40,865

Fuente: Elaboración con base en datos del Censo agropecuario 2013, dados por el Observatorio del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.

(UMSA; HERRERA, GONZALES, 2018)

2.1.3. Características de la materia prima.

La materia prima para la extracción del Aceite Virgen de Coco lo constituye el endoesperma de la semilla de coco; el mismo que para el presente trabajo lo denominamos: “pulpa de coco” para su mejor comprensión.

La procedencia del coco es el municipio de Alto Beni, provincia Caranavi, departamento de la Paz.

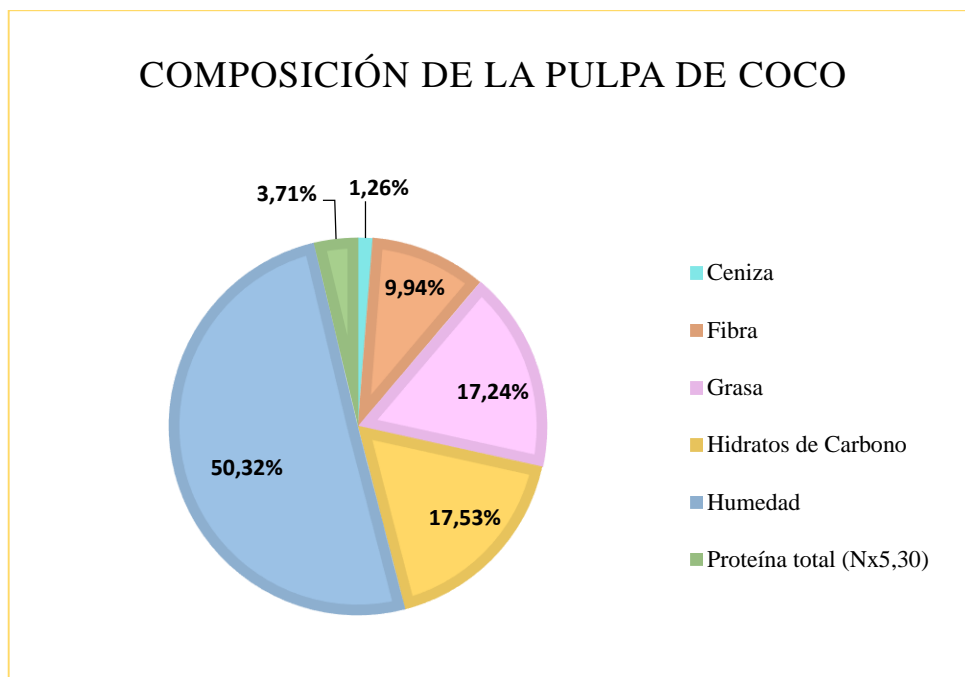
Después de descortezar el coco, se procedió a la obtención de 400 g de pulpa de coco, la misma que fue sometida a un análisis proximal (determinación de los porcentajes de humedad, grasa, fibra, cenizas, carbohidratos y proteína). Después de obtener la pulpa fresca, se observó la presencia de un color blanco, textura fibrosa y aroma característicos.

Tabla II- 3 Análisis fisicoquímico de la Pulpa de Coco proveniente del Alto Beni

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Ceniza	1,26	%
Fibra	9,94	%
Grasa	17,24	%
Hidratos de Carbono	17,53	%
Humedad	50,32	%
Proteína total (Nx5,30)	3,71	%
Valor energético	240,12	Kcal/100 g

Fuente: Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) - Tarija

Figura 2- 3 Composición de la Pulpa de Coco



Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por el CEANID

Figura 2- 4 Cocoteros en el lugar de origen



Fuente: Elaboración propia

Figura 2- 5 Cosecha de cocos



Fuente: Elaboración propia

Figura 2- 6 Cocos cosechados



Fuente: Elaboración propia

Figura 2- 7 Coco pelado



Fuente: Elaboración propia

Figura 2- 8 Pulpa de Coco



Fuente: Elaboración propia

2.2. Descripción del método de investigación

La investigación experimental, es uno de los métodos de la investigación cuantitativa. La presente propuesta se enmarca dentro del concepto de la investigación experimental, que se define como “la manipulación de una (o más) variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas,

con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

El experimento provocado por el investigador, le permite introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas”.

2.3. Selección y definición del Método de Extracción del Aceite Virgen de Coco:

Se realizó una pre-selección de los métodos de extracción los métodos 1 y 4 descritos en la tabla I-5 que son los más viables a escala laboratorio de acuerdo a las ventajas y limitaciones observadas en dicha tabla y parámetros que serán variables en el diseño factorial.

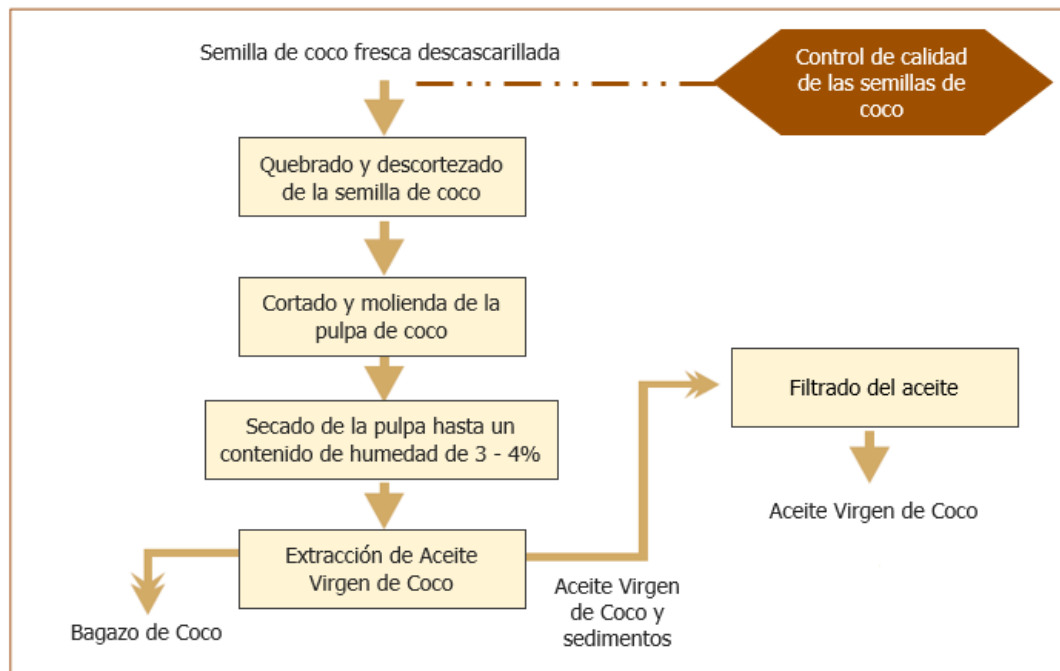
- **Método de extracción a alta presión**

La mayor diferencia entre el proceso de extracción de Aceite de Coco tradicional y el método de extracción a alta presión para la producción de Aceite Virgen de Coco es que la pulpa fresca de coco es rápidamente secada cuando se encuentra molida, rallada o triturada e inmediatamente llevada al extractor para que de esta forma no pueda deteriorarse, por lo tanto, se produce un aceite de alta calidad apta para consumo humano.

El método de extracción a alta presión (por encima de los 1600 psi) está generalmente referido como el proceso fresco-seco de manufactura del Aceite Virgen de Coco.

Existen varias versiones de este procesado de fresco-seco, principalmente en el modo que la pulpa de coco es preparada previo al secado y extracción.

Figura 2- 9 Descripción del método de extracción de Aceite Virgen de Coco a alta presión



(FAO, Bawalan, & Chapman, 2006)

1) Selección de semillas de coco

Seleccionar solo los cocos completamente maduros sin haustoria (12-13 meses de edad). Se inicia el proceso con la cosecha y selección de la materia prima.

2) Descascarado

La corteza es removida manualmente usando una herramienta de mano o con una máquina de descascarado.

3) Cortado, triturado y molido

Cortar el coco fresco descascarado para remover el agua y pasar la pulpa por una trituradora o un molino de cuchillos.

Nota: Un mayor rendimiento del aceite es obtenido si las partículas de pulpa seca son alimentadas al extractor en forma granular. Es por esto que es mejor triturar o moler de la pulpa de coco fresca en vez de rallarla.

4) Secado

Secar la pulpa de coco rallada o triturada a un contenido de humedad de 3% – 4% a una temperatura de 70°C – 75°C usando un tipo de secador de aire caliente indirecto.

5) Extracción de Aceite

Extraer el aceite usando extractores a alta presión.

Nota: Usualmente el aceite extraído ya contiene un nivel de humedad bajo por lo que no hay necesidad de someter el aceite a una etapa de secado.

6) Filtrado del aceite

El filtrado del aceite es realizado usando dispositivos de filtrado presurizado.

7) Empaquetado y almacenamiento

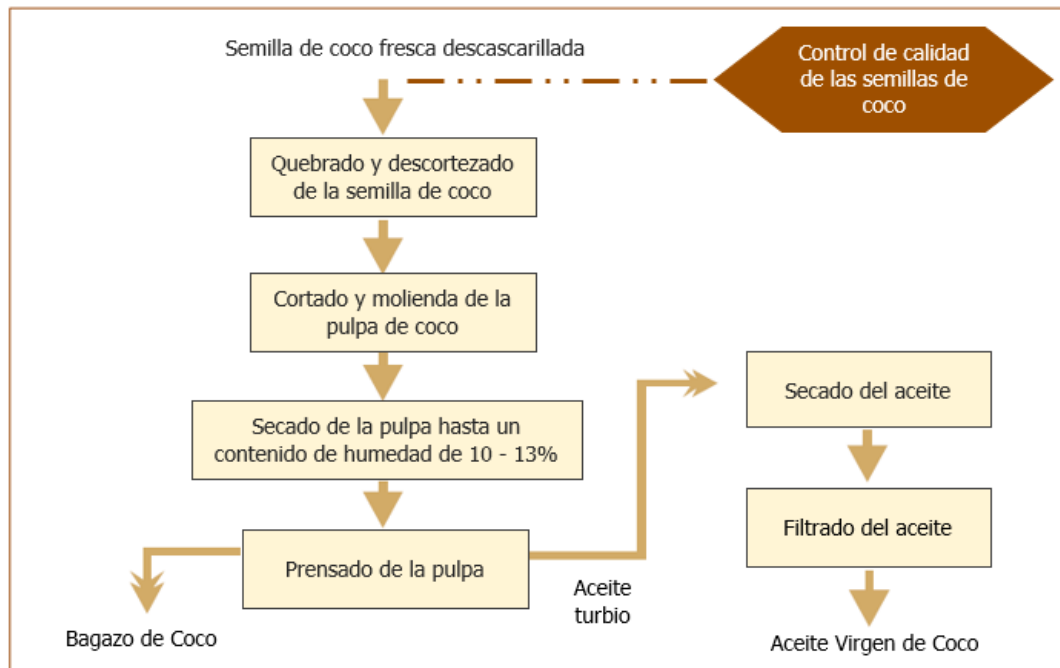
Empaque el aceite en una botella seca o en un contenedor para almacenamiento.

(FAO, Bawalan, & Chapman, 2006)

- **Extracción de aceite a baja presión**

A comienzos de 1990 especialistas en semillas oleaginosas en Gran Bretaña condujeron una serie de estudios en el efecto de la cantidad de humedad en la extracción de aceite de varios tipos de semillas. Ellos encontraron que a presiones bajas de 460 psi (32 Kg/cm²) y menores podían ser aplicadas para extraer aceite cuando la cantidad de humedad de la materia está entre el rango de valores de 10% a 13%.

Figura 2- 10 Descripción del método de extracción de Aceite Virgen de Coco a baja presión



(FAO, Bawalan, & Chapman, 2006)

- 1) Selección de semillas de coco

Seleccionar solo los cocos completamente maduros libres de haustoria (12-13 meses de edad).

- 2) Separado y cortado o descascarado y triturado

Separar el coco descascarado en mitades y cortar la pulpa, puede ser de forma manual o con un cortador motorizado.

3) Secado

Secar la pulpa de coco rallada o triturada a un contenido de humedad de 10-12% a una temperatura de 70-75°C usando un tipo de secador de aire caliente indirecto, secador directo o secado solar.

4) Extracción de Aceite

Extraer el aceite usando una prensa vertical de tipo tornillo operada de forma manual (prensa de puente).

5) Evaporación del Agua contenida en el Aceite

Como la extracción de aceite está hecha cuando la cantidad de humedad de la materia es relativamente alta, el secado del aceite es requerido para asegurar que toda la humedad residual es removida para prolongar la vida de anaquel del Aceite Virgen de Coco.

Nota: La tecnología original del Método de Extracción de Aceite a Baja Presión no incluye una etapa de secado del aceite (Instituto Nacional de Recursos). Sin embargo, parece necesario incluir esta etapa ya que existe la gran probabilidad que el agua en la pulpa parcialmente secada se retenga en el aceite durante la extracción, causando que el aceite se torne rancio rápidamente.

El secado del aceite puede ser realizado llevando el mismo a un baño María por aproximadamente 15 minutos a no más de 65°C.

6) Filtración del aceite

La filtración del aceite es realizada usando una bolsa de tela filtro de tres capas.

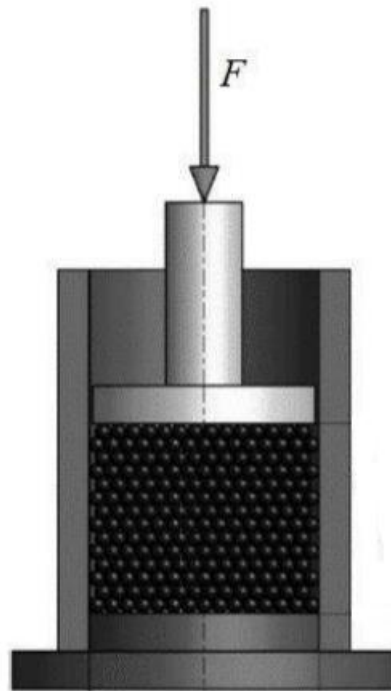
7) Empaquetado y almacenamiento

Empaque el aceite en una botella seca o en un contenedor para almacenamiento.

(FAO, Bawalan, & Chapman, 2006)

Se realizó la experimentación en laboratorio de ambos procedimientos de extracción mencionados: alta presión y baja presión, se utilizó para ello una prensa hidráulica con capacidad de hasta 6000 psi, puesto que fue descrito en un ensayo: “Prensado Hidráulico de semillas oleaginosas: determinación experimental, modelado del rendimiento y ritmo de prensado” por Willems P. Kuipers, N.J.M. & de Haan, A. 2008; la forma más común de procesar el aceite es el proceso de extracción de aceite en seco. Pulpa de coco seca y triturada prensada por una prensa de tornillo o prensa hidráulica para obtener aceite de coco. Los aceites vegetales obtenidos por prensado mecánico son caracterizados por su alta calidad y pueden ser usados para aplicaciones especiales. (Č. Mizera, 2019)

Figura 2- 11 Prensa hidráulica



(Č. Mizera, 2019)

Además de la prensa hidráulica, se utilizaron materiales y equipos distintos a los descritos en los procedimientos pero que cumplieron el objetivo de cada etapa del proceso.

En base a lo observado y señalado en los procesos de extracción descritos por la FAO, se decidió realizar una matriz de selección de proceso que se describe a continuación:

Tabla II- 4 Matriz de selección de proceso para la extracción de Aceite Virgen de Coco

PROCESO EVALUADO: EXTRACCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE COCO A ALTA PRESIÓN				
A	B	C	D	E
ASPECTOS EVALUADOS	%	CALIFICACIÓN	C/5	D*B
		0 = no aplica 1 = deficiente 3 = adecuado 5 = muy bueno		
Aplicabilidad del proceso a escala laboratorio	30	5	1	30
Rendimiento del aceite	40	5	1	40
Costos de equipo y material	15	3	0,6	9
Generación de residuos	2	3	0,6	1,2
Utilización de energía	5	3	0,6	3
Tiempo de trabajo por ensayo	3	3	0,6	1,8
Durabilidad del producto sin efectos de rancidez	5	5	1	5
Total	100			90
PROCESO EVALUADO: EXTRACCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE COCO A BAJA PRESIÓN				
A	B	C	D	E
ASPECTOS EVALUADOS	%	CALIFICACIÓN	C/5	D*B
		0 = no aplica 1 = deficiente 3 = adecuado 5 = muy bueno		
Aplicabilidad del proceso a escala laboratorio	30	5	1	30
Rendimiento del aceite	40	3	0,6	24
Costos de equipo y material	15	3	0,6	9
Generación de residuos	2	3	0,6	1,2
Utilización de energía	5	3	0,6	3
Tiempo de trabajo por ensayo	3	3	0,6	1,8
Durabilidad del producto sin efectos de rancidez	5	3	0,6	3
Total	100			72

Fuente: Elaboración propia

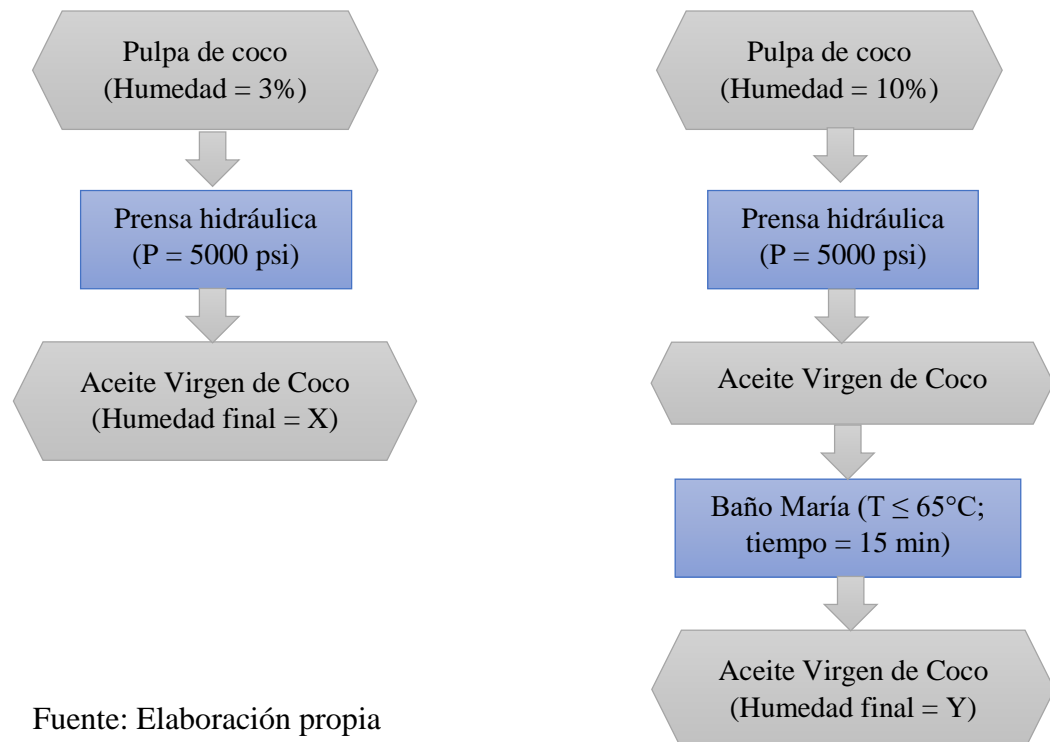
2.3.1. Método de Extracción del Aceite Virgen de Coco adoptado:

Una vez analizadas las características de los métodos comparados, de acuerdo a la matriz de selección, presenta mayores ventajas el método 1: Porcentaje de humedad = 3% y alta presión.

Pero, de acuerdo a la experimentación anterior surge la intriga de observar cómo afectan los procedimientos de secado a ambos procesos de extracción, es decir, para el método a alta presión se realiza un secado de la pulpa de coco previo al prensado, mientras que para el método 4 a baja presión se realiza un secado de la pulpa de coco previo al prensado y un secado del aceite extraído posterior al prensado.

Es por esto que se decide aplicar el método 1: Extracción de Aceite Virgen de Coco a alta presión con los valores de humedad de: 3% y 10%, así como también el proceso de secado del aceite que se extrae a partir de la pulpa de coco a 10% de humedad (no aplicable al aceite extraído a partir de pulpa de coco a 3%). Con el fin de observar la humedad final del aceite obtenido por ambos métodos.

Para una mejor comprensión se grafica ambos procesos a continuación:



2.4. Diseño factorial

En este apartado se discuten los resultados de un conjunto de experimentos realizados para analizar la influencia de las variables de operación más significativas.

Para seleccionar las condiciones de operación debe determinarse la influencia que una serie de variables independientes ejercen sobre las variables dependientes o respuestas seleccionadas. Esto implica la planificación, realización e interpretación de un determinado número de experimentos.

Una metodología adecuada para realizar este estudio es la basada en el uso del diseño factorial de experimentos. En este tipo de diseños se selecciona un número fijo de niveles para cada una de las variables o factores a estudiar, planificando los experimentos de forma que se realicen todas las combinaciones posibles de dichos niveles. Los resultados se interpretan a través de métodos estadísticos, lo que permite incrementar la eficiencia de la investigación, es decir, obtener el máximo de información con el mínimo número de experimentos.

Para la presente investigación se plantea un diseño de tipo: 2^3 , tres factores con dos niveles cada uno, para luego evaluar su influencia sobre la variable dependiente o respuesta.

2.4.1. Definición de variables

La extracción mecánica es uno de los métodos que actualmente está siendo utilizado para remover el aceite que contienen las semillas oleaginosas. Este aceite puede ser extraído mecánicamente mediante el uso de prensas hidráulica y de tornillo, prensa de múltiples capas y extractor de tornillo. El rendimiento del aceite utilizando este proceso es dependiente del diámetro de partícula, el contenido de humedad, la temperatura de calentamiento, el tiempo de calentamiento, la presión aplicada y el tiempo de prensado. (Khan and Hanna, 1983).

Carr (1997) sugirió que con la excepción de semillas muy pequeñas tales como sésamo, la reducción de las semillas oleaginosas a copos es esencial. El tamaño y

dureza de las semillas oleaginosas determina el número de etapas para la operación de descamación sin la cual se reduce el rendimiento del aceite. Generalmente piezas de tamaño más pequeño son mejores para la remoción del aceite, pero si las piezas son muy pequeñas, éstas pueden contaminar el aceite y ser más difíciles de remover del producto final. (Taylor and Francis, 2003).

Ward (1976) reportó que el calentamiento de las semillas oleaginosas después de la reducción de su tamaño, incrementa el rendimiento de aceite debido al rompimiento de las celdas de aceite, coagulación de proteína en la semilla lo cual hace que el aceite sea separable de la misma sin expulsión de fracción proteínica y disminuye la viscosidad del aceite, lo cual permite que el aceite fluya con mayor facilidad. Reportes de varios investigadores muestran que la temperatura y duración del calentamiento tiene un efecto significativo en el rendimiento del aceite. (Pominiski et al., 1970 y Bongirwar et al., 1997, Taylor y Francis, 1989).

De acuerdo a Anjou (1972) y Ohlson (1976) altas temperaturas y tiempo prolongado de calentamiento pueden tener efectos negativos en la calidad de aceite extraído y residuo de torta. Koo (1937) mostró que el rendimiento del aceite de las semillas oleaginosas fue directamente proporcional a la raíz cuadrada de la presión. En este estudio Ohlson (1976) concluyó en este estudio que las condiciones de proceso pueden tener un gran efecto en la calidad del aceite. (Adesina B. S., 2013)

Por otra parte, de acuerdo al artículo “Tecnologías para extracción de aceite a partir de productos agrícolas oleaginosos” en la Revista de Tecnología e Ingeniería Agrícola, extracción de aceite es el proceso de recuperación de aceite a partir de productos agrícolas oleaginosos mediante extracción manual, mecánica o química. Los productos agrícolas son clasificados en: semillas oleaginosas (algodón, ricino, girasol, etc), nueces (coco, maní, karité, etc) y frutas (palma).

Productos agrícolas oleaginosos necesitan pasar por un procesamiento preliminar para que las semillas o nueces estén listas para la extracción de aceite. Este procesamiento preliminar conduce a una extracción de aceite fácil y eficiente, involucra la remoción de la corteza y cáscara y un pre-tratamiento de

acondicionamiento que consta de: reducción de partículas, ajuste del contenido de humedad hasta un valor óptimo, tratamiento de calor y aplicación de presión. Estas actividades dependen de la naturaleza de la materia que contiene aceite, los métodos y aparatos a ser adoptados en la extracción de aceite.

El propósito de la reducción de tamaño es para exponer un área mayor de células que contienen aceite a la humedad y el calor durante el secado. Sin embargo, la excesiva reducción de tamaño no es deseada debido a que reduce la eficiencia de extracción. Rendimientos de aceite más altos fueron obtenidos por ejemplo a partir de muestras de partículas de cacahuets más gruesas comparadas con las muestras finas. (Ward, 1976; Adeeko y Ajibola 1994, y Hanna, 1984). Por otra parte, semillas de melón más finas condujeron a un rendimiento de aceite más alto que las muestras gruesas (Ajibola et al., 1990).

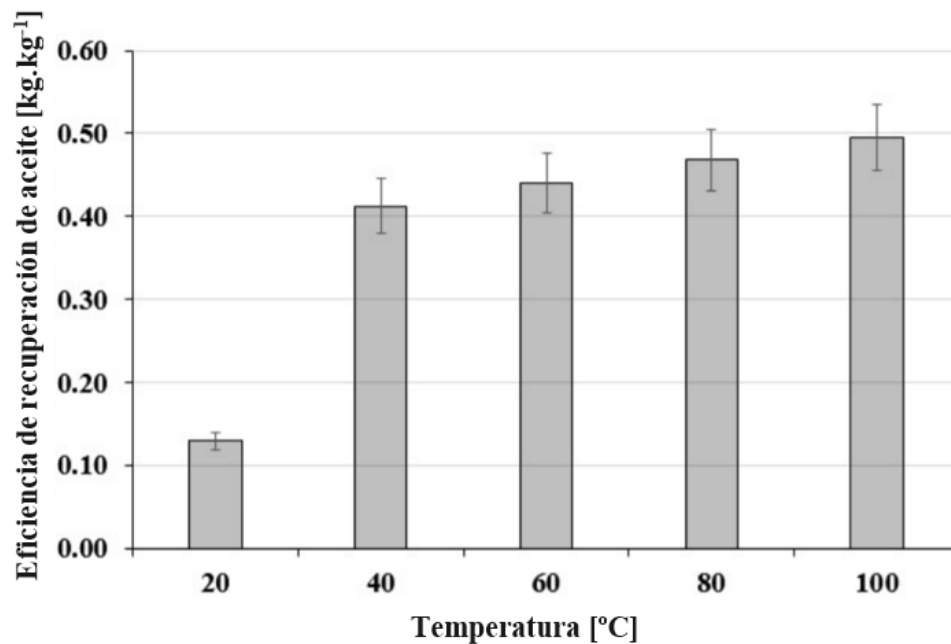
El contenido de humedad de las semillas es un factor importante que afecta el rendimiento y calidad del aceite extraído. Aceite más turbio es obtenido a partir de semillas con un nivel alto de humedad; por lo tanto, el ajuste de la humedad de la semilla es necesario antes del prensado. Por ejemplo, un contenido de humedad del 6% fue encontrado como el óptimo para la extracción de aceite a partir de semillas de nuez y girasol (Bongiwar et al., 1977; Singh et al., 1984).

Las semillas oleaginosas son sujetas a un tratamiento de calor en orden de reducir la viscosidad del aceite a ser extraído, coagula la proteína en la muestra y también ajusta el nivel de humedad de la muestra a un nivel óptimo de extracción Sivakurarah et al. (1985) reportaron que la temperatura de calentamiento, el tiempo de calentamiento y el contenido de humedad fueron factores interactivos que influyen en el rendimiento del aceite. Adeeko y Ajibola (1990) también observaron que un tiempo prolongado de temperatura de calentamiento por encima de los 25 minutos para muestras de cacahuete calentados a temperaturas por encima de los 90°C no mejoraron el rendimiento del aceite. La presión también ha mostrado tener un efecto significativo en rendimiento de aceite (Dedio y Dorrell, 1977; Adeeko y Ajibola, 1990). (Ibrahim1 & Onwualu, 2005)

Por último; de acuerdo al estudio “Prensado lineal de coco seco (*Cocos nucífera L.*) bajo diferentes temperaturas” realizado en la Universidad Checa de Ciencias de la Vida de Praga, en el que se describe el comportamiento de la pulpa seca de coco (*Cocos nucífera L.*) mediante el uso de una prensa hidráulica a diferentes niveles de temperatura.

De esta forma, la siguiente figura muestra la dependencia entre la eficiencia de recuperación del aceite y la temperatura de la pulpa prensada. A partir de dicha figura es evidente que, con el incremento de la temperatura también incrementa la cantidad del aceite obtenido.

Figura 2- 12 Eficiencia de recuperación de aceite en función a la Temperatura



Al prensar a 20°C se obtuvo 11,4 g de aceite de coco (del peso total 88g). Cuando la temperatura incrementó a 40°C, una cantidad de 36,3g de aceite fue obtenida. Puede ser visto a partir de la figura que la mayor diferencia ocurre cuando la temperatura alcanza 40°C. Cuando la temperatura incrementa por encima de los 40°C hay un incremento lineal de eficiencia de recuperación del aceite e inclusive una disminución en la energía mecánica específica.

En conclusión, el comportamiento de la compresión de pulpa seca de coco fue examinado a diferentes temperaturas de tratamiento calorífico. Los resultados mostraron que la temperatura óptima para el prensado de pulpa seca es alrededor de 40°C. (Č. Mizera, 2019)

En base a la información recolectada, se optó por seleccionar las variables: Diámetro de partícula, contenido de humedad y temperatura de prensado como variables independientes para el diseño factorial.

Por otra parte, la variable respuesta elegida es el rendimiento, el cual representa la relación entre la cantidad de aceite extraído a partir del coco mediante prensado y la cantidad de aceite total que contiene la muestra de pulpa de coco que se utiliza en el proceso.

Es debido a esto que el rendimiento es considerado la variable dependiente ya que en base a éste se conoce si el proceso fue realizado de forma correcta, si la tecnología y métodos se aplicaron de manera que se obtuvo una cantidad considerable de producto con respecto a la cantidad teórica que debería ser obtenida de forma ideal.

Los niveles o valores que adoptarán las variables independientes fueron adicionados en base a la revisión bibliográfica y experimentación en laboratorio realizada por la tesista; de esta forma se tiene:

Tabla II- 5 Definición de variables: Diseño factorial 2³

Variable Respuesta	Variables Independientes	Niveles
Rendimiento del aceite obtenido (%)	Diámetro de Partícula de la pulpa de coco (mm)	2 y 5
	Humedad de la pulpa de coco (%)	3 y 10
	Temperatura de Prensado (°C)	30 y 40

Fuente: Elaboración propia

Para una correcta validación de los resultados, se deberá realizar la repetición de los ensayos, de esta forma se tendrán 16 en total.

Tabla II- 6 Dominio Experimental

Factores	Dominio Experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
Diámetro de Partícula de la pulpa de coco (mm)	2	5
Humedad de la pulpa de coco (%)	3	10
Temperatura de Prensado (°C)	30	40

Fuente: Elaboración propia

Tabla II- 7 Diseño Experimental

Ensayo	X ₁	X ₂	X ₃	Y: RESPUESTA
1	-1	-1	-1	
2	1	-1	-1	
3	-1	1	-1	
4	1	1	-1	
5	-1	-1	1	
6	1	-1	1	
7	-1	1	1	
8	1	1	1	
9	-1	-1	-1	
10	1	-1	-1	
11	-1	1	-1	
12	1	1	-1	
13	-1	-1	1	
14	1	-1	1	
15	-1	1	1	
16	1	1	1	

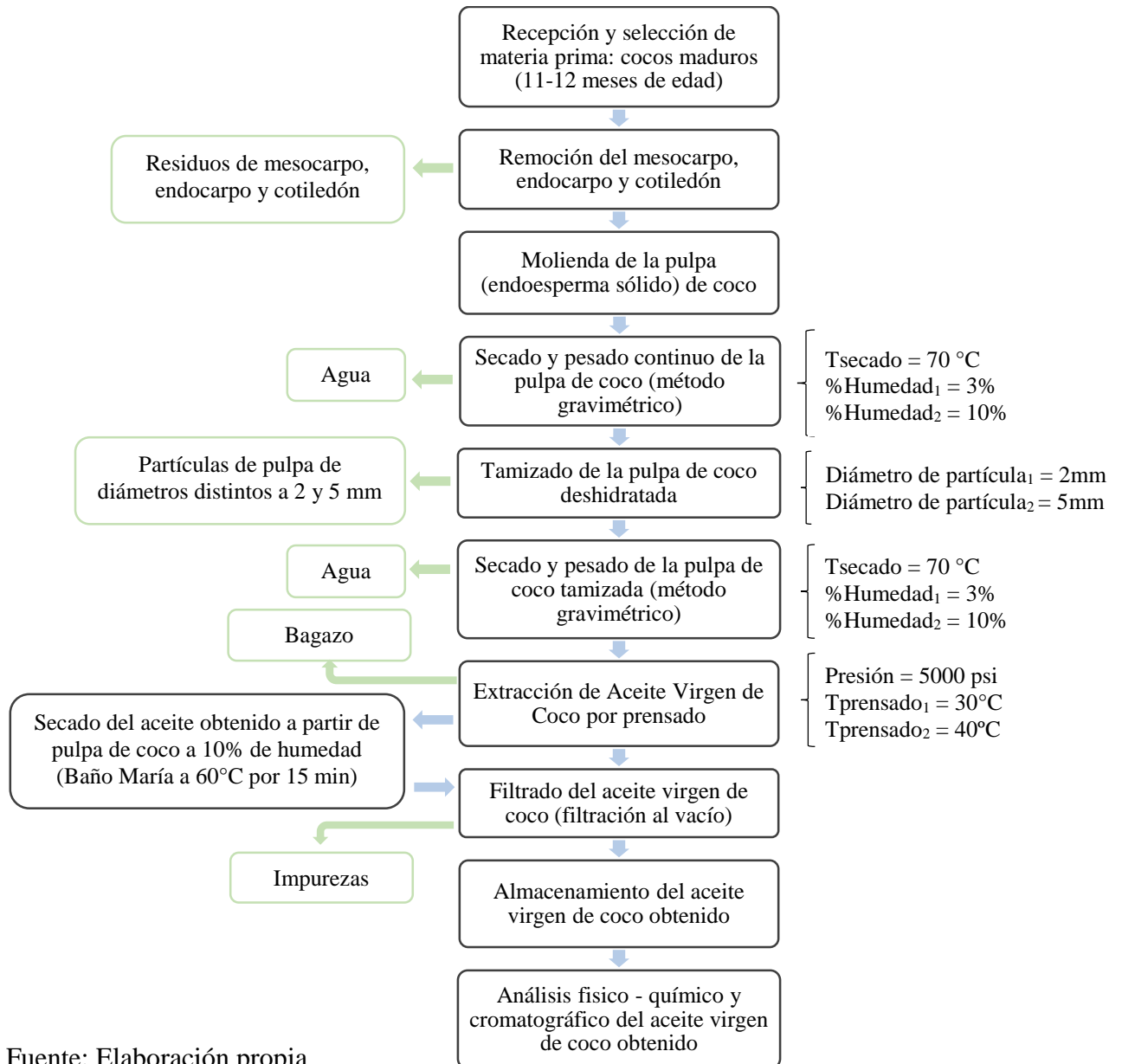
Fuente: Elaboración propia

2.5. Procedimientos y Técnicas empleados para la obtención de resultados

De acuerdo al método de obtención de aceite seleccionado anteriormente, se diseñó un proceso acorde a las circunstancias de disponibilidad de materiales y equipos en

el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU – UAJMS), de esta forma el proceso aplicado para la obtención de Aceite Virgen de Coco a escala laboratorio es el siguiente:

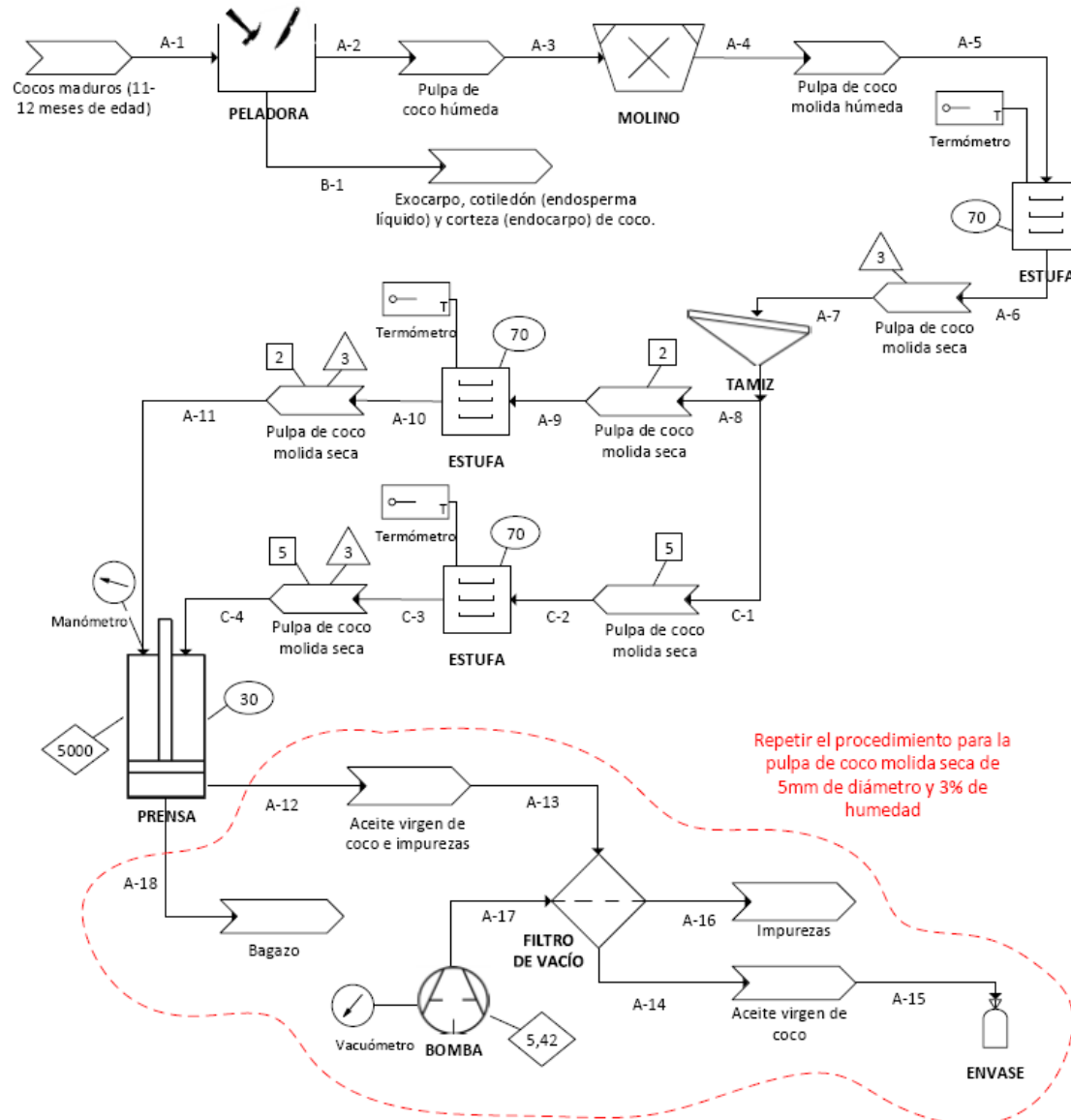
Figura 2- 13 Proceso de Obtención de Aceite Virgen de Coco en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU - UAJMS)



Método gravimétrico: Consiste en la medición de la pérdida de peso de una muestra debido a la evaporación de agua, el proceso puede efectuarse en una estufa con circulación forzada de aire, a presión atmosférica o al vacío.

2.5.1. Diagrama de Proceso Experimental.

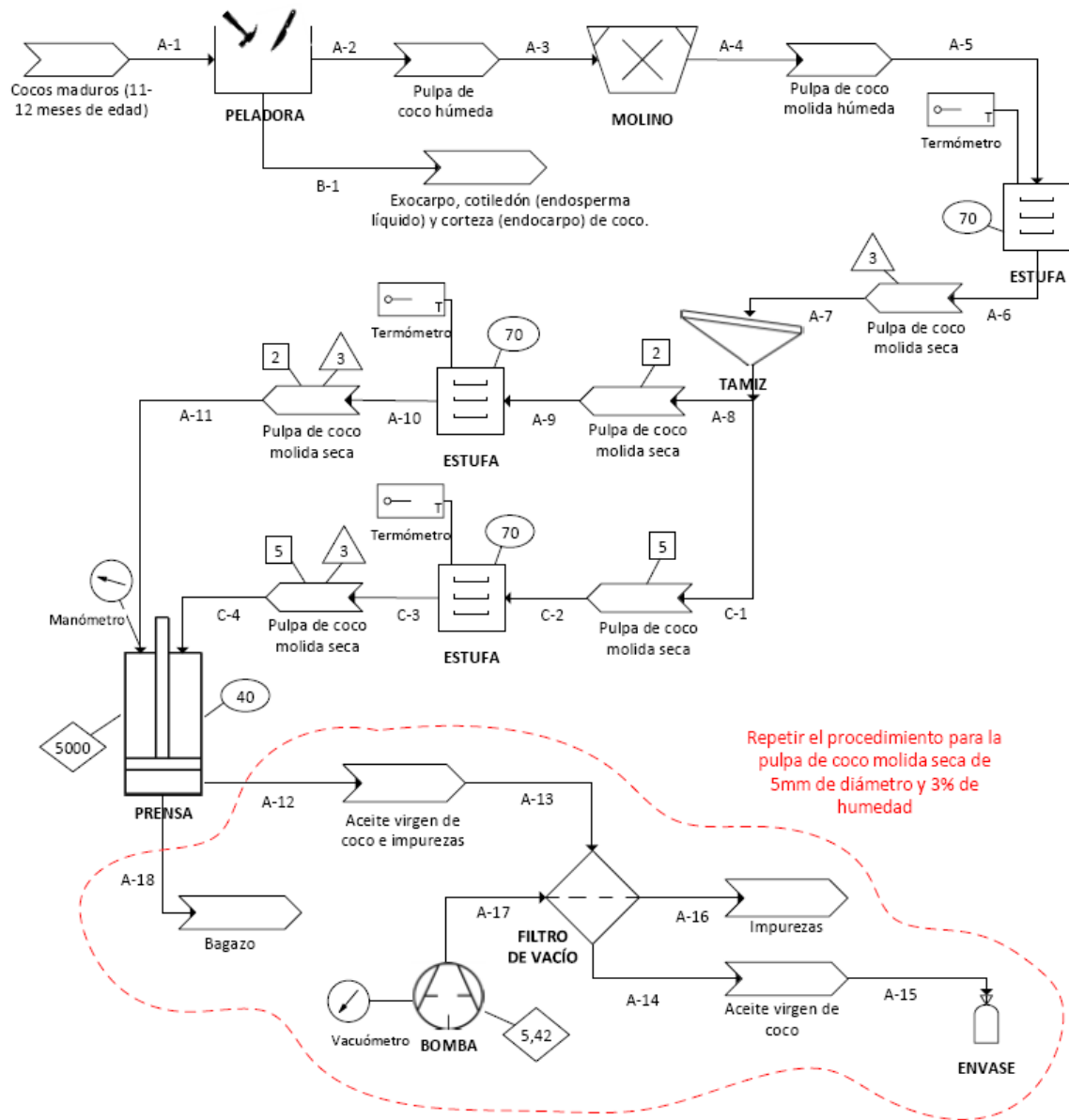
Figura 2- 14 Proceso de Extracción de Aceite Virgen de Coco (Diámetro de partícula = 2 y 5 mm ; Humedad = 3% ; Temperatura de prensado = 30°C)



CUADRO REFERENCIAL	
○	Temperatura (°C)
□	Diámetro de partícula (mm)
△	Humedad (%)
◇	Presión (psi)
→	Conector

Corrientes	Características
A	Extracción de aceite a partir de pulpa de coco (diámetro de partícula = 2 mm, humedad del coco = 3%)
B	Residuos restantes a partir del pelado
C	Extracción de aceite a partir de pulpa de coco (diámetro de partícula = 5 mm, humedad del coco = 3%)

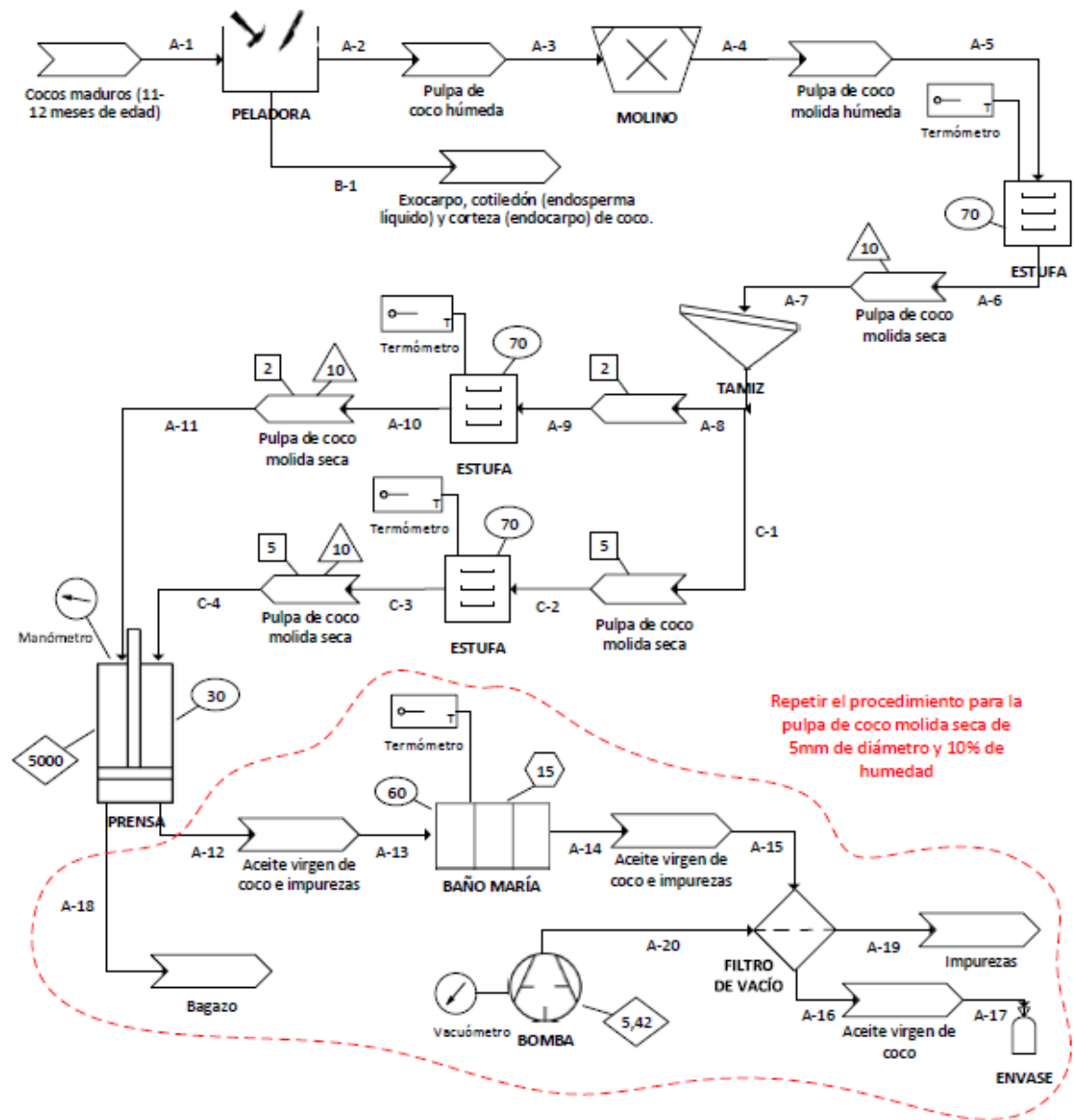
Figura 2- 15 Proceso de Extracción de Aceite Virgen de Coco (Diámetro de partícula = 2 y 5 mm ; Humedad = 3 % ; Temperatura de prensado = 40°C)



CUADRO REFERENCIAL	
○	Temperatura (°C)
□	Diámetro de partícula (mm)
△	Humedad (%)
◇	Presión (psi)
→	Conector

Corrientes	Características
A	Extracción de aceite a partir de pulpa de coco (diámetro de partícula = 2 mm, humedad del coco = 3%)
B	Residuos restantes a partir del pelado
C	Extracción de aceite a partir de pulpa de coco (diámetro de partícula = 5 mm, humedad del coco = 3%)

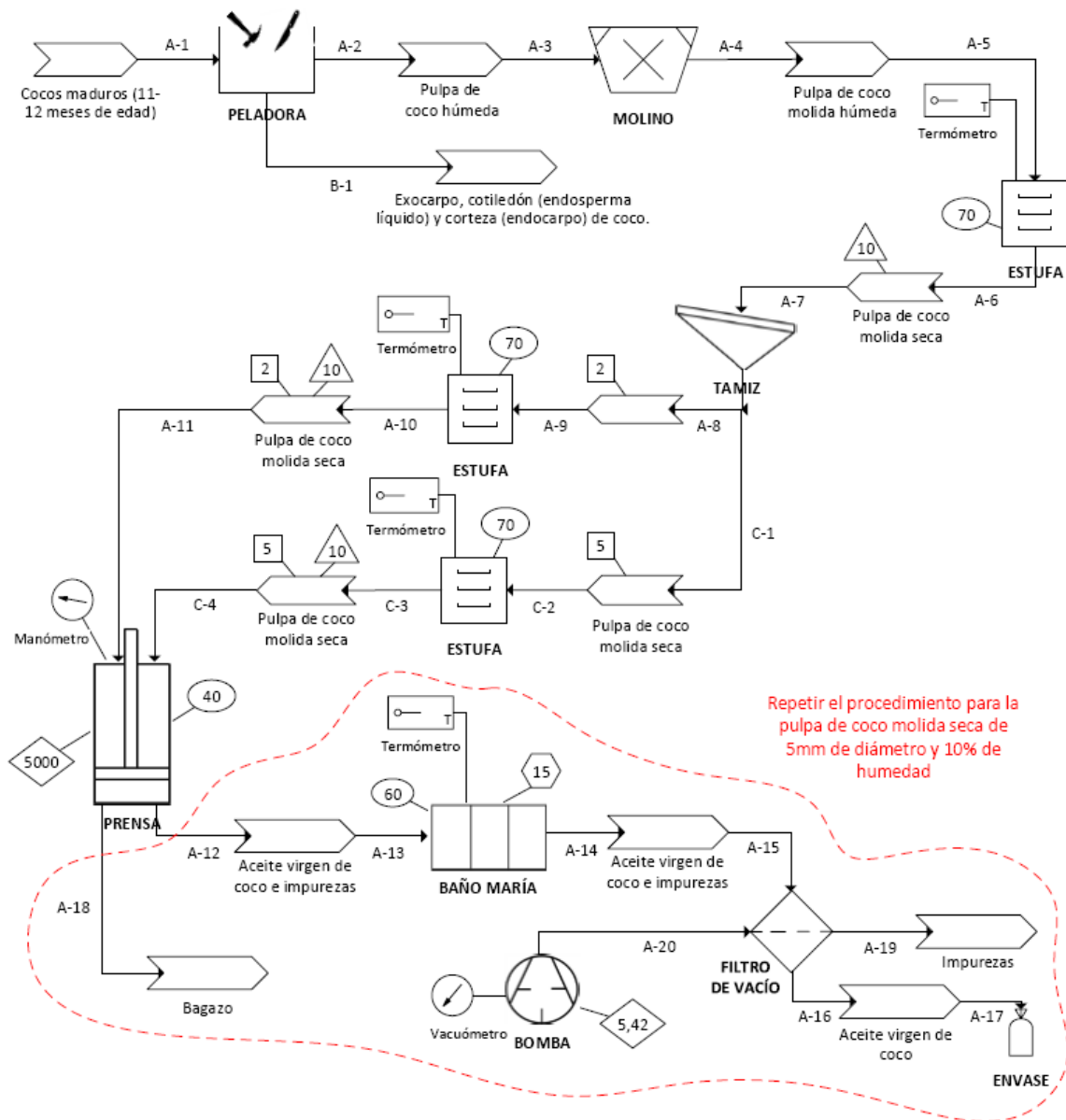
Figura 2- 16 Proceso de Extracción de Aceite de Coco (Diámetro de partícula = 2 y 5 mm ; Humedad = 10% ; Temperatura de prensado = 30°C)



CUADRO REFERENCIAL	
○	Temperatura (°C)
□	Diámetro de partícula (mm)
△	Humedad (%)
◇	Presión (psi)
⬡	Tiempo (min)
→	Conector

Corrientes	Características
A	Extracción de aceite a partir de pulpa de coco (diámetro de partícula = 2 mm, humedad del coco = 10%)
B	Residuos restantes a partir del pelado
C	Extracción de aceite a partir de pulpa de coco (diámetro de partícula = 5 mm, humedad del coco = 10%)

Figura 2- 17 Proceso de Extracción de Aceite Virgen de coco (Diámetro de partícula = 2 y 5 mm ; Humedad =10% ; Temperatura de prensado = 40°C



CUADRO REFERENCIAL	
○	Temperatura (°C)
□	Diámetro de partícula (mm)
△	Humedad (%)
◇	Presión (psi)
⬡	Tiempo (min)
→	Conector

Corrientes	Características
A	Extracción de aceite a partir de pulpa de coco (diámetro de partícula = 2 mm, humedad del coco = 10%)
B	Residuos restantes a partir del pelado
C	Extracción de aceite a partir de pulpa de coco (diámetro de partícula = 5 mm, humedad del coco = 10%)

2.6. Procedimiento Experimental

1. Remoción de la cáscara, corteza y agua de coco separándolos para así obtener la pulpa de coco fresca que va a ser utilizada para la extracción del Aceite Virgen de Coco.



2. Molienda de la pulpa de coco en un molino manual de gusano.



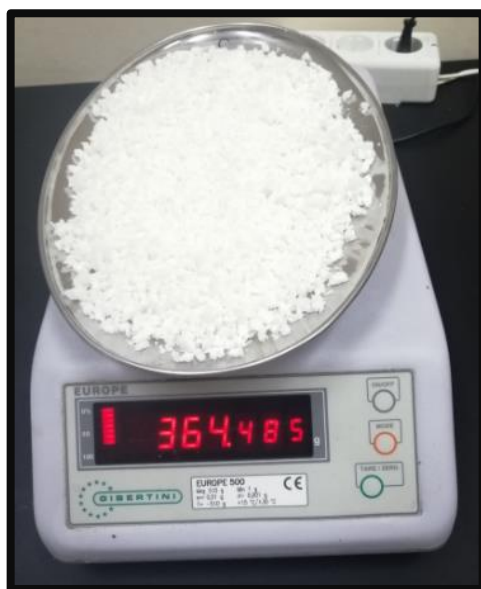
3. Pesado de las bandejas a utilizar para el secado de la pulpa molida de coco.



4. Una vez molida la pulpa de coco fresca, se toma una pequeña muestra de 2 gramos de la misma y se lleva a una termo-balanza en la cual se identificará el porcentaje de humedad total de ésta (muestreo).



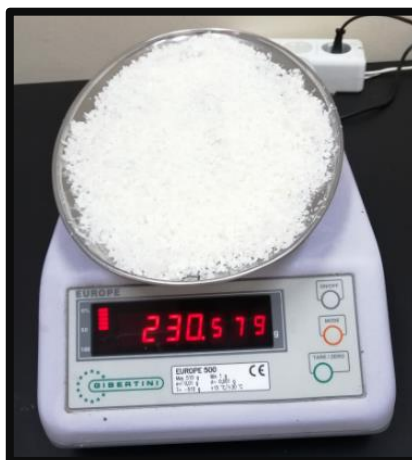
5. Pesado de la pulpa de coco húmeda en las bandejas pesadas previamente.



6. Secado de la pulpa de coco a 70°C en una estufa por convección forzada.



7. Pesado continuo de la pulpa de coco deshidratada hasta obtener una humedad de muestra de 3% y 10%, por medio del método gravimétrico, es decir se calcula la humedad que ha perdido la muestra mediante peso de las bandejas con muestra.



8. Tamizado de la pulpa de coco deshidratada y molida en un tamiz vibratorio utilizando tamices de 1, 2, 4 y 5 mm a intensidad: 1 en 10 minutos. Separando las partículas de pulpa de coco seca de 2 y 5 mm de diámetro de acuerdo al diseño factorial establecido.





Pulpa de coco deshidratada de
5 mm de diámetro

Pulpa de coco deshidratada de
2 mm de diámetro

9. Una vez separada la pulpa seca de coco en los dos diámetros requeridos, se realiza nuevamente un muestreo para encontrar la humedad total de las partículas de 2mm y 5mm por medio de la termo-balanza.

Humedad total de las partículas de 5mm
después del secado en estufa y tamizado.



Ensayo al 3% de
humedad de muestra



Humedad total de las partículas de 2mm después del secado en estufa y tamizado.



Ensayo al 10% de humedad de muestra

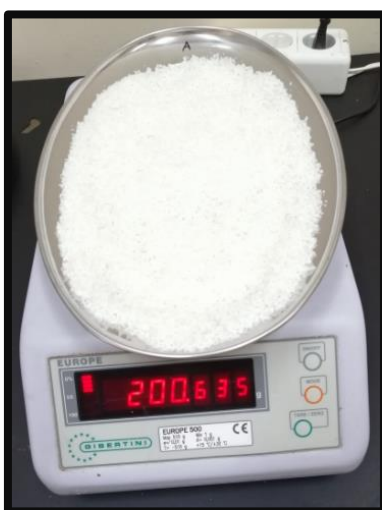


De acuerdo al método gravimétrico empleado anteriormente mediante secado en estufa y pesado de muestras, la humedad de las partículas de 2mm y 5mm debiera ser de 3% para ambas y 10% también para ambas de acuerdo al diseño factorial planteado, pero ya que en la muestra fresca inicial molida se encuentran partículas de varios diámetros esta etapa de determinación de humedad total posterior al tamizado es necesaria para el ajuste de humedad requerido de la muestra a 2mm y 5mm de diámetro.

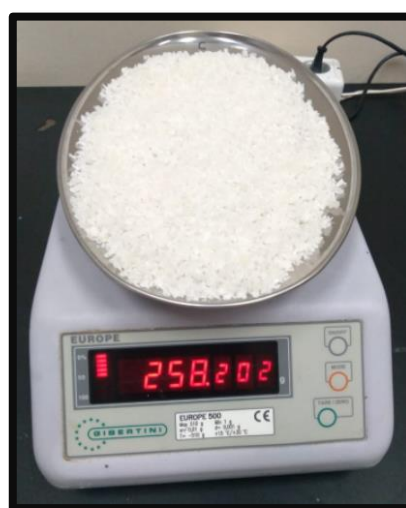
Mientras se ajusta la humedad de una de las muestras y se procede al prensado de la misma es necesario mantener la otra muestra en un desecador para evitar que varíe su humedad debido a las condiciones ambientales, antes de llevar dicha muestra a termo-balanza.



10. Secado y pesado de la pulpa de coco de 2mm y 5 mm hasta que ambas presenten las humedades de 3% y 10% de acuerdo al diseño factorial establecido.



Pulpa de coco molida seca de 2mm de diámetro.



Pulpa de coco molida seca de 5mm de diámetro.

11. Prensado de la pulpa de coco deshidratada, molida y tamizada en una prensa hidráulica (Presión máxima aplicada = 5000 psi), con la aplicación de calor externo por medio de una pistola de aire, calentando el cilindro que compone la prensa y donde se coloca la muestra, hasta que la temperatura interna del cilindro sea 30°C y 40°C de acuerdo al ensayo realizado y el diseño factorial establecido, controlando los valores de temperatura mediante el uso de un termómetro de contacto. Éste procedimiento se realizó por 5 minutos, 2 veces para cada ensayo con el fin de extraer la mayor cantidad de aceite posible.



Vertido de la muestra molida, tamizada, seca al interior del cilindro para proceder al prensado de la misma.



Muestra seca de 2 mm de diámetro.



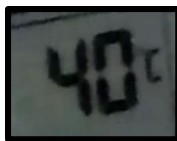
Muestra seca de 5mm de diámetro.



P = 5000 psi



Temperatura interna del cilindro



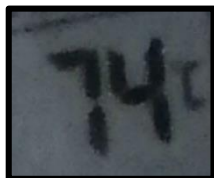
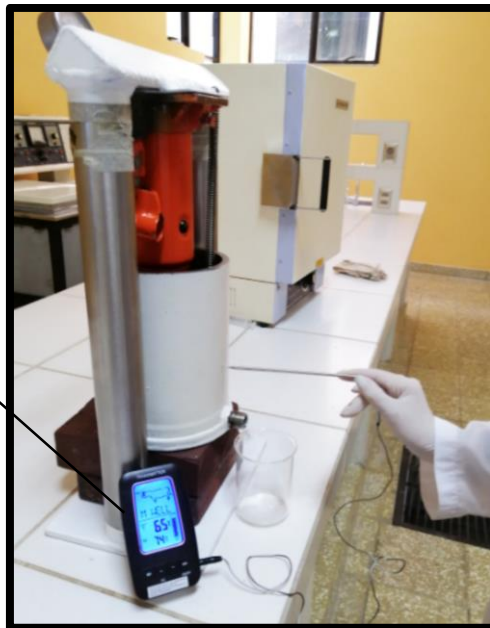
Temperatura interna del cilindro





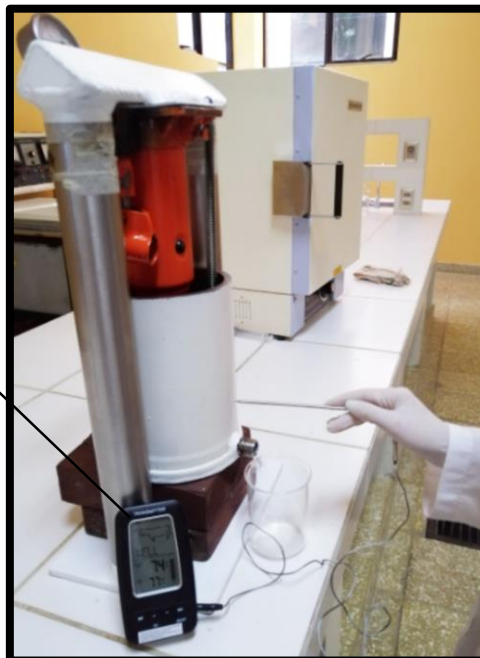
65°C

Temperatura externa
del cilindro cuando la
temperatura interna
es de 30°C



74°C

Temperatura externa
del cilindro cuando la
temperatura interna
es de 40°C

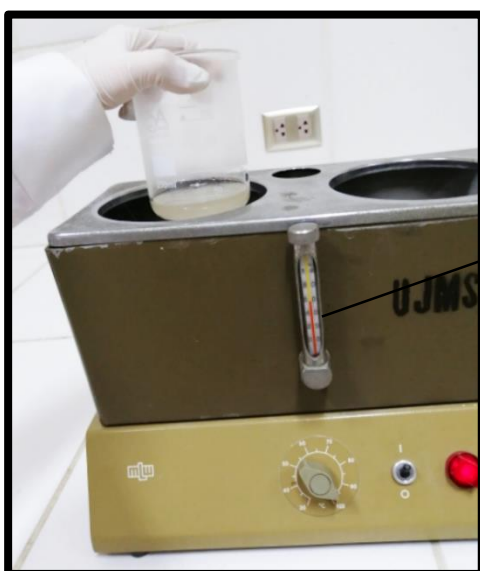


12. Aceite virgen de coco obtenido.

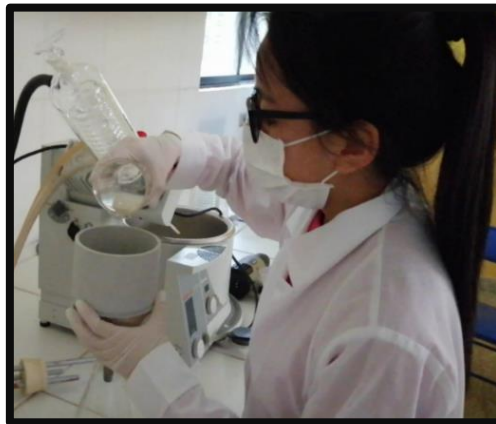


13. Evaporación del agua contenida en el aceite en baño María a 60°C durante 15 minutos.

Nota: Este procedimiento se realiza únicamente con el aceite extraído a partir de las muestras de pulpa de coco que presentan una humedad de 10%.



14. Filtración del aceite de coco mediante el método al vacío.



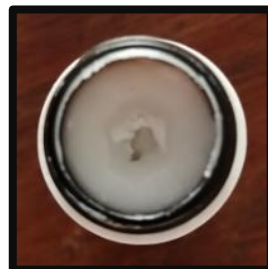
Pbomba = 28 cmHg = 11 pulgHg = 5,42 psi



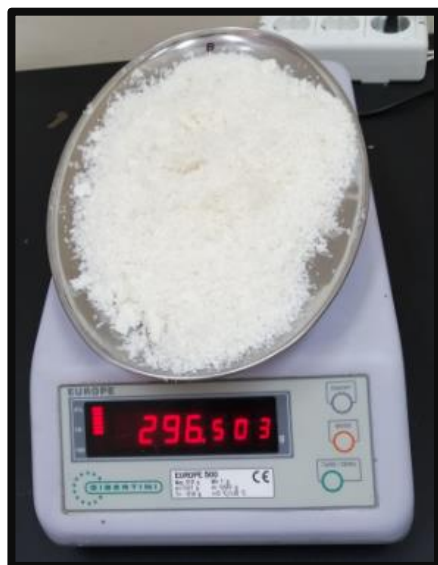


Aceite de coco filtrado

15. Envasado y pesado del aceite obtenido.



16. Pesado del bagazo e impurezas.



Bagazo



Impurezas

2.6.1. Datos y Cálculos

Una vez finalizado el procedimiento experimental de extracción de Aceite Virgen de Coco, se procede a realizar los cálculos de humedad, rendimiento, utilizando los datos obtenidos para cada uno de los ensayos del Proceso Experimental a escala laboratorio (Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU – UAJMS):

Tabla II- 8 Ensayos realizados en el Proceso Experimental

Muestra	Diámetro partícula	Humedad	Temperatura
A	2 mm	3%	30°C
B	5 mm	3%	30°C
C	2 mm	10%	30°C
D	5 mm	10%	30°C
E	2 mm	3%	40°C
F	5 mm	3%	40°C
G	2 mm	10%	40°C
H	5 mm	10%	40°C
I	2 mm	3%	30°C
J	5 mm	3%	30°C
K	2 mm	10%	30°C
L	5 mm	10%	30°C
M	2 mm	3%	40°C
N	5 mm	3%	40°C
O	2 mm	10%	40°C
P	5 mm	10%	40°C

Fuente: Elaboración propia

2.6.1.1. Determinación de la humedad final de la muestra

Se realizó la determinación de la humedad final de la muestra mediante el secado y pesado de la misma (método gravimétrico) hasta obtener valores aproximados a los establecidos en el diseño factorial: 3% y 10%.

Tabla II- 9 Determinación de la humedad final de la muestra (método gravimétrico)

Ensayo	Muestra	Masa					Humedad			
		Plato vacío (g)	Plato + muestra fresca (g)	Muestra fresca (g)	Plato + muestra seca (g)	Muestra seca (g)	Total de muestra (%)	Extraída (%)	Extraída promedio (%)	Final de muestra (%)
I - II	A	115,142	236,251	121,109	183,298	68,156	47,06	43,72	43,83	3,23
	B	113,739	254,751	141,012	192,783	79,044		43,95		
	C	115,939	248,398	132,459	190,415	74,476		43,77		
	D	114,030	242,172	128,142	185,923	71,893		43,90		
III - IV	A	115,502	294,078	178,576	223,573	108,071	49,71	39,48	39,43	10,28
	B	113,939	309,435	195,496	233,121	119,182		39,04		
	C	114,366	298,112	183,746	225,439	111,073		39,55		
	D	116,229	301,379	185,150	228,027	111,798		39,62		
	E	76,731	215,932	139,201	161,005	84,274		39,46		
V - VI	A	115,139	328,287	213,148	238,068	122,929	45,46	42,33	42,24	3,22
	B	113,731	312,034	198,303	228,129	114,398		42,31		
	C	114,022	364,485	250,463	258,757	144,735		42,21		
	D	116,288	313,658	197,370	230,579	114,291		42,09		
VII - VIII	A	115,136	278,067	162,931	215,863	100,727	48,96	38,18	38,43	10,53
	B	113,724	276,928	163,204	214,179	100,455		38,45		
	C	115,949	274,955	159,006	214,039	98,090		38,31		
	D	114,042	311,337	197,295	234,785	120,743		38,80		
IX - X	A	113,735	221,896	108,161	175,412	61,677	46,26	42,98	42,98	3,28
	B	115,146	258,943	143,797	197,113	81,967		43,00		
	C	115,979	236,567	120,588	184,822	68,843		42,91		
	D	114,027	217,224	103,197	172,794	58,767		43,05		
XI - XII	A	115,311	294,843	179,532	228,723	113,412	46,94	36,83	36,67	10,27
	B	113,924	266,762	152,838	210,884	96,960		36,56		
	C	115,930	278,175	162,245	218,461	102,531		36,80		
	D	114,238	274,184	159,946	215,823	101,585		36,49		
XIII - XIV	A	113,742	256,297	142,555	193,245	79,503	47,52	44,23	44,25	3,27
	B	114,358	232,835	118,477	180,364	66,006		44,29		
	C	115,754	280,277	164,523	207,263	91,509		44,38		
	D	116,051	253,724	137,673	193,134	77,083		44,01		
	E	76,711	238,562	161,851	166,785	90,074		44,35		
XV - XVI	A	115,142	249,476	134,334	198,072	82,930	48,45	38,27	38,19	10,26
	B	113,905	229,127	115,222	185,334	71,429		38,01		
	C	115,978	243,228	127,250	194,636	78,658		38,19		
	D	114,022	235,482	121,460	188,976	74,954		38,29		

Fuente: Elaboración propia

Fórmulas utilizadas:

- Determinación de Masa de muestra fresca:

$$M_{muestra\ fresca} = M_{plato + muestra\ fresca} - M_{plato\ vacío}$$

- Determinación de Masa de muestra seca:

$$M_{muestra\ seca} = M_{plato + muestra\ seca} - M_{plato\ vacío}$$

- Determinación de Humedad final de la muestra - Método Gravimétrico:

$$\% \text{ Humedad extraída} = \left(\frac{\text{Masa de muestra fresca} - \text{Masa de muestra seca}}{\text{Masa de muestra fresca}} \right) * 100 \%$$

$$\% \text{ Humedad requerida de muestra} = \% \text{ Humedad total de muestra} - \% \text{ Humedad extraída}$$

2.6.1.2. Determinación de la humedad extraída de la muestra (hasta lograr una humedad final residual igual a 3%) en función del tiempo.

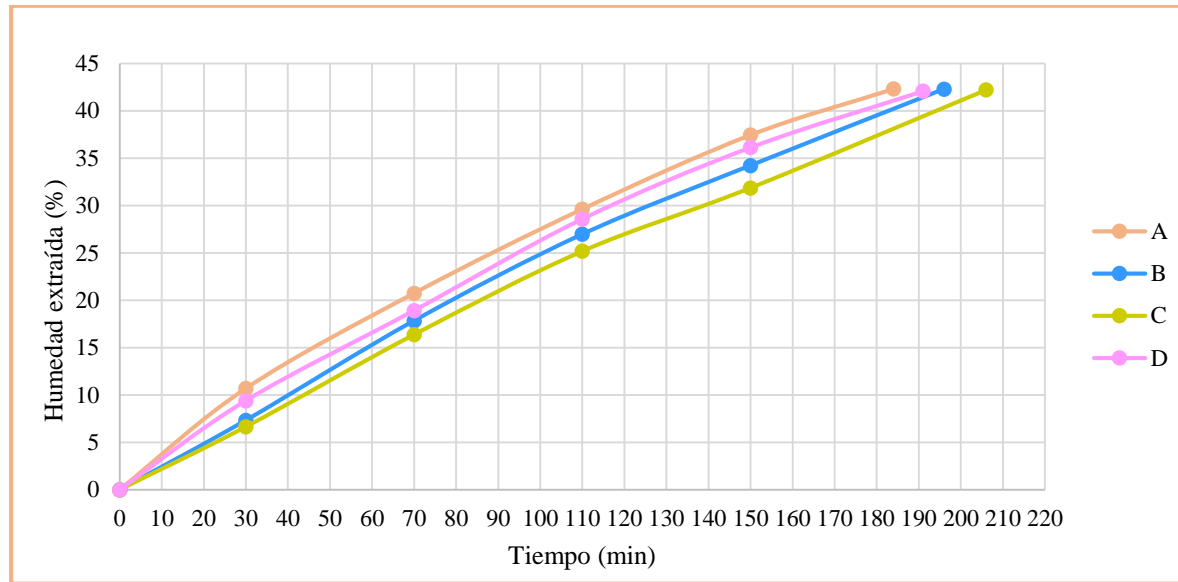
El proceso de secado y pesado de la muestra se realizó en intervalos de tiempo de 40 minutos a partir de 30 minutos iniciales transcurridos, mientras que el último intervalo de tiempo no fue establecido ni calculado previamente, sino que está en función al peso final de la muestra con el cual se logra la humedad requerida (3%).

Tabla II- 10 Determinación de la humedad extraída de la muestra (hasta lograr una humedad final residual igual a 3%) en función del tiempo

Ensayo	Muestra	Masa													Humedad extraída (%)					Tiempo (min)				
		Plato vacío (g)	Plato + muestra fresca (g)	Muestra fresca (g)	Plato + muestra seca (g)					Muestra seca (g)					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5										
V - VI	A	115,139	328,287	213,148	305,496	284,052	265,128	248,435	238,068	190,357	168,913	149,989	133,296	122,929	10,693	20,753	29,632	37,463	42,327	30	70	110	150	184
	B	113,731	312,034	198,303	297,513	276,656	258,545	244,141	228,129	183,782	162,925	144,814	130,410	114,398	7,322	17,840	26,974	34,237	42,312	30	70	110	150	196
	C	114,022	364,485	250,463	347,853	323,475	301,404	284,661	258,757	233,831	209,453	187,382	170,639	144,735	6,641	16,374	25,186	31,870	42,213	30	70	110	150	206
	D	116,288	313,658	197,37	295,101	276,311	257,223	242,315	230,579	178,813	160,023	140,935	126,027	114,291	9,402	18,922	28,594	36,147	42,093	30	70	110	150	191

Fuente: Elaboración propia

Figura 2- 18 Tiempo vs Humedad extraída



Fuente: Elaboración propia

2.6.1.3. Determinación de la humedad extraída de la muestra (hasta lograr una humedad final residual igual a 10%) en función del tiempo.

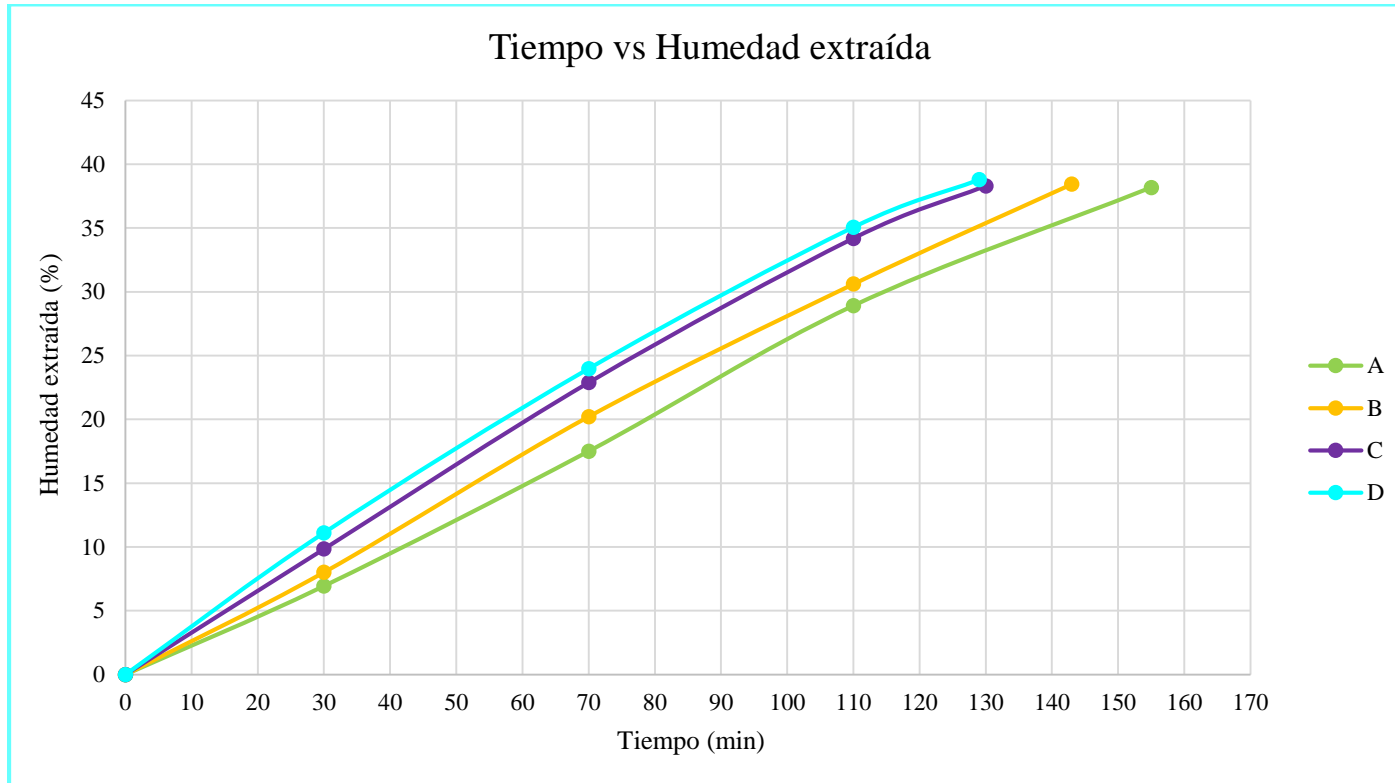
El proceso de secado y pesado de la muestra se realizó en intervalos de tiempo de 40 minutos a partir de 30 minutos iniciales transcurridos, mientras que el último intervalo de tiempo no fue establecido ni calculado previamente, sino que está en función al peso final de la muestra con el cual se logra la humedad requerida (10%).

Tabla II- 11 Determinación de la humedad extraída de la muestra (hasta lograr una humedad final residual igual a 10%) en función del tiempo

Ensayo	Muestra	Masa											Humedad extraída (%)				Tiempo (min)			
		Plato vacío (g)	Plato + muestra fresca (g)	Muestra fresca (g)	Plato + muestra seca (g)				Muestra seca (g)				1	2	3	4	1	2	3	4
					1	2	3	4	1	2	3	4								
VII - VIII	A	115,136	278,067	162,931	266,762	249,553	230,959	215,863	151,626	134,417	115,823	100,727	6,938	17,500	28,913	38,178	30	70	110	155
	B	113,724	276,928	163,204	263,849	243,927	226,969	214,179	150,125	130,203	113,245	100,455	8,014	20,221	30,611	38,448	30	70	110	143
	C	115,949	274,955	159,006	259,312	238,568	220,582	214,039	143,363	122,619	104,633	98,09	9,838	22,884	34,196	38,311	30	70	110	130
	D	114,042	311,337	197,295	289,412	264,015	242,141	234,785	175,370	149,973	128,099	120,743	11,113	23,986	35,072	38,801	30	70	110	129

Fuente: Elaboración propia

Figura 2- 19 Tiempo vs Humedad extraída



Fuente: Elaboración propia

2.6.1.4. Determinación de la humedad final de la muestra.

Posterior al proceso de tamizado de las muestras de coco deshidratadas se procede a la realización de un ajuste de la humedad de dichas muestras ahora separadas por diámetros (2 mm y 5 mm) para que cumplan con las condiciones establecidas en el diseño factorial (humedad = 3% y 10%).

Tabla II- 12 Determinación de la humedad final de la muestra

Ensayo	Muestra	Masa						Humedad		
		Plato vacío (g)	Plato + muestra inicial seca (g)	Muestra inicial seca (g)	Plato + muestra final seca (g)	Muestra final seca (g)	Total muestra final seca (g)	Total de la muestra (%)	Extraída (%)	Final de la muestra (%)
I	A	114,249	211,718	97,469	210,131	95,882	135,631	4,74	1,63	3,11
	B	53,096	93,484	40,388	92,845	39,749			1,58	3,16
II	A	114,018	211,468	97,450	209,352	95,334	141,795	5,22	2,17	3,05
	B	76,704	124,153	47,449	123,165	46,461			2,08	3,14
III	A	115,392	229,627	114,235	222,035	106,643	245,791	17,17	6,65	10,52
	B	113,936	218,388	104,452	211,232	97,296			6,85	10,32
	C	53,092	97,907	44,815	94,944	41,852			6,61	10,56
IV	A	114,119	258,202	144,083	252,421	138,302	251,063	14,35	4,01	10,34
	B	116,037	233,609	117,572	228,798	112,761			4,09	10,26
V	A	115,117	200,635	85,518	196,282	81,165	225,233	8,49	5,09	3,40
	B	113,774	221,450	107,676	215,946	102,172			5,11	3,38
	C	53,088	97,353	44,265	94,984	41,896			5,35	3,14
VI	A	114,167	241,523	127,356	235,272	121,105	232,964	7,97	4,91	3,06
	B	115,992	233,534	117,542	227,851	111,859			4,83	3,14
VII	A	113,829	218,173	104,344	212,811	98,982	203,323	15,87	5,14	10,73
	B	114,132	224,564	110,432	218,473	104,341			5,52	10,35
VIII	A	113,852	239,892	126,040	235,506	121,654	189,737	13,63	3,48	10,15
	B	76,702	147,178	70,476	144,785	68,083			3,40	10,23
IX	A	115,989	211,426	95,437	209,038	93,049	160,150	5,73	2,50	3,23
	B	113,322	182,127	68,805	180,423	67,101			2,48	3,25
X	A	114,031	176,524	62,493	175,426	61,395	97,250	4,82	1,76	3,06
	B	76,718	113,136	36,418	112,573	35,855			1,55	3,27
XI	A	115,146	246,361	131,215	238,244	123,098	240,952	16,65	6,19	10,46
	B	115,982	241,852	125,870	233,836	117,854			6,37	10,28
XII	A	114,024	194,312	80,288	191,076	77,052	138,994	14,23	4,03	10,20
	B	113,905	178,345	64,440	175,847	61,942			3,88	10,35
XIII	A	115,124	212,546	97,422	209,118	93,994	221,305	6,86	3,52	3,34
	B	114,036	204,420	90,384	201,126	87,090			3,64	3,22
	C	53,103	94,875	41,772	93,234	40,221			3,71	3,15
XIV	A	113,779	207,547	93,768	203,756	89,977	144,201	7,24	4,04	3,20
	B	76,683	133,239	56,556	130,907	54,224			4,12	3,12
XV	A	115,117	213,315	98,198	208,883	93,766	178,693	14,76	4,51	10,25
	B	113,923	202,823	88,900	198,850	84,927			4,47	10,29
XVI	A	115,924	186,346	70,422	184,762	68,838	108,571	12,58	2,25	10,33
	B	53,581	94,257	40,676	93,314	39,733			2,32	10,26

Fuente: Elaboración propia

2.6.1.5. Determinación del rendimiento del Aceite Virgen de Coco para cada ensayo realizado.

Una vez realizado el proceso de extracción se calcula la masa del Aceite Virgen de Coco obtenido y la masa de bagazo resultante.

Tabla II- 13 Determinación de la masa de Aceite Virgen de Coco obtenido y Masa de bagazo producido después del proceso de prensado

Ensayo	Masa						
	Muestra inicial seca (g)	Vaso vacío (g)	Vaso + aceite + impurezas (g)	Aceite + impurezas (g)	Plato vacío (g)	Plato + bagazo (g)	Bagazo (g)
I	135,631	102,355	139,541	37,186	114,252	209,169	94,917
II	141,795	103,398	133,478	30,080	114,023	222,027	108,004
III	245,791	102,353	161,832	59,479	113,938	296,503	182,565
IV	251,063	102,310	137,584	35,274	114,122	323,120	208,998
V	225,233	102,352	167,622	65,270	115,120	265,787	150,667
VI	232,964	104,389	161,087	56,698	115,995	300,368	184,373
VII	203,323	102,636	157,861	55,225	113,831	256,413	142,582
VIII	189,737	102,354	133,246	30,892	76,704	228,698	151,994
IX	160,150	102,347	145,286	42,937	114,048	256,332	143,005
X	97,250	102,349	122,463	20,116	113,327	173,884	59,836
XI	240,952	102,352	160,687	58,335	115,152	317,653	202,501
XII	138,994	102,393	124,846	22,453	113,908	217,824	103,916
XIII	221,305	102,348	167,246	64,898	115,167	306,529	191,362
XIV	144,201	102,397	138,263	35,866	113,804	226,248	112,444
XV	178,693	102,354	145,813	43,459	115,235	277,740	162,505
XVI	108,571	102,356	121,407	19,051	115,932	194,256	78,324

Fuente: Elaboración propia

Fórmulas utilizadas:

- Determinación de Masa de Aceite Virgen de Coco + impurezas:

$$M_{\text{aceite + impurezas}} = M_{\text{vaso+aceite+impurezas}} - M_{\text{vaso vacío}}$$

- Determinación de Masa de bagazo:

$$M_{\text{bagazo}} = M_{\text{plato + bagazo}} - M_{\text{plato vacío}}$$

Tabla II- 14 Determinación del Rendimiento del Aceite Virgen de Coco después del proceso de filtrado

Ensayo	Masa								Aceite extraído a partir de la muestra inicial seca (%)
	Papel filtro (g)	Frasco vacío (g)	Muestra inicial seca (g)	Frasco + aceite (g)	Aceite (g)	Plato vacío (g)	Plato + papel + impurezas (g)	Impurezas (g)	
I	0,565	13,372	135,631	47,236	33,864	168,424	170,252	1,263	24,97
II	0,575	13,382	141,795	40,233	26,851	168,425	170,223	1,223	18,94
III	0,660	13,360 13,377	245,791	46,308 36,528	56,099	168,425	169,872	0,787	22,82
IV	0,635	13,412	251,063	44,831	31,419	168,424	169,813	0,754	12,51
V	0,650	13,375 13,379	225,233	40,487 47,853	61,586	168,423	169,746	0,673	27,34
VI	0,576	13,363 13,357	232,964	43,682 34,188	51,150	168,425	170,397	1,396	21,96
VII	0,568	13,380 13,372	203,323	42,548 31,024	46,820	168,418	172,212	3,226	23,03
VIII	0,560	13,350	189,737	41,358	28,008	168,413	169,894	0,921	14,76
IX	0,589	13,343	160,050	51,838	38,495	168,422	170,128	1,117	24,05
X	0,595	13,358	97,250	30,966	17,608	168,424	169,972	0,953	18,11
XI	0,578	13,380 13,342	240,952	42,563 37,841	53,682	168,416	170,714	1,234	22,28
XII	0,550	13,384	138,994	32,768	19,384	168,424	169,747	0,773	13,95
XIII	0,573	13,371 13,382	221,305	40,463 45,216	58,926	168,417	170,436	2,019	26,63
XIV	0,566	13,376	144,201	46,033	32,657	168,425	169,824	0,833	22,65
XV	0,570	13,372 13,368	178,693	43,473 22,321	39,054	168,425	170,112	1,117	21,86
XVI	0,570	13,378	108,571	30,188	16,810	168,423	169,765	0,772	15,48

Fuente: Elaboración propia

Fórmulas utilizadas:

- Determinación de Masa de Aceite Virgen de Coco:

$$M_{\text{Aceite}} = M_{\text{frasco+aceite}} - M_{\text{frasco vacío}}$$

- Determinación de Masa de Impurezas:

$$M_{\text{Impurezas}} = M_{\text{plato+papel filtro+impurezas}} - M_{\text{plato vacío}} - M_{\text{papel filtro}}$$

- Porcentaje de Aceite Virgen de Coco extraído a partir de la pulpa seca de coco:

$$\% \text{ Aceite Virgen de Coco extraído} = \left(\frac{\text{Masa de aceite Virgen de Voco extraído}}{\text{Masa de muestra seca}} \right) * 100 \%$$

Para la determinación del rendimiento del Aceite Virgen de Coco, se utilizan los resultados del análisis fisicoquímico de: pulpa de coco de 9 meses de edad y pulpa de coco de 12 meses de edad realizado por el CEANID.

Se tienen los valores de grasa y humedad correspondientes para los siguientes estados de madurez de Coco:

Estado de madurez 1: 9 meses de edad del coco.

Estado de madurez 2: 12 meses de edad del coco.

Se realizó el análisis fisicoquímico de las muestras de pulpa de coco de cada uno de los dos estados de madurez del coco.

Tabla II- 15 Análisis fisicoquímico de Pulpa de Coco de 9 meses de edad

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Ceniza	1,01	%
Fibra	6,60	%
Grasa	10,36	%
Hidratos de Carbono	2,58	%
Humedad	76,52	%
Proteína total (Nx5,30)	2,93	%
Valor energético	115	Kcal/100 g

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) - Tarija

Tabla II- 16 Análisis fisicoquímico de Pulpa de Coco de 12 meses de edad

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Ceniza	1,26	%
Fibra	9,94	%
Grasa	17,24	%
Hidratos de Carbono	17,53	%
Humedad	50,32	%
Proteína total (Nx5,30)	3,71	%
Valor energético	240,12	Kcal/100 g

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) - Tarija

Nota: El % Grasa representa la cantidad de aceite que contiene la muestra.

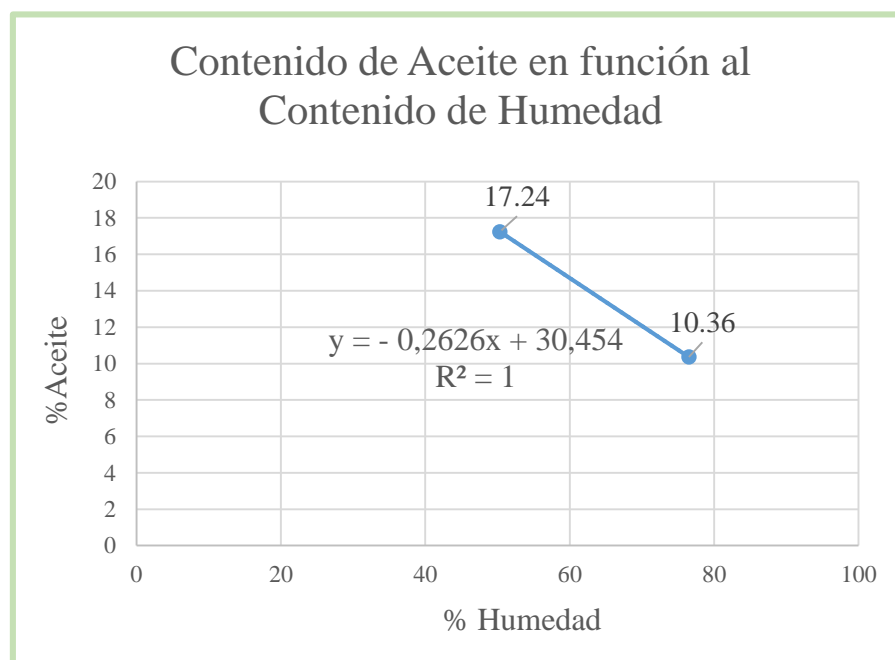
Tabla II- 17 Porcentaje de Aceite y Humedad Total de las muestras de Pulpa de Coco para dos estados de madurez

Muestra	% Aceite Total en la muestra de coco original	% Humedad Total en la muestra de coco original
Estado de madurez 1	10,36 %	76,52 %
Estado de madurez 2	17,24 %	50,32 %

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) - Tarija

En los ensayos realizados en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, se conoce el valor de la humedad total de la pulpa, pero no el valor del porcentaje de aceite contenido en la pulpa, por lo que, con los datos del análisis fisicoquímico anteriormente mencionado se procede a graficar una recta con el punto 1 (50,32 ; 17,24) y punto 2 (76,52 ; 10,36) y así obtener una ecuación que relacione el porcentaje de humedad con el porcentaje de aceite:

Figura 2- 20 Contenido de Aceite en función al Contenido de Humedad de muestras de pulpa de coco a dos estados de madurez



Fuente: Elaboración propia

De esta forma se tiene:

$$\% \text{ Aceite} = -0,2626 * (\% \text{ Humedad}) + 30,454$$

Una vez calculado el porcentaje de aceite contenido en la muestra de pulpa de coco en base original, se calcula el porcentaje de aceite de la misma muestra en base seca. Para esto se divide el valor del porcentaje de aceite de la muestra original entre el factor de corrección de la humedad el cual viene dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de humedad} = \left(\frac{100 - \% \text{ Humedad de muestra de pulpa coco original}}{100} \right)$$

$$\% \text{ Aceite muestra seca} = \frac{\% \text{ Aceite muestra original}}{\text{Factor de humedad}}$$

Una vez obtenido el porcentaje total de aceite de la muestra en base seca, se calcula su rendimiento:

$$\% \text{ Rendimiento del Aceite} = \frac{\% \text{ Aceite extraído de la muestra seca}}{\% \text{ Aceite total contenido en la muestra seca}} \times 100$$

De esta forma, se tienen los siguientes valores de rendimiento de Aceite Virgen de Coco para cada ensayo realizado:

Tabla II- 18 Determinación del Rendimiento del Aceite Virgen de Coco extraído

Ensayo	Aceite total contenido en la muestra de pulpa original (%)	Humedad total de muestra de pulpa original (%)	Factor de humedad	Aceite total contenido en la pulpa seca (%)	Aceite extraído de la muestra seca (%)	Rendimiento (%)
I	18,10	47,06	0,5294	34,18	24,97	73,05
II					18,94	55,41
III	17,40	49,71	0,5029	34,60	22,82	65,95
IV					12,51	36,16
V	18,52	45,46	0,5454	33,95	27,34	80,53
VI					21,96	64,68
VII	17,60	48,96	0,5104	34,48	23,03	66,80
VIII					14,76	42,81
IX	18,31	46,26	0,5374	34,06	24,05	70,60
X					18,11	53,16
XI	18,13	46,94	0,5306	34,16	22,28	65,21
XII					13,95	40,83
XIII	17,98	47,52	0,5248	34,25	26,63	77,75
XIV					22,65	66,13
XV	17,73	48,45	0,5155	34,40	21,86	63,55
XVI					15,48	45,01

Fuente: Elaboración propia

Tabla II- 19 Rendimiento del Aceite Virgen de Coco para cada ensayo realizado en función al Diámetro de Partícula, Humedad y Temperatura de Prensado

Ensayo	Diámetro de Partícula (mm)	Humedad (%)	Temperatura de Prensado (°C)	Rendimiento (%)
I	2	3	30	73,05
II	5	3	30	55,41
III	2	10	30	65,95
IV	5	10	30	36,16
V	2	3	40	80,53
VI	5	3	40	64,68
VII	2	10	40	66,80
VIII	5	10	40	42,81
IX	2	3	30	70,60
X	5	3	30	53,16
XI	2	10	30	65,21
XII	5	10	30	40,83
XIII	2	3	40	77,75
XIV	5	3	40	66,13
XV	2	10	40	63,55
XVI	5	10	40	45,01

Fuente: Elaboración propia

2.6.2. Balance de materia y energía

2.6.2.1. Balance de materia

- Secado de la pulpa fresca de coco:

Tabla II- 20 Determinación de la Cantidad de Agua evaporada de la muestra

Ensayo	Muestra	Masa muestra fresca (g)	Masa muestra seca (g)	Humedad total de la muestra (%)	Humedad extraída (%)	Humedad final de la muestra (%)
V - VI	A	213,148	122,929	45,46	42,33	3,13

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la humedad final de la muestra, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{Humedad final de muestra} = \% \text{Humedad total de muestra} - \% \text{Humedad extraída}$$

De esta forma, con los datos obtenidos se realiza el balance de materia para el proceso de secado de la muestra de pulpa seca que ingresa a la estufa.



Balance de materia:

$$m_{pulpa\ seca} * \left(\frac{\% H_{pulpa\ seca}}{100} \right) = m_{pulpa\ seca} * \left(\frac{\% H_{pulpa\ seca}}{100} \right) + X_1 * \left(\frac{\% H_{agua}}{100} \right)$$

$$213,148\ g * (0,4546) = 122,929\ g * (0,0313) + X_1 * (1)$$

$$X_1 = 213,148\ g * (0,4546) - 122,929\ g * (0,0313)$$

$$X_1 = 93,049\ g$$

- Secado adicional de la pulpa de coco después del tamizado y previo al prensado:

Tabla II- 21 Determinación de la Cantidad de Agua evaporada de la muestra

Ensayo	Muestra	Masa muestra inicial seca (g)	Masa muestra final seca (g)	Humedad total de la muestra (%)	Humedad extraída (%)	Humedad final de la muestra (%)
V	C	44,265	41,896	8,49	5,35	3,14

Fuente: Elaboración propia



Balance de materia parcial:

$$m_{pulpa\ seca\ inicial} * \left(\frac{\% H_{pulpa\ seca\ inicial}}{100} \right) = m_{pulpa\ seca\ final} * \left(\frac{\% H_{pulpa\ seca\ final}}{100} \right) + X_1 * \left(\frac{\% H_{agua}}{100} \right)$$

$$44,265\ g * (0,0849) = 41,896\ g * (0,0314) + X_2 * (1)$$

$$X_2 = 44,265\ g * (0,0849) - 41,896\ g * (0,0314)$$

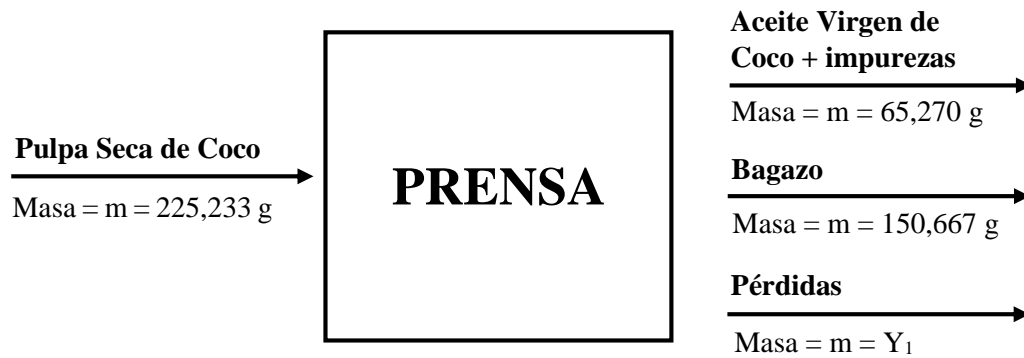
$$X_2 = 2,443$$

- Prensado de la pulpa seca de coco:

Tabla II- 22 Determinación de la masa de bagazo y masa de Aceite Virgen de Coco + impurezas

Ensayo	Masa muestra inicial seca (g)	Masa aceite + impurezas (g)	Masa plato vacío (g)	Masa plato + bagazo (g)	Masa bagazo (g)
V	225,233	65,270	115,120	265,787	150,667

Fuente: Elaboración propia



Balance de materia:

$$m_{\text{pulpa seca}} = m_{\text{aceite virgen de coco + impurezas}} + m_{\text{bagazo}} + m_{\text{pérdidas}}$$

$$225,233 \text{ g} = 65,270 \text{ g} + 150,667 \text{ g} + Y_1$$

$$Y_1 = 225,233 \text{ g} - 65,270 \text{ g} - 150,667 \text{ g}$$

$$Y_1 = 9,296 \text{ g}$$

- Filtrado del Aceite Virgen de Coco:

Tabla II- 23 Determinación de las pérdidas en el proceso de filtrado de Aceite Virgen de Coco

Ensayo	Masa aceite + impurezas (g)	Masa aceite (g)	Masa impurezas (g)	Rendimiento (%)
V	65,270	61,586	0,673	80,53

Fuente: Elaboración propia



Balance de materia:

$$m_{\text{aceite virgen de coco+impurezas}} = m_{\text{aceite virgen de coco}} + m_{\text{impurezas}} + m_{\text{pérdidas}}$$

$$65,270 \text{ g} = 61,586 \text{ g} + 0,673 \text{ g} + Y_2$$

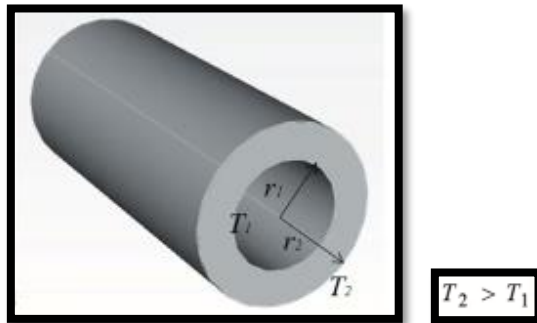
$$Y_2 = 65,270 \text{ g} - 61,586 \text{ g} - 0,673 \text{ g}$$

$$Y_2 = 3,011 \text{ g}$$

2.6.3. Balance de energía

Transferencia de calor por conducción en el proceso de prensado.

Para este proceso se realizan los cálculos de transferencia de calor por conducción, el mismo fue proporcionado por la pistola de aire caliente utilizada para aumentar la temperatura en el interior del cilindro en el que se coloca la muestra para la extracción de aceite. De acuerdo al diseño factorial, las temperaturas internas del cilindro al momento del prensado deben ser: 30°C y 40°C. (Ver el paso 11 del procedimiento experimental explicado anteriormente).



$$\dot{Q} = k \cdot 2\pi \cdot L \cdot \frac{T_2 - T_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

Donde:

L = Longitud del cilindro (m)

k = Coeficiente de conductividad térmica del hierro: material del que está forjado el cilindro (W/m.K)

T_1 = Temperatura interna (K)

T_2 = Temperatura externa (K)

r_1 = Radio interno del cilindro (m)

r_2 = Radio externo del cilindro (m)

Tabla II- 24 Determinación del flujo de calor transferido al cilindro en la etapa de prensado

T ₁ (°C)	T ₁ (K)	T ₂ (°C)	T ₂ (K)	L (m)	k (W/m.K)	r ₁ (m)	r ₂ (m)	Q̇ (W)
30	303,15	65	338,15	0,205	79,5	0,0655	0,0735	31101,66
40	313,15	74	347,15					30213,04

Fuente: Elaboración propia

2.6.4. Análisis estadístico del diseño experimental.

El análisis de los resultados obtenidos en el procedimiento experimental se realiza utilizando el programa estadístico IBM SPSS Statistics 21.0.

Con el análisis de varianza ANOVA se determina la influencia de los factores: diámetro de partícula, porcentaje de humedad, temperatura de prensado y sus interacciones sobre la variable respuesta: rendimiento. Los datos introducidos al programa SPSS de acuerdo al diseño experimental son:

Tabla II- 25 Datos para el análisis de varianza

N° ENSAYOS	FACTORES			RESPUESTA
	DIÁMETRO DE PARTÍCULA (D _p)	HUMEDAD (H)	TEMPERATURA DE PRENSADO (T _{pr})	RENDIMIENTO (%)
1	-1	-1	-1	73,05
2	1	-1	-1	55,41
3	-1	1	-1	65,95
4	1	1	-1	36,16
5	-1	-1	1	80,53
6	1	-1	1	64,68
7	-1	1	1	66,80
8	1	1	1	42,81
9	-1	-1	-1	70,60
10	1	-1	-1	53,16
11	-1	1	-1	65,21
12	1	1	-1	40,83
13	-1	-1	1	77,75
14	1	-1	1	66,13
15	-1	1	1	63,55
16	1	1	1	45,01

Fuente: Elaboración propia

En la tabla siguiente se muestran las variables del diseño experimental y el número de experiencias para cada variable registrada por el programa SPSS y realizadas en el proceso experimental para un diseño 2^3 con dos repeticiones y un total de 16 ensayos.

Tabla II- 26 Factores inter - sujetos

		N
Dp	-1.00	8
	1.00	8
H	-1.00	8
	1.00	8
Tpr	-1.00	8
	1.00	8

Fuente: Elaboración propia

Tabla II- 27 Pruebas de los efectos inter - sujetos

Variable dependiente: Rendimiento					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo Corregido	2689,978 ^a	6	448,330	132,981	0,000
Intersección	58519,239	1	58519,239	17357,602	0,000
Dp	1585,035	1	1585,035	470,143	0,000
H	826,419	1	826,419	245,127	0,000
Tpr	137,417	1	137,417	40,760	0,000
Dp * H	72,889	1	72,889	21,620	0,001
Dp * Tpr	23,160	1	23,160	6,870	0,028
H * Tpr	45,058	1	45,058	13,365	0,005
Error	30,343	9	3,371		
Total	61239,559	16			
Total corregida	2720,320	15			

a. R cuadrado = 0,989 (R cuadrado corregida = 0,981)

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de varianza todos los factores e interacciones que presenten un valor de significancia menor a 0,05 influyen en la variable respuesta, debido a que dicho análisis se realizó con un nivel de confianza de 95%. Por lo tanto, los factores e interacciones que influyen en la variable respuesta: Rendimiento, son: Diámetro de Partícula, Humedad, Temperatura de Prensado, Diámetro de Partícula * Humedad, Humedad * Temperatura de Prensado y Diámetro de Partícula * Temperatura de Prensado.

Regresión Lineal.

Se introdujeron al programa las variables e interacciones significativas para el rendimiento con el fin de encontrar el modelo matemático correspondiente.

Tabla II- 28 Variables introducidas/eliminadas^a

Modelo	Variables Introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Dp.Tpr, H.Tpr, Dp.H, Tpr, H, Dp ^b		Introducir

Fuente: Elaboración propia

Tabla II- 29 Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B		
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior	
1	(Constante)	60,477	0,459		131,748	0,000	59,438	61,515
	Dp	-9,953	0,459	-0,763	-21,683	0,000	-10,992	-8,915
	H	-7,187	0,459	-0,551	-15,657	0,000	-8,225	-6,148
	Tpr	2,931	0,459	0,225	6,384	0,000	1,892	3,969
	Dp.H	-2,134	0,459	-0,164	-4,650	0,001	-3,173	-1,096
	H.Tpr	-1,678	0,459	-0,129	-3,656	0,005	-2,717	-0,640
	Dp.Tpr	1,203	0,459	0,092	2,621	0,028	0,165	2,242

a. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: Elaboración propia

A partir de la regresión lineal, se tiene el modelo matemático correspondiente:

$$\text{Rendimiento} = 60,477 - 9,953 Dp - 7,187 H + 2,931 Tpr - 2,134 Dp.H - 1,678 H.Tpr + 1,203 Dp.Tpr$$

2.7. Análisis del producto obtenido.

Los parámetros analizados para la caracterización del Aceite Virgen de Coco obtenido en laboratorio son:

- Ácidos grasos

Los ácidos grasos son ácidos carboxílicos que constan de cadenas hidrocarbonadas de longitud y grado de insaturación variables, se encuentran en formas libres y esterificados al glicerol como componentes de los lípidos. La presencia de dobles enlaces cis altera la forma lineal recta de los ácidos grasos y les da una forma angular. Por eso las moléculas de los ácidos grasos saturados (estructura lineal en zig-zag) presentan un mayor empaquetamiento y sus puntos de fusión son más elevados. (Tejedor, s.f.)

- Índice de Yodo

El índice de yodo es una medida del número de dobles enlaces o del grado de insaturación y, por lo tanto, un indicador de la estabilidad oxidativa de los aceites y grasas. (Lawson, 1999). El índice de yodo de un aceite o grasa es una medida de su insaturación, determina el contenido de dobles enlaces capaces de reaccionar con un halógeno. La medida de la insaturación de los aceites y grasas que se define como la cantidad de gramos de yodo que son absorbidos por 100g de grasa bajo condiciones del análisis. Los aceites que contienen gran cantidad de ácidos grasos insaturados, presentan índices de yodo relativamente altos. (Romero, 2008)

- Densidad relativa

Se define como el cociente de la densidad de una sustancia entre la densidad del agua, esta cantidad es adimensional. En términos generales la densidad relativa de

la mayor parte de los aceites, tanto minerales como vegetales, se encuentra entre 0,840 y 0,960. (Paredes, 2019)

- Humedad y materia volátil

En los aceites la humedad interfiere de gran manera en su estabilidad, ya que favorece a la hidrólisis que consiste en una reacción inversa a la formación de las grasas, donde se descomponen nuevamente ácidos grasos y glicerol. El método gravimétrico por volatilización es el más común para valorar el contenido de humedad en los alimentos. (Cruz, 2017)

- Índice de peróxido

Es la cantidad de miliequivalentes de peróxido por 1000g de muestra, que oxidan el yoduro de potasio bajo condiciones de prueba.

Un aceite crudo de buena calidad deberá tener un índice de peróxidos inferior a 5. (Kirschenbauer, 1964). El índice de peróxido es de gran importancia y de interés práctico para el reconocimiento y progreso de la descomposición autoxidativa y con ello, las posibilidades de tratamiento y predecir la capacidad de conservación o estabilidad de los aceites o grasas. (Romero, 2008)

- Índice de refracción

Los índices de refracción tanto de grasas y aceites como de ácidos grasos, aumentan conforme aumenta la longitud de las cadenas de hidrocarburos y el número de enlaces dobles de las cadenas. (Bailey, 1961). Los índices de refracción en aceites y grasas varían de acuerdo a la temperatura. (Paucar-Menacho, 2015)

Tabla II- 30 Análisis Cromatográfico: Perfil de Ácidos Grasos y Análisis Químico: Índice de Yodo del Aceite Virgen de Coco obtenido

Parámetros	Unidad	Límite de Detección	Resultado
Perfil de ácidos grasos			
Ácido Oleico C18:1n9C	% relativo	0,01	9,2
Ácido Estárico C:18	% relativo	0,01	2,01
Ácido Palmítico C:16:1	% relativo	0,01	9,3
Ácido Mirístico C:14:0	% relativo	0,01	15,2
Ácido Láurico C:12:0	% relativo	0,01	47,5
Ácido Caprílico C8:0	% relativo	0,01	11,3
Ácido Linoleico C18:2	% relativo	0,01	3,5
Otros	% relativo	0,01	1,99
Índice de Yodo		0,1	6,69

Fuente: Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) – Cochabamba

De acuerdo al perfil de ácidos grasos realizado por el Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) el ácido Láurico es el que se encuentra en mayor proporción en el Aceite Virgen de Coco extraído en laboratorio, seguido por los ácidos: mirístico, caprílico, palmítico que, cabe destacar, son ácidos grasos saturados y son la razón por la que el punto de fusión de dicho aceite sea alto; todo lo mencionado concuerda con la información bibliográfica y con la experimentación ya que se observó la solidificación del Aceite Virgen de Coco a 24°C aproximadamente.

Por otra parte, el índice de Yodo es relativamente bajo, lo cual indica que el Aceite Virgen de Coco obtenido tiene un grado de insaturación bajo debido a que el contenido de ácidos grasos insaturados y el porcentaje en el que están presentes es reducido; en este caso los ácidos: oleico, esteárico y linoleico observados en el

análisis se encuentran en menor proporción en comparación a los ácidos grasos saturados.

Tabla II- 31 Análisis de la Composición Fisicoquímica de Aceite Virgen de Coco a partir de pulpa de coco a 3% de humedad

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad Relativa	0,9212	
Humedad y Materia Volátil	0,04	%
Índice de Peróxido	n.d.	mEqO ₂ /Kg
Índice de Refracción (20°C)	1,4561	

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) - Tarija

El valor de la humedad es bastante bajo, cercano al valor mínimo obtenido mediante la aplicación del método de extracción a alta presión por la FAO (Tabla I-5; Método 1) que es de 0,07. Por lo que tendrá un tiempo de alacena de 1 año y más.

El índice de peróxido no fue detectado en la muestra de aceite analizada por lo que, la misma presenta gran capacidad de conservación y estabilidad.

Tabla II- 32 Análisis de la Composición Fisicoquímica de Aceite Virgen de Coco a partir de pulpa de coco al 10% de humedad

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad Relativa	0,9215	
Humedad y Materia Volátil	0,13	%
Índice de Peróxido	n.d.	mEqO ₂ /Kg
Índice de Refracción (20°C)	1,4570	

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) - Tarija

Se puede observar que el proceso de secado de pulpa de coco previo al prensado, con la adición del proceso de secado del aceite extraído posterior al prensado dan como resultado un porcentaje de humedad del mismo relativamente bajo: 0,13%; lo

cual mejora las condiciones del aceite con respecto a la rancidez, ya que, de acuerdo al manual de extracción de Aceite Virgen de Coco de la FAO (Tabla I-5; Método 4) en el método para la extracción de aceite a partir de pulpa al 10% de humedad una de las principales desventajas es el corto tiempo de vida de alacena del aceite extraído en comparación a otros métodos debido al contenido de humedad del mismo.

El índice de peróxido no fue detectado en la muestra de aceite analizada por lo que, la misma presenta gran capacidad de conservación y estabilidad.

2.8. Control de Calidad del producto obtenido

Tabla II- 33 Cuadro comparativo de las normas reglamentarias para Aceite Virgen de Coco

Parámetro		Codex Alimentarius	APCC	PNS/BAFPS 22:2004	CEANID - CIQ (2021)
% Composición de ácidos grasos					
Ácido Caproico	C6:0	ND – 0,7	0,4 – 0,6	ND – 0,7	
Ácido Caprílico	C8:0	4,6 – 10,0	5,0 – 10,0	4,6 – 10,0	11,30
Ácido Cáprico	C10:0	5,0 – 8,0	4,5 – 8,0	5,0 – 8,0	
Ácido Láurico	C12:0	45,1 – 53,2	43,0 – 53,0	45,1 – 53,2	47,50
Ácido Mirístico	C14:0	16,8 – 21,0	16,0 – 21,0	16,8 – 21,0	15,20
Ácido Palmítico	C16:0	7,5 – 10,2	7,5 – 10,0	7,5 – 10,2	9,30
Ácido Esteárico	C18:0	2,0 – 4,0	2,0 – 4,0	2,0 – 4,0	2,01
Ácido Oleico	C18:1	5,0 – 10,0	5,0 – 10,0	5,0 – 10,0	9,20
Ácido Linoleico	C18:2	1,0 – 2,5	1,0 – 2,5	1,0 – 2,5	1,99
Ácido α - linoleico	C18:3	ND – 0,2	< 0,5	ND – 0,2	
Ácido Araquídico	C20:0	ND – 0,2		–	
Ácido Eicosenoico	C20:1	ND – 0,2		–	
	C20:2 - C24:1	ND		ND	
Índice de Yodo (I ₂ /100g)		6,3 – 10,6	4,1 – 11,00	6,3 – 10,6	6,69
Densidad Relativa (x°C/agua a 20°C)		0,908 – 0,921	0,915 – 0,920	0,908 – 0,921	0,921
% Humedad, max		–	0,1 – 0,5	≤ 0,2	0,04
% Materia volátil a 105°C, m/m		≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	0,04
Índice de Peróxido, meq/kg aceite		< 15	< 3	< 15	ND
Índice de Refracción (40°C)		1,448 – 1,450	1,448 – 1,449	1,448 – 1,450	1,456*

*El índice de Refracción analizado en el CEANID fue realizado a 25°C.

Fuente: Normas de calidad para Aceite Virgen de Coco: Codex Alimentarius; APCC (Asian and Pacific Coconut Community); PNS/BAFPS 22:2004 (Philippine National Standard/ Bureau of Agriculture and Fisheries Product Standards)

En base a esta comparación, se puede observar que todos los valores de los parámetros analizados del Aceite Virgen de Coco obtenido, a excepción de: ácido caprílico, ácido mirístico e índice de refracción (que presentan valores bastante próximos), están dentro de los rangos de calidad de las normas establecidas; en el caso de la humedad se observa que cumple con la norma publicada por la PNS/BAFPS.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.Resultados de la Determinación del Rendimiento del Aceite Virgen de Coco obtenido.

Tabla III- 1 Determinación del Rendimiento del Aceite Virgen de Coco obtenido

Ensayo	Masa total pulpa seca (g)	Humedad final de la pulpa seca (%)	Masa aceite (g)	Masa Impurezas (g)	Masa Bagazo (g)	Aceite extraído de la pulpa total seca (%)	Rendimiento (%)
I	135,631	3.14	33,864	1,263	94,917	24,97	73,05
II	141,795	3.10	26,851	1,223	108,004	18,94	55,41
III	245,791	10.47	56,099	0,787	182,565	22,82	65,95
IV	251,063	10.30	31,419	0,754	208,998	12,51	36,16
V	225,233	3.31	61,586	0,673	150,667	27,34	80,53
VI	232,964	3.10	51,150	1,396	184,373	21,96	64,68
VII	203,323	10.54	46,820	3,226	142,582	23,03	66,80
VIII	189,737	10.19	28,008	0,921	151,994	14,76	42,81
IX	160,150	3.24	38,495	1,117	143,005	24,05	70,60
X	97,250	3.17	17,608	0,953	59,836	18,11	53,16
XI	240,952	10.37	53,682	1,234	202,501	22,28	65,21
XII	138,994	10.28	19,384	0,773	103,916	13,95	40,83
XIII	221,305	3.24	58,926	2,019	191,362	26,63	77,75
XIV	144,201	3.16	32,657	0,833	112,444	22,65	66,13
XV	178,693	10.27	39,054	1,117	162,505	21,86	63,55
XVI	108,571	10.30	16,810	0,772	78,324	15,48	45,01

Fuente: Elaboración propia

El ensayo en el que se obtuvo el mayor valor de rendimiento del Aceite Virgen de Coco: 80,53% fue realizado con un diámetro de partícula de 2mm, una humedad del 3 % y una temperatura de prensado de 40°C. La humedad y diámetro de partícula influyen en el rendimiento en cuanto menor es su valor, esto puede ser debido a que: en primer lugar el mayor área de contacto de las partículas con el émbolo de la prensa y la ruptura de las celdas que contienen aceite en la muestra permite que éste se desplace hasta la superficie de la partícula con mayor facilidad y además produce la coagulación de proteína en la pulpa lo cual hace que el aceite sea separable de la misma sin expulsión de fracción proteínica.

Por otra parte, el porcentaje de humedad influye en la dureza de la partícula, pues se observó un comportamiento distinto para ambos contenidos de humedad; al 3% la partícula tiene mayor dureza mientras que al 10% la partícula presenta mayor elasticidad, lo cual implica un menor valor del rendimiento; de igual forma influye en la turbidez, ya que a mayor contenido de humedad el aceite extraído es más turbio.

Finalmente, la temperatura influye directamente en la viscosidad del aceite y provoca que éste fluya con mayor facilidad cuanto mayor es la temperatura, pero no a niveles que puedan incidir en el cambio de ciertas características fisicoquímicas o cambiar drásticamente la naturaleza del aceite.

3.2. Resultados de los balances de materia realizados.

Tabla III- 2 Determinación de la masa de agua evaporada de la muestra de pulpa de coco durante el proceso de secado previo al tamizado

Ensayo	Muestra	Masa muestra fresca (g)	Masa muestra seca (g)	Humedad total de la muestra (%)	Humedad extraída (%)	Humedad final de la muestra (%)	Masa de agua evaporada (g)
V - VI	A	213,148	122,929	45,46	42,33	3,13	145,392

Fuente: Elaboración propia

Tabla III- 3 Determinación de la masa de Agua evaporada de la muestra de pulpa de coco durante el proceso de secado posterior al tamizado y previo al prensado

Ensayo	Muestra	Masa muestra inicial seca (g)	Masa muestra final seca (g)	Humedad total de la muestra (%)	Humedad extraída (%)	Humedad final de la muestra (%)	Masa de Agua evaporada (g)
V	C	44,265	41,896	8,49	5,35	3,14	2,443

Fuente: Elaboración propia

En total para el ensayo V se evaporó una masa de agua de 147,835 aproximadamente, en las etapas de secado inicial y secado para la corrección final de la humedad de la muestra de pulpa de coco utilizada para la extracción del Aceite Virgen de Coco.

Tabla III- 4 Determinación de la masa de pérdidas durante el proceso de prensado

Ensayo	Masa muestra inicial seca (g)	Masa aceite + impurezas (g)	Masa plato vacío (g)	Masa plato + bagazo (g)	Masa bagazo (g)	Masa de pérdidas (g)
V	225,233	65,270	115,120	265,787	150,667	9,296

Fuente: Elaboración propia

Las pérdidas de aceite en el proceso de prensado se deben mayormente a que el mismo queda atrapado en las paredes y fondo del cilindro, además, en las mallas utilizadas para evitar el traspaso de las partículas de pulpa de coco seca.

Tabla III- 5 Determinación de la masa de pérdidas durante el proceso de filtrado

Ensayo	Masa aceite + impurezas (g)	Masa aceite (g)	Masa impurezas (g)	Rendimiento (%)	Masa de pérdidas (g)
V	65,270	61,586	0,673	80,53	3,011

Fuente: Elaboración propia

Las pérdidas en la etapa de filtrado se deben principalmente al trasvasado del aceite filtrado desde el Kitasato hasta el recipiente de almacenamiento, al igual que en el vaso de precipitación donde se recibió inicialmente el aceite proveniente de la prensa, en el embudo y papel filtro utilizados.

3.3. Resultados del balance de energía realizado.

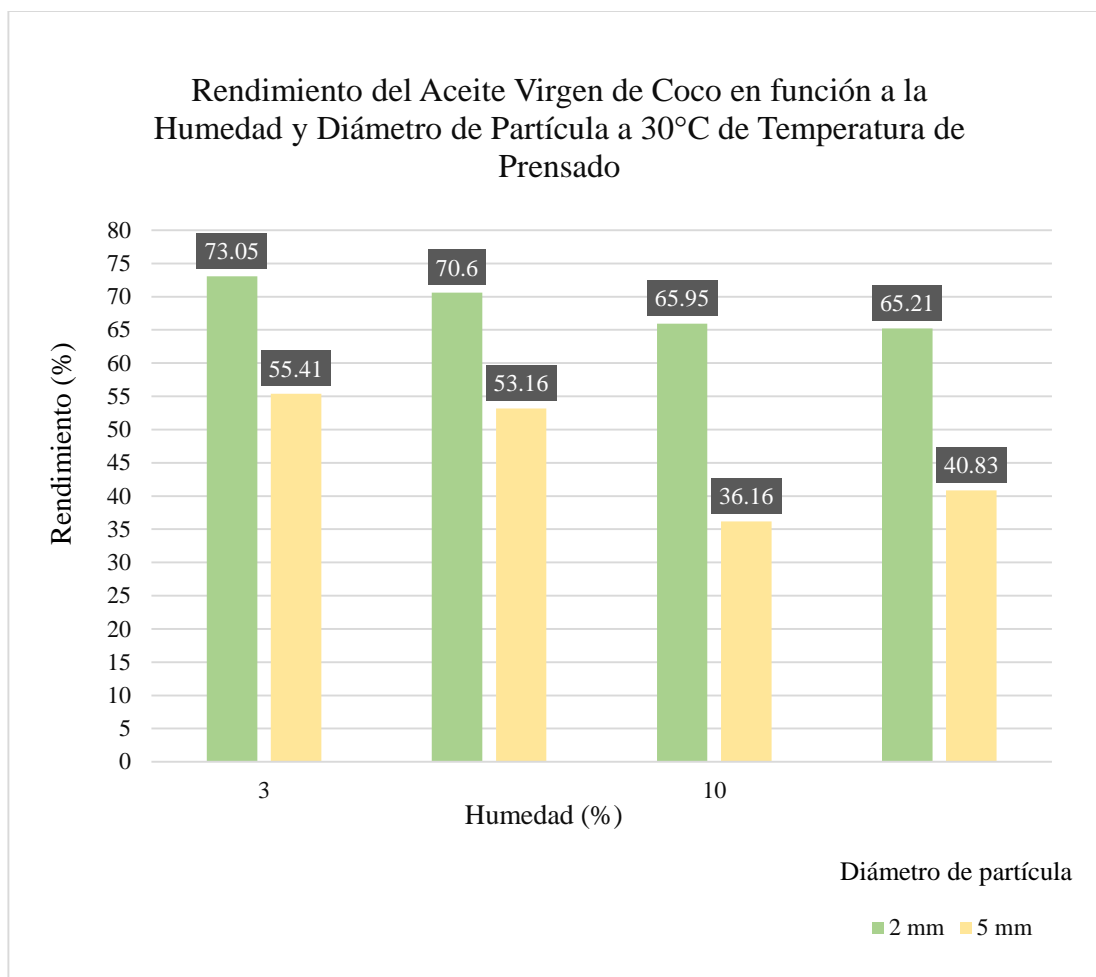
Tabla III- 6 Flujo de calor transferido por la pistola de aire caliente durante el proceso de prensado

Temperatura en el interior del cilindro (°C)	Temperatura en el exterior del cilindro (°C)	Flujo de calor transferido \dot{Q} (W)
30	65	31101,66
40	74	30213,04

Fuente: Elaboración propia

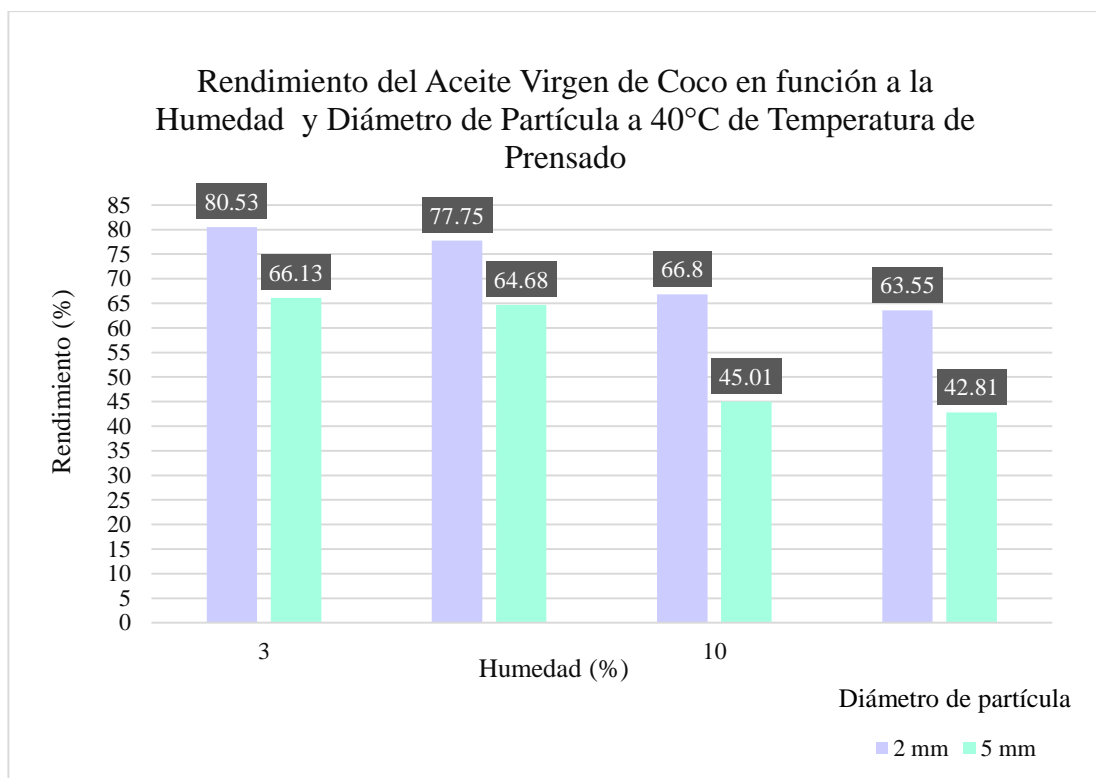
En base a las observaciones realizadas en la práctica se determinó que el mayor valor de flujo de calor transferido se debe a una menor distancia entre la pistola de aire caliente y el cilindro de prensado y un mayor valor de caudal de aire que circula hacia dicho cilindro, esto produce un tiempo de calentamiento más corto, es decir, el cilindro se calienta a la temperatura deseada en menor tiempo en cuanto mayor es el valor de caudal de aire caliente, lo cual agiliza el proceso.

Figura 3- 1 Rendimiento del Aceite Virgen de Coco en función a la Humedad de muestra y Diámetro de Partícula a 30°C de Temperatura de Prensado



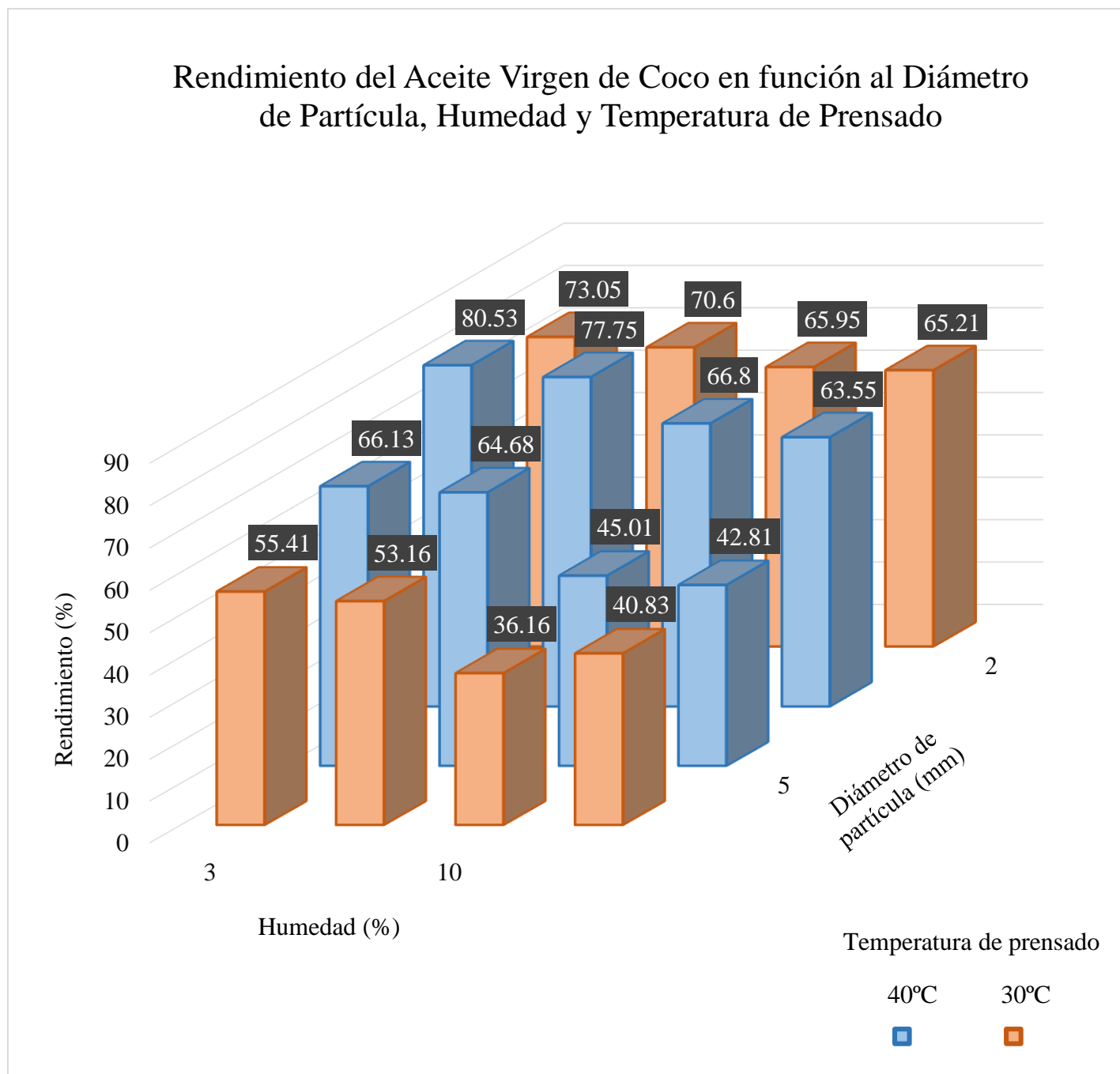
Fuente: Elaboración propia

Figura 3- 2 Rendimiento del Aceite Virgen de Coco en función a la Humedad de muestra y Diámetro de Partícula a 40°C de Temperatura de Prensado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3- 3 Rendimiento del Aceite Virgen de Coco en función al Diámetro de Partícula, Humedad de la muestra y Temperatura de Prensado



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se realizó la caracterización de la pulpa de coco utilizada en el proceso experimental de extracción de Aceite Virgen de Coco proveniente del municipio de Alto Beni – La Paz mediante un análisis sensorial del color, sabor y olor que se llevó a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU – UAJMS) y un análisis de la composición fisicoquímica realizado por el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID – UAJMS).

Las características típicas de la pulpa fresca de coco, son: color blanco, textura fibrosa y aroma característicos. Los mismos concuerdan con la descripción de la pulpa de coco por otros autores.

Las características fisicoquímicas son: Ceniza (1,26%), Fibra (9,94%), Grasa (17,24%), Hidratos de Carbono (17,53%), Humedad (50,32%), Proteína total (50,32%) y Valor energético (240,12 Kcal/100g), las cuales de acuerdo a bibliografía consultada presentan valores aproximados a los descritos por otros autores; uno de los parámetros que presenta un valor distinto es el contenido de grasa, pues para la pulpa de coco del Alto Beni tiene un valor de 17,53% mientras que en la mayoría de las fuentes bibliográficas consultadas éste presenta valores de 33-37%. Esta variación posiblemente sea debido a las condiciones edafoclimática, latitud, altitud y variaciones genotípicas de la especie de coco desarrollada en el Alto Beni con respecto al desarrollado en otras partes del mundo.

- En base a bibliografía consultada se procedió a la selección del diseño experimental 2^3 , con las siguientes variables independientes: diámetro de partícula: 2mm y 5 mm, humedad: 3% y 10%, temperatura de prensado: 30°C y 40°C; y el rendimiento como variable dependiente.

Cabe mencionar que las variables independientes fueron seleccionadas en base a experimentos y ensayos previos de extracción de aceite realizados por otros autores.

- El Aceite Virgen de Coco fue obtenido mediante el método de extracción a alta presión (5000 psi) a escala laboratorio con la aplicación de una prensa hidráulica.
- Realizados los cálculos, el mayor valor de Rendimiento del Aceite Virgen de Coco fue de 80,53% se obtuvo en el Ensayo V (diámetro de partícula = 2 mm, porcentaje de humedad de la muestra = 3% y temperatura de prensado = 40°C). Se puede concluir que la metodología de extracción empleada es adecuada para la producción de Aceite Virgen de Coco a nivel comercial pues el valor del rendimiento es alto.
- Los cálculos de balance de materia realizados dieron como resultado valores de contenido de agua extraídos de la muestra por medio de secado, pérdidas de aceite durante los procesos de filtrado y prensado; las cuales fueron relativamente bajas debido al trasvasado y manipuleo durante el proceso experimental.
- En el balance de energía se calculó el flujo de calor transferido por conducción en la etapa de prensado, el valor del mismo fue similar para las dos temperaturas requeridas; para la temperatura de prensado de 30°C, el valor del flujo de calor transferido fue de 31101,66 W y para la temperatura de prensado de 40°C, el valor del flujo de calor transferido fue de 30213,04 W.
- La muestra de aceite extraído que presentó el mayor rendimiento se sometió a un análisis cromatográfico realizado por el Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) y a un análisis fisicoquímico realizado por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), los resultados fueron comparados con los valores recomendados por el Codex Alimentarius, la Comunidad del Coco para Asia y el Pacífico (APCC) y Estándar Nacional de Filipinas/Oficina de Normas para Productos Agrícolas y Pesqueros (PNS/BAFPS). En base a esta comparación, se concluye que todos los valores de los parámetros analizados del Aceite Virgen de Coco obtenido, a excepción de: ácido caprílico, ácido mirístico e índice de refracción (que presentan valores bastante próximos), están dentro de los rangos de calidad de las normas establecidas, mientras el contenido de humedad cumple sólo con la norma publicada por el PNS/BAFPS.

4.2.Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos se recomienda:

- Que el municipio de Alto Beni, en coordinación con otros municipios que cuentan con plantaciones de cocotero, propongan a la gobernación de La Paz, el desarrollo de un proyecto que identifique y garantice un mercado con fines de producción y comercialización del Aceite Virgen de Coco.
- Informar acerca de las investigaciones realizadas sobre los usos y aplicaciones del Aceite Virgen de Coco para que en caso de ser comercializado se evite una propaganda errónea.
- Adoptar normas de calidad para el Aceite de Coco en Bolivia a partir de normas internacionales.

