

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1.1. Origen del pomelo

Alrededor del año 1750, en las islas Barbados se habría cultivado la primera planta de pomelo al sur de las Antillas Menores. De esta manera, el pomelo (*Citrus Paradisi*) fue la única especie cítrica que se apartó del sudeste asiático como centro de origen.

El origen híbrido de pomelo sería resultado del cruzamiento entre pummelo (*Citrus Máxima*) y naranja dulce (*Citrus Sinensis*). Sin embargo, también se considera que se habría originado mediante la mutación de una planta de pummelo. (Lezcano, 2018)

Los primeros en distribuir y comercializar cítricos fueron los mercaderes chinos, fenicios, indios y cartagineses quienes aprovecharon las bondades de aquellas frutas. En principio, desde el Océano Indico, el Mar Arábigo y a través del Mar Rojo ingresaron en Asia Menor, toda la Mesopotamia y desde allí al Mediterráneo. Luego continuó la diseminación por Grecia, Turquía, Italia y España, llegando a Marruecos a través de los árabes. (Palacios, 2005)

En cuanto a los usos que le dieron, el principal fue para el consumo en fresco, debido a sus beneficios para la salud. Aunque también se emplearon en la elaboración de Jugos.

1.2. Descripción Botánica de la Planta

El pomelero es un árbol subtropical que no tolera el frío y mucho menos las heladas. Además de ser sensible al viento, requiere suelos arenosos y profundos para desarrollarse adecuadamente. Se recomiendan suelos sin caliza y sin alta salinidad.

La temperatura ambiental idónea debe ser necesariamente cálida para que se produzca la maduración del fruto. Además, la forma del propio fruto va a depender en gran medida de la humedad relativa del ambiente.

Respecto a su apariencia, el pomelero es el árbol más vigoroso de todas las especies de cítricos. Mide entre 4 m a 5 m de altura. Tiene un tronco corto y no de

excesivas dimensiones, pero su copa es bien compacta. (Santonini, Silva, & Cordoba, 2012)

Figura 1-1 Árbol de Pomelo (Pomelero)



Fuente: Descripción de cultivares de pomelo (*Citrus Paradisi*), 2012.

La recolección se efectúa de forma mecánica o bien manualmente, prefiriéndose este último sistema para eludir daños en la frágil piel del fruto.

1.2.1. Hojas y Flores del Árbol

Las hojas son bien simples, ovadas, alternas, finamente dentadas, de entre 7 y 15 cm. de largo, de superficie coriácea y color verde oscuro por el haz, situadas tras peciolo cortos y alados.

Figura 1-2 Hojas del Árbol de pomelo



Fuente: Descripción de cultivares de pomelo (*Citrus Paradisi*), 2012.

Las flores pueden ser solitarias o en racimos corimbosos cortos, terminales o también axilares. De forma actinomorfas, hermafroditas, de cáliz pequeño, provisto de 4-5 sépalos cortos. Pétalos oblongos, agudos o redondeados en el ápice, generalmente 5, aunque pueden existir de 4 a 8, iguales o desiguales entre sí, carnosos, caedizos, de coloración blanca o matizados de púrpura. Estambres comúnmente en número cuádruple al de pétalos, libres o más o menos soldados entre sí, tiene filamentos blancos insertos alrededor del disco, las anteras son alargadas. (Santonini, Silva, & Cordoba, 2012)

Figura 1-3 Flores del Árbol de Pomelo



Fuente: Descripción de cultivares de pomelo (*Citrus Paradisi*), 2012.

1.3. Descripción del Fruto

El pomelo es un fruto en forma de globo o esfera ligeramente achatada de 10 a 30 cm. de diámetro y aún mayores, de cáscara gruesa y suave, de color verdoso pálido adquiriendo un color amarillento o pigmentado al madurar.

La pulpa está dividida en 10-12 gajos con sabor amargo o dulce dependiendo de la variedad, debido a la presencia de una sustancia llamada naringina, teniendo un color amarillento excepto en las variedades pigmentadas que varían de rosa a rojo teniendo un sabor más dulce, interiormente contiene semillas poliembrionicas grandes y rugosas. (Hernandez Quiroga, 2005)

1.3.1. Taxonomía del pomelo

De acuerdo al Ing. M. Sc. Ismael Acosta Galarza, Encargado del Herbario Universitario de la U.A.J.M.S., el pomelo producido en el departamento de Tarija tiene la siguiente taxonomía:

Tabla I-1 Taxonomía del pomelo.

Reino	Vegetal
Division	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Sapindales
Familia	Rutaceae
Subfamilia	Citroideae
Tribu	Citreae
Genero	Citrus
Nombre científico	Citrus Paradisi
Nombre común	Pomelo

Fuente: Herbario Universitario T.B. de la U.A.J.M.S., 2021.

1.3.2. Estructura Anatómica del Pomelo

El pomelo consta de una porción comestible y una porción no comestible, ambas porciones son variables, por lo que una estimación basada en promedio indica que un 78 a 86 % es porción comestible y 22 a 14 % de porción no comestible. (Contreras Puente & Ruiz, 2012)

El pomelo consta de las siguientes partes:

- **Epicarpio:**

Consiste en la parte externa o también llamada cáscara, sirve de capa protectora para el interior evitando que las inclemencias del tiempo lo estropeen. Suele ser de color amarillo con tonos rosados.

El epicarpio está constituido por vesículas oleaginosas o también llamadas capas glandulares, que tienen forma de ojuelos o hendiduras, son frágiles, que hacen que el fruto desprenda su aroma característico.

- **Mesocarpio:**

Es la parte interna blanquecina de tejido laxo de la corteza del pomelo, tiene un aspecto esponjoso, contiene carbohidratos como pectina y celulosa, posee un sabor amargo.

- **Endocarpio:**

Es la parte comestible del pomelo, conocida también como pulpa, tiende a tener un color amarillento o pigmentado de rosa a rojo, contiene vitaminas, azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa, además de ácido cítrico, que supone el 90% de los ácidos totales dependiendo de las variedades.

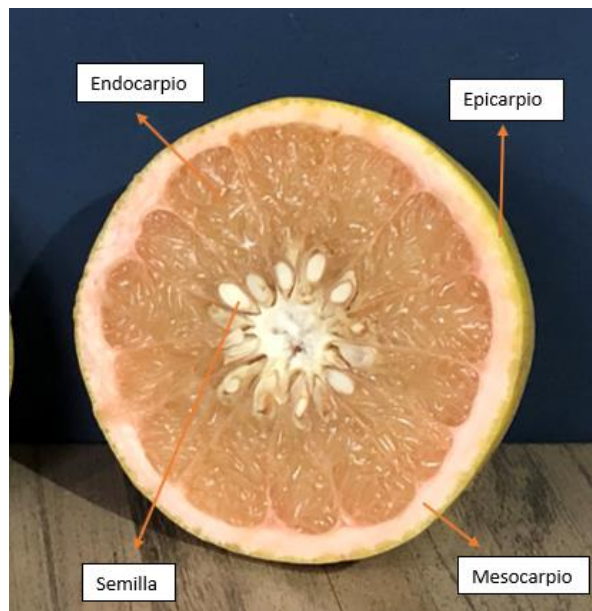
El contenido de proteínas y lípidos es sumamente bajo en la pulpa. Los sólidos solubles que se encuentran están constituidos por muchos ácidos y pocos azúcares al iniciarse la maduración. Posteriormente, a lo largo de la maduración, disminuyen los primeros y aumentan los segundos.

- **Semillas:**

Es el órgano duro que se encuentra en la parte interior y central del pomelo, de hasta 1,25 cm de largo, normalmente poliembriónicas, rugosas, de forma elípticas o apicadas, blancas en su interior.

Se caracterizan por su sabor amargo y por producir un aceite de tonalidad amarilla que es abundante en hesperidina, limonoides y en ácidos grasos conteniendo un valor dietético alto.

Figura 1-4 Partes del pomelo.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

1.3.3. Variedades del fruto

Las variedades comerciales de pomelo se caracterizan por sus frutas de tamaño grande y el color de la pulpa.

Las variedades se denominaron según la coloración de los frutos, especialmente la tonalidad de su pulpa, una característica considerada para la comercialización. Así, existen variedades blancas o amarillentas, siendo las primeras menos cultivadas y cada vez son desplazadas por las variedades pigmentadas. (Lezcano, 2018)

Los pomelos se dividen en tres variedades principales según el color de su pulpa, jugo y piel, son clasificadas en la tabla I-2 junto con las especies más conocidas en la región.

Tabla I-2 Clasificación de las variedades y especies del pomelo según la coloración de la pulpa.

Variedad	Especie
Blancas o amarillas.	Duncan.
	Marsh.
Rosadas.	Foster
	Marsh Pink.
Rojo Profundo	Red Blush.
	Star Ruby.
	Red Shambar.

Fuente: Principales cultivos cítricos en Bolivia, 2019.

En la siguiente figura se puede observar las tres variedades de pomelos.

Figura 1-5 Variedades de pomelos según la coloración de la pulpa.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

1.3.4. Valor Nutricional del Pomelo

Desde el punto de vista nutritivo, el pomelo es una fuente importante de agua y vitaminas (Tabla I-3). La pulpa del pomelo presenta una concentración significativa de compuestos bioactivos tales como vitamina C (esencial para el mantenimiento de los

tejidos epiteliales en la piel, contribuyendo contra el daño de radicales libres), así como de compuestos con una gran actividad antioxidante como las proteínas, carbohidratos, fibra.

Asimismo, presenta una importante concentración de minerales como potasio, el cual interviene en la transmisión nerviosa y muscular, también aporta pequeñas cantidades de hierro, fósforo y calcio.

En el contenido de la pulpa se destaca la presencia de una sustancia denominada narangina, que ejerce una acción de inmunomodulador y antiviral, evitando que una tos se agrave. (Camara Hurtado, 2008)

Tabla I-3 Contenido nutricional promedio del pomelo.

Contenido por 100grs. de pomelo	Cantidad
Agua	85,54 g
Proteínas	0,63 g
Grasas	0,46 g
Carbohidratos	7,41 g
Fibra	1,6 g
Calcio	23 mg
Hierro	0,17 mg
Sodio	1,1 mg
Vitamina A	0,002 mg
Vitamina B6	0,03 mg
Vitamina C	36 mg
Vitamina E	0,19 mg

Fuente: Contenido nutricional de la fruta del Pomelo. Bangerth y Carle, 2005.

1.4. Cuantificación del Pomelo en Bolivia

Bolivia es un país agrícola productor por excelencia de frutas cítricas mayormente en las zonas tropicales como La Paz, Cochabamba y Santa Cruz, entre las que se encuentran producciones de diferentes frutos en sus temporadas, entre ellas se encuentra el pomelo (*Citrus Paradisi*), con una cadena productiva y agroindustrial, pero en la actualidad no se encuentra en curso un aprovechamiento óptimo de este recurso. La producción del pomelo aumento en comparación del año 2000 a los tiempos actuales, en la Tabla I-4 se muestran los datos estadísticos por actividad económica agrícola realizados por el Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE).

Tabla I-4 Producciones y superficie cultivada de pomelo (*Citrus Paradisi*) por Gestión desde 2.000-2.019.

Gestión	Producción (ton)	Superficie cultivada (ha)
2.000-2.001	2.936	329
2.001-2.002	2.936	339
2.002-2.003	3.057	344
2.003-2.004	3.048	352
2.004-2.005	3.241	369
2.005-2.006	3.227	372
2.006-2.007	3.180	377
2.007-2.008	3.343	381
2.008-2.009	3.389	402
2.009-2.010	3.384	396
2.010-2.011	3.337	407
2.011-2.012	3,471	416

Gestión	Producción (ton)	Superficie cultivada (ha)
2.012-2.013	3.575	423
2.013-2.014	3.711	427
2.014-2.015	3.970	450
2.015-2.016	3.801	435
2.016-2.017	3.781	438
2.017-2.018	3.749	437
2.018-2.019	3.813	441

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE), 2019.

En el año 2.018 según análisis estadístico realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Bolivia estaba en la posición número 56 en la cadena productiva mundial del pomelo, con una producción mayor de 3.800 toneladas métricas.

Asimismo, el Instituto Nacional de Estadística (INE) en 2019 efectuó una encuesta sobre la producción y superficie cultivada por departamento, tomando en cuenta diferentes cítricos (Tabla I-5).

Tabla I-5 Producción y superficie cultivada de pomelo (*Citrus Paradisi*) por departamento proyectada para 2019.

Departamento	Producción (ton. métricas)	Superficie cultivada (ha.)
Santa Cruz	476	58
La Paz	642	50
Beni	1.467	170

Departamento	Producción (ton. métricas)	Superficie cultivada (ha.)
Cochabamba	732	89
Chuquisaca	58	12
Tarija	358	51
Pando	80	10

Fuente: Principales cultivos cítricos en Bolivia, 2019.

1.4.1. Producción de Pomelo en el Departamento de Tarija

En el Departamento de Tarija existen aproximadamente 51 hectáreas dedicadas a la producción de pomelo, dicha producción se concentrada en los municipios de Bermejo, Padcaya, Entre Ríos, Villa Montes, Caraparí y en menor proporción Yacuiba.

Las 51 hectáreas indicadas generan un volumen de producción de 358 toneladas al año, distribuido como se muestra en la Tabla I-6.

Tabla I-6 Producción de Pomelo en el Departamento de Tarija.

Municipio	Superficie (ha.)	Producción (ton. Métrica)
Bermejo	17,85	128,88
Padcaya	12,75	103,82
Entre Ríos	7,65	42,96
Yacuiba	1,53	7,16
Caraparí	5,63	35,7
Villamontes	5,59	39,48
Total	51	358

Fuente: Principales cultivos cítricos en Bolivia, 2019.

1.5. Aceite esencial

Un aceite esencial es un producto volátil obtenido a partir de materia prima como ser semillas, cortezas, tallos, raíces, flores, hojas, madera y cáscaras de frutos. Los aceites esenciales generalmente son mezclas complejas de hasta más de 50 componentes, siendo conformados mayormente por compuestos alifáticos de bajo peso molecular como alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos entre otros.

En su gran mayoría son de olor agradable, aunque existen algunos de olor relativamente desagradable como por ejemplo los componentes que forman parte de la fracción aromática del ajo y la cebolla, los cuales contienen compuestos azufrados.

Siendo una parte del metabolismo de la planta, la composición química de una esencia está permanentemente variando, modificando las proporciones de sus constituyentes o transformando sus constituyentes en otros, según la parte de la planta, tanto en el momento de su desarrollo o el momento del día. Más aún debe tenerse en cuenta que dada su compleja composición, presenta una alta probabilidad de sufrir modificaciones fisicoquímicas por reacciones entre sus propios constituyentes o entre éstos y el medio tales como la luz, la temperatura, presencia de enzimas, los componentes del reservorio donde se almacena la esencia, etc. (Angulo Florez, 2012)

1.5.1. Características de los Aceites Esenciales

1.5.1.1. Características físicas

Los aceites esenciales son líquidos volátiles a temperatura ambiente, por ello se les denomina también aceites volátiles, aceites etéreos o esencias. Su coloración depende del tipo de materia empleada, siendo en su mayoría incoloros y ligeramente amarillos.

La mayoría de los aceites esenciales están compuestos fundamentalmente por terpenos y derivados orgánicos (C, H, O formando cadenas y anillos), poseen una densidad menor que al agua; sin embargo, hay excepciones como el aceite de almendras amargas, mostaza, canela, perejil, o clavo que presentan una densidad mayor. Además,

dichas esencias poseen un índice de refracción elevado que varía según el tipo de materia empleada para su extracción.

Entre otras características físicas se puede mencionar que los aceites esenciales son solubles en alcoholes, en disolventes orgánicos habituales, como éter o cloroformo y escasamente solubles en agua. (Linares, 2013)

1.5.1.2. Características químicas

Los componentes de los aceites se clasifican en no terpenoides y terpenoides.

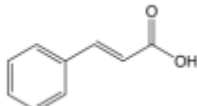
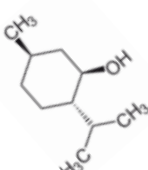
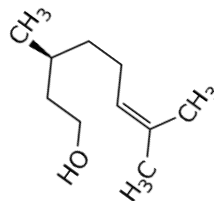
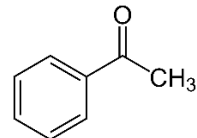
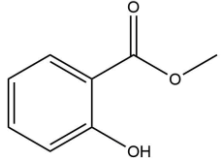
Tabla I-7 Característica química de los aceites esenciales.

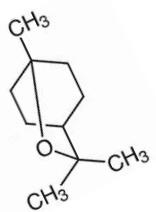
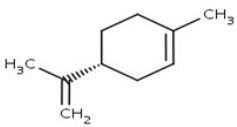
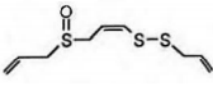
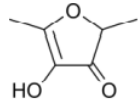
Clasificación	Característica
No Terpenoides	En este grupo tenemos sustancias alifáticas de cadena corta, sustancias aromáticas, sustancias con azufre y sustancias nitrogenadas. Sin embargo, no son tan usados como los terpenoides.
Terpenoides	Los terpenos derivan de unidades de isopreno (C5) unidas en cadena; pueden ser alifáticos, cíclicos o aromáticos. Son una clase de sustancia química que se encuentra en los aceites esenciales, resinas y otras sustancias aromáticas de muchas plantas. Los aceites esenciales pueden estar constituidos por monoterpenoides (C10), aunque también son comunes los sesquiterpenoides (C15) y en menor cantidad los diterpenos (C20).

Fuente: Uso Industrial de plantas aromáticas y medicinales. Aceites esenciales, 2012.

En la Tabla I-8 se muestran los distintos compuestos orgánicos que se pueden encontrar en la composición de los aceites esenciales.

Tabla I-8 Compuestos alifáticos presentes en los aceites esenciales.

Compuesto Aromáticos	Características	Ejemplo	Aroma
Ácidos	<ul style="list-style-type: none"> El aroma depende del número de carbonos. Algunos presentan aroma agradables, picantes o desagradables. 	 <p>Ácido Cinámico</p>	Aroma a canela dulce
Alcohol	<ul style="list-style-type: none"> En este grupo se encuentran los isómeros del mentol, pertenecientes a las plantas del género <i>Mentha</i>. 	 <p>Mentol</p>	Tienen aroma a menta fuerte
Aldehídos	<ul style="list-style-type: none"> El aceite esencial con este compuesto alifático tiene propiedades como espasmolítico, sedante, antiviral. 	 <p>Citronelal</p>	Tiene un intenso aroma a rosa
Cetona	<ul style="list-style-type: none"> Asociadas con aroma a metal. Presentes en frutas y verduras. 	 <p>Acetofenona</p>	Tiene un aroma dulce y frutal.
Ester	<ul style="list-style-type: none"> Están vinculadas a las frutas. Los aceites vinculados a estos compuestos alifáticos tienen propiedades espasmolítico, sedativo, Antifúngico. 	 <p>Salicilato de metilo</p>	Tiene un aroma a gaulteria

Compuesto Aromáticos	Características	Ejemplo	Aroma
Éter	<ul style="list-style-type: none"> • Aceite proveniente de las plantas como el eucalipto y marihuana. • El aceite esencial proveniente de este compuesto alifático tiene propiedades como expectorante y estimulante. 	 <p>Cineol</p>	Tiene un aroma intenso a eucalipto y alcanfora
Hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> • Son provenientes de cítricos. • El aceite esencial proveniente de los hidrocarburos tiene propiedades Estimulante, descongestionante, antivírico, antitumoral. 	 <p>Limoneno</p>	Tiene un aroma intenso a citrico.
Compuestos azufrados	<ul style="list-style-type: none"> • Responsable de olores desagradables. • Los más conocidos son los presentes en el ajo y la cebolla 	 <p>Ajoeno</p>	Tiene aroma a ajo
Compuestos Furanicos	<ul style="list-style-type: none"> • Originados por el proceso de ciclación de azúcares 	 <p>Furaneol</p>	Aroma frutal y dulce

Fuente: Diseño de una planta piloto para la extracción de aceites esenciales mediante destilación por arrastre de vapor, 2016.

1.5.2. Clasificación de los Aceites Esenciales

Los aceites esenciales se pueden clasificar en base a diferentes criterios como se muestra en la Tabla I-9.

Tabla I-9 Clasificación de los aceites esenciales según criterios utilizados.

Criterio	Clasificación	Características
Consistencia	Esencia	Son líquidos volátiles a temperatura ambiente.
	Bálsamo	Son extractos naturales obtenidos de un arbusto o un árbol, se caracterizan por tener un alto contenido de ácido benzoico y cinámico, así como sus correspondientes

Criterio	Clasificación	Características
		esteres. Son de consistencia más espesa, poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización.
	Resina	Son productos amorfos sólidos o semisólidos de naturaleza química compleja.
Origen	Naturales	Se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas.
	Artificiales	Se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes, por ejemplo, la mezcla de esencias de rosa, geranio y jazmín, enriquecida con linalool, o la esencia de anís enriquecida con anetol.
	Sintéticos	Son los producidos por la combinación de sus componentes los cuales son la mayoría de las veces producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y por lo tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes
Naturaleza química	Monoterpenoides	Son los terpenos con una estructura de 10 carbonos. Son componentes de las esencias de las flores, hierbas y cáscaras de frutos. Podemos mencionar al linalool, limoneno, nerol, 1, 8-cineol, geraniol.
	Sesquiterpenoides	Son los terpenos de 15 carbonos, es decir, terpenoides de un monoterpenoide y medio. Podemos mencionar al farnesol, nerolidol.

Criterio	Clasificación	Características
	Compuestos oxigenados	Son conformados por compuestos orgánicos tales como alcoholes, aldehídos, cetonas, esterres, éteres.

Fuente: Uso Industrial de plantas aromáticas y medicinales, 2012.

1.5.3. Aplicación de los Aceites Esenciales

De acuerdo a Bermúdez, A. (2012), las aplicaciones de los aceites esenciales tanto a nivel cotidiano como a nivel industrial son las siguientes:

- **Ambientadores**

Es la aplicación que tradicionalmente más se ha dado a los aceites esenciales, como aromatizante de ambiente. Los aromas más empleados para ambientadores suelen ser los cítricos (naranja, el limón, pomelo, etc.) y lavanda.

- **Industria farmacéutica**

Son usados para la producción de anetol y eugenol, los cuales son principios activos de varios medicamentos. También, son usados por sus propiedades terapéuticas, vistas anteriormente.

- **Industria alimentaria**

Su uso principal está relacionado con la adición a los alimentos como saborizantes. La incorporación de estos a los alimentos suele ser mínima, pero depende de varios factores, como el tipo de alimento al que se quiera añadir la sustancia, siendo por tanto dependiente de la trazabilidad del alimento o de criterios legales impuesto por cada país.

- **Industria de cosméticos**

El mercado de cosméticos es uno de los más demandantes de aceites esenciales. Estos son útiles para colonias, perfumes o maquillajes, los más utilizados suelen ser la lavanda, la rosa o jazmín entre otros.

- **Biocidas o insecticidas**

Tienen una utilidad como aplicación para combatir plagas y como defensa natural de la planta ante diversos tipos de insectos.

- **Desodorantes industriales**

Se usan para ocultar malos olores en la elaboración de ciertos productos a nivel industrial como en el caso de plásticos o pinturas.

- **Otras aplicaciones**

Se puede mencionar su aplicación en la industria del tabaco que recientemente ha globalizado la venta de cigarrillos con diferentes sabores como la menta o la lima. También se emplea en campos como la elaboración de licores, o incluso en la industria del motor, para limpiadores o pulimentos.

1.6. Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Rosado

El aceite esencial de cáscara de pomelo rosado presenta un elevado contenido de un hidrocarburo monoterpénico, identificado como D-limoneno, de forma molecular $C_{10}H_{16}$. Este componente normalmente se considera mayoritario en la composición del aceite esencial de las cáscaras de los cítricos y frecuentemente se reporta valores superiores al 65 % en análisis de cromatografía de gases (CG).

De acuerdo a Contreras, E. & Ruiz, J. (2012), el componente mayoritario encontrado en el aceite esencial de cáscara de pomelo por la técnica de cromatografía de gases es el limoneno con una concentración 95,40 %, seguido por la concentración del α -pineno con aproximadamente el 1,54 % y el linalool con el 1,52 %. Además, se observa otro componente con mucho menor concentración como el β -mirceno con el 0,03 %.

Entre otros análisis realizados al aceite esencial por el mismo autor podemos mencionar la densidad relativa con un valor de 0,815 g/ml y el índice de refracción con un valor de 1,458.

1.6.1. Componentes Principales del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Rosado

Los principales componentes presentes en el aceite esencial de cáscara de pomelo son los siguientes:

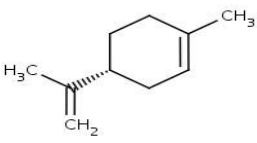
- **D-limoneno**

El limoneno es una sustancia natural que se extrae de los cítricos encargada de dar el olor característico al pomelo. Es un monoterpeno que pertenece al grupo de los terpenos.

Industrialmente se utiliza para producir P-cimeno por deshidrogenación catalítica. Debido a su demanda ha experimentado un gran crecimiento al emplearlo como disolvente biodegradable. Aparte de disolvente industrial también tiene aplicaciones como componente aromático. (Parada Parada, Yáñez Rueda, & Lugo Mancilla, 2007)

Posee un centro quiral, concretamente un carbono asimétrico. Por lo tanto, existen dos isómeros ópticos. El R-limoneno y S-limoneno en nomenclatura de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), pero también se emplean con más asiduidad los prefijos D y L.

Tabla I-10 Propiedades del D-limoneno.

Propiedades físicas	Valor	Unidad	Estructura molecular	Fórmula
Punto de ebullición	178	°C		C₁₀H₁₆
Densidad	0,84	g/ml		
Masa atómica	136,21	g/mol		

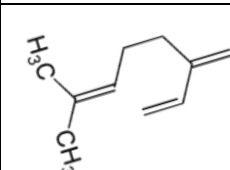
Fuente: Estudio del aceite esencial de la cáscara de la naranja dulce (*Citrus sinensis*, variedad Valenciana) cultivada en Labateca, 2007.

- **β -mirceno**

Es un hidrocarburo de la familia de los alquenos, se clasifica más precisamente como monoterpeno, es un componente encontrado en los aceites esenciales.

Asimismo, es utilizado en la industria de la perfumería, tiene un olor agradable pero rara vez se usa directamente, también es inestable en el aire y tiende a polimerizar. Las muestras se estabilizan mediante la adición de alquifenoles o tocoferol. Por tanto, es más valorado como intermedio para la preparación de productos químicos de aroma y fragancia. (Parada Parada, Yáñez Rueda, & Lugo Mancilla, 2007)

Tabla I-11 Propiedades del β -mirceno.

Propiedades físicas	Valor	Unidad	Estructura molecular	Fórmula
Punto de ebullición	166	°C		C₁₀H₁₆
Densidad	0,794	g/ml		
Masa atómica	136,238	g/mol		

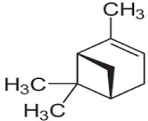
Fuente: Estudio del aceite esencial de la cáscara de la naranja dulce (*Citrus sinensis*, variedad Valenciana) cultivada en Labateca, 2007.

- **α -Pineno**

El α -Pineno es un compuesto orgánico de la clase terpeno, es un alqueno que contiene un anillo reactivo de cuatro miembros, tiene aromas distintivos de pinos y abetos, hay dos isómeros estructurales de pineno: α - pineno y β -pineno, ambas formas son importantes componentes de la resina de pino, α -pineno es el terpenoide más ampliamente encontrado en la naturaleza, se encuentra en muchas plantas coníferas, así como en las plantas no coníferas.

En niveles bajos de exposición, α -pineno es un broncodilatador en los seres humanos, y es altamente biodisponible con un 60% de absorción pulmonar humana con un rápido metabolismo siendo un antibiótico de amplio espectro. (Parada Parada, Yáñez Rueda, & Lugo Mancilla, 2007)

Tabla I-12 Propiedades del α -Pino.

Propiedades físicas	Valor	Unidad	Estructura molecular	Fórmula
Punto de ebullición	155	°C		C₁₀H₁₆
Densidad	0,861	g/ml		
Masa atómica	136,23	g/mol		

Fuente: Estudio del aceite esencial de la cáscara de la naranja dulce (*Citrus sinensis*, variedad Valenciana) cultivada en Labateca, 2007.

1.6.2. Aplicación como ambientador del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo

Los aceites esenciales generan un efecto psicológico en una persona debido a su aroma en general, aparte de sus propiedades que desprenden debido su composición química.

Determinadas moléculas activan receptores específicos en nuestro organismo que son capaces de generar variados efectos e influencias en nuestro estado anímico, atribuyéndole efectos como la ayuda en la concentración, el sueño y la disminución del estrés.

Los aceites esenciales tienen un relativo precio elevado, por lo que se debe economizar para producir un ambientador reduciendo tanto la presencia, concentración del aceite esencial disolviéndolo en un alcohol debido a su volatilidad y fácil dispersión en el ambiente. En cualquier caso, la aplicación como ambientador de los aceites esenciales de cítricos proporciona un aroma más agradable y delicado que cualquiera de los aromas sintéticos que despiden los productos de limpieza cotidianos (Ortuño Sanchez, 2006).

1.7. Métodos de Extracción de Aceite Esencial

1.7.1. Destilación con Arrastre de Vapor

El más antiguo y sencillo método para obtener aceites esenciales es la destilación por arrastre con vapor, a partir de material vegetal.

El procedimiento consiste en hacer pasar un flujo de vapor a través de la materia prima, de modo que arrastra consigo los aceites esenciales. Posteriormente, estos vapores se enfrían y se condensan, dando lugar al destilado líquido formado por dos fases inmiscibles, la acuosa y la orgánica, que es el aceite esencial. Estas se pueden separar por decantación, gracias a la diferencia de densidad existente entre ambas.

Históricamente se distinguen tres tipos de destilación: hidrodestilación o destilación con agua, destilación con agua y vapor y destilación en corriente de vapor. Son iguales desde el punto de vista puramente teórico, sin embargo, existen ciertas variaciones en la práctica y en los resultados obtenidos. (Guenther, 1950)

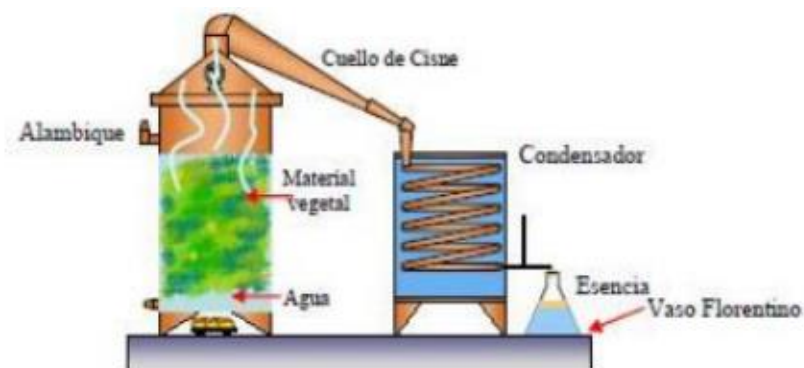
1.7.1.1. Hidrodestilación o Destilación con Agua

El principio de la destilación en agua es llevar a estado de ebullición una suspensión acuosa de un material vegetal aromático, de tal manera que los vapores generados puedan ser condensados y colectados. El aceite, que es inmiscible en agua, se separa posteriormente.

En la destilación con agua el material vegetal siempre debe encontrarse en contacto con el agua, si el calentamiento del equipo es con fuego directo, el agua presente en la cámara extractora debe ser suficiente y permanente para llevar a cabo toda la destilación a fin de evitar el sobrecalentamiento y carbonización del material vegetal, dado que este hecho provoca la formación de olores desagradables en el producto final; el material vegetal debe ser mantenido en constante agitación a fin de evitar aglomeraciones o sedimentación del mismo en el fondo del recipiente, lo cual puede provocar su degradación térmica.

El tiempo total de destilación es función de los componentes presentes en el aceite esencial. Si el aceite contiene compuestos de alto punto de ebullición, el tiempo de destilación deberá ser mayor, los aceites esenciales obtenidos mediante destilación en agua normalmente presentan aromas más fuertes y un color más oscuro con respecto a los producidos por otros métodos. (Bandoni, 2000)

Figura 1-6 Equipo para la Extracción de aceite esencial por Hidrodestilación



Fuente: Evaluación del rendimiento en la obtención del aceite “piper aurutum kunth” mediante la hidrodestilación asistida por microondas, 2011.

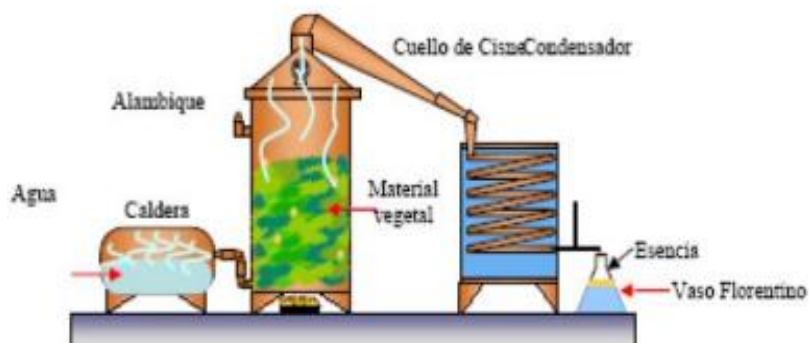
1.7.1.2. Destilación con Agua y Vapor

La destilación con agua y vapor es muy empleada en la extracción de aceites esenciales especialmente para esencias muy volátiles, la muestra vegetal es reducida en trozos pequeños, colocándolo en un recipiente cerrado y sometida a vapor.

El destilado obtenido es la mezcla de dos líquidos inmiscibles (aceite – agua) y consiste en una vaporización a temperaturas inferiores a las de ebullición de cada uno de los componentes volátiles por efecto de una corriente directa de vapor de agua, el cual ejerce la doble función de calentar la mezcla hasta su punto de ebullición y adicionar tensión de vapor a la de los componentes volátiles del aceite esencial. Finalmente, los líquidos inmiscibles son separados en un dispositivo decantador o vaso florentino. (Bandoni, 2000)

Figura 1-7 Equipo para la Extracción de aceite esencial por destilación con Agua y Vapor

Destilación con vapor seco



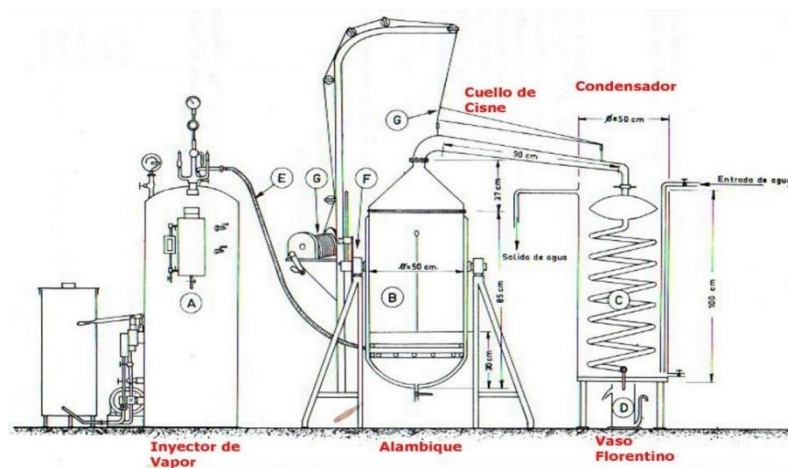
Fuente: Evaluación del rendimiento en la obtención del aceite “piper aurutum kunth” mediante la hidrodestilación asistida por microondas, 2011.

1.7.1.3. Destilación con corriente de Vapor

En este caso el vapor puede ser generado mediante una fuente externa, aunque separada del material vegetal, la diferencia radical existente entre este sistema y los anteriormente mencionados es que el vapor usado para la destilación se inyecta por la parte inferior del recipiente de destilación siendo el único perjuicio en este sistema que se reduce la capacidad neta de carga de materia prima dentro del extractor. (Bandoni, 2000)

Se utiliza a nivel industrial debido a su alto rendimiento dado que se puede controlar el flujo de vapor, la pureza del aceite obtenido y porque no requiere tecnología sofisticada.

Figura 1-8 Equipo para la Extracción de aceite esencial por destilación con corriente de vapor.



Fuente: Los Recursos Aromáticos Vegetales en Latinoamérica, 2000.

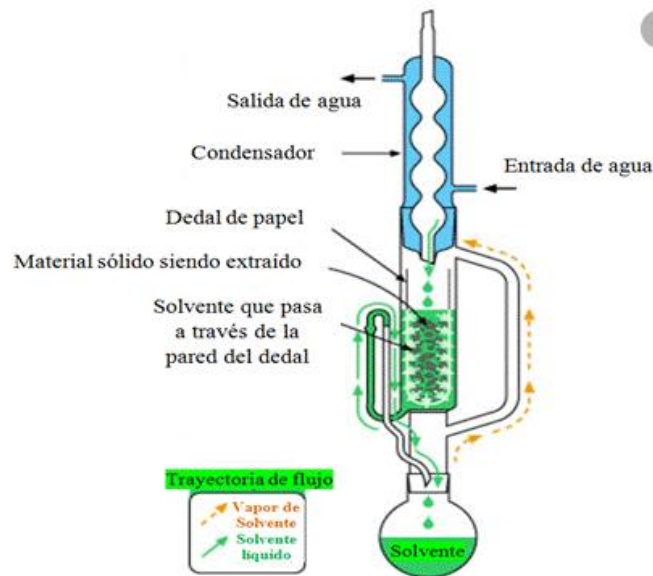
1.7.2. Solventes

La extracción con solventes es el método de separación sólido - líquido usado para obtener aceites esenciales, con menos impurezas que el obtenido mediante el método de presión mecánica. Además, en la extracción con disolventes el calentamiento es mínimo y así el aceite producido es de mejor calidad. Este proceso ahorra energía comparado con la extracción mecánica.

En las operaciones a gran escala es común que se genere una mezcla entre el aceite obtenido procedente de las partes trituradas de la materia prima con un disolvente, para lo cual después se tendrá que realizar otra extracción líquido-líquido para separarlas.

La eficiencia de este método depende de la selección del solvente primordialmente, este no tiene que ser tóxico como, por ejemplo, el hexano que es un gran solvente al aplicar en este método debido a su volatilidad, siendo el único problema la separación entre el aceite y este solvente por la toxicidad que este generaría en la mezcla.

Figura 1-9 Equipo Soxhlet para la Extracción con solventes.



Fuente: Guía de Extracción por Solventes, 2015.

La extracción con disolventes genera mejores rendimientos a comparación de la extracción por prensado mecánico obteniendo entre un 4 a 5 % de aceite, el contenido de aceite en el residuo después de la separación del disolvente puede ser menor al 1 % y descender hasta el 0.5 % (Gonzalez Perez, 2008).

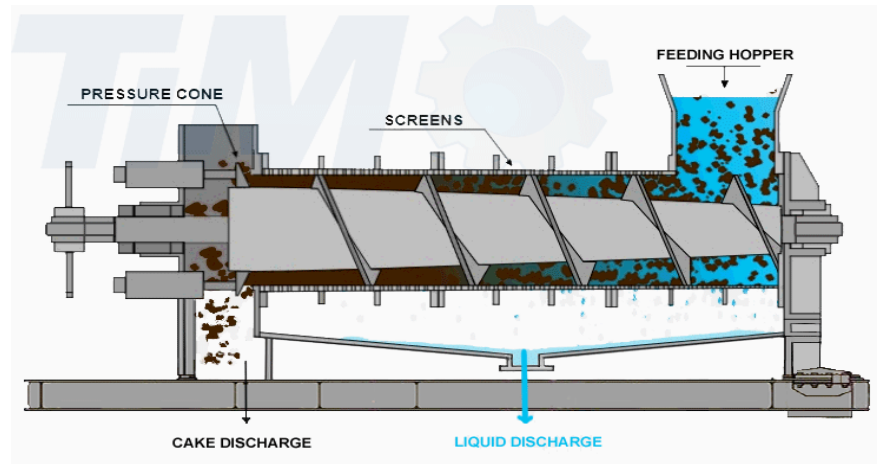
El proceso puede ejecutarse en batch (por lotes) o en forma continua (percolación, lixiviación, extracción tipo Soxhlet). Los solventes más empleados son: etanol, metanol, isopropanol, hexano, ciclohexano, tolueno, xileno, ligroína, éter etílico, éter isopropílico, acetato de etilo, acetona, cloroformo; no se usan clorados, ni benceno por su peligrosidad a la salud. Los solventes se recuperan por destilación y pueden ser reutilizados. (Castillo Sanchez, 2010)

1.7.3. Prensado

El proceso por prensado es aplicado en la extracción de aceites esenciales, aceites orgánicos, y para producción de biocombustibles con la finalidad de incrementar el valor de los mismos. El material vegetal es exprimido mecánicamente para liberar el aceite, siendo recolectado y filtrado, bien sea en prensas tipo batch ó en

forma continua, dentro de éstos se tienen los equipos: tornillo sin fin de alta ó de baja presión, extractor centrífugo, extractor decanter y rodillos de prensa. (Paredes Punina & Quinatoa Chicaiza, 2010)

Figura 1-10 Equipo de Prensa sin fin para la extracción por prensado.



Fuente: www.rtres.es. Producto prensa-tornillo-sinfín, 2012.

Para los cítricos antiguamente se empleó el método manual de la esponja, especialmente en Italia, que consiste en exprimir manualmente las cáscaras con una esponja hasta que se empapa de aceite, se exprime entonces la esponja y se libera el aceite esencial.

1.7.4. Fluido Supercrítico

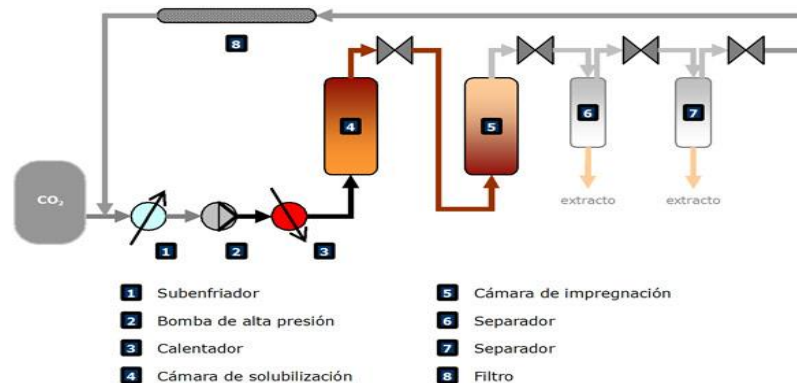
Este procedimiento presenta múltiples ventajas, entre las cuales sobresalen su alto rendimiento, reciclaje del solvente y ausencia de contaminación ambiental.

Cuando un fluido se somete a condiciones por encima de su presión y temperatura críticas, se encuentra en su estado “supercrítico”. En este estado, la línea de separación de fases líquido-gas es interrumpida. Esto implica la formación de una sola fase en la que el fluido tiene propiedades intermedias, de un líquido y de un gas: así pues, mientras se mantiene una gran difusividad (propia de los gases), se consigue una alta densidad (cercana a la de los líquidos). (Velasco, Villada, & Carrera, 2007)

La sustancia más empleada como fluido supercrítico es el Dióxido de Carbono, que en condiciones normales presenta baja viscosidad, baja tensión superficial, alto coeficiente de difusión (10 veces más que un líquido normal), que conlleva a un alto contacto con la superficie del material y puede penetrar a pequeños poros, rendijas del mismo, lo que asegura una buena eficiencia en la extracción en un corto tiempo.

En la parte final del proceso hay una remoción total del solvente, que se realiza a una temperatura baja, disminuyendo la pérdida de sustancias volátiles y la formación de sabores y olores extraños. (Vasquez De Frutos, 2008)

Figura 1-11 Proceso de extracción de aceite esencial por el método de fluidos supercríticos.



Fuente: Aplicaciones de la tecnología de fluidos supercríticos en el sector textil, 2012.

1.7.5. Radiación por Microondas

La técnica de extracción asistida por radiación de microondas es promisoria en la química de productos naturales.

Existe una patente europea para la extracción por microondas de aceites volátiles y un aparato para la misma; esta invención utiliza la energía de las microondas para generar un incremento repentino de la temperatura en los sistemas glandulares y a veces vasculares de la materia biológica que se encuentra en contacto con una cantidad apropiada de un solvente orgánico no acuoso. El proceso es un "proceso frío" en el cual el medio solvente no se calienta como resultado de la absorción, por el

solvente de la energía del microondas; y substancialmente toda la energía del microondas que se usa es aplicada al material que se está tratando.

Una comparación realizada por Golmakani y Rezaei (2008), del método convencional de hidrodestilación, con hidrodestilación asistida con microondas para la extracción de aceite esencial de tomillo, dio como resultado un ahorro de energía y tiempo de extracción; 75 minutos con hidrodestilación asistida por microondas, comparada a 4 horas con hidrodestilación normal. Además, el extracto de aceite esencial de tomillo al ser analizado por cromatografía de gases con espectrometría de masas indicó que la radiación de microondas no influye negativamente en la composición del aceite.

En la Tabla I-13 se comparará cada método antes descrito:

Tabla I-13 Ventajas y Desventajas de los métodos de Extracción.

Método de extracción	Ventaja	Desventaja
Destilación con arrastre de Vapor	<ul style="list-style-type: none"> • La extracción por destilación con corriente de vapor es un proceso de extracción muy limpio que asegura un producto de buena calidad. • Se requiere de instalaciones básicas de herrería para la construcción y mantenimiento del equipo. • Método industrial y de laboratorio. • Buenos rendimientos en aceite extraído. • Obtención del aceite puro, libre de solvente. • Bajo costo. • Tecnología no sofisticada. • Aplicación de principios de ingeniería Mecánica y Química. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su principal inconveniente es la alta temperatura de operación, que lo hace inapropiado para aquellos aceites esenciales con componentes sensibles al calor.

Método de extracción	Ventaja	Desventaja
Con solventes	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de temperaturas bajas. • Posibilidad de separación de componentes individuales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costoso. • Contaminante del ambiente dependiendo del solvente utilizado. • Riesgo de incendio y explosión. • Dificultad de separación completa del solvente sin alterar la composición del aceite. • Co-extracción de ácidos grasos, ceras y pigmentos.
Por prensado	<ul style="list-style-type: none"> • Es una tecnología bien conocida hace años, pero todavía tiene sus detalles y secretos. • Corto tiempo de extracción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando el aceite sale de la prensada todavía tiene muchas impurezas que deben ser eliminadas. • La mezcla agua-aceite se tiene que centrifugar durante 40 minutos y se genera pérdidas mayores al limpiar el aceite.
Fluidos Supercríticos	<ul style="list-style-type: none"> • Alto rendimiento. • Ecológicamente limpio. • Fácil retiro y reciclaje del solvente. • Bajas temperaturas de extracción. • No hay alteración química del aceite. • Cambiando parámetros operacionales se puede cambiar la composición del aceite extraído. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ácidos grasos y pigmentos pueden ser extraídos junto con el aceite esencial. • Alta inversión inicial.

Método de extracción	Ventaja	Desventaja
Radiación por Microondas	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica rápida. • Bajo consumo de disolventes. • Control de todos los parámetros de extracción. • Agitación y extracción de modo simultáneo. • Se logran altas temperaturas y presiones. • No requieren agentes deshidratantes para tratar la muestra (diferencia con Soxhlet). • Procesado de varias muestras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los extractos necesitan filtrado posterior. • Coste elevado del equipo.

Fuente: Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales, 2015.

1.8. Principio Teórico de la Destilación por Arrastre con Vapor

Al destilar una mezcla heterogénea de dos líquidos inmiscibles, la presión total del sistema es independiente de las concentraciones, siguiendo la Ley de Dalton sobre las presiones parciales, que dice:

“Cuando dos o más gases que no reaccionan entre sí, se mezclan a temperatura constante, cada gas ejerce la misma presión como si estuviera sólo y la suma de las presiones de cada uno, es igual a la presión total del sistema.”

Expresándolo matemáticamente:

$$P_{Total} = P_A^{\circ} + P_B^{\circ} + \dots + P_n^{\circ}$$

Según La Ley de Dalton al destilar una mezcla de dos líquidos inmiscibles, su punto de ebullición será la temperatura a la cual la suma de las presiones de vapor es igual a la atmosférica. Esta temperatura será inferior al punto de ebullición del componente más volátil. (Saez, 2005)

Si uno de los líquidos de la mezcla es agua y trabaja a una presión atmosférica o cercana a la atmosférica alcanzaría su punto de ebullición a una temperatura menor que la temperatura de ebullición de cualquiera de los "n" líquidos puros. La explicación para este fenómeno es que la incompatibilidad que existe entre los dos líquidos inmiscibles hace que se comporten como un azeótropo mínimo. Esto es una gran ventaja, ya que, utilizando agua, es posible destilar compuestos orgánicos de alto punto de ebullición a una temperatura menor de 100 °C, evitando tener que calentar estos compuestos orgánicos a altas temperaturas, por lo tanto, impide su descomposición térmica.

En general, esta técnica se utiliza cuando los compuestos cumplen con las condiciones de ser volátiles, inmiscibles en agua, tener un punto de ebullición alto. (Saez, 2005)

1.8.1. Etapas de la Destilación por Arrastre con Vapor

Al extraer por destilación con arrastre de vapor la carga entera está en contacto con el vapor de agua y los compuestos volátiles están listos para ser vaporizados tan pronto como alcanzan su temperatura de ebullición.

La extracción de aceite esencial de materia vegetal tiene lugar en cuatro etapas secuenciales:

- **Liberación del aceite esencial**

Por el incremento de la temperatura, la liberación del aceite esencial es promovido del interior del material vegetal hacia la superficie exterior.

El mecanismo por el cual este aceite es liberado del material vegetal depende en donde esté localizado.

Los frutos tienen un comportamiento de material isotrópico con una distribución uniforme de aceite esencial, estos al ser triturados dejan expuestas las glándulas oleosas donde la difusión dentro del material está sobreentendida.

En el caso de las flores y hojas el aceite está depositado sobre la superficie del mismo, desde sus frágiles tricomas glandulares. Penetrando lentamente a través de membranas y de la cutícula.

Puesto que la etapa de liberación de aceite en las hojas y flores es un mecanismo lento de transferencia, es usualmente la etapa controlante de la parte final de la destilación, principalmente en partículas molidas donde la difusión dentro de la partícula es la resistencia principal para la extracción de aceite. (Cárdenas López, 2014)

- **Vaporización**

La vaporización ocurre en la interfase líquido - vapor, en este proceso las moléculas de componentes en la fase líquido se mueven a la fase vapor, de acuerdo a sus volatilidades.

En la destilación de aceites esenciales con vapor de agua, la presencia de agua condensada humedece la superficie de la planta, conjuntamente con el flujo de aceite esencial liberado por la planta, conduce a la formación de dos fases de líquidos inmiscibles en contacto directo con vapor. Si el agua y la fase volátil (aceite) son considerados completamente inmiscible, siguiendo la ley de Dalton:

$$P_T = P_w^{vap} + P_C^{vap}$$

Donde P_T es la presión total, P_w^{vap} y P_C^{vap} son presiones de vapor de agua y sustancias volátiles, respectivamente. La presencia de agua líquida en una fase separada reduce la temperatura de ebullición de la mezcla porque su contribución a la presión de vapor permite al líquido hervir a bajas temperaturas. (Cárdenas López, 2014)

- **Transferencia de masa**

En la destilación de aceites esenciales, el flujo de vapor atraviesa el lecho poroso de material sólido mojado arrastrando las moléculas de componentes vaporizados en interfase líquido-vapor, generando así un proceso de transferencia de masa. Los mecanismos implican transferencia de masa por difusión y convección. (Cárdenas López, 2014)

- **Condensación del destilado**

El vapor que sale del destilador es condensado por el refrigerante de condensador externo. En un condensador no ocurre ningún cambio en flujo o composición, porque todos los vapores son condensados en una nueva fase líquida. (Cárdenas López, 2014)

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Descripción y Análisis de la Cáscara de Pomelo

La materia prima utilizada para la obtención de aceite esencial será la cáscara de pomelo rosado (*Citrus Paradisi*) de la especie Marsh Pink, la cual contiene glándulas oleosas o reservorios capilares, conformado de compuestos volátiles como el limoneno, que es un monoterpeno encargado del aroma característico de la cáscara.

Asimismo, en la composición de la cáscara se puede encontrar carotenoides como el fitoeno, β -caroteno (menor proporción), fitolueno y el licopeno, este último encargado de darle ese pigmento rosáceo característico en la variedad rosada.

Entre las vitaminas podemos mencionar a la Vitamina A y la vitamina C (ácido ascórbico), aparte se pueden encontrar carbohidratos solubles como fibra y protopectina. (Pascual, Lado, Zacarías, & Rodrigo, 2018)

2.1.1. Caracterización de la Cáscara de Pomelo Rosado

El epicarpio del pomelo rosado es grueso, carnoso, de un sabor agrio y de una textura lisa al tacto, esta recubierto de una capa interna (mesocarpio), siendo gruesa a comparación de otros cítricos, carnosa y de un sabor agrio, el color de la cáscara depende de las variedades que existen de este fruto, en el proyecto de investigación se empleó el pomelo con pigmentos de color rosáceo como se muestra en la figura 2-1.

Figura 2-1 Materia Prima – Pomelo Rosado (*Citrus Paradisi*)



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para caracterizar la cáscara de pomelo utilizada en el proyecto de investigación se realizó un análisis fisicoquímico en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), para determinar sus propiedades fisicoquímicas más importantes. Los resultados de dicho análisis son mostrados en el capítulo III correspondiente a resultados del proyecto.

2.1.2. Morfología de la Cáscara de Pomelo

Para determinar la ubicación del aceite esencial en la cáscara de pomelo se realizó un estudio morfológico, observando el tejido del epicarpio y el mesocarpio de la cáscara como se muestra en la figura 2-2.

Figura 2-2 Observación en microscopio.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

El procedimiento para la observación a nivel microscópico de los tejidos del pomelo rosado fue el siguiente:

- Se realiza un corte tangencial con un escalpelo, obteniendo un trozo lo más fino posible de epicarpio y otro de mesocarpio.
- Se colocan los cortes con la aguja histológica en los porta objetos.

- Se agrega una gota de solución fisiológica en cada porta objeto y son tapados con cubre objetos.
- Las muestras son llevadas a un microscopio donde se observa la estructura de los tejidos, se trabaja con un lente de 40X.

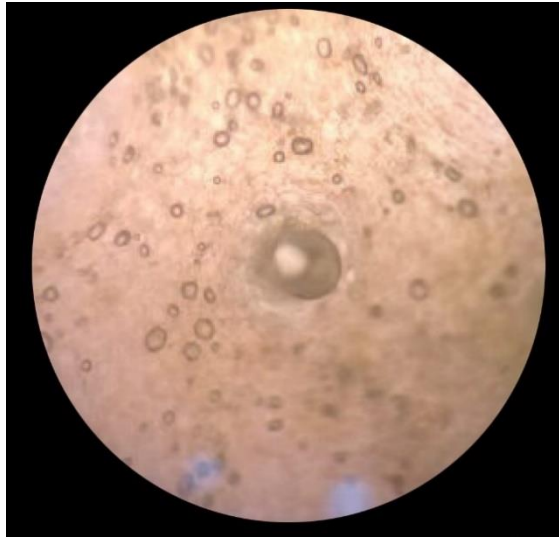
Figura 2-3 Microscopio Olympus CX31 y materiales.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la figura 2-4 y 2,5 se logra ver la estructura microscópica del epicarpio y mesocarpio de la cáscara del pomelo rosado.

Figura 2-4 Cáscara de pomelo visto a 40x.



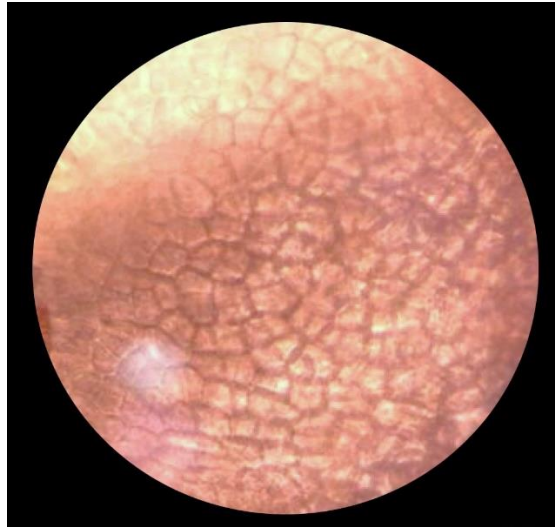
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Empleando ocular 40x para su enfoque en el microscopio, se observa los tejidos agrupados de color rosado, esto debido a una sustancia química llamada licopeno que es uno de los carotenoides encargado de darle esa pigmentación al epicarpio del pomelo rosado, en la figura 2-4 se contemplan las glándulas oleosas de diferentes tamaños y formas entre los tejidos como bolsitas llenas de líquido un poco oscuras, pero en realidad tienen un color transparente.

Se puede ver como las glándulas oleosas de tamaño pequeño recién se están formando, comenzando siendo un grupo de células que se llenan de aceite, las cuales se juntan hasta volverse una sola como la glándula oleosa de mayor tamaño que se muestra en la figura para después segregarse y expulsar el aceite.

En la figura 2-5 se observa el mesocarpio a 40x, notando que los tejidos son de color rosado y descartando que tenga glándulas oleosas en esta capa del fruto para su extracción de aceite esencial.

Figura 2-5 Mesocarpio visto en microscopio.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.2. Descripción del Método de Investigación

El proyecto de investigación empleará una metodología cuantitativa, siendo un trabajo de tipo documental y experimental. Es documental puesto que para obtener información sobre el tema se precisará la revisión de material bibliográfico referido al mismo. Y es experimental ya que los datos se obtuvieron de manera directa mediante ensayos en laboratorio.

Las condiciones de investigación serán mediante el manejo de las variables independientes, ya que es imprescindible identificar, controlar y observar variables para el logro de una buena respuesta de la variable dependiente.

Asimismo, se evaluará la validez y confiabilidad de los datos obtenidos mediante la implementación de las matemáticas estadísticas, aplicando el diseño factorial.

2.2.1. Método Utilizado para la Extracción de Aceite esencial de Cáscara de Pomelo Rosado.

La destilación con agua y vapor es un método que con frecuencia es empleada en la extracción de aceites esenciales, por lo cual en el presente proyecto de

investigación se aplicará este método a escala laboratorio, debido a que se obtiene un rendimiento considerable, como también la pureza del aceite obtenido, no requiriendo tecnología sofisticada, ni un alto costo de operación y mantenimiento, además de contar con el equipo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la carrera de ingeniería química.

2.3. Diseño Factorial

El diseño factorial es una técnica estadística, que tiene por objeto definir el número de pruebas que se van a realizarse en una investigación manipulando dos o más variables independientes (factores) del sujeto de estudio y así observar la variable respuesta que permite enfocar la investigación validándola.

2.3.1. Variables que Influyen en la Destilación con Agua y Vapor

- **Tipo de Materia Prima**

El tipo de materia prima utilizada en el proceso de extracción de aceite esencial puede generar variaciones debido a las diferentes variedades que puede tener, como también el tipo de maduración.

En el caso del pomelo rosado (*Citrus Paradisi*) llega a tener tres variedades que se diferencian según la coloración de la pulpa entre ellas está el pomelo blanco o amarillo, rojo fuerte y rosado, optando por elegir este último debido a su elevada demanda en el mercado dado que es producido en el departamento de Tarija.

Los frutos tienen tres tipos de maduración, la madurez fisiológica, comercial y la sobre maduración, en nuestro caso se empleó el pomelo de maduración comercial, dado que en este tipo de maduración se puede percibir la pigmentación rosácea en el fruto.

- **Tamaño de partícula**

El tamaño de partícula tiene un claro efecto en el rendimiento al emplear la destilación por arrastre con vapor, por lo que, a mayor superficie de contacto, es decir

menor tamaño de partícula se genera mayor contacto con el vapor. Esto en virtud de que se conforma un lecho compacto, evitando que las partículas se apilen y dejen espacios libres que faciliten el paso de vapor. (Brennan, 1994)

- **Cantidad de Materia Prima**

La cantidad de materia en la torre de destilación, influye en la cantidad de energía necesaria para calentar la materia vegetal y así lograr la extracción del aceite, de esta manera el desprendimiento de los aceites esenciales y su incorporación a la corriente de vapor de agua que saldría por el tope de la torre de destilación. (Casado Villaverde, 2018)

- **Tiempo de Extracción**

La variable tiempo de extracción tiene como finalidad, encontrar el momento en que la cantidad de aceite esencial obtenido alcanza un régimen permanente con un rendimiento aceptable, por tanto, no merece la pena mantener la operación durante más tiempo para evitar que el vapor arrastre otros componentes, los cuales disminuirían la calidad del aceite. (Cerpa, 2006)

- **Flujo de vapor**

El flujo de vapor en el extractor es útil para mejorar los tiempos de extracción debido a la velocidad con la cual se genera, dependiendo de la magnitud de flama durante la combustión. (Gonzalez Perez, 2008)

Asimismo, el equipo empleado (cocinilla) no cuenta con un mecanismo de graduación para la liberación del combustible y así es complejo calibrar las distintas magnitudes de flama.

2.3.2. Identificación de Variables de operación a utilizar en la Extracción

Entre las variables que influyen en el proceso de extracción se identificaron tres para evaluar su efecto en la obtención de aceite esencial de cáscara de pomelo, tomando en cuenta que pueden ser analizados en el equipo de extracción con el que se trabaja.

2.3.2.1. Cantidad de Materia Prima

De acuerdo a Fashola, E. (2016), el rendimiento es directamente proporcional a la cantidad de carga que se introduce en el extractor, evitando excederse de la cantidad óptima porque llegaría a ser contraproducente. Por lo que es importante definir esta variable para evitar el apiñamiento de la materia prima en los canastillos que es perjudicial en el rendimiento del extracto. Por el contrario, al tener una cantidad de carga mínima la extracción podría ser insignificante e imperceptible.

Por esta razón se determinó la cantidad de carga necesaria en el extractor mediante pruebas, para evitar la pérdida de materia prima. Empleando un máximo de materia de 800 gramos y un mínimo de carga de 200 gramos, variando entre 100 gramos en cada prueba, generando así una gráfica con ocho puntos. Obteniendo así los límites tanto inferior como superior óptimos, los cuales son interpretados en el capítulo III.

2.3.2.2. Tiempo de Extracción

Según Hong, D. (2018), toda extracción de aceite esencial por arrastre con vapor tiene tiempos convenientes para cada materia prima, excediéndose el tiempo óptimo se ocasiona gasto energético innecesario como también desperdicio de refrigerante.

Por tal motivo se debe seleccionar los tiempos óptimos de extracción, realizando pruebas empleando un tiempo mínimo de 30 minutos y un máximo de 120 minutos, variando 10 minutos en cada prueba, generando así una gráfica con diez puntos. Obteniendo así los límites tanto inferior como superior óptimos, los cuales son interpretados en el capítulo III.

2.3.2.3. Tamaño de Partícula

Para determinar los dos niveles de la variable tamaño de partícula se realizará un análisis granulométrico por tamizado a la masa triturada de cáscara de pomelo.

Se utilizó tamaños de tamices de 5; 4; 2; 1 mm. Tomando en cuenta el rechazo en cada tamiz, obteniendo tanto el límite superior como el inferior, los cuales son interpretados en el capítulo III.

2.3.3. Variable Respuesta

La variable respuesta en el proyecto de investigación es el rendimiento, siendo la cantidad de aceite esencial obtenida dividida entre la cantidad de materia prima empleada en el extractor, explicándolo de otra manera la extracción en g de aceite / g de materia prima utilizada.

2.3.4. Hipótesis

Las hipótesis que se desean probar son las siguientes:

- Hipótesis Nula

$H_0: A_i = 0$ (no hay efecto significativo del factor A sobre la variable de respuesta).

$H_0: B_j = 0$ (no hay efecto significativo del factor B sobre la variable de respuesta).

$H_0: C_k = 0$ (no hay efecto significativo del factor C sobre la variable de respuesta).

$H_0: (ABC)_{ijk} = 0$ (no hay efecto significativo en las interacciones sobre la variable de respuesta).

- Hipótesis Alterna

$H_0: A_i \neq 0$ (si hay efecto significativo del factor A sobre la variable de respuesta).

$H_0: B_j \neq 0$ (si hay efecto significativo del factor B sobre la variable de respuesta).

$H_0: C_k \neq 0$ (si hay efecto significativo del factor C sobre la variable de respuesta).

$H_0: (ABC)_{ijk} \neq 0$ (si hay efecto significativo en las interacciones sobre la variable de respuesta).

2.3.5. Determinación del Número de Ensayos

Se realizó un diseño factorial lineal completo que está dado por m^k , donde:

m = niveles de las variables manipulables.

k = número de factores.

El diseño factorial planteado para el proyecto de investigación emplea el modelo matemático 2^3 , es decir, consta de tres factores con dos niveles, evaluando su influencia sobre una variable respuesta que en nuestro caso es el rendimiento.

Según el diseño el número de experimentos es igual a 8, para la confiabilidad de información del proyecto también se realizará una réplica, dando como total un número de 16 ensayos, realizados como se muestra en la Tabla II-1.

Tabla II-1 Matriz de diseño factorial de 3 factores y 2 niveles.

N°	Diseño	Variables			Matriz de diseño			Respuesta
		A	B	C	X ₁	X ₂	X ₃	
1	1	N ₁	N ₂	N ₃	+	+	+	Y ₁₁₁
2	A	N ₁	N ₂	M ₃	+	+	-	Y ₁₁₂
3	B	N ₁	M ₂	N ₃	+	-	+	Y ₁₂₁
4	AB	N ₁	M ₂	M ₃	+	-	-	Y ₁₂₂
5	C	M ₁	N ₂	N ₃	-	+	+	Y ₂₁₁
6	AC	M ₁	N ₂	M ₃	-	+	-	Y ₂₁₂
7	BC	M ₁	M ₂	N ₃	-	-	+	Y ₂₂₁
8	ABC	M ₁	M ₂	M ₃	-	-	-	Y ₂₂₂

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Donde:

N₁ = Límite superior de la variable cantidad de materia prima.

M₁ = Límite inferior de la variable cantidad de materia prima.

N_2 = Límite superior de la variable tiempo de extracción.

M_2 = Límite inferior de la variable tiempo de extracción.

N_3 = Límite superior de la variable tamaño de partícula.

M_3 = Límite inferior de la variable tamaño de partícula.

La ecuación genérica para el diseño factorial es:

$$Y_{ijk} = u + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (BC)_{jk} + (AC)_{ik} + (ABC)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y = Variable de respuesta de la i, j, k –ésima muestra experimental.

u = Efecto de la media general.

A_i = Efecto i –ésimo de la variable cantidad de materia prima.

B_j = Efecto j –ésimo de la variable tiempo de extracción.

C_k = Efecto k –ésimo de la variable tamaño de partícula.

$(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción de las variables cantidad de materia prima – tiempo de extracción.

$(BC)_{jk}$ = Efecto de la interacción de las variables tiempo de extracción – tamaño de partícula.

$(AC)_{ik}$ = Efecto de la interacción de las variables cantidad de materia prima – tamaño de partícula.

$(ABC)_{ijk}$ = Efecto de la interacción de las variables cantidad de materia prima – tiempo de extracción – tamaño de partícula.

ε_{ijk} = Error aleatorio.

Los datos obtenidos son analizados posteriormente con el análisis de varianza (ANOVA), para determinar la significancia en el rendimiento del aceite esencial de cáscara de pomelo extraído, con respecto a las variables independientes.

2.4. Materiales y Equipos

2.4.1. Materiales

Los materiales utilizados para la extracción de aceite esencial son los indicados en la Tabla II-2.

Tabla II-2 Materiales Utilizados en el Proyecto.

Equipo	Características	Cantidad
Mangueras	Material de goma.	2
Soporte universal	Material de hierro fundido.	2
Pinza doble nuez	Material de metal	2
Matraz	Material de vidrio de 500 ml.	1
Matraz	Material de vidrio de 1.000 ml.	1
Termómetro de mercurio	Material de vidrio de un rango de -10 °C a 200 °C.	2
Ampolla de separación	Material de vidrio de 250 ml.	1
Micropipeta HumaPette	Con una capacidad máxima de 1 ml.	1
Frascos ámbar	Material de vidrio de 30 ml.	5
Portaobjeto	Material de vidrio.	2
Cubreobjeto	Material de vidrio.	2
Vaso de precipitado	Material de vidrio de 40 ml	1
Vaso de precipitado	Material de vidrio de 100 ml	1

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

2.4.2. Equipos Utilizados

Los equipos utilizados para el presente proyecto de investigación son los indicados en la Tabla II-3 siendo la mayoría propiedad del Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Tabla II-3 Equipos Utilizados en el Proyecto.

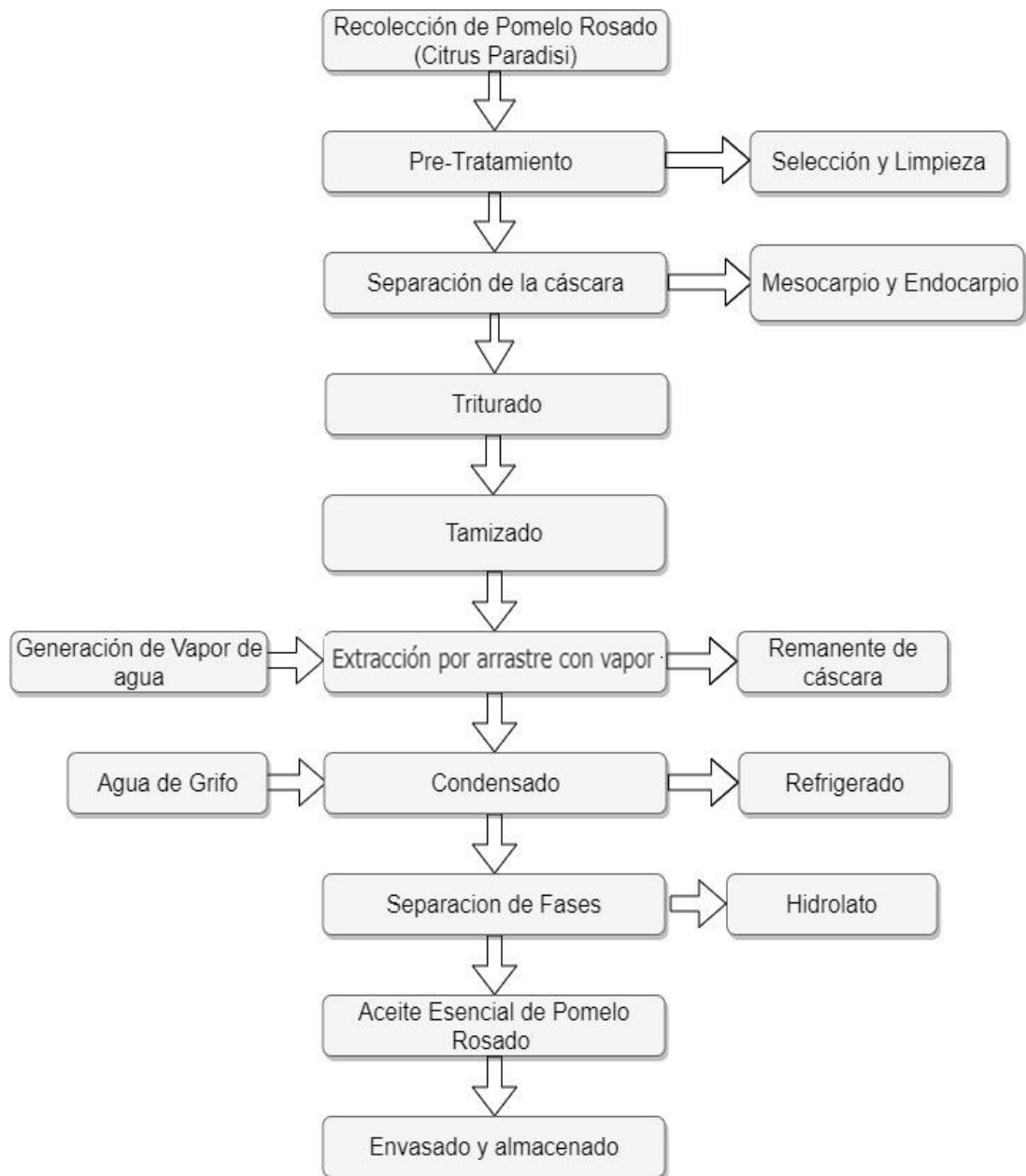
Equipo	Características	Cantidad
Torre de Extracción	Material de acero inoxidable.	1
Condensador	Material de cobre revestido con estaño.	1
Cocinilla	Con Funcionamiento a GLP.	1
Balanza Digital Europe	Uso exclusivo de pesado en g.	1
Balanza Visioneer	Uso exclusivo de pesado en Kg.	1
Pelador de cítricos	Material inoxidable.	1
Licuada Oster	Trituradora.	1
Tamiz Vibratorio Orto Alresa,	Tamices Norma española UNE.	1
Microscopio Olympus CX31	Oculares de 10X y 40X	1
Agitador JP Selecta	Con regulación de rpm y temperatura	1

Fuente: Elaboración Propia, 2021.

2.5. Proceso de Obtención de Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo

En la figura 2-6, se representa las etapas del proceso empleado en la extracción de Aceite Esencial de cáscara de pomelo rosado con el método de arrastre con vapor a escala de laboratorio.

Figura 2-6 Diagrama del Proceso de Obtención de Aceite a Escala de Laboratorio.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.6. Pruebas Previas

2.6.1. Materia en base seca y húmeda

Se realizaron pruebas preliminares con cáscara de pomelo en base seca y húmeda para determinar con cuál de estas muestras se podría trabajar.

La cáscara de pomelo fue deshidratada en un secador de tiro natural a una temperatura de 20 °C hasta que alcanzó un peso constante en un tiempo de 4 días, trabajando así en base seca. En dicha prueba se usó una cantidad de carga triturada en el extractor de 450 g con un volumen 4.500 ml de agua para generar vapor, aplicando un tiempo de extracción de 120 min.

También se deshidrató la cáscara de pomelo rosado a tiro forzado hasta que alcance un peso constante en un tiempo de 300 min, para esto se utilizó un secador a una temperatura de 50 °C. De acuerdo a Castañeda, A. (2009), es una temperatura óptima para la deshidratación del epicarpio de un cítrico.

En base húmeda se trabajó con los mismos parámetros de operación que, en base seca.

En la Tabla II-4 se detalla la cantidad de aceite obtenido y los parámetros de operación, tanto en base seca (tiro natural y forzado) como en húmeda.

Tabla II-4 Prueba previa de materia en base seca y húmeda.

Parámetros de operación	Pruebas Realizadas		
	Base Seca (Deshidratado a tiro natural)	Base Seca (Deshidratado a tiro forzado)	Base Húmeda
Tiempo de Extracción (min)	120	120	120
Tiempo de secado (h)	96	300	0
Temperatura de secado (°C)	Aprox. 20	50	-
Cantidad de materia (g)	450	450	450
Volumen de agua cargado a la torre de extracción (ml)	4.500	4.500	4.500
Cantidad de Aceite esencial obtenido (g)	4,1	3,4	3,8

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En dicha tabla se puede verificar que no hay una variación significativa al trabajar tanto en base húmeda obteniendo 3,8 g, que con base seca a tiro natural con 4,1 g obtenidos de aceite esencial.

Asimismo, al trabajar en base seca a tiro natural se pudo notar que mientras la cáscara de pomelo se encontraba deshidratando, los aromas de dicha cáscara impregnaban el ambiente, explicando de otra forma parte del aceite esencial se volatilizaba en el proceso de secado.

También se realizó la deshidratación a tiro forzado en un secador a 50 °C como decía la bibliografía, pero se obtuvo una cantidad menor de aceite esencial de 3,4 g verificando que a tiro forzado se tiene una pérdida mayor del aroma de la cáscara.

Al ver este inconveniente en el proceso de secado, se decidió trabajar en base húmeda, teniendo como ventaja trabajar con menor cantidad de materia prima que en base seca y optimizando el tiempo de trabajo al no realizar la deshidratación de la cáscara de pomelo.

2.6.2. Volumen de agua en el extractor

Para determinar el volumen de agua óptimo a utilizar en cada extracción se realizaron pruebas previas a 4.000 ml y 5.000 ml mostradas en la tabla II-5, siendo estos dos volúmenes los únicos que se pueden controlar en el equipo de extracción.

Para dicha prueba se empleó un tiempo de 120 min con una cantidad de carga de 450 g.

Figura II-5 Prueba previa de volúmenes de agua en el extractor.

Parámetros de operación	Pruebas realizadas	
	4.000 ml de agua	5.000 ml de agua
Tiempo de Extracción (min)	120	120
Cantidad de materia (g)	450	450
Cantidad de Aceite esencial obtenido (g)	3,5	3,8

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Se puede notar en la tabla que no hay mucha diferencia al trabajar con 5.000 ml y 4.000 ml, apenas 0,3 g de aceite esencial entre los dos volúmenes, por lo que se decidió trabajar con el volumen menor, o sea 4.000 ml evitando el gasto de 1.000 ml de agua.

2.6.3. Consumo de energía

Se efectuó la prueba previa para determinar que insumo energético emplear entre gas licuado de petróleo (GLP) y gas natural domiciliario con una cantidad de carga de 450 g de cáscara de pomelo en base húmeda y 4.000 ml de agua para generar vapor en un tiempo de 120 min de extracción.

En la siguiente tabla se muestran las cantidades de aceite esencial obtenido y los parámetros de operación utilizadas, trabajando tanto con gas licuado de petróleo (GLP) como con gas natural domiciliario.

Tabla II-6 Prueba previa de consumo energético.

Parámetros de operación	Pruebas realizadas	
	Gas Licuado de Petróleo	Gas natural domiciliario
Tiempo de Extracción (min)	120	120
Cantidad de materia (g)	450	450
Tiempo de acondicionamiento (min)	32	41
Volumen de agua cargado a la torre de extracción (ml)	4.000	4.000
Cantidad de energía entregada (Kcal/h)	1.592	1.086
Cantidad de Aceite esencial obtenido (g)	2,3	1,5

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Al realizar las pruebas previas para determinar con que insumo energético trabajar se pudo notar que es mejor utilizar gas licuado de petróleo (GLP) a gas natural domiciliario, debido a que tiene un mayor poder calorífico entregando mayor cantidad de energía como se muestra en la tabla II-6, como también acorta el tiempo de acondicionamiento, obteniendo la primera gota de condensado a los 32 min de iniciado la extracción y al trabajar con gas natural el tiempo de acondicionamiento es de 41 min, notando de igual manera que al trabajar con gas natural domiciliario el flujo de condensado a la salida del intercambiador de calor era lento, obteniendo 2,3 g de aceite esencial utilizando gas licuado de petróleo a diferencia de emplear gas natural domiciliario en la cual se obtuvo 1,5 g. Por lo que se decidió trabajar con gas licuado de petróleo en cada extracción.

2.6.4. Materia Triturada y sin Trituración

En las dos condiciones se realizó la prueba preliminar con una cantidad de carga de 450 g de cáscara de pomelo en base húmeda utilizando un volumen de 4.000 ml de agua en el extractor.

La variación de aceite esencial obtenido al trabajar con materia triturada y sin trituración se muestra en la tabla II-7, junto a los parámetros de operación que se utilizó.

Tabla II-7 Prueba previa al trabajar con materia triturada y sin trituración.

Variables	Pruebas realizadas	
	Materia triturada	Materia no triturada
Tiempo de Extracción (min)	120	120
Cantidad de materia (g)	450	450
Volumen de agua cargado a la torre de extracción (ml)	4.000	4.000
Cantidad de energía entregada (Kcal/h)	1.573	1.509
Cantidad de Aceite esencial obtenido (g)	3,6	0,8

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La cantidad de energía entregada empleando materia triturada es de 1.573 kcal/h y en materia no triturada de 1.509 kcal/h, notando que la diferencia de energía no es significativa.

En la tabla anterior se puede apreciar que se obtiene mucha diferencia en la cantidad de aceite esencial obtenido trabajando con materia triturada, esto debido a que se expone la superficie de contacto al flujo de vapor siendo fácil el arrastre del aceite esencial, por lo cual se decide para cada extracción trabajar con materia triturada.

2.7. Procedimientos y Técnicas empleadas para la Obtención de Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo

2.7.1. Recolección de la Materia Prima

El pomelo rosado (*Citrus Paradisi*) utilizado para el presente trabajo de investigación fue recolectado de la comunidad de Santa Rosa cercana a la carretera a Bermejo, perteneciente a la provincia Aniceto Arce.

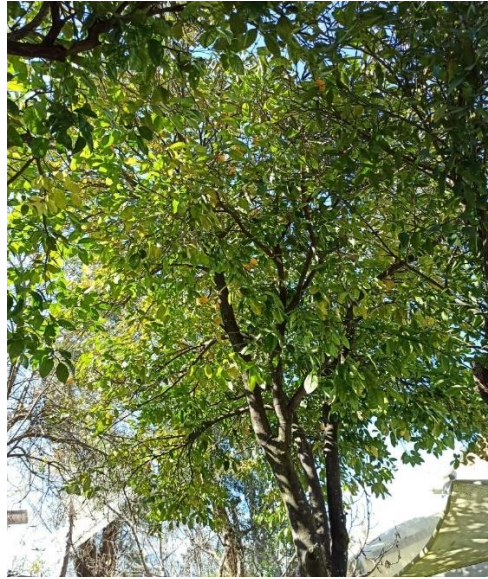
La ubicación aproximada es a 164 km de la ciudad de Tarija encontrándose localizada entre las coordenadas geográficas 22°36'33.0228" de Latitud Sur y 64°21'23.3892" de Longitud Oeste.

Figura 2-7 Ubicación geográfica de la recolección de pomelo rosado.



Fuente: Google Earth, 2021.

Figura 2-8 Lugar de recolección de pomelo rosado.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.7.2. Pretratamiento de la Materia Prima

Para lograr tener un proceso eficiente en la extracción de aceite esencial, se tiene que seleccionar manualmente los pomelos rosados que no presenten signos de apiñamiento, descomposición en la cáscara o presencia de manchas típicas, que son causadas por el hongo *Guignardia citricarpa*.

Figura 2-9 Selección de los pomelos.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

El lavado de la cáscara se realizó con agua debido a la facilidad económica, dado que es más accesible, extrayendo restos de polvo debido a su recolección, transporte, como también ácidos y azúcares; estos dos últimos formados por la descomposición y apiñamiento de los pomelos, al final del lavado se realizó el secado con una toalla suave.

Figura 2-10 Lavado de la materia prima.



Fuente: Elaboración propia,2021.

2.7.3. Separación de la Cáscara

Se utilizó un instrumento manual para pelado de cítricos, el cual permitió separar la mayor cantidad de corteza correspondiente al epicarpio, realizando un corte de modo uniforme con un espesor de 2mm, gracias a su cuchilla flexible y afilada. De cada pomelo rosado pelada se obtuvo un promedio de 56,23 g de cáscara.

Se pudo evidenciar una pérdida mínima de aceite esencial en el pelado ya que al cortado de la cáscara se deja glándulas oleosas abiertas.

En la figura 2-11 se puede observar el proceso de pelado de la cáscara de pomelo.

Figura 2-11 Separación del epicarpio.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.7.4. Triturado

Dentro de lo que es el diseño factorial se propuso trabajar con dos tamaños de partícula. Esta diferenciación se la realiza para poder observar la variación en el rendimiento del aceite esencial. Para tal modo se emplea una licuadora Oster.

El proceso de triturado se realizó para cada extracción, por lo que era mejor tenerlo fresco para evitar que los componentes de la cáscara se volatilicen después del triturado.

El procedimiento inicia introduciendo la cáscara de pomelo rosado al frasco de la licuadora hasta un volumen que sea la mitad, como se muestra en la figura 2-12, encendiendo el equipo y poniendo en marcha el proceso de triturado por el tiempo de 2 min, repitiendo el proceso hasta tener una cantidad considerable de cáscara triturada.

Figura 2-12 Triturado de la cáscara de pomelo rosado.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.7.5. Tamizado

El tamizado se empleó para separar la cáscara de pomelo rosado triturada en diferentes tamaños de partícula, seleccionando dos tamaños de partículas según el análisis granulométrico el cual es descrito en el capítulo III de análisis y discusiones.

El equipo a utilizar para realizar el tamizado de la cáscara de pomelo rosado es un tamiz vibratorio de marca Orto Alresa, Norma española UNE, empleando tamices de tamaño 5, 4, 2, 1 mm.

Para el uso del equipo, primero se pesa cada tamiz en vacío, añadiéndole después la cantidad de 300 g de cáscara de pomelo rosado triturado en el plato superior, se tiene que programar tanto la velocidad que en nuestro caso será 60 rpm y el tiempo de 10 min de funcionamiento en el cronometro, poniendo en marcha dicho equipo como se muestra en la figura 2-13, pasando ese tiempo de funcionamiento suena el timbre del cronómetro.

Según el tamaño de partícula deseado se pesa el tamiz para estimar la cantidad de cáscara de pomelo rosado triturado como rechazo como se muestra en la figura 2-14, realizando el tamizado hasta completar cantidad de materia prima requerida.

Figura 2-13 Tamizado de partículas de cáscara de pomelo rosado.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Figura 2-14 Rechazo en cada tamiz.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.7.6. Extracción por arrastre con vapor

2.7.6.1. Características de la torre de extracción

El equipo está diseñado a escala piloto, construido de acero inoxidable y forrado con una capa de lana de vidrio, misma que está recubierta con una capa de calamina aluminizada, reduciendo así la transferencia de calor con el exterior. Tiene una forma cilíndrica con una dimensión de 0,65 m de alto y 0,2 m de diámetro, para su funcionamiento es instalada de forma vertical como se muestra en la figura 2-15.

En la parte inferior de la torre de extracción se carga el agua para su posterior vaporización, el volumen máximo de agua es de 5,5 litros, controlando el volumen de llenado de agua mediante un tubo que se encuentra instalado en el mismo equipo.

El equipo consta de una tapa en forma de cuello de cisne, la cual se presiona a la torre mediante tres ganchos y un perno en forma de T para evitar fugas de los vapores que ascienden.

Figura 2-15 Torre de extracción.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Cuenta con tres canastillos de acero inoxidable, de forma cilíndrica con perforaciones en la base, los cuales tienen el mismo diámetro de 0,18 m, el canastillo 1 tiene una altura de 0,14 m de alto con un peso de 295 g, mientras que los canastillos 2 y 3 tienen una altura de 0,13 m con un peso de 285 g.

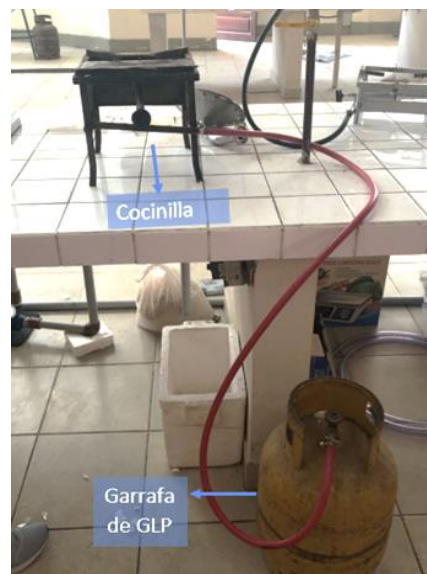
Figura 2-16 Canastillos del extractor.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para calentar el agua dentro de la torre de extracción se utiliza la combustión de gas licuado de petróleo (GLP), utilizando una cocinilla instalada a una garrafa cargada del combustible antes mencionado.

Figura 2-17 Instalación de GLP.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.7.6.2. Condiciones de operación

Las condiciones de operación del equipo de extracción son las siguientes:

- **Presión**

Al no contar la torre de extracción con un manómetro para medir la presión de vapor en su interior no se puede precisar exactamente, por tal caso se considerará una presión cercana a la atmosférica durante todo el proceso de extracción de aceite esencial. En la ciudad de Tarija la presión tiene un valor igual a 0,94 atm.

- **Temperatura**

Desde la puesta en marcha del equipo la temperatura del agua en la torre de extracción va aumentando gradualmente hasta quedar constante, esto debido a que el agua absorbió una cantidad de calor (calor latente) necesaria para el cambio de fase de líquido a vapor.

Al realizar las pruebas se pudo notar que la temperatura con la que ebulle el agua en el interior de la torre de extracción es de 93°C.

- **Potencia de la Hornilla**

Se trabajó con una potencia media en la hornilla, esto debido a que regulando a potencia baja tardaba más tiempo en ebulir el agua, mientras que a potencia alta la flama de la combustión era muy sobresaliente y peligrosa, elevándose por los laterales de la torre de extracción.

2.7.6.3. Descripción del Procedimiento

- **Llenado de agua**

Se llena con agua la parte inferior de la torre de extracción con un volumen de operación de 4.000 ml.

- **Carga de la materia prima**

La cáscara de pomelo triturada a extraer se carga en los canastillos con la cantidad requerida según el experimento como se muestra en la figura 2-18, se coloca en la torre de extracción un soporte de acero inoxidable de forma circular con agujeros, el cual es adaptado para mejorar la distribución del vapor en los canastillos.

Figura 2-18 Carga de la materia prima en el canastillo.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Seguidamente se introducen los canastillos en la torre uno sobre otro siguiendo el orden de 1 a 3.

Se ubica la tapa en la parte superior del extractor enroscando el perno en forma de T y apretando los ganchos para su cierre.

- **Arranque de la extracción**

La torre de extracción se coloca encima de la cocinilla, posteriormente se enrosca mediante una tuerca circular al condensador.

Se procede aperturando la válvula de la garrafa y la cocinilla, mediante un palillo de fósforo se enciende la flama en la hornalla iniciando así el calentamiento de agua en el interior de la torre de extracción.

En las aberturas de la torre de extracción se instalaron dos termómetros para medir la variación de temperatura en la parte superior e inferior, como se muestra en la figura 2-19.

Figura 2-19 Funcionamiento de la torre de extracción.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

En el interior de la torre de extracción el vapor generado fluye a la parte superior del equipo a través del lecho formado por la cáscara de pomelo en los canastillos, calentándola y liberando los solutos volátiles, estos son vaporizados y transportados por el vapor.

2.7.6.4. Temperaturas en la Torre de Extracción

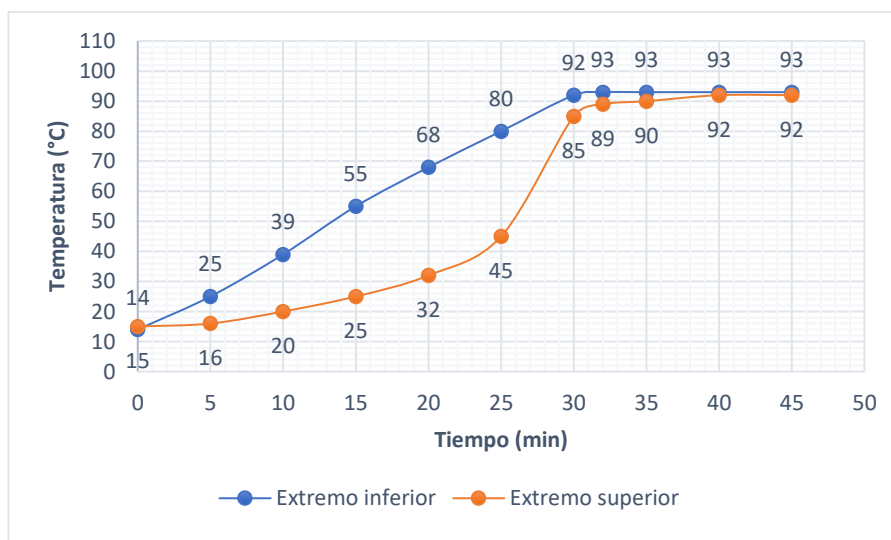
La variación de la temperatura con respecto al tiempo se detalla en la tabla II-8, la cual fue medida tanto en el extremo superior cercano a la tapa en forma de cuello de cisne de la torre de extracción, como también en el extremo inferior, donde se carga el agua para generar vapor.

Tabla II-8 Variación de la Temperatura en la torre de extracción.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	
	Extremo inferior	Extremo superior
0	14	15
5	25	16
10	39	20
15	55	25
20	68	32
25	80	45
30	92	85
32	93	89
35	93	90
40	93	92
45	93	92

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la figura 2-20 se observa las curvas realizadas con la variación de temperatura a diferentes tiempos.

Figura 2-20 Tiempo vs Temperatura en la torre de extracción.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En las curvas del gráfico se puede notar que hasta el minuto 32, la temperatura en el extremo inferior llega a ser la más alta en la torre de extracción, a partir de este momento las temperaturas en este extremo se mantienen constante debido a que hay un cambio de fase.

En el minuto 32 dentro de la torre de extracción se alcanza el punto de ebullición del agua a una temperatura 93 °C, por lo que se puede decir que dentro de la torre de extracción se trabaja con una presión cercana a la atmosférica de la ciudad de Tarija, a partir del minuto antes mencionado se incrementa el caudal de vapor que asciende por la torre de extracción atravesando los canastillos que contienen la materia prima.

La máxima temperatura que alcanza el extremo superior de la torre de extracción es de 92 °C por lo que hay una variación de 1 °C con el extremo inferior, se puede decir que en la torre de extracción hay una pérdida de energía en forma de calor.

2.7.7. Condensación

2.7.7.1. Características del Intercambiador de calor

Para la condensación se utilizó un intercambiador de calor que consta de un tubo en forma de serpentín y una carcasa, en el interior de dicho tubo circula el refrigerante que en nuestro caso es agua potable, en el espacio entre el tubo y la carcasa circula el flujo de vapor junto con las sustancias volátiles provenientes de la torre de extracción.

Los materiales del cual está diseñado el intercambiador de calor, es estaño en la carcasa y cobre en el tubo de forma de serpentín, tiene dos entradas y dos salidas, está conectada a la torre de extracción en la carcasa teniendo un pequeño orificio unido a un tubo de vidrio para la salida del condensado. Asimismo, tanto en la entrada y salida del refrigerante está conectado a mangueras flexibles de goma.

Figura 2-21 Intercambiador de calor.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.7.7.2. Condición de operación

- **Caudal de agua refrigerante**

Para determinar con que caudal de agua trabajar se tuvo que aforar el flujo de agua de la pileta en diferentes horarios, obteniendo un caudal de $0,60 \text{ m}^3/\text{h}$ en la mañana y en la tarde de $0,51 \text{ m}^3/\text{h}$, trabajando con este último para no tener problemas con el caudal en la tarde, se evitó trabajar entre las 12 y 14 horas del día porque el caudal de agua bajaba a $0,38 \text{ m}^3/\text{h}$.

2.7.7.3. Modificación en el condensado

En las pruebas preliminares se pudo notar que el condensador calentaba en su estructura externa generando una variación de temperatura de $5 \text{ }^\circ\text{C}$ entre la salida y entrada del refrigerante, por tal caso no refrigeraba a una temperatura considerable para que se condensen el vapor y las sustancias volátiles.

Es por tal motivo que el condensador se lo introduce en una cámara de plastoforno (poliestireno expandido) con hielo en cubos, refrigerando tanto la parte

externa del condensador consiguiendo así una variación de temperatura de 1 °C entre la salida y entrada del refrigerante como también una temperatura menor a la salida de la carcasa. Así de esta manera se trabaja a menor temperatura en el condensado, mejorando la eficiencia del condensador.

Figura 2-22 Modificación en el intercambiador de calor.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.7.7.4. Descripción del condensado

Con la ayuda de un matraz de 1.000 ml se realizaba el aforo del flujo de refrigerante en nuestro caso el agua de piletta, trabajando con un caudal de 0,51 m³/h en cada extracción. Para evitar el gasto de agua innecesaria se realiza la apertura de la piletta cuando se produce la primera gota de condensado ocurriendo en un tiempo aproximado de 32 min al arranque del encendido de la cocinilla.

El condensado se produce mediante el cambio de fase de vapor a líquido que ocurre en el interior de la carcasa, debido a la transferencia de calor del vapor hacia el refrigerante, el cual fluye a contracorriente en el tubo en forma de serpentín.

En la salida de flujo de la carcasa se obtiene el aceite esencial e hidrolato el cual es depositado en un matraz de 1.000 ml, que está sumergido en una cámara de

plastoformo con agua y hielo como se muestra en la figura 2-23, con el fin de mejorar la separación de las dos fases.

Figura 2-23 Condensado de la mezcla aceite esencial - hidrolato.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la figura 2-24 se muestra el montaje de los equipos para la extracción de aceite esencial de cáscara de pomelo rosado.

Figura 2-24 Montaje de los equipos.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.7.8. Separación de Fases

En el trabajo se utilizó una ampolla de decantación (material de vidrio) de 250 ml de capacidad, asegurado en un soporte universal.

Con la ayuda de una micropipeta automática se pudo trasvasar una mayor cantidad de aceite esencial y una menor cantidad de hidrolato, desde el matraz donde se recibió la mezcla condensada hacia la ampolla de decantación.

El hidrolato se separó gradualmente del aceite esencial, al abrir la llave de la ampolla de separación, recolectándolo en un vaso de precipitado de 100 ml de capacidad.

Figura 2-25 Trasvasado y separación de la mezcla.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Cabe resaltar que esta operación es crítica, en cuanto a la dificultad que se puede presentar para lograr obtener toda la cantidad de aceite esencial original, siendo el principal problema la adherencia del aceite esencial a las paredes de la ampolla de decantación.

2.7.9. Envasado y Almacenamiento

El aceite esencial de cáscara de pomelo obtenido fue envasado en frascos de vidrio de color ámbar con tapón y almacenado en un ambiente protegido de la luz, el aire y con temperaturas menores a 20°C con la finalidad de evitar su degradación.

Figura 2-26 Envasado del aceite esencial.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.8. Análisis del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Obtenido

Tras la extracción del aceite esencial de cáscara de pomelo, en el laboratorio se llevó a cabo un breve análisis de sus características organolépticas, como también se envió muestras para su análisis al Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de algunas de sus propiedades fisicoquímicas. Asimismo, para la identificación de los componentes principales se utilizó la técnica de cromatografía de gases (CG).

2.8.1. Características Organolépticas

Usualmente se realizó un análisis detenido del aroma, color, sabor y aspecto con los siguientes resultados:

- Un aroma característico a un cítrico propias del pomelo.
- El aceite esencial obtenido es incoloro.

- Su sabor es ligeramente amargo y poco viscoso.
- Su aspecto es de un líquido limpio, sin turbidez.

2.8.2. Características Fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas a determinar en el aceite esencial de cáscara de pomelo son la densidad relativa, el índice de refracción, índice de acidez y el perfil cromatográfico.

Los resultados de estos análisis se detallan en el capítulo III de Resultados y Discusión.

2.8.2.1.Densidad

La densidad relativa a 20 °C de un aceite esencial, es el cociente de dividir la masa al aire de un volumen determinado del aceite esencial a 20 °C por la masa del mismo volumen de agua a 20 °C. La determinación de la densidad dentro del CEANID fue determinada bajo la norma boliviana NB 34021:2007.

2.8.2.2.Índice de Refracción

El índice de refracción está definido como la relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción cuando un rayo de luz de longitudes de onda definidas pasa desde el aire hacia el aceite esencial conservado a temperatura constante. Para la determinación del índice de refracción dentro del CEANID se realizó el análisis bajo la norma NB 34003:2006.

2.8.2.3.Acidez Total

La acidez total se define como la cantidad de miligramos de hidróxido de potasio necesario para neutralizar los ácidos libres contenidos en 1 g de aceite esencial. Para la determinación del índice de refracción dentro del CEANID se realizó el análisis bajo la norma NB 322004:2004.

2.8.2.4.Solubilidad en Etanol

La solubilidad es un término usado en química que se refiere a la propiedad de algunos líquidos para mezclarse en cualquier proporción, formando una disolución. (Balboa Laura , 2015)

Para determinar la solubilidad del aceite esencial de cáscara de pomelo rosado en etanol, se trabajó con un volumen de 30 ml de mezcla variando el porcentaje de etanol desde un 80 % y subiendo en un 5 % hasta notar que dicha mezcla sea soluble, en la tabla II-9 se describe las cantidades de etanol y aceite a emplear. Dicho análisis se realizó en el laboratorio de operaciones Unitarias (LOU).

El procedimiento a seguir fue el siguiente:

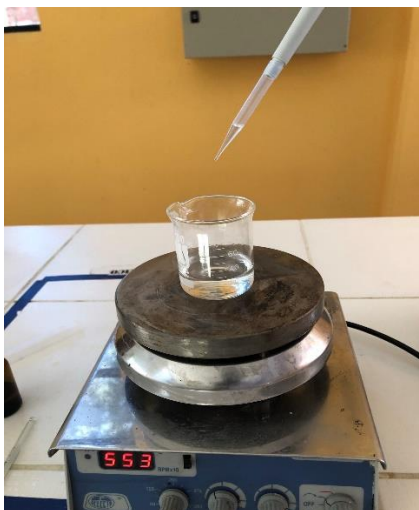
- Se llenó el volumen de etanol al 70 % correspondiente según el ensayo en un vaso de precipitado como se muestra en la tabla II-9
- Se colocará el vaso en un agitador automático.
- Se agregará con una micropipeta el volumen restante de aceite esencial según el ensayo correspondiente.
- Se encenderá el agitador automático a baja revolución por un tiempo de 2 min con una temperatura de 20 °C como se muestra en la figura 2-27.
- Se observará la mezcla etanol-aceite esencial notando si son solubles.

Tabla II-9 Volúmenes para una solución de 30 ml de mezcla.

N° de ensayo	Porcentajes de mezcla	Volumen de etanol al 70 % (ml)	Volumen de aceite esencial(ml)
1	80-20	24	6
2	85-15	25,5	4,5
3	90-10	27	3
4	95-5	28,5	1,5

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-27 Mezclado del aceite esencial y etanol.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.8.2.5. Cromatografía de Gases (CG)

La cromatografía de gases es una técnica en la que una muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. A diferencia de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interactúa con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna. (Parrales, Reyes Vera, & Pine Tobar, 2012)

Para el presente proyecto de investigación el análisis cromatográfico se llevó a cabo en el Centro de análisis investigación y Desarrollo CEANID perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S.), el equipo utilizado tiene las siguientes especificaciones:

- Equipo: Cromatográfico Gaseoso Agilent 6890N acoplado a detector de masas 5975
- Columna: HP – 5MS (30m*0.250mm*0.25um)
- Gas Carrier: Helio

- Volumen de inyección: 1ul de 0.1% de solución de muestra en Diclorometano
- Modo de inyección: Split ratio 10:1
- Temperatura del inyector: 250°C
- Programa de Temperaturas: 40°C 3 min, 4°C/min 150°C 1 min, 15°C/min 250°C 1 min.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de la Cáscara de Pomelo Rosado

En la tabla III-1 se muestran los resultados del análisis fisicoquímico proximal de la cáscara de pomelo rosado fresca que fue realizado por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) para el presente proyecto, como también el análisis fisicoquímico proximal obtenido del proyecto de grado “Estudio Comparativo de dos Métodos para el Aceite Esencial presente en la Cáscara de Pomelo Variedad Rosácea”. (Contreras Puente & Ruiz, 2012)

Tabla III-1 Comparación de Análisis fisicoquímico proximal de la cáscara de pomelo rosado.

Parámetro analizado	Tarija-Bolivia López, S. (2021)	Cartagena-Colombia Contreras, E. & Ruiz, J. (2012)
Humedad (%)	75,21	72,63
Grasa (%)	0,50	0,61
Ceniza (%)	2,03	1,37
Proteína (%)	3,39	3,23
Carbohidratos (%)	14,14	16,66
Fibra (%)	4,73	5,50
Valor energético (kcal/100 g)	74,62	-

Fuente: Elaboración propia, 2021.

De la tabla anterior se puede afirmar que la cáscara de pomelo rosado de la especie marsh pink empleado en la investigación, tiene un mayor contenido de humedad con un 75,93 % con respecto a 72,63 % reportada por Contreras, E. & Ruiz, J. del pomelo rosado de la misma especie. Asimismo, cuanto más elevado es el porcentaje de humedad, se traduce en un menor periodo de vida desde su cosecha, teniendo un corto tiempo de almacenado.

Entre otros parámetros la muestra analizada en el CEANID presenta un contenido mínimo de grasa en la cáscara de pomelo rosado del 0,50 %, los

constituyentes grasos consisten de sustancias lipoides saponificables (no incluyen a los aceites esenciales), en su mayoría los ácidos grasos insaturados al tratarse de fruta.

En cuanto al contenido de cenizas se reporta el 2,03 %, relacionado directamente con el contenido de minerales en la cáscara de pomelo dado que al incinerar dicha muestra se elimina la materia orgánica.

Los carbohidratos en la cáscara de pomelo representan un valor significativo del 14,14 % del contenido de dicho fruto, Se puede decir que los carbohidratos en la cáscara de frutas cítricas son azúcares conformados por polisacáridos (celulosa, almidón, hemicelulosa y pectinas). (Repo de Carrasco & Encina Zelada, 2008)

La cáscara de pomelo no es considerada como una fuente de proteínas, ya que su contenido es bajo, como en el presente proyecto reportando un contenido en proteínas del 3,39 %, Las principales proteínas de la cáscara son las glucoproteínas presentes en la pared celular donde forman una red de microfibrillas con la celulosa. (Rincón, Vásquez, Marina, & Padilla, 2005)

El contenido de fibra de la cáscara de pomelo analizado por el CEANID es bajo apenas representa el 4,73 %. La fibra en la cáscara de pomelo se encuentra ubicado en la corteza, generando superficies lisas, siendo en su mayoría fibra dietética insoluble. (Sales Cruz, y otros, 2016)

Asimismo, se puede notar que los parámetros analizados en el estudio realizado por Contreras, E. & Ruiz, J. reportan un porcentaje de contenido de grasa del 0,61 %, ceniza del 1,37 %, carbohidratos del 13,96 %, proteínas en un 3,23 % y fibra del 4,50 %, haciendo una comparación estos datos son casi similares a los obtenidos por el CEANID para el presente proyecto de extracción de aceite esencial.

El contenido de humedad, grasa, ceniza, carbohidratos, proteínas y fibra puede variar dependiendo de las regiones donde son cultivadas, tomando en cuenta factores como el clima de la región, la naturaleza del fruto, el grado de maduración y sus condiciones de cultivo.

3.2. Ensayos para identificar los límites óptimos

Las variables de operación que se emplean en la extracción de aceite esencial de cáscara de pomelo son:

- El tamaño de partícula
- La Cantidad de materia prima
- El Tiempo de extracción

Para cada variable se identificó tanto el límite superior e inferior óptimo, empleando dichos límites en los experimentos según el diseño factorial.

3.2.1. Variable Tamaño de Partícula

Para determinar tanto el límite superior e inferior de esta variable se realizó un análisis granulométrico tomando en cuenta los rechazos de cada tamiz, se trabajó con 300 g de cáscara de pomelo rosado triturado, obteniendo los siguientes datos que se muestran en la tabla III-2.

Tabla III-2 Análisis granulométrico.

N° de Tamiz (mm)	Peso		Peso del rechazo (g)	Porcentaje de rechazo (%)
	Tamiz Vacío (g)	Tamiz con rechazo (g)		
5	494,18	520,90	26,72	8,91
4	456,20	544,13	87,93	29,31
2	435,17	495,34	60,17	20,06
1	434,32	527,36	93,04	31,01
Fuente (0)	464,80	496,94	32,14	10,71
Total			300	100

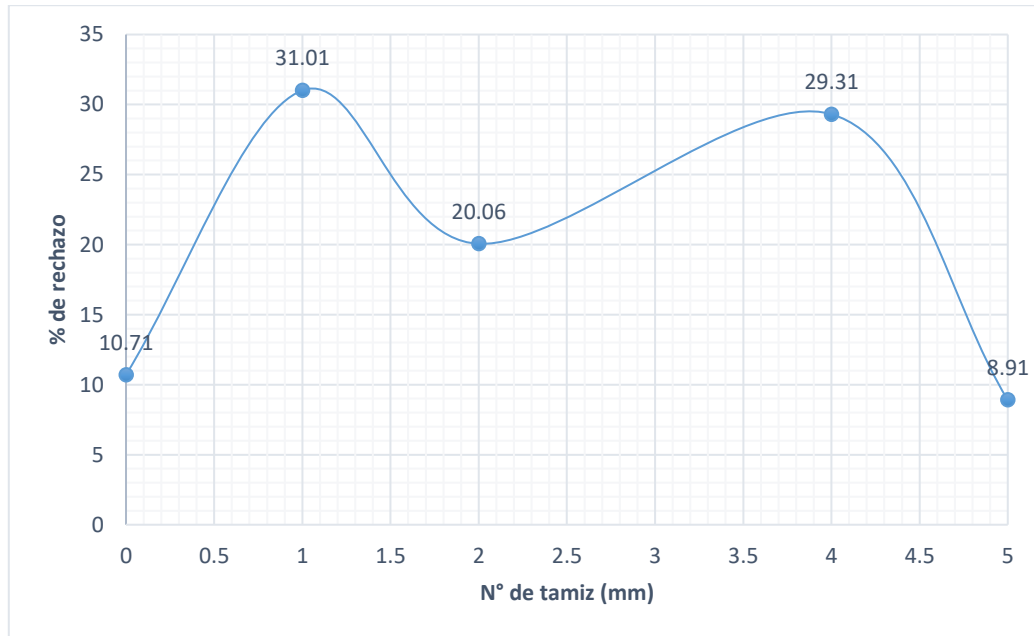
Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la tabla se observa los porcentajes de rechazo de las partículas en los diferentes tamices, en el tamiz de 1mm se tiene un rechazo del 31,01 %; el tamiz de 2

mm del 20,06 %, el tamiz de 4 mm del 29,31 %, el tamiz de 5 mm del 8,91% y en la fuente se tiene el 10,71 %.

Para observar con más claridad el porcentaje de rechazo en cada tamiz se realizó una curva, el cual se muestra en la figura 3-1.

Figura 3-1 N° de tamiz vs. % de rechazo.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para el diseño factorial antes mencionado se decidió emplear dos tamaños de partículas siendo las de mayor porcentaje de rechazo en los tamices; los cuales fueron los rechazos del tamiz de 1 mm con partículas de tamaño de 2 mm y del tamiz de 4 mm con partículas de tamaño de 5 mm como se pudo notar en la anterior figura.

Por lo tanto, el límite inferior estaría representado por las partículas de 2 mm y el límite superior con las partículas de 5 mm.

3.2.2. Variable Cantidad de Materia Prima

Dentro del laboratorio se realizaron pruebas, identificando los límites tanto superior como inferior de la variable cantidad de materia prima para la obtención de aceite esencial de cáscara de pomelo rosado, empleando un tiempo de extracción de 120 min y un volumen de agua de 4.000 ml para generar vapor.

En la tabla III-3 se muestran las cantidades de aceite esencial obtenido y el rendimiento del mismo, empleando diferentes cantidades de materia prima desde 100 g hasta 800 g, con una humedad del 75,21%, empleando partículas de tamaño de 2 mm y 5 mm.

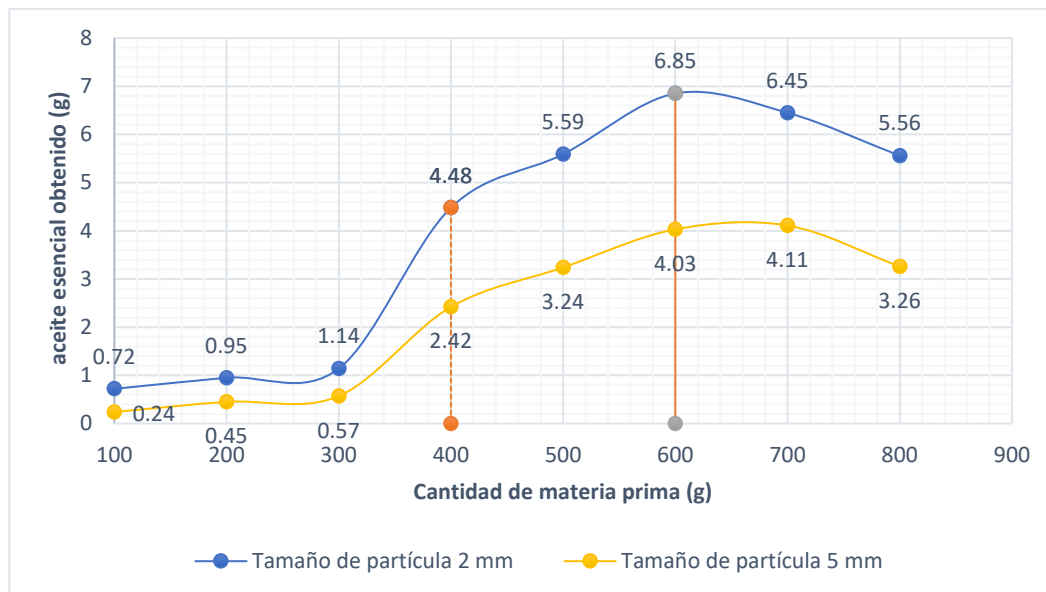
Tabla III-3 Aceite esencial obtenido a diferentes cantidades de materia prima.

Cantidad de materia prima (g)	Partículas de 2 mm			Partículas de 5 mm		
	Aceite Esencial (g)	Rend. %	Consumo energético (kg/h)	Aceite Esencial (g)	Rend. %	Consumo energético (kg/h)
100	0,72	0,72	0,57	0,24	0,24	0,58
200	0,95	0,48	0,58	0,45	0,23	0,58
300	1,14	0,38	0,59	0,57	0,19	0,59
400	4,48	1,12	0,59	2,42	0,66	0,60
500	5,59	1,11	0,59	3,24	0,65	0,60
600	6,85	1,14	0,60	4,03	0,67	0,61
700	6,65	0,92	0,61	4,11	0,59	0,61
800	5,96	0,70	0,61	3,26	0,41	0,62

Fuente: Elaboración propia, 2021.

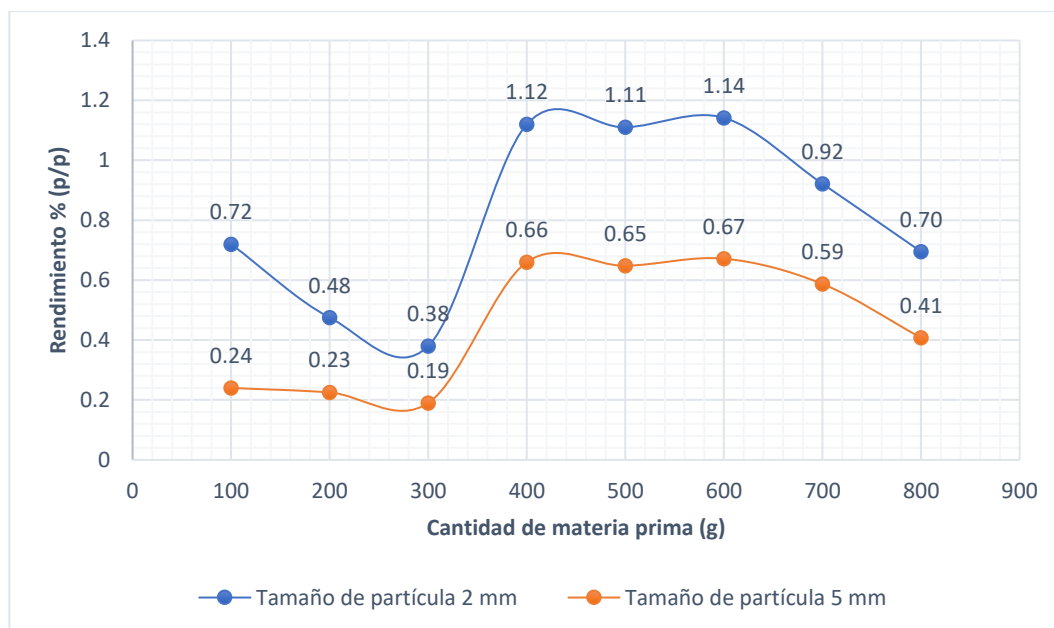
Para identificar los límites óptimos tanto superior e inferior, se realizó el análisis de la figura 3-2 y la figura 3-3, donde cada una de las figuras posee dos curvas que representan los dos tamaños de partículas empleados.

Figura 3-2 Aceite esencial obtenido a diferentes cantidades de materia prima.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Figura 3-3 Rendimiento a diferentes cantidades de materia prima.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la figura 3-2 se pudo notar que la curva que representa el tamaño de partícula de 2 mm, alcanza su punto máximo al obtener 6,85 g de aceite esencial empleando 600

g de materia prima, de la misma forma si se aplica cantidades superiores a 600 g la curva se viene en declive, siendo el caso al trabajar con 700 g obteniendo menor cantidad de aceite esencial.

En el caso de trabajar con partículas de 5 mm llega a un punto máximo al utilizar 700 g de materia prima, pero la variación al emplear 600 g solo es de 0,08 g siendo no significativa, por lo cual no corresponde el gasto de materia prima con cantidades superiores a dicho valor.

Asimismo, en la figura 3-3 se puede apreciar que, al trabajar con 600 g de materia prima, empleando partículas de 2 mm y 5 mm, se obtiene rendimientos del 1,14 y 0,67 respectivamente, siendo los de mayor rendimiento en dicha figura. Por lo cual se empleará como límite superior 600 g de cáscara de pomelo rosado triturado, obteniendo de esta forma un rendimiento y una cantidad de aceite esencial mayor.

Recalcando, que la disminución en la obtención de aceite esencial al trabajar con cantidades de materia prima superiores a la óptima se debe a que ocurre un apelmazamiento de la materia prima en el proceso, lo que impide que el vapor pueda penetrar de manera eficaz a través de la cáscara de pomelo rosado y arrastrar consigo el aceite esencial.

Para identificar el límite inferior se analizó de la misma forma la figura 3-2, observando que las curvas aumentan su pendiente cuando se emplea 400 g de materia prima, lo que significa que se obtiene mayor cantidad de aceite esencial a comparación de emplear 300 g donde se obtiene una cantidad mínima de aceite esencial. Se pudo notar que al trabajar con cantidades menores a 300 g los tres canastillos donde se cargan la materia prima quedan casi vacíos dando paso directo al vapor, no permitiendo el arrastre del aceite esencial en su totalidad.

Al trabajar con 400 g de materia prima, en el caso de las partículas de 2 mm se obtiene 4,4 g de aceite esencial y con partículas de 5 mm se obtiene 2,42 g de aceite esencial.

De igual forma en la figura 3-3, en las curvas que representan los tamaños de partícula se pueden observar picos al trabajar con 400 g de materia prima lo que significa que alcanza un rendimiento alto, solo menor comparándose con el rendimiento obtenido al emplear 600 g de materia prima. Por lo cual se decidió que el límite inferior a emplear sería de 400 g de cáscara de pomelo rosado triturado.

La tabla III-3 contiene el consumo de energía de cada experimento relacionándolo con la cantidad de materia prima empleada, se puede notar que la diferencia de consumo energético no es significativa, pero aumenta en pequeña cantidad dependiendo de la cantidad de materia prima cargada en la torre de extracción, esto debido a que el tiempo en el cual se genera la primera gota de condensado aumenta.

3.2.3. Variable Tiempo de Extracción

Para identificar los límites óptimos tanto superior como inferior para el tiempo de extracción de aceite esencial de cáscara de pomelo rosado se realizaron pruebas experimentales como en el anterior punto, obteniendo datos que se detallan en la tabla III-4.

Se emplearon dos tamaños de partículas las cuales fueron de 2 mm y 5 mm dado que son las de mayor rechazo en los tamices, una cantidad de materia prima en la torre de extracción de 400 g con una humedad del 75,21 % y un volumen de agua de 4.000 ml para generar vapor.

Tabla III-4 Aceite esencial obtenido a diferentes tiempos de extracción.

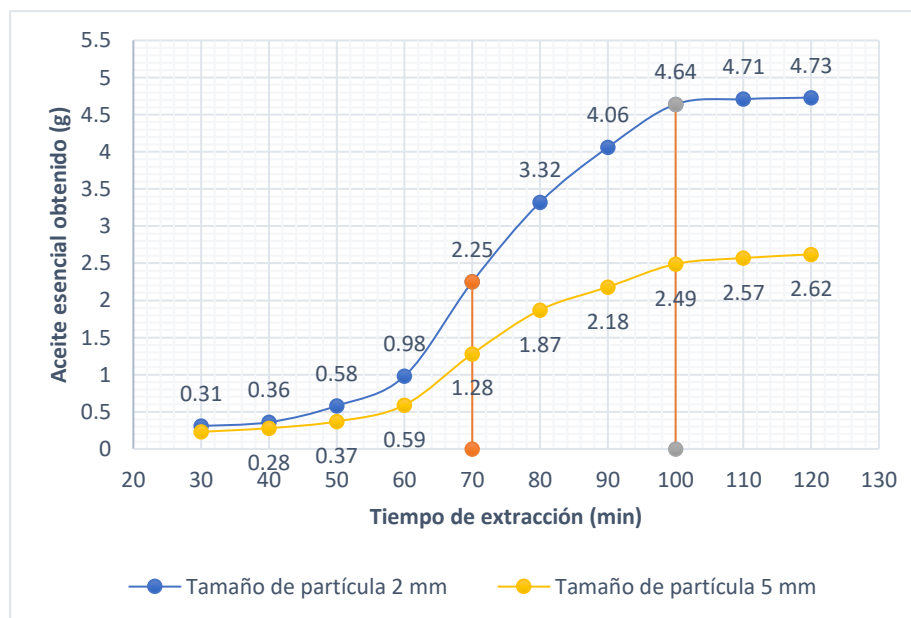
Tiempo de extracción (min)	Partículas de 2 mm			Partículas de 5 mm		
	Aceite Esencial (g)	Rend. %	Consumo energético (kg/h)	Aceite Esencial (g)	Rend. %	Consumo energético (kg/h)
30	0,31	0,08	0,15	0,23	0,06	0,19
40	0,36	0,09	0,18	0,28	0,07	0,23
50	0,58	0,12	0,24	0,37	0,09	0,27

Tiempo de extracción (min)	Partículas de 2 mm			Partículas de 5 mm		
	Aceite Esencial (g)	Rend. %	Consumo energético (kg/h)	Aceite Esencial (g)	Rend. %	Consumo energético (kg/h)
60	0,98	0,25	0,26	0,59	0,15	0,29
70	2,25	0,56	0,29	1,28	0,32	0,31
80	3,36	0,84	0,35	1,87	0,47	0,35
90	4,09	1,02	0,40	2,18	0,55	0,42
100	4,64	1,16	0,44	2,49	0,62	0,45
110	4,71	1,17	0,49	2,57	0,64	0,51
120	4,73	1,18	0,61	2,62	0,65	0,59

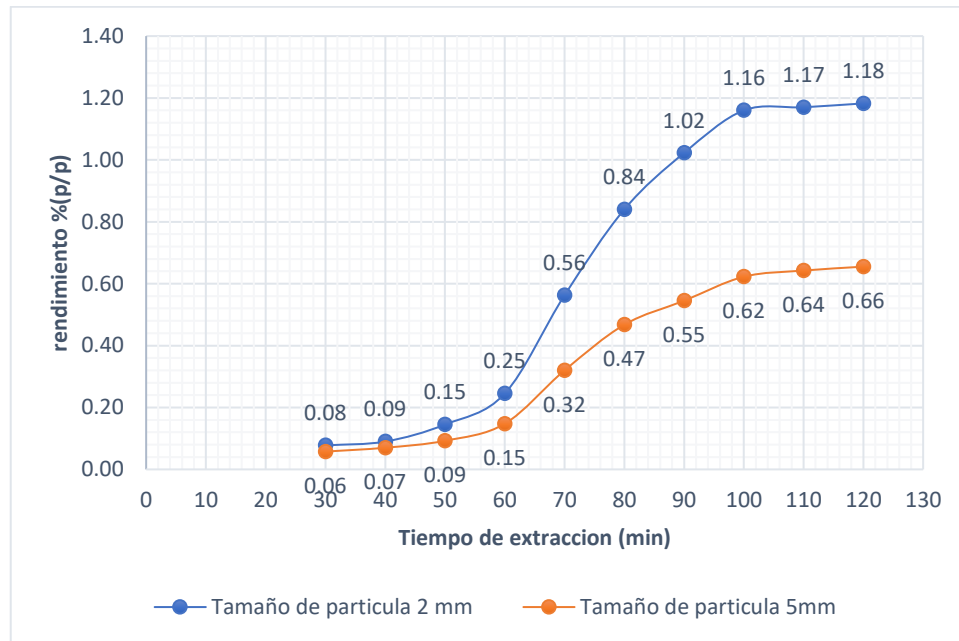
Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la figura 3-4 se puede observar con más claridad el tiempo de extracción con respecto al aceite esencial obtenido y en la figura 3-5 según el rendimiento. Asimismo, las curvas en dichas figuras representan los dos tamaños de partículas que se empleó.

Figura 3-4 Tiempo de extracción vs aceite esencial obtenido.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Figura 3-5 Tiempo de extracción vs rendimiento

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Las figuras 3-4 y 3-5 son similares en virtud a que se empleó la misma cantidad de materia prima, pero diferentes tiempos de extracción.

Para identificar el límite superior se realiza un análisis tomando en cuenta las figura 3-4 y 3-5, en el cual se puede observar que al emplear 100 min de tiempo de extracción con partículas de tamaño de 2 mm se obtiene 4,44 g de aceite esencial y al trabajar con 5 mm de tamaño de partícula se obtiene 2,49 g, con rendimiento de 1,16 % y 0,62 % respectivamente. Se puede notar que si se emplea un tiempo de extracción mayor de 100 min con los dos tamaños de partícula ya no se obtiene cantidades de aceite y rendimientos considerables, por lo que la curva alcanza una meseta después de los 100 min. Siendo no factible emplear mayor tiempo de extracción, debido a que se consumirá combustible como se muestra en la tabla III-4, comparando la variación de consumo de energía de 0,44 kg/h a los 100 min a 0,61 kg/h en un tiempo mayor a este como por ejemplo 120 min, trabajando con partículas de 2 mm.

De tal manera se empleará 100 min como límite superior para la variable tiempo de extracción.

En el caso del límite inferior se pudo notar en la figura 3-3 y 3-5 que al emplear un tiempo de 70 min de extracción con partículas de 2 mm se obtiene 2,25 g de aceite esencial y con partículas de tamaño de 5 mm se obtiene 1,28 g, con rendimientos del 0,56 % y 0,32 % , por lo que las curvas tienen una mayor pendiente en ese tiempo de extracción, duplicando su rendimiento entre el minuto 60 y 70, observándose también en la tabla III-4 que existe una diferencia pequeña de 0,26 a 0,29 kg/h de consumo de GLP entre dichos minutos, siendo factible emplear 70 min ya que no existe un gran consumo de GLP, habiendo un aumento considerable en el rendimiento en ese tiempo de extracción, decidiendo emplearlo como límite inferior para la variable antes mencionada.

Asimismo, se puede recalcar que, en caso de emplear tiempos menores a 70 min con los dos tamaños de partículas, se obtienen rendimientos y cantidades de aceite esencial menores, siendo poco perceptibles en el recipiente donde recibe el condensado.

3.3.Resultados de los Experimentos

Según los ensayos planteados en el diseño experimental se obtuvieron los siguientes datos de rendimiento, cantidad de aceite esencial y consumo energético, las cuales se muestran en la tabla III-5.

Asimismo, para determinar el rendimiento, se cuantifico la cantidad de aceite esencial en cada ensayo, expresando el rendimiento en % (p/p), como se muestra en la siguiente expresión:

$$R = \frac{masa_{aceite\ esencial}}{masa_{materia\ prima}} * 100 \%$$

Tabla III-5 Rendimiento de aceite esencial obtenido en los experimentos.

N° de ensayo	Variables			Aceite esencial obtenido (g)	Rend. %	Consumo de energía (kg/h)
	Cantidad de materia prima (g)	Tiempo de extracción (min)	Tamaño de partícula (mm)			
1	400	70	2	2,38	0,60	0,28
2	400	70	5	1,32	0,33	0,31
3	400	100	2	4,67	1,17	0,44
4	400	100	5	2,51	0,63	0,45
5	600	70	2	3,18	0,53	0,30
6	600	70	5	2,04	0,34	0,29
7	600	100	2	6,88	1,15	0,46
8	600	100	5	4,06	0,68	0,46
9	400	70	2	2,17	0,54	0,31
10	400	70	5	1,41	0,39	0,33
11	400	100	2	4,52	1,13	0,45
12	400	100	5	2,28	0,57	0,43
13	600	70	2	3,30	0,58	0,29
14	600	70	5	1,32	0,22	0,29
15	600	100	2	6,35	1,02	0,41
16	600	100	5	4,28	0,75	0,43

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la tabla anterior se puede notar que los mayores rendimientos se obtienen en los ensayos donde se emplea un tiempo de extracción de 100 min y un tamaño de partícula de 2 mm, siendo el mejor rendimiento de 1,17 %, obtenido en el ensayo N° 3 con una cantidad de materia de 400 g, tiempo de extracción de 100 min, empleando como tamaño de partícula 2 mm y el rendimiento más bajo fue en el ensayo N°15 obteniendo 0,22 % al trabajar con 600 g de materia prima, en un tiempo de 70 min de extracción y un tamaño de partícula de 5 mm.

El consumo de GLP en los experimentos tiene una variación cuando se aplican tiempos de extracción de 70 y 100 min, en la tabla se puede notar que el mayor consumo de combustible es de 0,46 kg/h, en los ensayos 7 y 8 donde se emplearon 600 g de materia prima, en un tiempo de extracción de 100 min.

Mientras que el menor consumo de GLP fue de 0,28 kg/h, en el ensayo N° 1 donde se aplicó 400 g de materia prima con un tiempo de extracción de 70 min, empleando un tamaño de partícula de 2 mm.

Comparando el consumo de GLP y el rendimiento en la tabla anterior se puede decir que está relacionada, dando mayores rendimientos cuando existe un mayor consumo de GLP, esto debido a que se emplea un tiempo de extracción mayor en nuestro caso 100 min como límite superior de dicha variable de operación.

3.4.Comportamiento de las Variables Independientes en la Obtención del Aceite Esencial

En la tabla III-6, se presentan los datos obtenidos del rendimiento en función de cada variable independiente en el primer ensayo, para la construcción de gráficos.

Tabla III-6 Rendimiento en la primera ensayo.

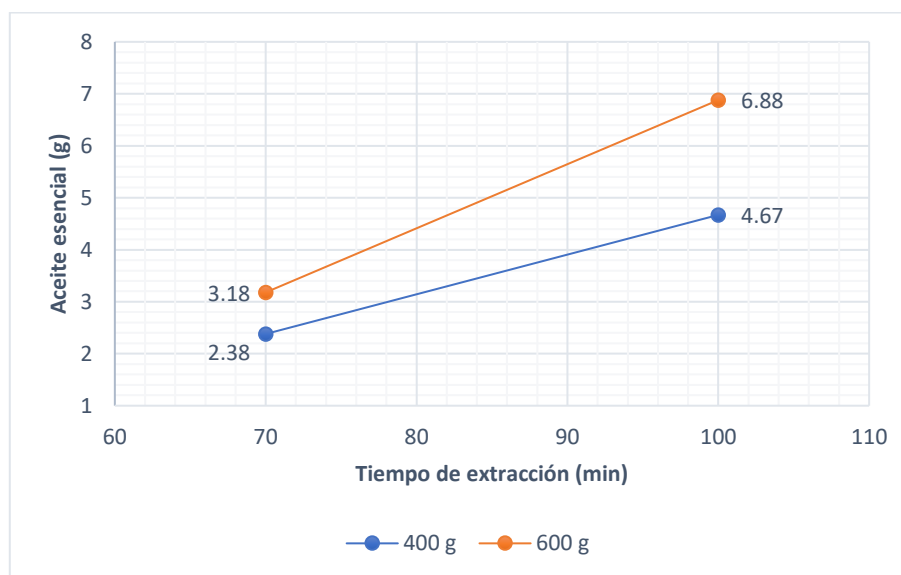
Tamaño de partícula (mm)	Cantidad de materia prima (g)	Aceite esencial obtenido (g)	
		Tiempo de extracción (min)	
		70	100
2	400	2,38	4,67
	600	3,18	6,88
5	400	1,32	2,51
	600	2,04	4,06

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.4.1. Tiempo de Extracción y Cantidad de Materia Prima

En la siguiente figura se muestra el resultado graficado del aceite esencial extraído, tomando en cuenta las variables tiempo de extracción y cantidad de materia prima.

Figura 3-6 Tiempo de extracción y cantidad de materia empleando 2 mm de tamaño de partícula.



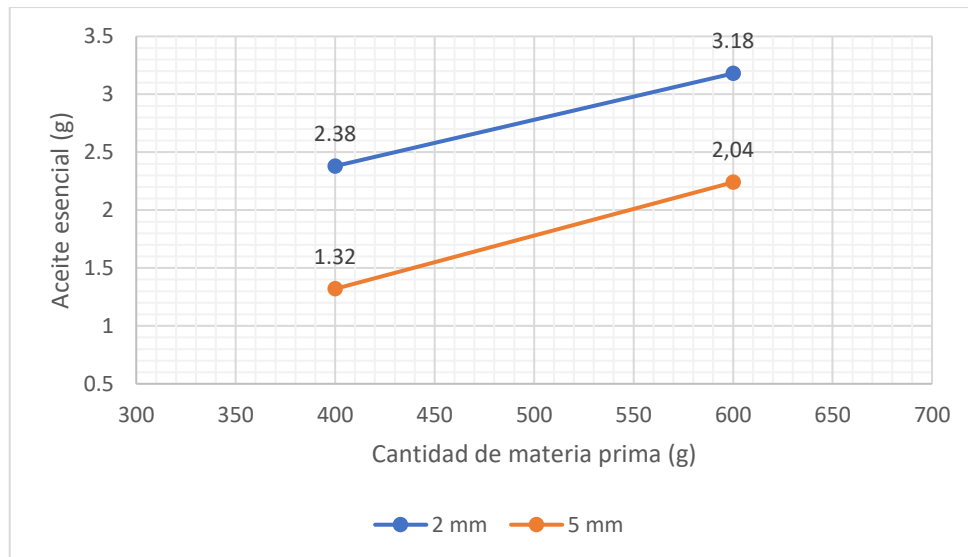
Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la variable tiempo de extracción se puede notar que, al trabajar tanto con 400 g y 600 g, las rectas son crecientes con una pendiente positiva lo que nos indica que al aumentar del tiempo de extracción influye en la obtención de aceite esencial, pero hasta llegar a un valor óptimo después se mantendrá constante convirtiéndose en una recta horizontal.

3.4.2. Cantidad de Materia prima y Tamaño de Partícula

En la figura 3-7 se presenta los datos del aceite esencial obtenido tomando en cuenta la cantidad de materia prima como el tamaño de partícula empleado en los ensayos.

Figura 3-7 Cantidad de materia prima y Tamaño de partícula empleando 70 min de tiempo de extracción.



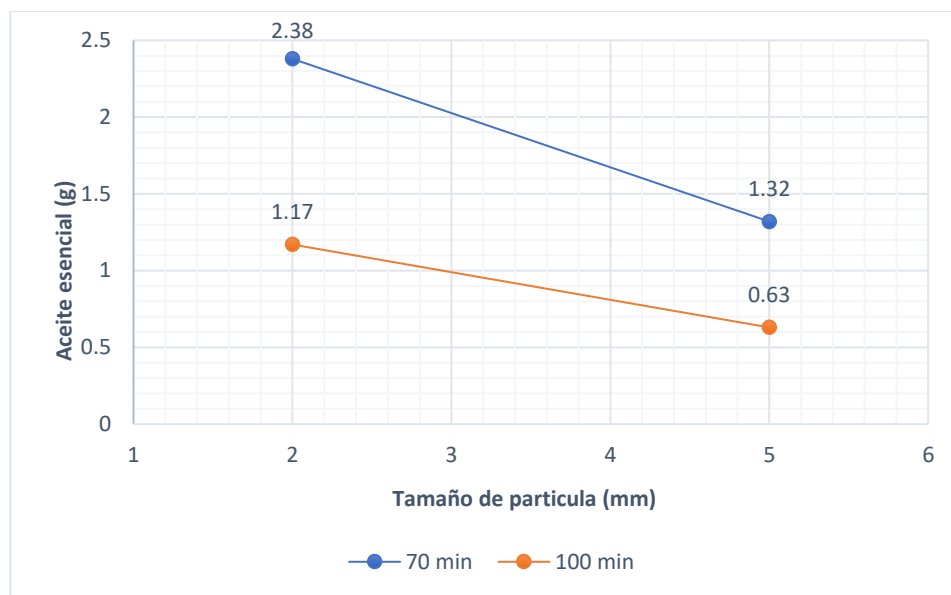
Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la figura se puede notar que las pendientes de las rectas son positivas por lo que están en ascenso al emplear una mayor cantidad de materia prima aumentando así la cantidad de aceite esencial obtenido, pero hasta llegar a un valor óptimo de la cantidad de materia en el extractor, en caso de exceder dicha cantidad óptima la recta tomará una forma descendente lo que nos indicaría que es contraproducente.

3.4.3. Tamaño de Partícula y Tiempo de Extracción

Para este caso igualmente se realizó una figura tomando en cuenta la cantidad de aceite esencial obtenido empleando dichas variables independientes.

Figura 3-8 Tamaño de partícula y tiempo de extracción empleando 400 g de materia prima.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la figura 3-8 se observa que las pendientes son negativas y decrecientes por lo que, si empleamos tamaños de partículas mayores, se genera una reducción en la cantidad de aceite esencial obtenido, el mismo caso resulta si se emplean tamaños de partículas menores a la óptima por lo que se formaría una recta en forma decreciente siendo contraproducente trabajar con partículas de mucho menor tamaño.

3.5. Rendimiento del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Rosado

En la tabla III-7 se presentan los rendimientos obtenidos por proyectos de extracción de aceite esencial de cáscara de pomelo comparándolos con el extraído en el presente proyecto tomando como valor el rendimiento más alto obtenido.

Tabla III-7 Rendimientos en proyectos de extracción de aceite esencial de cáscara de pomelo rosado.

AUTORES	Tarija- Bolivia López, S. (2021)	Cartagena-Colombia Contreras, E. & Ruiz, J. (2012)	Guayaquil- Ecuador Villón, E. & Huacon, M. (2017)
RENDIMIENTO % (p/p)	1,17	0,18	0,28

Fuente: Elaboración propia, 2021.

De la anterior tabla se puede observar que el rendimiento durante la extracción de aceite esencial obtenido dentro del laboratorio es muy alto con un valor del 1,17 %, comparada con los proyectos realizados tanto por Contreras, E. & Ruiz, J. (Colombia) de apenas 0,18 %, como también el rendimiento obtenido por Villón, E. & Huacon, M. (Ecuador) de 0,28 % o representado en v/p de 0,99 ml / 300 g.

El rendimiento de un proyecto a otro puede variar por diversos aspectos uno que se pudo notar fue que en los proyectos realizados por Contreras Puente & Ruiz y Villón Baquerizo & Huacón López no se empleó materia triturada, en el caso del presente trabajo se realizó una prueba previa, determinando que se obtiene mayor rendimiento al trabajar con materia triturada.

Otros aspectos que pueden hacer variar el rendimiento son los equipos utilizados, como también los parámetros de operación.

3.6.Análisis Estadísticos del Diseño Experimental

Para la obtención de los datos respecto al rendimiento del aceite esencial. Se utilizó el diseño factorial 2^3 con una repetición, empleando como variable respuesta el rendimiento del aceite esencial de cáscara de pomelo obtenido.

3.6.1. Análisis de Varianza

Los valores numéricos que intervinieron en el proceso de extracción del aceite esencial de cáscara de pomelo según el diseño factorial son los presentados en la tabla

III-8, siendo codificados para cada variable independiente empleando (+) para el límite superior y (-) para el límite inferior para introducirlo en el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), los datos obtenidos de rendimiento nos ayudan a generar la tabla ANOVA (Analysis of Variance).

Tabla III-8 Codificación de datos para el diseño factorial.

N°	Diseño	Matriz de diseño			Respuesta
		Cantidad de materia prima (g)	Tiempo de extracción (min)	Tamaño de partícula (mm)	Rendimiento % (p/p)
1	1	+	+	+	0,60
2	A	+	+	-	0,33
3	B	+	-	+	1,17
4	AB	+	-	-	0,63
5	C	-	+	+	0,53
6	AC	-	+	-	0,34
7	BC	-	-	+	1,15
8	ABC	-	-	-	0,68
Réplica					
1	1	+	+	+	0,54
2	A	+	+	-	0,39
3	B	+	-	+	1,13
4	AB	+	-	-	0,57
5	C	-	+	+	0,58
6	AC	-	+	-	0,22
7	BC	-	-	+	1,02
8	ABC	-	-	-	0,75

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El análisis de varianza ANOVA particiona la variabilidad de la variable respuesta (rendimiento % p/p) en piezas separadas para cada uno de los efectos (variables independientes e interacciones entre dichas variables) dando como resultado la significancia estadística de estas, y así aceptar o rechazar las hipótesis tanto nula como alternativa que fueron planteadas en el proyecto de investigación. Los resultados se detallan en la tabla III-9.

Tabla III-9 Análisis de Varianza (ANOVA).

Pruebas de los efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: rendimiento					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,438 ^a	7	,205	24,560	0,000
Intersección	4,347	1	4,347	519,848	0,000
Cantidad	0,063	1	0,063	7,474	0,026
Tiempo	0,570	1	0,570	68,164	0,000
Partícula	0,563	1	0,563	67,265	0,000
cantidad * tiempo	0,009	1	0,009	1,079	0,329
cantidad * partícula	0,002	1	0,002	0,299	0,599
tiempo * partícula	0,185	1	0,185	22,111	0,002
cantidad * tiempo * partícula	0,046	1	0,046	5,528	0,047
Error	0,067	8	0,008		
Total	5,852	16			
Total, corregida	1,505	15			

a. R cuadrado = 0,986 (R cuadrado corregida = 0,957)

Fuente: IBM SPSS 18.

Según la tabla anterior se puede aceptar la hipótesis alterna para las variables independientes (cantidad de materia prima, tiempo de extracción, tamaño de partícula) como también para las interacciones (tiempo de extracción*tamaño de partícula, cantidad de materia prima*tiempo de extracción*tamaño de partícula), debido a que estos cinco efectos tienen un valor de significancia menor que 0.05 dado que se utilizó un intervalo de confianza del 95 %, por lo tanto estos efectos influyen en la variable respuesta que en nuestro caso es el rendimiento %(p/p)

Asimismo, se acepta la hipótesis nula en dos efectos (cantidad de materia prima*tiempo de extracción, cantidad de materia prima*tamaño de partícula), no influyendo en la variable respuesta.

3.6.2. Regresión Lineal Múltiple

Para la determinación de su respectivo modelo matemático se discriminan los valores con una significancia mayor a 0,05 de la tabla III-10, debido a que no tienen una influencia en la variable respuesta.

Tabla III-10 Coeficientes de regresión lineal.

Coeficientes de regresión								
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)	0,660	0,022	0,453	23,544	0	0,472	0,571
	Cantidad	0,005	0,022	-0,175	-2,428	0,016	-0,103	-0,004
	Tiempo	-0,227	0,022	-0,616	-8,525	0	-0,238	-0,139
	Partícula	0,181	0,022	0,611	8,469	0	0,138	0,237
	Tiempo * Partícula	-0,059	0,022	-0,351	-4,856	0,001	-0,157	-0,058
	Cantidad * Tiempo * Partícula	-0,021	0,022	-0,204	-2,823	0,018	-0,112	-0,013

a. Variable dependiente: rendimiento

Fuente: IBM SPSS 18.

De la tabla IV-9 se obtiene que el modelo matemático que es el siguiente:

$$\text{Rend.} = 0,660 + 0,005 \text{ Cantidad} - 0,227 \text{ Tiempo} + 0,181 \text{ Partícula} - 0,059 \text{ Tiempo} \\ * \text{ Partícula} - 0,021 \text{ Cantidad} * \text{ Tiempo} * \text{ Partícula}$$

Este modelo matemático se emplea para describir una variable de respuesta continua como una función de las varias variables predictoras empleadas e interacciones entre ellas. Puede ayudar a comprender y predecir el comportamiento al emplear distintos valores de las variables independientes.

3.7.Resultados de los análisis realizados al Aceite Esencial de Cáscara de pomelo rosado

3.7.1. Análisis Físicoquímicos

Los resultados de los análisis físicoquímicos del aceite esencial realizado por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), se presentan en la tabla III-11 junto con los datos bibliográficos para su posterior comparación.

Tabla III-11 Resultados Análisis Físicoquímicos.

Análisis	Tarija-Bolivia López, S. (2021)	Cartagena-Colombia Contreras, E. & Ruiz, J. (2012)	Guayaquil- Ecuador Villón, E. & Huacon, M. (2017)
Índice de refracción (20 °C)	1,472	1,458	1,583
Densidad relativa	0,827	0,839	0,841
Acidez Total (mg KOH/g)	0,370	0,342	---

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El informe del CEANID de la tabla anterior, reporta que el aceite esencial de cáscara de pomelo rosado obtenido tiene un índice de refracción de 1,472, la densidad relativa de un 0,827 y una acidez total de 0,37 reportada en mg KOH/g.

Los datos tomados de bibliografía con la misma temática de obtención de aceite esencial de cáscara de pomelo, afirman que tanto la densidad del aceite esencial se encuentra entre los rangos esperados; ya que tienen una diferencia no significativa a los reportados tanto por Contreras, E. & Ruiz, J. con 0,839 como también por Edward Villón & Michel Huacon con un 0,841.

En cuanto al índice de refracción los datos obtenidos tanto por Contreras, E. & Ruiz, J. como también por Villón, E. & Huacon, M. son mayores, pero no tienen una

diferencia significativa a los reportados por el CEANID, con un 1,458 para el estudio realizado en Colombia y un 1,583 para el del Ecuador.

Para la acidez total se puede notar que los valores son similares tanto en la obtenida por Contreras, E. & Ruiz, J. como en la reportada por el CEANID.

Con estos datos podemos afirmar que el aceite esencial obtenido en Tarija no varía significativamente con los datos de bibliografía y por esto se encuentra dentro de los parámetros.

3.7.2. Solubilidad en Etanol del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Rosado

La determinación del volumen de etanol al 70 % diluido que se requiere para la completa solubilidad de un volumen de aceite esencial a una temperatura de 20 °C se muestra en la tabla III-12 junto con las distintas pruebas realizadas para encontrar su completa solubilidad.

Tabla III-12 Volúmenes para una solución de 30 ml de mezcla.

N° de ensayo	Porcentajes de mezcla (%)	Volumen de etanol al 70 % (ml)	Volumen de aceite esencial(ml)	Solubilidad
1	80-20	24	6	Insoluble
2	85-15	25,5	4,5	Parcialmente soluble
3	90-10	27	3	Soluble
4	95-5	28,5	1,5	Soluble

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la tabla se puede verificar que la solubilidad completa del aceite esencial de cáscara de pomelo rosado ocurre cuando en la mezcla aceite - etanol se emplea volúmenes de etanol ≥ 90 .

De acuerdo a Contreras, E. & Ruiz, J. (2012) la solubilidad de la mezcla aceite esencial - etanol a una temperatura de 20°C es completa al emplear volúmenes ≥ 93 de

etanol, siendo similares a los obtenidos en el laboratorio de Operaciones Unitarias en el presente proyecto de investigación.

3.7.3. Composición del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Rosado

En el informe del análisis de composición química por cromatografía gaseosa acoplada a detector de masas fue realizada por el CEANID para el presente proyecto de investigación, reportando tres compuestos presentes en el aceite esencial de cáscara de pomelo rosado como se muestra en la tabla III-13, junto con los datos bibliográficos de proyectos similares que fueron realizado por Contreras, E. & Ruiz, J. en Colombia, como también de Villón, E. & Huacon, M. en Ecuador.

Tabla III-13 Composición del aceite esencial de cáscara de pomelo rosado.

Tarija- Bolivia López, S. (2021)		Cartagena-Colombia Contreras, E. & Ruiz, J. (2012)		Guayaquil- Ecuador Villón, E. & Huacon, M. (2017)	
Compuesto	% relativo	Compuesto	% relativo	Compuesto	% relativo
Limoneno	97,48	Limoneno	95,40	Limoneno	74,93
β -Mirceno	1,45	β -Mirceno	0,03	β -Mirceno	7,31
α -Pineno	1,07	linalool	1,52	α -Pineno	2,16
		α -Pineno	1,54	Cadineno	1,05
		Otros	1,51	otros	14,55

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la tabla anterior se puede observar la composición del aceite esencial de cáscara de pomelo rosado (*Citrus Paradisi*) extraído en el presente proyecto tiene como componentes al limoneno abundante en un 97,48 %, seguido del β -Mirceno en un 1,45 % y el α -Pineno en un 1,07 %.

Los datos bibliográficos del aceite esencial de cáscara de pomelo, realizados por Contreras, E. & Ruiz, J. como también por Villón, E. & Huacon, M. reportan una

abundancia del limoneno en un 95,40 % y 74,93 % respectivamente, comparándolo con el reportado por el CEANID, se obtuvo una mayor abundancia de limoneno en el presente proyecto con un 97,48 %, siendo el componente mayoritario en los aceites esenciales de cítricos y el responsable del aroma característico del aceite. De tal manera el proceso de extracción empleado en el proyecto tuvo buenos resultados.

Como segundo componente en el aceite esencial de cáscara de pomelo según datos bibliográficos se puede mencionar al α -Pino, con una abundancia en el proyecto realizado por Contreras, E. & Ruiz, J. del 1,54 %, mientras que, en el proyecto llevado a cabo por Villón, E. & Huacón, M. tiene una abundancia del 2,16 %, comparándolo con el aceite extraído en el presente proyecto se puede notar que tiene una abundancia en α -Pino, similar al extraído por Contreras, E. & Ruiz, J.

3.8.Propuesta de Aplicación del Aceite Esencial de Cáscara de Pomelo Rosado

El aceite esencial de cáscara de pomelo rosado tiene una gran variedad de aplicaciones en la industria, una de estas aplicaciones es la de aromatizante de ambiente, en la cual se empleará el aceite esencial obtenido.

Un aromatizante de ambiente o ambientador en spray es una mezcla aceite esencial, etanol y agua destilada. Siendo el aceite esencial el que proporciona el aroma a la mezcla, mientras que el etanol ayuda tanto en la dispersión del aroma debido a su volatilidad como también para diluirlo junto con el agua destilada.

De acuerdo a Ortuño, M. (2006), la mezcla etanol agua en un ambientador en spray debe ser de una dilución 1:3, la cantidad de aceite esencial no está definida debido a la solubilidad en etanol de los diferentes tipos de aceites esenciales.

Para tal caso se determinó la solubilidad del aceite esencial de cáscara de pomelo rosado en etanol, la cual es soluble a volúmenes ≥ 90 % de etanol.

Por tanto, para preparar 60 ml del aromatizante de ambiente se empleó en la mezcla 43,8 ml de agua destilada, 14,6 ml de etanol y 1,6 ml de aceite esencial de cáscara de pomelo rosado.

Figura 3-9 Aromatizante de ambiente.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

El etiquetado del producto se realizó tomando en cuenta el Manual para notificación sanitaria obligatoria de cosméticos, el cual sigue las directrices de la Norma NB/ISO 22716 de Productos cosméticos y buenas prácticas de fabricación.

3.9. Balance de Materia y Energía

3.9.1. Balance de materia

El proceso empleado en el proyecto es discontinuo, es decir, por lotes, de manera que no se puede abordar el balance de materia a partir de flujos continuos, ya que, algunos de los equipos tienen corrientes que no son caudales, sino que son lotes que se introducen en el equipo y se sacan cuando la operación termina. También, hay que tener en cuenta que el proceso tiene un ciclo de trabajo, y que cada equipo tiene un tiempo de operación concreto. De manera que el balance de materia se abordará teniendo en cuenta los parámetros de operación del lote con mayor rendimiento en los ensayos.

3.9.1.1.Separación de fases

El balance de materia se realizó en el decantador donde se separa el aceite esencial y el hidrolato, teniendo las siguientes corrientes:

Cantidad de Aceite Esencial: $F_1 = 4,67 \text{ g}$

Cantidad de hidrolato: $F_2 = 1.180,79 \text{ g}$

Condensado mezcla Aceite-Hidrolato: F_3

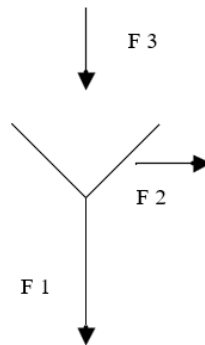
Para obtener la corriente de entrada al decantador se emplea la siguiente ecuación de balance:

$$F_3 = F_1 + F_2$$

$$F_3 = 4,67 \text{ g} + 1.180,79 \text{ g}$$

$$F_3 = 1.185,46 \text{ g}$$

Figura 3-10 Diagrama de la separación aceite e hidrolato.



Fuente: Elaboración propia, 2021

3.9.1.2.Condensador

En el condensador se tiene cuatro corrientes, dos corrientes en la carcasa del equipo, una corriente de entrada (vapor - aceite provenientes de la torre de extracción) y una de salida (condensado aceite – hidrolato). Mientras que por el tubo en forma de espiral circula el refrigerante teniendo una corriente de entrada y una de salida.

Condensado mezcla Aceite-Hidrolato: $F_3 = 1.185,46 \text{ g}$

Vapor-aceite proveniente de la torre de extracción: F_4

Corriente de entrada del refrigerante: F_5

Corriente de salida del refrigerante: F_6

Balance de materia en la carcasa del condensador:

$$F_3 = F_4$$

$$F_4 = 1.185,46 \text{ g}$$

Balance de materia en el tubo del condensador:

$$Q = 0,51 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$h = 60 \text{ min}$$

$$\rho_{\text{agua}} = 997,71 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$T_{\text{Extraccion}} = 100 \text{ min}$$

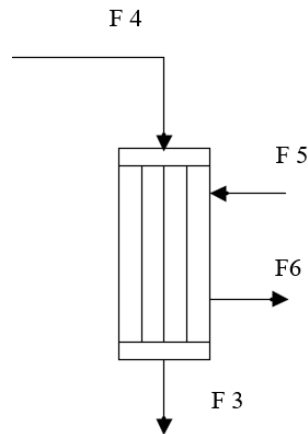
$$F_5 = \rho_{\text{agua}} * V_{\text{agua}}$$

$$F_5 = 997,71 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} * 0,51 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * 100 \text{ min}$$

$$F_5 = 848.053,50 \text{ g}$$

$$F_5 = F_6$$

$$F_6 = 848.053,50 \text{ g}$$

Figura 3-11 Diagrama del condensador.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.9.1.3. Destilación

El balance de materia en esta etapa del proceso se realizó en la torre de extracción, empleando para el cálculo los datos obtenidos en la prueba experimental.

Donde:

Masa de vapor y aceite: $F_4 = 1.185,46 \text{ g}$

Materia prima residual: $F_7 = 468,92 \text{ g}$

Agua residual en la torre: F_8

Cantidad de materia prima: $F_9 = 400 \text{ g}$

Masa de agua cargada a la torre: $F_{10} = 3.991 \text{ g}$

Ecuación de balance de materia en la torre de extracción:

$$F_9 + F_{10} = F_4 + F_7 + F_8$$

Agua retenida en la materia prima:

$$m_{\text{agua retenida}} = F_7 - F_9$$

$$m_{\text{agua retenida}} = 468,92 \text{ g} - 400 \text{ g}$$

$$m_{\text{agua retenida}} = 68,92 \text{ g}$$

Masa de agua residual en la torre:

$$F_8 = F_{10} - m_{\text{agua retenida}} - F_4$$

$$F_8 = 3.991 \text{ g} - 68,92 \text{ g} - 1.185,46 \text{ g}$$

$$F_8 = 2.736,62 \text{ g}$$

Vapor generado en el interior del extractor:

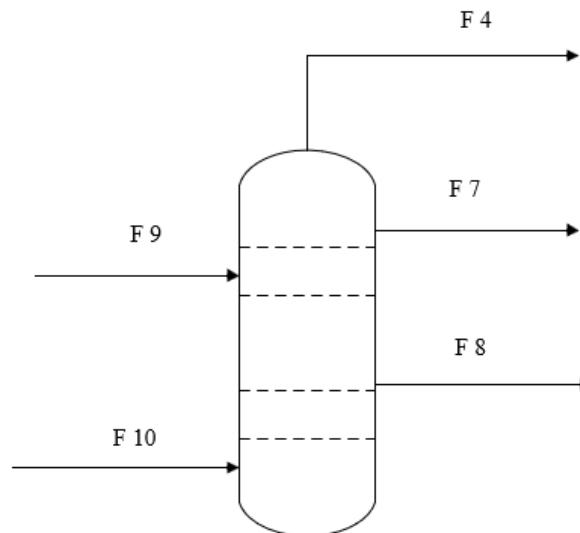
$$m_{\text{vapor generado}} = F_{10} - F_8$$

$$m_{\text{vapor generado}} = 3.991 \text{ g} - 2.736,62 \text{ g}$$

$$m_{\text{vapor generado}} = 1.254,38 \text{ g}$$

El diagrama de la torre de extracción tiene dos entrada y tres salidas como se muestra en la figura 3-12.

Figura 3-12 Diagrama en la torre de extracción.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.9.1.4.Cocinilla

Para calentar la torre de extracción se empleó la combustión de gas licuado de petróleo (GLP) que contiene teóricamente alrededor del 80% de propano y 20% butano.

Masa de la garrafa con combustible al inicio: $m_{\text{GLP inicio}} = 21.202 \text{ g}$

Masa de la garrafa con combustible al final: $m_{\text{GLP final}} = 20.960 \text{ g}$

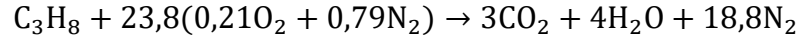
Masa de combustible consumido:

$$m_{\text{GLP consumido}} = m_{\text{GLP inicio}} - m_{\text{GLP final}}$$

$$m_{\text{GLP consumido}} = 21.202 \text{ g} - 20.960 \text{ g}$$

$$F_{11} = 242 \text{ g}$$

Combustión del propano:



$$m_{\text{C}_3\text{H}_8} = 242 \text{ g} \times 0,8 = 193,6 \text{ g}$$

$$m_{\text{CO}_2} = 193,6 \text{ g C}_3\text{H}_8 \times \frac{1 \text{ mol C}_3\text{H}_8}{44 \text{ g C}_3\text{H}_8} \times \frac{3 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol C}_3\text{H}_8} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} = 580,80 \text{ g}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 193,6 \text{ g C}_3\text{H}_8 \times \frac{1 \text{ mol C}_3\text{H}_8}{44 \text{ g C}_3\text{H}_8} \times \frac{4 \text{ mol H}_2\text{O}}{1 \text{ mol C}_3\text{H}_8} \times \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ mol H}_2\text{O}} = 316,80 \text{ g}$$

$$m_{\text{N}_2} = 193,6 \text{ g C}_3\text{H}_8 \times \frac{1 \text{ mol C}_3\text{H}_8}{44 \text{ g C}_3\text{H}_8} \times \frac{18,8 \text{ mol N}_2}{1 \text{ mol C}_3\text{H}_8} \times \frac{28 \text{ g N}_2}{1 \text{ mol N}_2} = 2.316,16 \text{ g}$$

Gases de combustión(propano):

$$m_{\text{gases (1)}} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{N}_2}$$

$$m_{\text{gases (1)}} = 580,80 \text{ g} + 316,80 \text{ g} + 2.316,16 \text{ g}$$

$$m_{\text{gases (1)}} = 3.213,76 \text{ g}$$

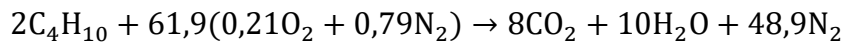
Cantidad de aire consumido (de propano):

$$m_{\text{aire (1)}} = m_{\text{gases (1)}} - m_{\text{C}_3\text{H}_8}$$

$$m_{\text{aire (1)}} = 3.213,76 \text{ g} - 193,6 \text{ g}$$

$$m_{\text{aire (1)}} = 3.020,16 \text{ g}$$

Combustión del butano:



$$m_{\text{C}_3\text{H}_8} = 242 \text{ g} \times 0,2 = 48,4 \text{ g}$$

$$m_{\text{CO}_2} = 48,4 \text{ g C}_4\text{H}_{10} \times \frac{1 \text{ mol C}_4\text{H}_{10}}{58 \text{ g C}_4\text{H}_{10}} \times \frac{8 \text{ mol CO}_2}{2 \text{ mol C}_3\text{H}_8} \times \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2} = 146,87 \text{ g}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 48,4 \text{ g C}_4\text{H}_{10} \times \frac{1 \text{ mol C}_4\text{H}_{10}}{58 \text{ g C}_4\text{H}_{10}} \times \frac{10 \text{ mol H}_2\text{O}}{2 \text{ mol C}_3\text{H}_8} \times \frac{18 \text{ g H}_2\text{O}}{1 \text{ mol H}_2\text{O}} = 75,10 \text{ g}$$

$$m_{\text{N}_2} = 48,4 \text{ g C}_4\text{H}_{10} \times \frac{1 \text{ mol C}_4\text{H}_{10}}{58 \text{ g C}_4\text{H}_{10}} \times \frac{48,9 \text{ mol N}_2}{1 \text{ mol C}_3\text{H}_8} \times \frac{28 \text{ g N}_2}{1 \text{ mol N}_2} = 571,29 \text{ g}$$

Gases de combustión(butano):

$$m_{\text{gases (2)}} = m_{\text{CO}_2} + m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{N}_2}$$

$$m_{\text{gases (2)}} = 146,87 \text{ g} + 75,10 \text{ g} + 571,29 \text{ g}$$

$$m_{\text{gases (2)}} = 793,26 \text{ g}$$

Cantidad de aire consumido (butano):

$$m_{\text{aire (2)}} = m_{\text{gases (2)}} - m_{\text{C}_3\text{H}_8}$$

$$m_{\text{aire (2)}} = 793,26 \text{ g} - 48,4 \text{ g}$$

$$m_{\text{aire (2)}} = 744,86 \text{ g}$$

Aire total para la combustión:

$$F_{12} = m_{\text{aire (1)}} + m_{\text{aire (2)}}$$

$$F_{12} = 3.213,76 \text{ g} + 744,86 \text{ g}$$

$$F_{12} = 3.958,62 \text{ g}$$

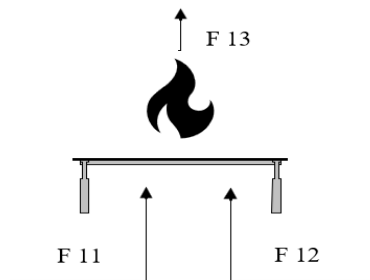
Gases totales de combustión:

$$F_{13} = m_{\text{gases (1)}} + m_{\text{gases (2)}}$$

$$F_{13} = 3.213,76 \text{ g} + 793,26 \text{ g}$$

$$F_{13} = 4.007,02 \text{ g}$$

Figura 3-13 Diagrama de la cocinilla



Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.9.1.5. Tamizado

El tamizado se realizó para separar las partículas por distintos tamaños, el cálculo de las masas de cada corriente según el número de cada tamiz se efectuó tomando en cuenta los porcentajes de rechazo descritos en el análisis granulométrico. El diagrama del tamizado tiene una corriente de entrada y cinco de salida, las cuales son:

Masa de partículas de 2 mm aceptadas: $F_9 = 400 \text{ g}$

Masa de partículas $\geq 1 \text{ mm}$ no aceptadas: $F_{14} = 138,15 \text{ g}$

Masa de partículas 4-3 mm no aceptadas: $F_{15} = 258,76 \text{ g}$

Masa de partículas 5 mm no aceptadas: $F_{16} = 378,07 \text{ g}$

Masa de partículas < 5 mm no aceptadas: $F_{17} = 114,93 \text{ g}$

Masa de cáscara de pomelo rosado triturado: F_{18}

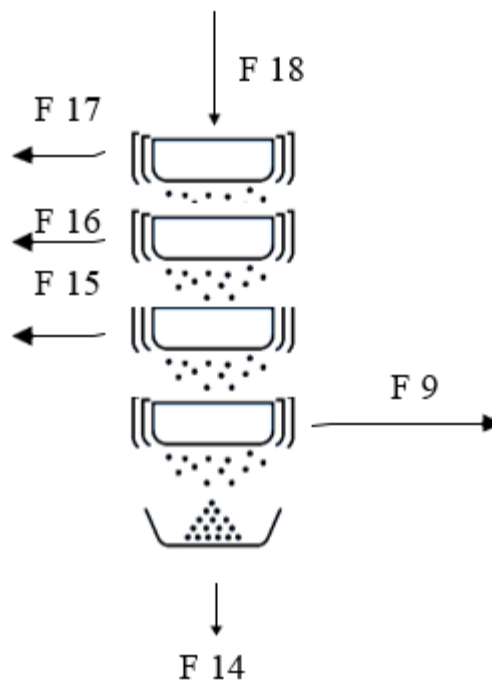
Ecuación de balance de materia en el tamizado:

$$F_{18} = F_9 + F_{14} + F_{15} + F_{16} + F_{17}$$

$$F_{15} = 400 \text{ g} + 138,15 \text{ g} + 258,76 \text{ g} + 378,07 \text{ g} + 114,93 \text{ g}$$

$$F_{15} = 1.289,91 \text{ g}$$

Figura 3-14 Diagrama del Tamizado.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.9.1.6. Trituración

La etapa del triturado se realiza para disminuir el tamaño de la cáscara de pomelo obteniendo partículas de distintos tamaños, para esto se tiene una corriente de entrada y una de salida, como se muestra tanto en la figura 3-15.

Masa de cáscara de pomelo rosado: F_{16}

Masa de cáscara de pomelo rosado triturado: $F_{18} = 1.289,91 \text{ g}$

Ecuación de balance de materia:

$$F_{19} = F_{18}$$

$$F_{16} = 1.289,91 \text{ g}$$

Figura 3-15 Diagrama del triturado.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.9.1.7. Separación de la cáscara

En esta etapa del proceso se llega a separar la cáscara del pomelo rosado quedando como residuo el endocarpio y mesocarpio del fruto, llegando a tener una corriente de entrada y dos de salida como se muestra en la figura 3-16.

El pomelo rosado tiene un peso aproximado de 270,14 g de los cuales la cáscara tiene un peso de 56,23 g.

Masa de cáscara de pomelo rosado: $F_{19} = 1.289,91 \text{ g}$

Masa del endocarpio y mesocarpio del pomelo rosado: $F_{20} = 4.905,62 \text{ g}$

Masa de pomelo rosado: F_{21}

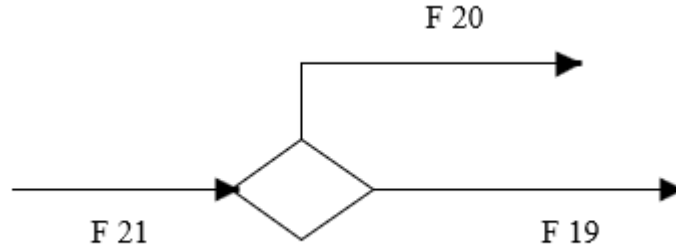
Ecuación de balance de materia:

$$F_{21} = F_{19} + F_{20}$$

$$F_{18} = 1.289,91 \text{ g} + 4.905,62 \text{ g}$$

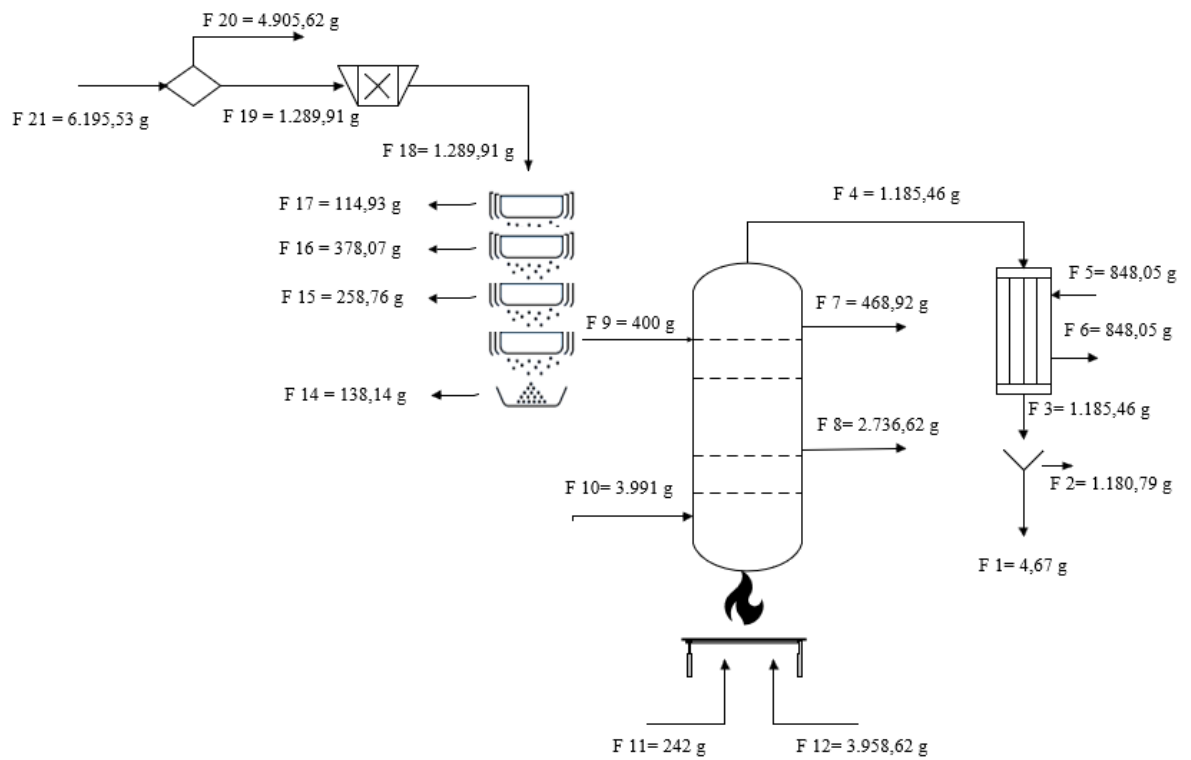
$$F_{18} = 6.195,53 \text{ g}$$

Figura 3-16 Diagrama del pelado del fruto.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Figura 3-17 Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite esencial.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.9.2. Balance de Energía

En el proceso de extracción de aceite esencial de cáscara de pomelo para realizar un balance de energía se tiene que tomar en cuenta los dos equipos donde existe una transferencia de calor

3.9.2.1. Torre de extracción

Etapa de calentamiento

En esta etapa existe un cambio de temperatura, pero no de fase; por tanto, se trata de calor sensible.

Datos:

$$C_p = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$T_{\text{vapor}} = 92^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{inicial}} = 12^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{sensible}} = m_{\text{agua cargada a la torre}} * C_p * (T_{\text{vapor}} - T_{\text{inicial}})$$

$$Q_{\text{sensible}} = 3,99 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} * (92^\circ\text{C} - 12^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{sensible}} = 319,2 \text{ Kcal}$$

Etapa para la generación de vapor

Se realiza un cálculo de la potencia térmica de la hornalla a gas GLP.

$$P = \frac{Q_{\text{sensible}}}{t_{\text{acondicionamiento}}}$$

$$P = \frac{319,2 \text{ kcal}}{32 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}}$$

$$P = 598,5 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Calor latente para la generación de vapor

$$Q_{\text{latente}} = P_{\text{termica}} * t_{\text{extraccion}}$$

$$Q_{\text{latente}} = 598,5 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} * 1,67 \text{ h}$$

$$Q_{\text{latente}} = 999,50 \text{ Kcal}$$

Calor total requerido en la destilación para la extracción

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

$$Q_{\text{total}} = 319,2 \text{ kcal} + 999,50 \text{ kcal}$$

$$Q_{\text{total}} = 1.318,70 \text{ kcal}$$

Calor latente de vaporización del agua a 92° C

$$\lambda_{\text{vaporizacion}} = \frac{Q_{\text{latente}}}{m_{\text{vapor}}}$$

$$\lambda_{\text{vaporizacion}} = \frac{999,5 \text{ kcal}}{1,18 \text{ kg}}$$

$$\lambda_{\text{vaporizacion}} = 843,22 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

3.9.2.2. Condensador

Calor cedido

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

$$Q_{\text{cedido}} = (m_{\text{vapor}} * \lambda_{\text{vaporizacion}}) + (m_{\text{vapor}} * C_p * (T_{\text{condensado}} - T_{\text{vapor}}))$$

$$Q_{\text{cedido}} = (1,18 \text{ Kg} * 843,22 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}) + (1,18 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (17 \text{ } ^\circ\text{C} - 92 \text{ } ^\circ\text{C}))$$

$$Q_{\text{cedido}} = 908,86 \text{ kcal}$$

Calor ganado

El calor ganado por el agua de refrigeración, es el calor sensible debido a que no existe cambio de fase, solo de temperatura

$$Q_{\text{ganado}} = m_{\text{refrigerante}} * C_p * (T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}})$$

$$Q_{\text{ganado}} = 848,054 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (12 \text{ } ^\circ\text{C} - 11^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{ganado}} = 848,54 \text{ kcal}$$

Porcentaje de transferencia de calor

$$\% \text{ transferencia de calor} = \frac{Q_{\text{ganado}}}{Q_{\text{cedido}}} * 100$$

$$\% \text{ transferencia de calor} = \frac{848,54 \text{ kcal}}{908,86 \text{ kcal}} * 100$$

$$\% \text{ transferencia de calor} = 93,36 \%$$

3.10. Análisis de Costos del Proyecto

El análisis de los costos asociados a las tareas desarrolladas durante la realización del presente proyecto.

3.10.1. Costos Directos

Es el gasto que tuvo una relación directa al desarrollo del proyecto de investigación. Se muestra en las siguientes tablas:

Los costos de materia prima incluyen los gastos en la compra de pomelo rosado y su transporte para la obtención de aceite esencial.

Tabla III-14 Costos de materia prima.

Ítem	Detalle	Unidades	Precio Unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
1	Pomelo rosado	Unidad	0,8	700	560
2	Transporte	Bs	-	-	350
Total					910

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para la obtención de aceite esencial se considera el costo de los equipos y materiales comprados en la tabla III-15 y III-16.

Tabla III-15 Costos de equipos.

Ítem	Detalle	Unidades	Precio Unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
3	Licuadaora	Unidad	650	1	650
4	Cocinilla	Unidad	90	1	90
5	Garrafa de GLP	Unidad	275	1	275
6	Balanza Visioneer	Unidad	130	1	130
7	Pelador de cítricos	Unidad	150	1	150
Total					1295

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla III-16 Costos de materiales.

Ítem	Detalle	Unidades	Precio Unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
8	Cámara de Plastoformo	Unidad	50	2	100
9	Matraz de 500 ml	Unidad	62	1	62
10	Frascos de vidrio ámbar de 30 ml	Unidad	7,50	5	37,50
11	Matraz de 1000 ml	Unidad	99	1	99
12	Micropipeta	Unidad	850	1	850
13	Portaobjetos	Unidad	3	2	6
14	Cubreobjeto	Unidad	2	2	4
15	Vaso de precipitado de 40 ml	Unidad	32	1	32
16	Termómetro	Unidad	45	2	90
17	Vaso de precipitado de 100 ml	Unidad	45	1	45
18	Etanol 70 %	2.000 ml	45	1	45
19	Fósforo	Unidad	1	1	1
20	Hielo	Unidad	5	24	120
Total					1.491,50

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El costo de análisis de laboratorio corresponde a todos los gastos realizados para el análisis del producto obtenido como también de la materia prima las cuales se muestran en la tabla III-17 y III-18.

Tabla III-17 Costos de análisis fisicoquímicos de la materia prima.

Ítem	Detalle	Unidades	Precio Unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
21	Humedad	Análisis	25	1	25
22	Ceniza	Análisis	50	1	50
23	Grasa	Análisis	60	1	60
24	Fibra	Análisis	85	1	85
25	Proteína	Análisis	75	1	75
26	Carbohidratos	Análisis	5	1	15
Total					305

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla III-18 Costos de análisis fisicoquímico del aceite esencial.

Ítem	Detalle	Unidades	Precio Unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
27	Densidad relativa	Análisis	25	1	25
28	Índice de refracción	Análisis	10	1	10
29	Cromatografía	Análisis	300	1	300
30	Acidez total	Análisis	45	1	45
Total					380

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Los costos de insumos incluyen el gasto de GLP y el consumo de agua para los equipos, estos se resumen en la tabla III-19.

Tabla III-19 Costos de insumos.

Ítem	Detalle	Unidades	Precio (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
31	Agua potable	m ³	1,61	35,70	57,48
32	Gas licuado de petróleo	Unidad	28	1	28
Total					85,48

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Los costos en energía eléctrica para los equipos empleados en la obtención de aceite esencial, se muestran en la tabla III-20.

Tabla III-20 Costos eléctricos de los equipos.

Ítem	Detalle	Precio (Bs/kw-h)	Potencia (Kw)	Tiempo (h)	Costo (Bs)
33	Licadora	0,68	0,70	14,25	6,78
34	Tamiz vibratorio	0,68	1,10	7,00	5,24
35	Balanza analítica	0,68	0,80	4,45	2,42
36	Balanza de Kg	0,68	0,70	2,58	1,23
37	Agitador automático	0,68	0,46	3,83	1,20
Total					16,87

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La suma de los costos directos se resume en la tabla III-21

Tabla III-21 Costos Directos.

Costos Directos	Precio (Bs)
Costos de materia prima.	910
Costos de los equipos.	1.295
Costos de los materiales.	1.491,50
Costos de análisis fisicoquímicos de la materia prima.	305
Costos de análisis fisicoquímicos del aceite esencial.	380
Costos de insumos.	85,48
Costos eléctricos de los equipos.	16,87

Costos Directos	Precio (Bs)
Total	4.483,85

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.10.2. Costos Indirectos

Los gastos indirectos se detallan en la tabla III-22.

Tabla III-22 Costos indirectos.

Ítem	Detalle	Unidades	Precio Unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
38	Internet	H	5	120	600
39	Transporte	Día	42	4	168
40	Impresión	Unidad	0,5	357	178,5
41	Anillado	Unidad	7	3	21
42	Empastado	Unidad	52	3	156
Total					1.123,5

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.10.3. Costo Total

El costo total es la suma de los costos directos y los costos indirectos.

Tabla III-23 Costo total del proyecto.

Costos	Precio (Bs)
Costos Directos	4.483,85
Costos Indirectos.	1.123,5
Total	5.607,35

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El proyecto de investigación aplicada para la obtención de aceite esencial de cáscara de pomelo rosado (*Citrus Paradisi*) tuvo un costo total de 5.607,35 Bs.

3.10.4. Precio Estimado del Producto

El costo total del producto es la suma de los costos de operación y los gastos realizados.

Para determinar la cantidad de pomelo rosado se empleó el balance de materia utilizando los parámetros de operación del mejor rendimiento obtenido en los ensayos como se muestra en la tabla III-24

Tabla III-24 Costo de materiales directos en la extracción.

Detalle	Unidades	Precio Unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
Pomelo rosado	Unidad	0,8	22	17,60

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para calcular el costo de operación en cada ensayo se toma en cuenta tanto el consumo de agua potable como refrigerante, el gas licuado de petróleo para calentar la torre generando vapor de agua, hielo para mejorar el cambio de fase en el condensador, el consumo eléctrico de cada equipo, como se muestran en las tablas III-25 y III-26

Tabla III-25 Costo de operación para la extracción.

Detalle	Unidades	Precio Unitario (Bs)	Cantidad	Costo (Bs)
Agua Potable	m ³	1,61	0,85	1,37
Gas Licuado de Petróleo	Kg	1,5	0,24	0,36
Hielo	Kg	5	2	10
Total				11,73

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Tabla III-26 Costo de energía eléctrica.

Detalle	Precio (Bs/kw-h)	Potencia (Kw)	Tiempo (h)	Costo (Bs)
Licuadaora	0,68	0,70	0,85	0,41
Tamiz vibratorio	0,68	1,10	0,5	0,38
Balanza analítica	0,68	0,80	0,10	0,16
Balanza de Kg	0,68	0,70	0,06	0,12
Agitador automático	0,68	0,46	0,17	0,15
Total				1,22

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Para el proyecto se empleó un análisis de depreciación por unidades de producción, el cual se aplica a todos los bienes como equipos y materiales comprados para ser empleados el proceso de extracción de aceite esencial, empleando la siguiente expresión:

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Costo del activo} - \text{Valor residual}}{\text{Experimentos realizados}}$$

El valor residual se calcula tomando la depreciación anual de los equipos y materiales comprados, tomando en cuenta el D.S. 24051 del Estado Plurinacional de Bolivia, del anexo del artículo 22 que es útil para calcular los porcentajes de depreciación de activos fijos.

En el proyecto se realizaron 43 experimentos entre las pruebas previas y ensayos según el diseño experimental.

Tabla III-27 Depreciación de los equipos y materiales

Detalle	Costo del activo (Bs)	Vida útil (año)	Valor residual (Bs)	Depreciación en cada ensayo (Bs)
Licuadaora	650	8	568,75	1,89
Cocinilla	90	8	78,75	0,26

Detalle	Costo del activo (Bs)	Vida útil (año)	Valor residual (Bs)	Depreciación en cada ensayo (Bs)
Balanza Visioneer	130	8	113,75	0,38
Pelador de cítricos	150	8	131,25	0,44
Matraz de 500 ml	62	4	46,5	0,36
Matraz de 1000 ml	99	4	74,25	0,58
Micropipeta	850	8	743,75	1,86
Vaso de precipitado de 40 ml	32	4	24,00	0,19
Termómetro	90	4	67,50	0,52
Vaso de precipitado de 100 ml	45	4	33,75	0,26
Total				6,73

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El costo total en cada extracción se obtiene sumando el costo de la materia prima, costo de operación, costo del consumo de energía eléctrica y el costo de la depreciación de los equipos y materiales que se compraron.

Tabla III-28 Costos totales en cada extracción.

Costos totales en cada extracción	Precio (Bs)
Costo de la materia prima	17,60
Costo de operación	11,73
Costo del consumo de energía eléctrica	1,22
Costo de la depreciación de los equipos y materiales	6,73
Total	37,28

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Se tiene un costo de 37,28 Bs para obtener según el mejor rendimiento 5,65 ml de aceite esencial de cáscara de pomelo rosado.

Para saber el costo por ml se aplica la siguiente expresión:

$$1ml \times \frac{37,28 Bs}{5,65 ml} = 7,02 Bs$$

El costo por 1 ml obtenido de aceite esencial de cáscara de pomelo rosado es de 7,02 Bs, de tal manera el costo por un volumen de 15 ml sería de 105,30 Bs.

En la tabla III-29 se muestran precios de aceites esenciales de cáscara de pomelo rosado por un volumen de 15 ml según diferentes empresas, junto con el precio del aceite esencial obtenido en el presente proyecto.

Tabla III-29 Precios de aceite esencial de pomelo rosado por un volumen de 15 ml.

	Aceite esencial obtenido en el proyecto	Aura Cacia (Empresa Americana)	Esential Aroms (Empresa Española)
Precio (Bs)	105,30	89,20	94,68

Fuente: Elaboración propia, 2021.

El aceite esencial de cáscara de pomelo elaborado por la empresa americana Aura Cacia tiene un precio de 89,20 Bs por un volumen de 15 ml (Aura Cacia S.A., 2015), mientras que el aceite elaborado por la empresa española Esential aroms por el mismo volumen tiene un precio de 94,68 Bs. (Esential Aroms, 2017)

En comparación con el aceite esencial obtenido en el presente proyecto, las empresas Aura Cacia y Esential aroms tienen precios menores, debido a diferentes factores de producción.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

De acuerdo a los objetivos planteados para el presente trabajo de investigación y a los resultados obtenidos, se llega a las siguientes conclusiones:

- Las propiedades fisicoquímicas de la cáscara de pomelo rosado utilizado en el proyecto, tenían una humedad del 75,21 %, cenizas 2,03 %, fibra 4,73 %, materia grasa 0,50 %, carbohidratos 14,14 % y proteínas totales 3,39 %; dichas propiedades pueden variar ya que dependen de muchos factores como ser el lugar de cultivo, las condiciones climatológicas, tiempo de cosecha, químicos insecticidas y abonos utilizados.
- Las tres variables de operación utilizadas para la extracción del aceite esencial por el método de arrastre con vapor fueron la cantidad de materia prima, el tiempo de extracción y el tamaño de partícula. Los límites tanto inferior como superior de las dos primeras variables se determinaron mediante pruebas preliminares, de tal manera los límites óptimos empleados para la variable cantidad de materia prima fueron de 400 g y 600 g respectivamente, y para el tiempo de extracción empleado fue de 70 min y 100 min respectivamente, mientras que para la tercera variable que es tamaño de partícula se realizó un análisis granulométrico seleccionando los tamaños de 2 mm y 5 mm.
- El ensayo que presentó el mayor rendimiento en la extracción de aceite esencial de cáscara de pomelo rosado (*Citrus Paradisi*) registro un porcentaje del 1,17 % empleando los parámetros de operación mostrados en la tabla IV-1.

Tabla IV-1 Parámetros de operación para el mejor rendimiento.

Parámetro de operación	Unidad	Valor
Cantidad de materia prima	g	400
Tiempo de extracción	min	100
Tamaño de partícula	mm	2
Volumen de agua en el extractor	ml	4.000

Fuente: Elaboración propia, 2021.

- En el diseño factorial se demostró que las variables independientes, cantidad de materia prima, tiempo de extracción y tamaño de partícula son influyentes en el rendimiento de aceite esencial de cáscara de pomelo rosado.
- A través de las interacciones entre variables se puede mencionar, que al aumentar la cantidad de materia prima se obtendrá mayor cantidad de aceite esencial, sucede lo mismo con la variable tiempo de extracción que al aumentar los minutos de extracción se consigue mayor cantidad de aceite esencial, teniendo en cuenta que cada variable tiene un valor óptimo hasta donde se puede obtener una cantidad aceptable de aceite esencial, siendo contraproducente excederse de dicho valor.

En el caso de la variable tamaño de partícula mientras sea menor el tamaño del triturado de la cáscara de pomelo se obtiene una mayor cantidad de aceite esencial, pero si se emplean partículas menores a la óptima sería desfavorable en la cantidad de aceite esencial extraído.

- El aceite obtenido tiene un color transparente, con olor característico a un cítrico, por lo que se concluye que cumple con las características propias del aceite esencial de pomelo rosado descritas en la bibliografía.
- Las propiedades del aceite esencial como la Densidad relativa con 0,827 g/ml, Índice de refracción 1,472 y acidez total de 0,370 mg KOH/ g; los resultados no varían significativamente de los datos reportados en la bibliografía. En conclusión, se considera que el aceite esencial está dentro del rango esperado para este tipo de aceite.
- En la composición del aceite esencial de pomelo rosado se identificó 3 componentes mayoritarios como el limoneno, mirceno y pineno, siendo el limoneno el componente más abundante con un 97,48 %. por lo que se concluye que la composición cumple con las características propias del aceite esencial.

- El proyecto de investigación tuvo un costo de 5.607,35 Bs teniendo un gasto mayor en la compra de materiales. El aceite esencial obtenido tendría un costo por 1 ml de 7,02 Bs.

4.2.Recomendaciones

- Se podría mejorar el proceso de trituración en la extracción en caso de trabajar con cáscara de frutos porque se tiene pérdidas, aunque mínimas de aceite esencial al triturarlo con una licuadora reduce en cierta manera el rendimiento de extracción.
- En futuros trabajos de investigación de extracción de aceites esenciales por método de arrastre de vapor, se debería emplear otro método de generación de vapor para poder usar como variable el flujo de vapor a la torre de extracción.
- Realizar un estudio de prefactibilidad para la implementación de una planta a escala piloto en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.
- Realizar trabajos de investigación sobre el aprovechamiento y aplicaciones del aceite esencial de cáscara de pomelo rosado en la industria de insecticidas orgánicos, industrias farmacéuticas, e industria de bebidas.