

CAPITULO I

MARCO TEORICO

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1. ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son productos que se obtiene a partir de materia prima vegetal, compuestos por varias sustancias orgánicas volátiles como; alcoholes, acetonas, cetonas, éteres, aldehídos. Se producen y almacenan en los canales secretores de las plantas.

A temperatura ambiente son líquidos poco densos, pero con mayor viscosidad que el agua. Por su volatilidad, son extraíbles por destilación en corriente de vapor de agua, aunque existen otros métodos. En general los aceites esenciales son los responsables del olor propio de las plantas y del aroma característico algunas flores, árboles, frutos y semillas. Generan diversos aromas agradables y perceptibles al ser humano. (Rodríguez, Alcaraz, & Real, 2012)

Los aceites esenciales son metabolitos secundarios sintetizados por las plantas, producidos al momento de activarse mecanismos de defensa como respuesta a factores ambientales y ecológicos, estos presentan roles de defensa, atracción de polinizadores entre otros.

Los aceites esenciales son solubles en los disolventes orgánicos comunes, casi inmiscibles en disolventes polares asociados (agua, amoníaco). Tienen propiedades de solvencia para los polímeros con anillos aromáticos presentes en su cadena. Son aceptados como sustancias seguras (GRAS) por la Agencia de Drogas y Alimentos de EE.UU. (FDA)

Son inflamables, no son tóxicos, aunque a veces pueden provocar alergias en personas sensibles a determinados terpenoides.

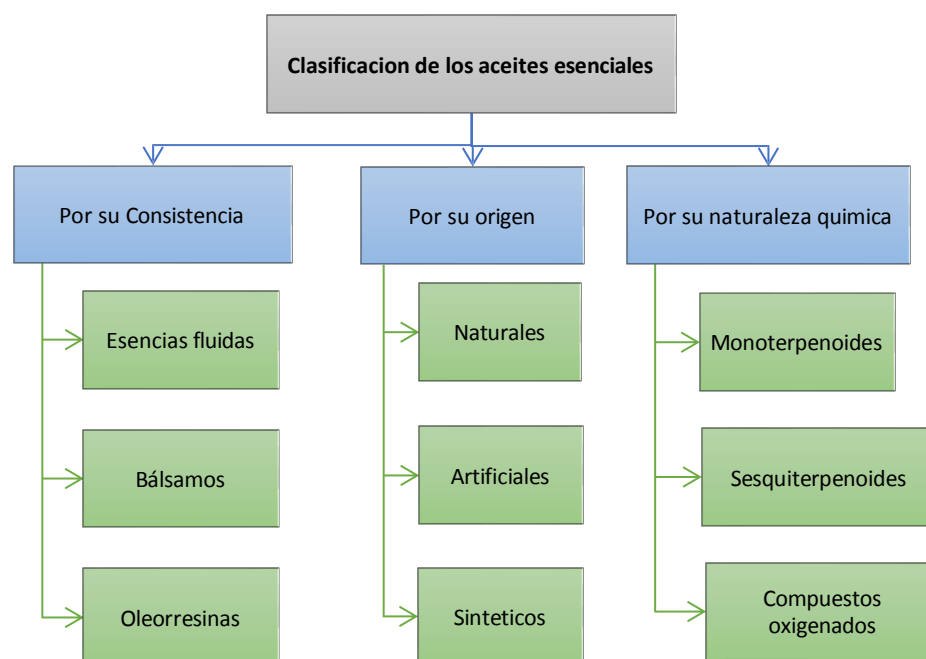
Son inocuos, mientras la dosis suministrada no supere los límites de toxicidad. Sufren degradación química en presencia de la luz solar, del aire, del calor, de ácidos y álcalis fuertes, generando oligómeros de naturaleza indeterminada. (Code of Federal Regulations, 2003).

1.1.1. Clasificación de los aceites esenciales

Los aceites esenciales se encuentran ampliamente distribuidos en diferentes partes de las plantas: en las hojas (albahaca, eucalipto, hierbabuena, mejorana, menta, romero, salvia, etc.), en las raíces (jengibre, sándalo, sasafrás, etc.), en el pericarpio del fruto (cítricos como limón, mandarina, naranja, etc.), en las semillas (anís, comino, etc.), en el tallo (canela, etc.), en las flores (lavanda, manzanilla, tomillo, rosa, etc.) o en los frutos (perejil, pimienta, etc.). Se clasifican basándose en criterios como consistencia y origen. (Rodríguez, Alcaraz, & Real, 2012).

Según (Rivera, 2019) también se toma en cuenta a la naturaleza química como parte de la clasificación de los aceites esenciales.

Figura 1-1 Clasificación de los aceites esenciales



Fuente: Elaboración propia, 2021

1.1.1.1. Clasificación por consistencia

Por su consistencia los aceites esenciales se clasifican en:

- **Esencias fluidas:** Las esencias fluidas son líquidos volátiles a temperatura ambiente.
- **Bálsamos:** Los bálsamos son de consistencia más espesa, poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización, son ejemplos, el bálsamo de copaiba, el bálsamo del Perú, bálsamo de Tolú, Estoraque, etc.
- **Oleorresinas:** Las oleorresinas tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (caucho, gutapercha, chicle, oleorresina de paprika, de pimienta negra, de clavo, etc.). (Rodríguez, Alcaraz, & Real, 2012)

1.1.1.2. Clasificación por su origen.

Rodríguez, et. al, 2012 clasifica a los aceites esenciales según su origen en:

- **Naturales:** Los aceites naturales se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosos.
- **Artificiales:** Los 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 linalol.
- **Sintéticos:** Los sintéticos como su nombre lo indica son los producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y por lo tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes.

1.1.1.3. Clasificación por su naturaleza química

Rivera (2019) refiere que según la estructura química de los componentes mayoritarios que determinan el olor particular de los aceites, estos se dividen en tres grupos principales:

- **Monoterpenoides:** como el linalol, nerol, 1–8 cineol, geraniol.
- **Sesquiterpenoides:** como el farnesol y nerolidol.
- **Compuestos oxigenados:** Como los alcoholes, aldehídos y cetonas.

1.1.2. Propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales

Según Bermudo (2019), los aceites esenciales tienen la propiedad en común, de generar diversos aromas agradables y perceptibles al ser humano, pero siempre pronunciados y penetrantes, que nos recuerdan el olor del vegetal del que provienen. Poseen un color en la gama del amarillo, hasta ser transparentes en algunos casos. Tienen sabor cáustico, acre e irritante y a veces aromático, dulce y delicado. A condiciones ambientales, son líquidos menos densos que el agua, pero más viscosos que ella. Son solubles en los disolventes orgánicos comunes y casi inmiscibles en disolventes polares asociados (agua, amoníaco). Tienen propiedades de solvencia para los polímeros con anillos aromáticos presentes en su cadena.

Los aceites esenciales no son inocuos mientras la dosis suministrada no supere los límites de toxicidad. Y son aceptados como sustancias seguras (GRAS) por la Agencia de Drogas y Alimentos (FDA) de EEUU.

1.1.3. Composición química de los aceites esenciales

Los aceites esenciales tienen una composición química muy compleja, en función de los grupos funcionales que contienen sus moléculas, se pueden clasificar los metabolitos secundarios volátiles. (Calvachea, Rodriguez, & Troyaa, 2018)

Según Calvachea et al. (2018) los componentes de los aceites se clasifican en terpenoides y no terpenoides.

- **No terpenoides:** En este grupo se encuentran las sustancias alifáticas de cadena corta, sustancias aromáticas, sustancias con azufre y sustancias nitrogenadas. No son tan importantes como los terpenoides en cuanto a sus usos y aplicaciones.

Los ejemplos más importantes de ellos son los tioles presentes en el aceite esencial del lúpulo como el mercaptohexanol $C_6H_{14}OS$ y los compuestos azufrados como el dialil disulfuro presente en el ajo $C_6H_{10}S_2$.

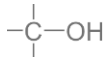
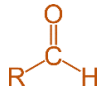
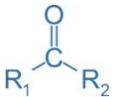
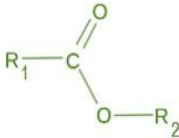
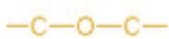
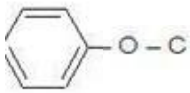
- **Terpenoides:** Son los más importantes en cuanto a sus propiedades y a su comercialización.

Los Terpenos son una clase de sustancia química que se halla en los aceites esenciales, resinas y otras sustancias aromáticas de muchas plantas, como los pinos y muchos cítricos. En los aceites esenciales podemos encontrar principalmente:

- Monoterpenos, los cuales constan de 2 unidades de isopreno ($C_{10}H_{16}$), ejemplo de ellos es el mentol ($C_{10}H_{20}O$) presente en el aceite esencial de la menta, limoneno ($C_{10}H_{16}$) encontrado en los cítricos y alcanfor ($C_{10}H_{16}O$) entre muchos otros.
- Sesquiterpenos, mismos que son formados por 3 unidades de isopreno ($C_{15}H_{24}$) como el cariofileno ($C_{15}H_{24}$) en el clavo de olor y el bisaboleno ($C_{15}H_{24}$) en el aceite de mirra.
- Diterpenos, terpenos de 20 carbonos, como el fitol ($C_{20}H_{40}O$) componente encontrado en el aceite esencial de cannabis.

Los aceites esenciales terpénicos pueden ser alifáticos, cíclicos o aromáticos. Según los grupos funcionales pueden ser:

Tabla I-1 Composición química de los aceites esenciales por su grupo funcional

COMPUESTO	GRUPO FUNCIONAL	EJEMPLO	PROPIEDADES
Alcohol		Mentol, geraniol, bisabolol.	Antimicrobiano, antiséptico, tonificante, espasmolítico.
Aldehído		Citral, citronelal, geranial.	Espasmolítico, sedante, antiviral.
Cetona		Alcanfor, tuyona.	Mucolítico, regenerador celular, neurotóxico.
Ester		Metil salicilato, acetato de bornilo.	Espasmolítico, sedativo, antifúngico.
Éter		Cineol, ascaridol.	Expectorante, estimulante
Éter fenólico		Safrol, anetol, miristicina	Diurético, carminativo estomacal, expectorante
Fenol		Timol, eugenol, carvacrol	Antimicrobiano irritante, estimulante inmunológico
Hidrocarburos	Solo contiene C y H	Pineno, limoneno	Estimulante descongestionante antivírico, antitumoral

Fuente: (Lipa Huamani, 2014)

1.1.4. Rendimiento de aceites esenciales

El rendimiento es la cantidad de producto obtenido en relación a la cantidad de materia prima inicial. El rendimiento absoluto puede ser dado como la masa en gramos o en moles (rendimiento molar).

En su mayoría las plantas contienen entre 0,01 a 10% de aceite esencial, mayormente la media de aceite esencial contenido en las plantas aromáticas es de 1 a 2 % aproximadamente.

El porcentaje de aceites esenciales en las plantas se ve afectado por las diferentes condiciones que se presentan (clima, altura, maduración, etc). (Centro de Gestión de Mercados, Logística y TIC's, 2012)

1.2. ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO

El aceite de eucalipto es un aceite esencial puro que tiene diversas aplicaciones y usos prácticos, industriales y curativos por las propiedades que presenta.

Existen más de 700 especies diferentes de eucalipto en el mundo, de los cuales al menos 500 producen un tipo de aceite esencial.

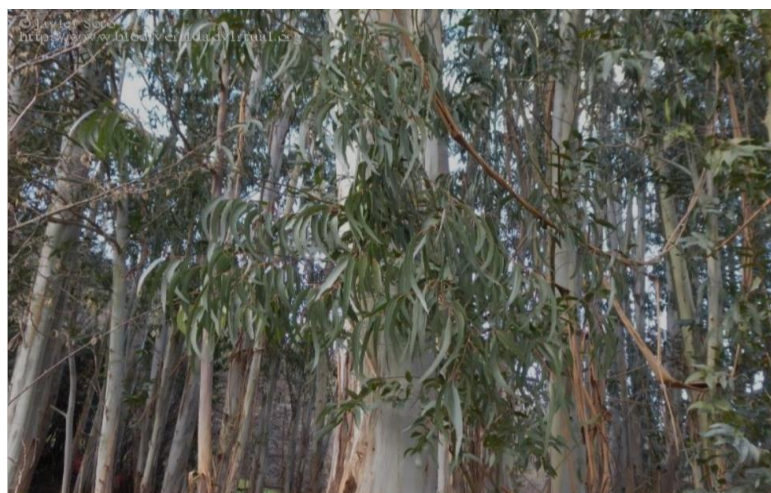
La producción mundial del aceite esencial de eucalipto es proveniente del árbol perenne de rápido crecimiento nativo de Australia, principalmente del *Eucalyptus Globulus* o "Goma Azul". El aceite destilado viene de las hojas secas o frescas de eucalipto, como un líquido incoloro con un fuerte aroma amaderado y dulce. (Porrás, 2016)

1.2.1. Eucalipto

El nombre compuesto de la especie deriva del griego, "eu" que significa "bueno" o "bonito" y "kaliptos" que quiere decir "escondido". El cáliz forma una dura cápsula que se desprende de su parte superior dando lugar a la floración. El adjetivo latín, glóbulos es un diminutivo de globos "bola" que significa precisamente "pequeñas bolitas", por el aspecto de sus frutos. Debido a su rápido crecimiento, el eucalipto tiene una gran necesidad de agua. Es un árbol que puede llegar a una altura de hasta 20 metros, en un periodo de 8 años y un máximo de 70 metros en su periodo adulto, por

lo que es considerado una de la especie más alta del mundo. De tronco erguido, está recubierto de una corteza plateada, a veces gris ceniza y en algunas ocasiones, blanquecina. La madera, blanca o rojiza, es dura y muy resistente a la putrefacción. Las hojas coriáceas, de un gris azulado verdoso, son redondas cuando el árbol es joven, pero rápidamente adquieren una forma ovalada acuminada y carnosa; pueden llegar hasta unos 30 cm de largo. (Vogel Alfred, 2015)

Ilustración 1-1 Árbol de Eucalipto



Fuente: Elaboración Propia, 2021

1.2.1.1. Eucalyptus Globulus

Eucalyptus globulus Labill (globulus: redondeado, refiriéndose a la flor o al fruto (*E. gigantea* Desf.): “eucalipto blanco”, “eucalipto azul” es un árbol de follaje persistente, de gran porte, de 30 a 55 metros de altura, aunque en su hábitat original puede alcanzar los 90 metros. Se caracteriza por el tronco color ceniciento, con corteza lisa que se desprende fácilmente en láminas en los ejemplares adultos. La copa es piramidal, alta, los tallos jóvenes son tetragonos, blanquecinos pubescentes.

Las hojas son enteras, perennes y coriáceas, las juveniles son opuestas, sésiles, de base cordada, de color gris-azulado, de 8 - 15 cm de longitud y 4 - 8 cm de ancho, mientras que las adultas son alternas, pecioladas, con la base cuneada, linear-lanceoladas, de 15 – 25 cm de longitud, con el ápice acuminado, de color verde oscuro, con la nerviación

marcada. Las flores son axilares, solitarias o en grupos de 2 a 3, de hasta 3 cm de diámetro, con numerosos estambres de color blanco. El fruto es una cápsula campaniforme de color glauco y cubierta de un polvo blanquecino, de 1,4 – 2,4 cm de diámetro. La floración es en septiembre-octubre. La multiplicación es por semillas. (Vogel Alfred, 2015).

Ilustración 1-2 Hoja de Eucalyptus Globulus



Fuente: Vogel Alfred, 2015

1.2.2. Composición del Aceite Esencial de Eucalipto

El componente principal de este aceite es el eucaliptol (1,8-cineol). El aceite está compuesto también de pequeñas cantidades de aldehídos volátiles, terpenos, sesquiterpenos, aldehídos aromáticos, alcoholes y fenoles. Muchos de estos componentes menores.

Las hojas contienen aceite esencial en una cantidad que varía entre el 1 y el 3 %. En el aceite esencial el eucaliptol (1,8-cineol) representa el 75-85 %. (Boom, Rodriguez, & Buelvas, 2018).

1.2.3. Propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de eucalipto

1.2.3.1. Características físicas

La determinación de las características físicas del aceite esencial, permite conceptualizar sobre la calidad y la pureza del aceite. (Lipa Huamani, 2014)

Los aceites esenciales de eucalipto deben cumplir las características presentadas en la Tabla I-2.

Tabla I-2 Características físicas del aceite esencial de eucalipto

Aspecto	Líquido incoloro transparente
Olor	Característico
Punto de ebullición	177 °C
Punto fusión	1,5 °C
Punto de inflamación	48 °C
Densidad a 20 °C	0,905 g/ml a 0.926 g/ml
Color	Amarillo a incoloro
Sabor	Picante
Índice de refracción a 20° C	1,458 a 1.470
Desviación polarimétrica a 20° C	0° a +12°
Solubilidad en alcohol etílico 70°	1 vol. Min, 4 vol. Max
Cineol (Eucaliptól)	80 % p/p

Fuente: (Lipa Huamani, 2014)

1.2.3.2. Características químicas

Mediante la separación cromatográfica de gases es posible determinar las características químicas del aceite esencial, permitiendo analizar la calidad y pureza del aceite esencial (Lipa Huamani, 2014).

La composición del aceite esencial de eucalipto aproximado es el presentado en la Tabla I-3.

Tabla I-3 Composicion de aceite esencial de eucalipto

COMPONENTE	NORMA (%)
α -pineno	0 - 20
limoneno	2 - 15
1-8- cineol	70 - 85
p-cimeno	1 - 6
aromadendreno	0 - 2
trans-pinocarveol	0 - 10
globulol	Trazas

Fuente: (Lipa Huamani, 2014)

1.2.3.2.1. Cromatografía de gases.

Según Lipa Huamani (2014) la cromatografía de gases es la técnica que generalmente se emplea en el análisis químico de los aceites esenciales, en la que la muestra a estudio se volatiliza y es inyectada en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil que es un gas inerte, la fase móvil no interacciona con las moléculas del analito, pues su única función es la de transportar el analito a través de la columna.

En comparación con la cromatografía líquida, la cromatografía de gases tiene la ventaja de disponer de detectores mucho más universales, por ejemplo, el de ionización de llama. Además, para numerosas aplicaciones, los métodos son más simples, más rápidos y más sensibles que los correspondientes a la cromatografía líquida de alta resolución.

La instrumentación requerida para cromatografía de gases también es mucho más sencilla y económica que la empleada en HPLC. Sin embargo, en cromatografía de gases, la influencia de la temperatura sobre la distribución del equilibrio es

considerable, a diferencia de la cromatografía líquida. Por ello, la cromatografía de gases presenta limitaciones en tres casos:

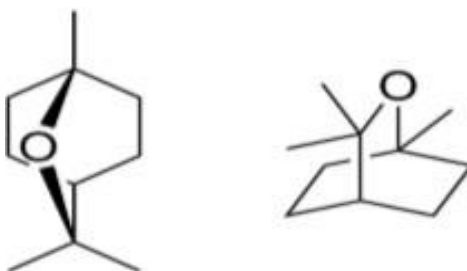
- Compuestos poco volátiles, generalmente los de peso molecular superior a 300 u.m.a.
- Compuestos sensibles a una elevación de la temperatura incluso moderada (determinados compuestos de interés biológico).
- Compuestos que se encuentran en forma iónica (puesto que son en general poco volátiles).

Por esta razón, la cromatografía de gases se emplea cuando los componentes de la mezcla problema son volátiles o semivolátiles (aceites esenciales) y térmicamente estables a temperaturas de hasta 350-400°C. En cambio, cuando los compuestos a analizar son poco volátiles y/o termolábiles, la técnica separativa adecuada suele ser la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). (Gutiérrez & Droguet, 2002)

1.2.4. Eucaliptol

El principal componente del aceite esencial según Garcia (2014) es el eucaliptol (1,8-cineol), un monoterpenoide con estructura de éter bicíclico incoloro e inmiscible en agua. Sin embargo, es soluble en etanol y en cloroformo.

Ilustración 1-3 Estructura química del 1,8-cineol



Fuente: (Garcia P. , 2014)

Su punto de ebullición es de 176,5 °C y su punto de Flash es de 49°C. En cuanto a sus propiedades organolépticas, tiene un suave olor a alcanfor y es tóxico por ingestión a dosis elevadas.

Tabla I-4 Propiedades Fisicoquímicas del 1,8-cineol

Formula molecular	C ₁₀ H ₁₈ O
Masa molar	154,249 g/mol
Densidad	0,9225 g/cm ³
Punto de fusión	1,5°C (274,6 K)
Punto de ebullición	176,5°C (449,73 K)

Fuente: (Garcia P. , 2014)

El 1,8-cineol al igual que un gran número de monoterpenoide tiene su efecto fitotóxico derivado de una interacción alelopática negativa, es decir la liberación por parte de un organismo de componentes bioquímicos capaces de influir en el crecimiento o la supervivencia de otros organismos. (Garcia P, 2014)

1.2.5. Propiedades y beneficios del Aceite Esencial de Eucalipto

El aceite esencial de Eucalipto es empleado en diversas áreas por sus propiedades medicinales, terapéuticas e industriales.

a. Propiedades antiinflamatorias

Las enfermedades de las vías respiratorias están asociadas con una producción de agentes inflamatorios. Estas dolencias pueden ser mejoradas inhibiendo la producción de estos mediadores. El componente principal del eucalipto es el cineol que inhibe el metabolismo del ácido araquidónico y la producción de citocina que es una proteína secretada por las células del sistema inmune que es la responsable directa de la inflamación en monocitos humanos. También actúa en los pacientes con asma severa de forma apropiada reduciendo la dependencia de esteroides en los pacientes. Otro estudio comprobó en ratones que inhibe el aumento de ácido acético inducido en la permeabilidad del capilar peritoneal. (Lima, 2005).

Entre las esencias con efecto sobre el aparato respiratorio se encuentran el tomillo (*Thymus vulgaris*) y el eucalipto (*Eucalyptus* spp) al estimular por el mismo efecto irritativo las células secretoras de mucus e incrementar los movimientos del epitelio

ciliado del árbol bronquial. El eucaliptol no sólo incrementa la fase secretoria bronquial sino también disminuye la tensión superficial entre agua y aire en la superficie del alveolo, lo cual contribuye con la acción expectorante. El eucalipto ha demostrado ser un buen inductor enzimático a nivel del hepatocito, promoviendo la metabolización de algunos medicamentos. (Santos, 2006).

b. Propiedades antimicrobianas, bacteriostáticas y bactericidas.

Estudios realizados demuestran que el extracto de eucalipto tiene componentes que son altamente efectivos para combatir enfermedades causadas por microorganismos como pie de atleta o el acné. Esto se debe principalmente a que estos componentes inhiben el crecimiento de ciertos microbios como *Staphylococcus Aureus*, *Bacillus Cereus*, *Propionibacterium acnés* y hongos como *Trichophyton mentagrophytes*. El *Eucalyptus Globulus* es muy efectivo contra la *Streptococcus*, bacteria que causa alteración bronquial. (Lima, 2005).

Estos aceites tienen una reconocida acción bacteriostática y bactericida (Dellacassa et al., 1989 citada por Mantero C. 2007) así como también alelopática (Romagni et al., 2000 citada por Mantero C. 2007) por lo que su extracción antes de volver las hojas al suelo constituye una práctica ecológicamente recomendable.

c. Efectos cardiovasculares

Un estudio realizado con ratas determinó que el cineol tiene efectos de baja presión ya que este actúa en el músculo vascular liso, dilatándolo. También disminuye el ritmo cardiaco. (Lima, 2005).

1.2.6. Usos/aplicaciones/beneficios del Producto

Los principios activos presentes en el aceite esencial de eucalipto generan grandes y variados usos en la industria, minería, inciensos, en combustibles y aromaterapia. (Quilca, 2011)

- Medicinal: El aceite del *Eucalyptus Globulus*, rico en cineol es un activo ingrediente de inhalantes, enjuagues para hacer gárgaras, pastillas de boca. Por tener olor agradable y su eficiencia en matar bacterias, tiene también aplicación

como antiséptico para la fabricación de jabones medicinales debido a que es germicida y desinfectante de importancia. (Quilca, 2011)

- Minería: En la flotación de los minerales, es decir en las concentradoras de minerales de plomo, zinc, plata, cobre y níquel; siendo la cantidad requerida de 0,25-0,10 kg/Tn. Por otro lado, hay la posibilidad que estos aceites sean utilizados en el tratamiento de minerales que contienen uranio. (Quilca, 2011)
- Perfumería: Los aceites de Eucaliptus que contienen agradables olores característicos, son usados como desnaturalizantes del alcohol para la fabricación de perfumes. Como desodorante mezclando como jabón de trementina para usos en maquillajes, para perfumar jabones caseros. (Quilca, 2011)
- Industrial: En soluciones de jabón han sido usados por mucho tiempo como desinfectantes. Se utiliza como solvente para resinas de barniz, grasa, caucho, etc y son usados muchas veces para limpiar brochas de pintura, manos grasos y para el aseo de manchas y alquitrán de vehículos motorizados, en pastas dentales y extensivamente por confiteros y otros para dar sabor. (Quilca, 2011)
- Remedio Casero: Para fricciones, inhalaciones y como vermífugo. Se usa como inhalador para combatir el catarro, generalmente asociado a otras sustancias volátiles como el alcanfor y el mentol. (Quilca, 2011)

1.3. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Quispe (2017), nos indica que los aceites esenciales se pueden extraer de las muestras vegetales mediante varios métodos como son: expresión, destilación con vapor de agua, extracción con solventes volátiles, enfleurage y con fluidos supercríticos. A continuación, se describen los más comunes.

Tabla I-5 Métodos de extracción de aceites esenciales

Expresión mecánica	En la expresión el material vegetal es estrujado para liberar el aceite y este es recolectado y filtrado. Este método es utilizado para el caso de la esencia de cítricos.
Destilación con vapor de agua	En la destilación por arrastre con vapor de agua, la muestra vegetal generalmente fresca y cortada en trozos pequeños, es encerrada en una cámara inerte y sometida a una corriente de vapor de agua sobrecalentado, la esencia así arrastrada es posteriormente condensada, recolectada y separada de la fracción acuosa. Esta técnica es muy utilizada especialmente para esencias fluidas, especialmente las utilizadas para perfume ría. Se utiliza a nivel industrial debido a su alto rendimiento, la pureza del aceite obtenido y porque no requiere tecnología sofisticada.
Extracción con solventes	En el método de extracción con solventes volátiles, la muestra seca y molida se pone en contacto con solventes tales como alcohol, cloroformo, etc. Estos solventes solubilizan la esencia, pero también solubilizan y extraen otras sustancias tales como grasas y ceras, obteniéndose al final una esencia impura. Se utiliza a escala de laboratorio pues a nivel industrial resulta costoso por el valor comercial de los solventes, porque se obtienen esencias impurificadas con otras sustancias, y además por el riesgo de explosión e incendio característicos de muchos solventes orgánicos volátiles.
Enfleurage	En el método de enflorado o enfleurage, el material vegetal (generalmente flores) es puesto en contacto con un aceite vegetal. La esencia es solubilizada en el aceite vegetal que actúa como vehículo extractor. Se obtiene inicialmente una mezcla de aceite esencial y aceite vegetal la cual es separada posteriormente por otros medios fisicoquímicos. Esta técnica es empleada para la obtención de

	esencias florales (rosa, jazmín, azahar, etc.), pero su bajo rendimiento y la difícil separación del aceite extractor la hacen costosa.
Fluidos Supercríticos	El método de extracción con fluidos supercríticos, es de desarrollo más reciente. El material vegetal cortado en trozos pequeños, licuado o molido, se empaca en una cámara de acero inoxidable y se hace circular a través de la muestra un líquido supercrítico (por ejemplo, dióxido de carbono líquido), las esencias son así solubilizadas y arrastradas y el líquido supercrítico que actúa como solvente extractor y se elimina por descompresión progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente, y finalmente se obtiene una esencia pura. Aunque presenta varias ventajas como rendimiento alto, es ecológicamente compatible, el solvente se elimina fácilmente e inclusive se puede reciclar, y las bajas temperaturas utilizadas para la extracción no cambian químicamente los componentes de la esencia, sin embargo, el equipo requerido es relativamente costoso, ya que se requieren bombas de alta presión y sistemas de extracción también resistentes a las altas presiones.

Fuente: Quispe, 2017

1.3.1. Extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor.

Quispe (2017) propone una interpretación de un proceso de extracción de aceites esenciales, que resulta de la combinación de varios factores. Este proceso involucra el transporte intrapartícula mediante la difusión molecular del vapor caliente, la ruptura de las paredes celulares que contienen los aceites esenciales, la subsiguiente evaporación de estos aceites y la difusión conjunta de los aceites y el vapor hacia la abertura del poro.

Una explicación plausible de la evaporación de los aceites esenciales dentro de la matriz vegetal (hojas, tallos, raíces, etc.) sugiere que está influenciada por la volatilidad

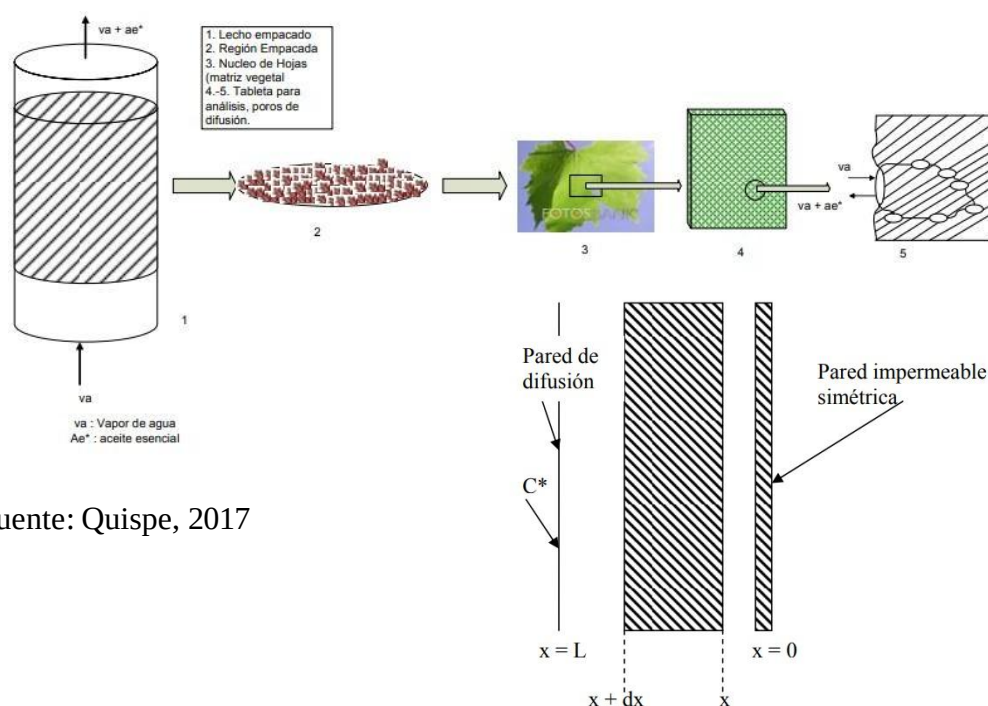
relativa de los aceites, la temperatura y calidad del vapor, el tamaño de los poros, las tensiones locales en la matriz y la energía necesaria para romper los sacos capilares.

Entre todos estos factores, se considera que la energía requerida para el cambio de fase es el más relevante. La velocidad de evaporación de los aceites esenciales se ve favorecida por la disminución de la presión parcial debido al vapor de agua. En resumen, se deben superar dos resistencias en esta fase del proceso: la resistencia difusional y la resistencia a la vaporización del aceite esencial. Esto implica que la velocidad de transporte de los aceites desde las partes distantes de la abertura del poro será más lenta que desde las cercanas, y que los sacos que almacenan los aceites colapsarán al romperse y evaporarse.

Como resultado, el perfil de concentración entre la zona interna y externa de la matriz vegetal se vuelve menos pronunciado con el tiempo, hasta que eventualmente, al agotarse los aceites esenciales, el perfil se vuelve prácticamente plano dentro de los poros.

Además, la transferencia de los aceites hacia la corriente principal de vapor se puede explicar mediante la teoría de película, considerando la concentración en la abertura del poro (C) y la concentración en la corriente principal (C^*).

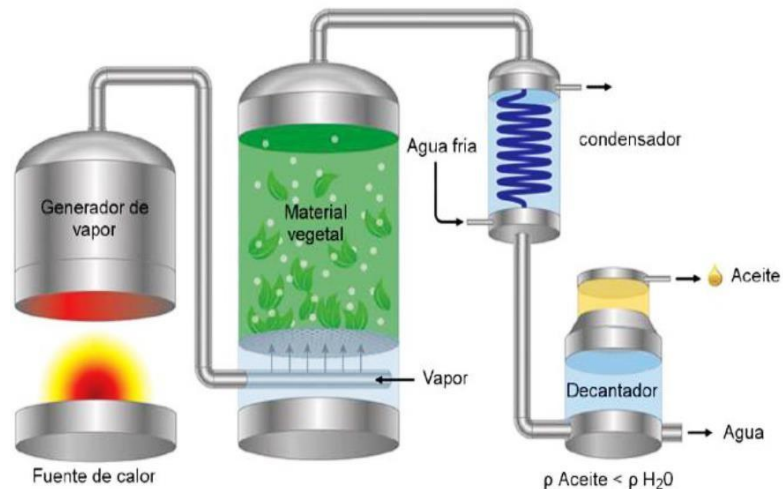
Ilustración 1-4 Análisis de la película por arrastre de vapor



Fuente: Quispe, 2017

La tercera resistencia a superar es la relacionada con la convección de la fase fluida, dado que el lecho está empaquetado. Esta resistencia puede caracterizarse mediante parámetros adimensionales, teniendo en cuenta la hidrodinámica del sistema. Se asume aquí, para simplificar, que no hay una caída significativa de presión en el lecho. Es interesante destacar que la columna podría comportarse como un "stripper" si los aceites esenciales no se vaporizan completamente, formando microgotas que no se asocian entre sí y son transportadas por el vapor caliente hasta la parte superior de la columna. Es importante señalar que los aceites esenciales y el agua no son miscibles y tienen diferentes densidades. (Quispe, 2017)

Ilustración 1-5 Extracción por arrastre de vapor



Fuente: José Barotto, 2017

1.4. MERCADO DE ACEITES ESENCIALES

1.4.1. Mercado mundial de aceites esenciales

Se estima que el 75% de la producción mundial de aceites esenciales se derivan de especies perennes leñosas, y más de la mitad de esta producción son cítricos. El 25% restante proviene de especies herbáceas, y hay una pequeña contribución de las especies silvestres, que no llega a más del 1 o 2%. A nivel mundial, diez aceites esenciales representan el 85% del mercado: naranja, limón, menta, citronela-de-java,

cedro, eucalipto, especies con citral como may chang y limonaria, lavanda, lavandín y pinos. (Forero, Forero, Deschamps, & Alves-Porsse, 2017)

En 2019, los aceites esenciales fueron el 444 producto más comercializado del mundo, con un comercio total de \$ 6,31 mil millones. Entre 2018 y 2019 las exportaciones de Aceites Esenciales crecieron un 1,12%, de \$ 6,25 mil millones a \$ 6,31 mil millones. El comercio de aceites esenciales representa el 0,035% del comercio mundial total. (Observatory of Economic Complexity, 2018).

1.4.1.1. Mercado consumidor de aceites esenciales

Estados Unidos es el país que más importa aceites esenciales alcanzando en el 2019 los 1,11 mil millones de dólares en importación de aceites esenciales.

Los principales importadores de Aceites Esenciales en el año 2019 se muestran en la Tabla I-6.

Tabla I-6 Principales importadores de aceites esenciales en el año 2019

PAIS	MONTO (\$us)
Estados Unidos	1,11 mil millones
India	640 millones
Francia	449 millones
Alemania	352 millones
Hong Kong	311 millones

Fuente: (Observatory of Economic Complexity, 2021).

1.4.1.2. Mercado exportador

La exportación de aceites esenciales tiene como principal exportador a la India, país que en el 2019 alcanzó un monto de 1,17 mil millones de dólares en exportación de aceites esenciales.

En la tabla I-7 se muestran los principales exportadores de aceites esenciales en el año 2019.

Tabla I-7 Principales exportadores de aceites esenciales en el año 2019

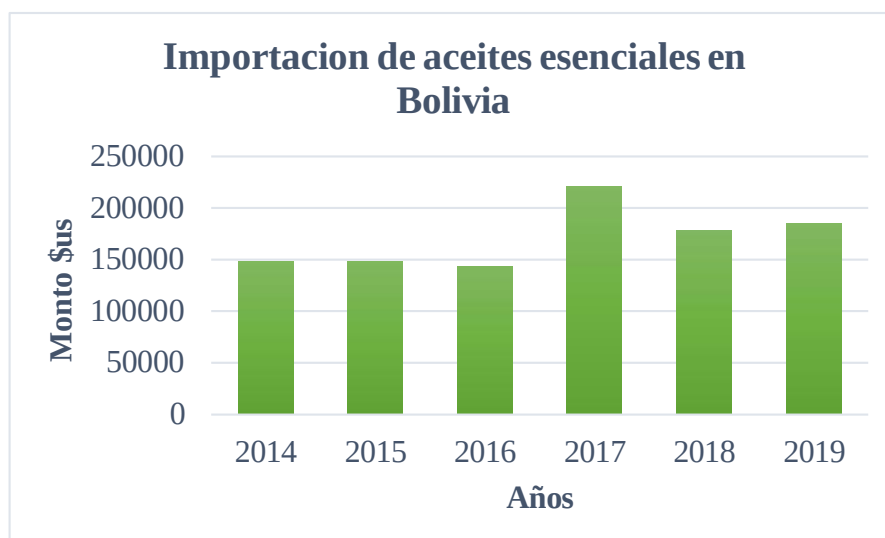
PAIS	MONTO (\$us)
India	1,17 mil millones
Estados Unidos	790 millones
Emiratos Arabes	489 millones
Francia	463 millones
China	457 millones

Fuente: (Observatory of Economic Complexity, 2021).

1.4.2. Mercado de aceites esenciales en Bolivia

1.4.2.1. Importación de aceites esenciales

La importación para el 2019 de aceites esenciales en Bolivia en su mayoría es de los países de Estados Unidos y España, en la tabla siguiente se observa que para el año 2019 la valoración de importación es de 185 mil dólares el grafico 1-1 nos muestra los datos de importación de aceites esenciales hasta el año 2019.

Gráfico I-1 Evolución de las Importaciones de Aceites Esenciales por Año en Bolivia

Fuente: (Observatory of Economic Complexity, 2018).

En base a los datos del Grafico 1-1 se realizó proyecciones para determinar una aproximación del mercado boliviano de importación de aceites esenciales en los próximos años.

$$M_n = M_0 * (1+i)^n$$

$$M_{2019} = M_{2018} (1+0.23)^1$$

$$M_{2019} = 216\,480 \text{ \$us}$$

Mn=Monto del año a proyectar

M₀=Monto inicial del año

i=Variación porcentual

n=Años de proyección

Tabla I-8 Proyección de importación de aceites esenciales en Bolivia 2019-2025

AÑO	MONTO PROYECTADO (\$us)
2019	216 480
2020	266 270
2021	327 513
2022	402 840
2023	495 494
2024	609 457
2025	749 633

Fuente: Elaboración propia, 2021

La proyección de la importación de aceites esenciales nos muestra que para el 2025 se incrementaría la demanda de aceites esenciales.

1.4.2.2. Exportación de aceites esenciales

Bolivia para el 2019, cuenta con un porcentaje de exportación del 0,16% de aceites esenciales de entre los países latinoamericanos con \$us 929 000.

Los principales países a los que Bolivia exporta aceites esenciales son Francia e Italia con porcentajes de 76% y 24% de la producción nacional.

El 75% de la producción mundial de aceites esenciales proviene de especies perennes leñosas, siendo más de la mitad de esta producción de cítricos. El 25% restante se deriva de especies herbáceas, con una pequeña contribución de especies silvestres, que no supera el 1 o 2%. Diez aceites esenciales, incluyendo naranja, limón, menta, entre otros, representan el 85% del mercado global. En 2019, los aceites esenciales ocuparon el puesto 444 en los productos más comercializados del mundo, con un comercio total de \$6,31 mil millones. Entre 2018 y 2019, las exportaciones de aceites esenciales aumentaron un 1,12%, representando el 0,035% del comercio mundial total.

1.5. MERCADO DE ACEITES ESENCIALES DE EUCALIPTO

Según el informe de investigación global “Mercado de aceite de Eucalipto”, se proyecta que el tamaño del mercado mundial de Aceite de eucalipto alcance los \$us 463,3 millones para 2026, desde \$us 324,7 millones en 2020, a una tasa compuesta anual del 6,1% durante 2021-2026.

Proyectado en la Tabla I-9, mediante el método de proyección de tasa promedio, definimos el alcance del mercado de aceite esencial de eucalipto a nivel mundial para el 2026.

$$M_n = M_0 * (1+i)^n$$

Mn=Monto del año a proyectar

M0=Monto inicial del año

i=Variación porcentual

n=Años de proyección

Tabla I-9 Proyección de mercado de aceite esencial de eucalipto

AÑO	Monto proyectado (\$US) millones
2020	344,5067
2021	365,522
2022	387,818
2023	411,475
2024	436,575
2025	463,206
2026	491,243

Fuente: Elaboración Propia, 2021

1.6. USOS DE LOS RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS DE LA DESTILACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO

1.6.1. Hidrolatos

Los Hidrolatos son llamados también: aguas florales, aguas aromáticas, hidrosoles, entre otros. Son aguas vegetales, es decir producto de la destilación y se pueden considerar extractos parciales de las plantas de las que derivan (IFA,2020).

Los hidrolatos contienen numerosas sustancias valiosas solubles en agua, así como pequeñas cantidades de aceite, del 0,02% al 0,5%. Por lo tanto, los hidrolatos, tienen efectos sedantes, además de efectos refrescantes y se utilizan en el tratamiento del insomnio y el dolor de cabeza (Stanojević et al. 2011).

Los hidrolatos obtenidos durante el proceso de extracción se utilizan para repeler y controlar plagas, con ellos se preparan herbicidas, insecticidas, fungicidas, nematicidas, acaricidas, desodorizantes, desinfectantes

1.6.2. Residuos de Materia Prima

Los residuos de la materia prima que quedan en la torre de destilación también poseen un olor particular, ya que se considera que aún quedan trazas de aceite esencial, haciéndolo recomendable como abono orgánico.

Los aceites esenciales se utilizan en la agricultura con propósito de combatir los patógenos vegetales como *Botrytis cinerea* (Thanassouloupoulos y Laidou 1997; Reddy y col. 1998; Pavela 2005) o *Rhizopus stolonifer* (Reddy et al. 1998). (Soliz, 2021).

1.7. PROPUESTA DE PRODUCTO A PARTIR DEL ACEITE ESENCIAL OBTENIDO.

Actualmente, existe la necesidad de otorgar a la población distintas opciones de consumo de productos que sean beneficiosos para la salud y que sean aceptados por la población en su conjunto.

A partir del aceite esencial de eucalipto se obtienen muchos productos de diversos usos, por las propiedades antitusivas y expectorantes que presenta el eucaliptol se propone elaborar un caramelo de miel y aceite esencial de eucalipto.

- **Materiales e insumos**

Ítem	Materiales e insumos	Masa (g)
1	Miel de abeja del valle de la concepción	44
2	Glucosa	62
3	Sacarosa	86
4	Aceite esencial de eucalipto	13
5	Agua	8

Miel de abeja

La miel constituye el endulzante más antiguo, junto con las frutas maduras. La miel como remedio es antibiótico, sus propiedades suavizantes y antisépticas, la convierten en un excelente auxiliar en el tratamiento de gripe, garganta irritada y dolor muscular es el mejor azúcar que aceptan los riñones. El consumo regular de la miel mejora la asimilación de otros alimentos por ser muy digestiva. Es considerada tónica y relajante al favorecer la absorción de triptófano, sustancia precursora de la serotonina, inductora del sueño. Por ello, la miel combate el insomnio. La miel es un dulce que producen las abejas principalmente a partir del néctar de las flores. Las abejas liban los nectarios de las flores de donde obtienen el néctar. Sobre éste actúa una enzima llamada invertasa que las abejas tienen en su saliva. De esta manera el néctar, depositado en un saco

especial del esófago de las abejas, se transforma en un líquido muy dulce y pegajoso llamado miel. (Villarroel, 2017)

- **Procedimiento**

Se procede calentando la cantidad prevista de miel de abeja, junto con la sacarosa a fuego lento hasta que la mezcla alcance 160°C sin dejar de remover.

Se retira el fuego y se espera dos minutos para agregar posteriormente la glucosa y el aceite esencial de eucalipto y se remueve la mezcla. La mezcla se añade a un molde para obtener la forma del caramelo, y se lleva a enfriamiento.

El aceite esencial de eucalipto le dará al caramelo las propiedades expectorantes para combatir afecciones virales. (Andino, 2023)

CAPITULO II
PARTE EXPERIMENTAL

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS.

La materia prima empleada para la realización del trabajo de investigación es la hoja de Eucalipto (*Eucalyptus Globulus*), recolectada en la comunidad de Juntas de la provincia Uriondo, ubicada a 46 km de la ciudad de Tarija a una altitud aproximada de 1884 m.s.n.m.

El Eucalipto es identificado con el nombre científico de *Eucalyptus Globulus*, la hoja es recolectada y cosechada del árbol de eucalipto en la estación de invierno entre los meses de mayo y junio del año 2021.

Son muchos los factores que influyen en la calidad y cantidad de aceite esencial previos al proceso de extracción. Dentro de los cuales la altura, el clima, la humedad, la naturaleza del suelo, la madurez de la hoja son algunos.

Los árboles de eucalipto crecen en lugares húmedos, necesitando de mucha agua para su crecimiento.

En la comunidad de Juntas hay grandes plantaciones de *Eucalyptus* en sus variedades, el clima templado y relativamente húmedo que es esencial para el crecimiento de estas especies.

La ubicación del lugar de recolección se encuentra especificada en la ilustración 2-1.

Ilustración 2-1 Ubicación de la localidad de Juntas



Fuente: Google Maps, 2021

2.1.1. Descripción de la materia prima

La hoja de eucalipto de la variedad *Eucalyptus Globulus* muestra notablemente de manera física la madurez de sus hojas.

Las hojas juveniles opuestas, sésiles, de base cordada, de color gris-azulado, de 8-15 cm de longitud y 4-8 cm de anchura. Las adultas alternas, pecioladas, con la base cuneada, linear-lanceoladas, de 15-25 cm de longitud, con el ápice acuminado. (Vinueza, 2013)

Ilustración 2-2 Hoja de Eucalipto (Eucalyptus Globulus)



Fuente: Elaboración propia, 2021

La descripción física y la identificación de las hojas se muestra en la Tabla II-1

Tabla II-1 Descripción de la materia prima

Característica	Descripción	Forma de identificación
Forma	Hojas lanceoladas, pecioladas y ápice acuminado, de aproximadamente 12 cm de largo	Se identifico de manera visual las más cercanas al tamaño promedio.
Color	Hojas de color verde azulado	Identificado de forma visual
Aroma	Intenso y refrescante.	Identificado de forma directa
Textura	Blanda y lisa.	Reconocida por tacto

Fuente: Elaboración propia, 2021

2.1.2. Determinación de la humedad de la materia prima

La humedad de las hojas de eucalipto se determina por secado infrarrojo SARTORIUS MA100 del laboratorio de Operaciones Unitarias dependiente de la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Juan Misael Saracho, siguiendo los pasos mencionados en el Anexo D.

Al cabo de 20,625 minutos de secado, el peso se mantiene constante y no hay variación de pérdida de peso, obteniendo, así como resultado una humedad final de 6,32% de la muestra representativa.

En el Capítulo III se representa la curva de humedad evaporada vs tiempo de secado de la materia prima en estado seco.

La Ilustración 2-3 muestra el analizador infrarrojo, usado para la determinación del contenido de humedad de la hoja de eucalipto.

Ilustración 2-3 Secador infrarrojo SARTORIUS MA100



Fuente: Elaboración propia, 2021

2.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.

En base al fin presentado y a la característica de medición de resultados se define la metodología de investigación, en la cual se realiza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico. (Hernandez, 2014)

Así, el presente trabajo de investigación sigue un proceso metodológico basado en la observación del tipo cuantitativo de alcance descriptivo y explicativo.

Para el análisis de datos se utilizó el método estadístico y el empleo de la estadística descriptiva.

2.2.1. Selección de tecnología del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto.

La selección de un método de extracción es de gran importancia para la obtención de óptimos resultados, es importante también, que el procedimiento de extracción no sea demasiado complejo, peligroso o costoso.

Hernandez (2014) en su libro “Metodología de la investigación” sugiere la aplicación de matrices de decisión como una de las formas de selección de métodos aplicados a la experimentación.

De esta forma, la selección del método de extracción de aceites esenciales se realizó mediante una matriz de decisión, tomando en cuenta los distintos métodos de extracción de aceites esenciales de eucalipto.

Los métodos de extracción evaluados son: Hidrodestilación, destilación por arrastre de vapor de agua, extracción con solventes, enfleurage y extracción con fluidos supercríticos. Asimismo, se determinaron los criterios de selección y su valoración respectiva.

De este modo se le asigna una calificación de acuerdo a una escala predeterminada de uno a cinco. En la Tabla II-2 se observan las calificaciones ponderadas, siendo el proceso adecuado aquel que acumule el mayor puntaje.

Tabla II-2 Escala de puntuación

ESCALA DE PUNTUACIÓN	PUNTUACIÓN
Excelente	5
Muy buena	4
Buena	3
Regular	2
Mala	1

Fuente: Elaboración propia, 2021

Tabla II-3 Criterios de evaluación para la selección del método de extracción del aceite esencial

Factor evaluado	Criterio del evaluador	Ponderación del evaluador
Aplicabilidad del proceso	Por las características del proyecto realizado la cantidad de materia prima a ser procesada para la obtención de aceite esencial tiene una gran influencia en el desarrollo de la operación de extracción.	25
Disponibilidad del equipo	La disponibilidad del equipo está ligada a un costo de adquisición, disminuyendo el presupuesto general del proyecto. Por los objetivos planteados facilitar el proceso del mismo.	15
Rendimiento del método	En los procesos de extracción de aceites esenciales se busca obtener el mayor rendimiento con el menor costo económico posible.	20
Calidad del producto	En los diferentes procesos de extracción se busca obtener un aceite de calidad.	15
Costo	En la mayoría de proyectos es importante tomar en cuenta bajos costos de operación. Sin embargo, al ser un trabajo de investigación se considera un factor no tan importante considerado la necesidad de encontrar óptimos resultados.	15
Complejidad	Se desea que la operación sea simple, flexible y confiable.	10

Fuente: Elaboración propia

Tabla II-4 Calificación de los métodos de extracción de aceite esencial en función a los factores evaluados

FACTOR EVALUADO	COMENTARIOS DEL EVALUADOR	CALIFICACIÓN					
		Hidro-destilación	Ext. con vapor	Ext. con solventes	Enfleurage	Fluidos supercríticos	Microondas asistido
Aplicabilidad del proceso	Todos los procesos de extracción son aplicables para obtener el aceite esencial de eucalipto, exceptuando por eufleurage que es usado en su mayoría para flores.	4	5	3	1	5	4
Disponibilidad del equipo	Por la facilidad de equipos que el LOU brinda se pueden emplear los métodos de hidrodestilación, extracción con solventes y eufleurage. También se dispone del extractor para realizar una extracción por arrastre de vapor siendo el único inconveniente la demanda de uso del mismo. En el caso de los métodos de fluidos supercríticos y microondas asistido no se cuenta con los equipos necesarios y se requeriría la adquisición de los mismos.	5	4	5	4	1	1
Rendimiento del método	El rendimiento en la extracción por el método de arrastre con vapor de agua tiene buenos resultados para el aceite esencial de eucalipto al igual que por el método de microondas asistido. Mientras que con los demás métodos el rendimiento es inferior.	3	4	2	3	5	4
Calidad del producto	El cineol y otros terpenos se mantienen bien conservados, lo que proporciona un aceite de calidad, con una buena intensidad en el aroma al igual que la hidrodestilación. La calidad del producto puede verse afectada por la extracción con solventes alterando los componentes del aceite, con la extracción por fluidos supercríticos se obtienen aceites con un perfil de compuestos más equilibrado, sin la presencia de compuestos no deseados	3	5	3	2	5	5

	que se encuentran con otros métodos. Además, no quedan residuos de solventes.						
Costo	Para la extracción por el método de arrastre con vapor se requieren gastos mínimos de operación, mientras que para los demás procesos se debe realizar inversión para la compra de material de vidrio y reactivos y para la adquisición de equipos como para el caso de los métodos por fluidos supercríticos y microondas asistido.	5	5	2	2	1	1
Complejidad	Ninguno de los equipos necesarios para la extracción de aceites esenciales presenta una complejidad grande de operación. A excepción de método de extracción por microondas asistido.	5	5	4	3	1	4

Fuente: Elaboración propia

Tabla II-5 Matriz de decisión de elección de método de extracción

Criterios de selección	Valoración porcentual de los criterios (%)	Hidrodestilación		Arrastre de vapor		Extracción con solventes		Enfleurage		Fluidos supercríticos		Microondas asistido	
		Calif.	Pond. Final	Calif.	Pond. Final	Calif.	Pond. Final	Calif.	Pond. Final	Calif.	Pond. Final	Calif.	Pond. Final
Aplicabilidad	25	4	20	5	25	3	15	1	5	5	25	4	20
Disponibilidad de equipo	15	5	15	4	12	5	15	4	12	1	3	1	3
Calidad del producto	15	3	9	4	12	2	6	3	9	5	15	4	12
Rendimiento de extracción	20	3	12	5	20	3	12	2	8	5	20	5	20
Costo	15	5	15	5	15	2	6	2	6	1	3	1	3
Complejidad	10	5	10	5	10	4	8	3	6	1	2	4	8
Total	100		81		94		62		46		68		66

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Mediante la matriz de decisión mostrada en la Tabla II-5 se elige el arrastre de vapor como el método a emplear para la extracción de aceite esencial de la hoja de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) sobre los demás métodos, obteniendo un puntaje de 94 puntos.

2.3. DISEÑO FACTORIAL

El diseño experimental o factorial es una técnica con el objetivo de definir una serie de pruebas con variables de entrada a un proceso modificables de manera deliberada, con la finalidad de observar, determinar y cuantificar las respuestas de salida identificando las variables modificadas. De este modo obteniendo estimaciones experimentales con mayor precisión. (Hernandez, 2014)

2.3.1. Selección de factores

En el proceso de extracción de aceites esenciales existen diferentes factores que pueden afectar el rendimiento y calidad de los aceites esenciales, dentro de estos se puede mencionar como los más importantes: tipo de materia prima, humedad de la materia prima, cantidad de materia utilizada, tamaño de partícula, tiempo de extracción, método de extracción. (Rivera, 2019).

De los factores influyentes en el rendimiento del proceso de extracción mencionados anteriormente se selecciona según bibliografía los siguientes:

- **Cantidad de materia prima**

La cantidad de materia prima en el extractor es importante puesto que a mayor cantidad de materia prima se introduce producirse un apelmazamiento de las hojas y el acanalamiento del vapor afectando el rendimiento del aceite, así también, si se pone cantidades mínimas, la materia prima quedará suelta y el proceso terminará más rápido generando alto consumo energético.

Estos niveles están determinados según datos bibliográficos obtenidos de experiencias realizadas en el mismo equipo con material vegetal; Según Rivera (2019) la cantidad mínima de materia prima es de 300gr y según Delgado (2016), la cantidad máxima es de 450gr.

De tal forma se tiene:

Nivel 1: 300 gr

Nivel 2: 450 gr

- **Tiempo de extracción**

El tiempo durante el cual las hojas de eucalipto están expuestas al vapor es crucial. Un tiempo demasiado corto puede resultar en una extracción incompleta, mientras que un tiempo demasiado largo puede degradar algunos compuestos sensibles del aceite esencial lo que causa una disminución en el rendimiento de extracción por la solubilidad o emulsión del aceite esencial.

Para determinar los dos niveles de extracción es esencial considerar tanto la literatura científica como la experiencia práctica en la extracción de aceites esenciales. Basándonos en un estudio realizado de nombre MODELADO MATEMÁTICO DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO “Eucalyptus Globulus s.p.” POR DESTILACIÓN CON VAPOR DE AGUA en la Universidad Nacional del Altiplano se establece que a 80 min la extracción no tiene cambios significativos y a 60 min el tiempo es demasiado corto; ambos niveles corroborados en una prueba preliminar (Anexos)

Nivel 1: 60 min

Nivel 2: 80 min

- **Tamaño de la partícula**

El tamaño de partícula puede afectar la superficie de contacto entre el vapor y el material vegetal, influenciando así el rendimiento de la extracción.

Las partículas más pequeñas tienen una mayor superficie de contacto por unidad de masa, lo que facilita la transferencia de calor y la liberación de los compuestos volátiles del material vegetal además puede resultar en una extracción más rápida y completa de los aceites esenciales, potencialmente aumentando el rendimiento total del aceite extraído aunque exista un riesgo de sobrecalentamiento y descomposición térmica de

los compuestos sensibles, el tamaño de 1,3 cm es lo suficientemente grande como para minimizar este riesgo comparado con partículas aún más pequeñas. (Quispe, 2017)

Las partículas más grandes pueden reducir el riesgo de obstrucción en el sistema de extracción, asegurando un flujo de vapor más consistente y uniforme por lo mismo hay menos riesgo de que los compuestos sensibles se descompongan debido a la exposición excesiva al calor, preservando así la calidad del aceite esencial. (Quispe, 2017)

De esta forma se tiene:

Nivel 1: 1,3 cm

Nivel 2: 3 cm

2.3.1.1. Diseño factorial 2^k

Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta, que describe los experimentos adecuados para conocer simultáneamente el efecto que tienen k factores sobre una respuesta y conocer si existe interacción entre ellos. (Medina & Lopez, 2011)

En el diseño 2^k , cuando los factores son cuantitativos, es común interpretar los niveles bajo y alto con -1 y +1, respectivamente, esto facilita el ajuste de un modelo de regresión que relaciona la respuesta con los niveles de los factores. (Medina & Lopez, 2011)

En la Tabla II-6 se muestran los factores escogidos y su dominio experimental, expresando los niveles superiores (+) y mínimos (-) que pueden tomar, con el fin de evaluar y cumplir el objetivo del presente estudio de extracción de aceite esencial.

Un modelo matemático que se adecua a este diseño es el siguiente:

$$y = \beta^0 + \beta_1 A_1 + \beta_2 B_2 + \beta_3 C_3 + \beta_{13} A_1 B_2 + \varepsilon(\pm)$$

Donde:

y: variable dependiente.

A, B, C: variables independientes

β^0 : punto en el cual la recta intercepta el eje (ordenada en el origen)

β_1 : pendiente de la recta.

ε : error aleatorio.

El diseño factorial empleado pertenece al modelo 2^k . Donde 2 representa a los niveles y k a los factores.

Niveles: 2 (-inferior y +superior)

Factores: 3 (tamaño de la partícula, masa de materia prima, tiempo de extracción)

El modelo de experimento será: 2^3

El número de experiencias es: $2^3 = 8$

Con el objeto de conseguir resultados significativos y validados se realizan dos réplicas, entonces:

El número de experimentos totales: $2^3 \times 2 = 16$ experimentos

Tabla II-6 Codificación de Variables

Factores (k=3)	Niveles (2)	
	Inferior	Superior
Tamaño de la partícula (T)	-1	+1
Tiempo de extracción (t)	-1	+1
Masa de la Materia prima (M)	-1	+1

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla II-7 Matriz de diseño

Número de experimentos	Tamaño de la partícula (T)	Tiempo (t)	Masa de materia prima (M)	Combinación respuesta	Rendimiento
1	-1	-1	-1	$Y_{111} = 0$	R_1
2	+1	-1	-1	$Y_{211} = a$	R_2
3	-1	+1	-1	$Y_{121} = b$	R_3
4	-1	-1	+1	$Y_{221} = c$	R_4
5	+1	+1	-1	$Y_{112} = ab$	R_5
6	+1	-1	+1	$Y_{212} = ac$	R_6
7	-1	+1	+1	$Y_{122} = bc$	R_7
8	+1	+1	+1	$Y_{222} = abc$	R_8

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla II-8 Resumen de Variables Respuestas

(Réplica 1) Rendimiento total de aceite esencial de eucalipto	(Réplica 2) Rendimiento total de aceite esencial de eucalipto
R_1	R_9
R_2	R_{10}
R_3	R_{11}
R_4	R_{12}
R_5	R_{13}
R_6	R_{14}
R_7	R_{15}
R_8	R_{16}

Fuente: Elaboración Propia, 2021

2.3.1.2. Datos del diseño factorial

Tabla II-9 Datos de diseño

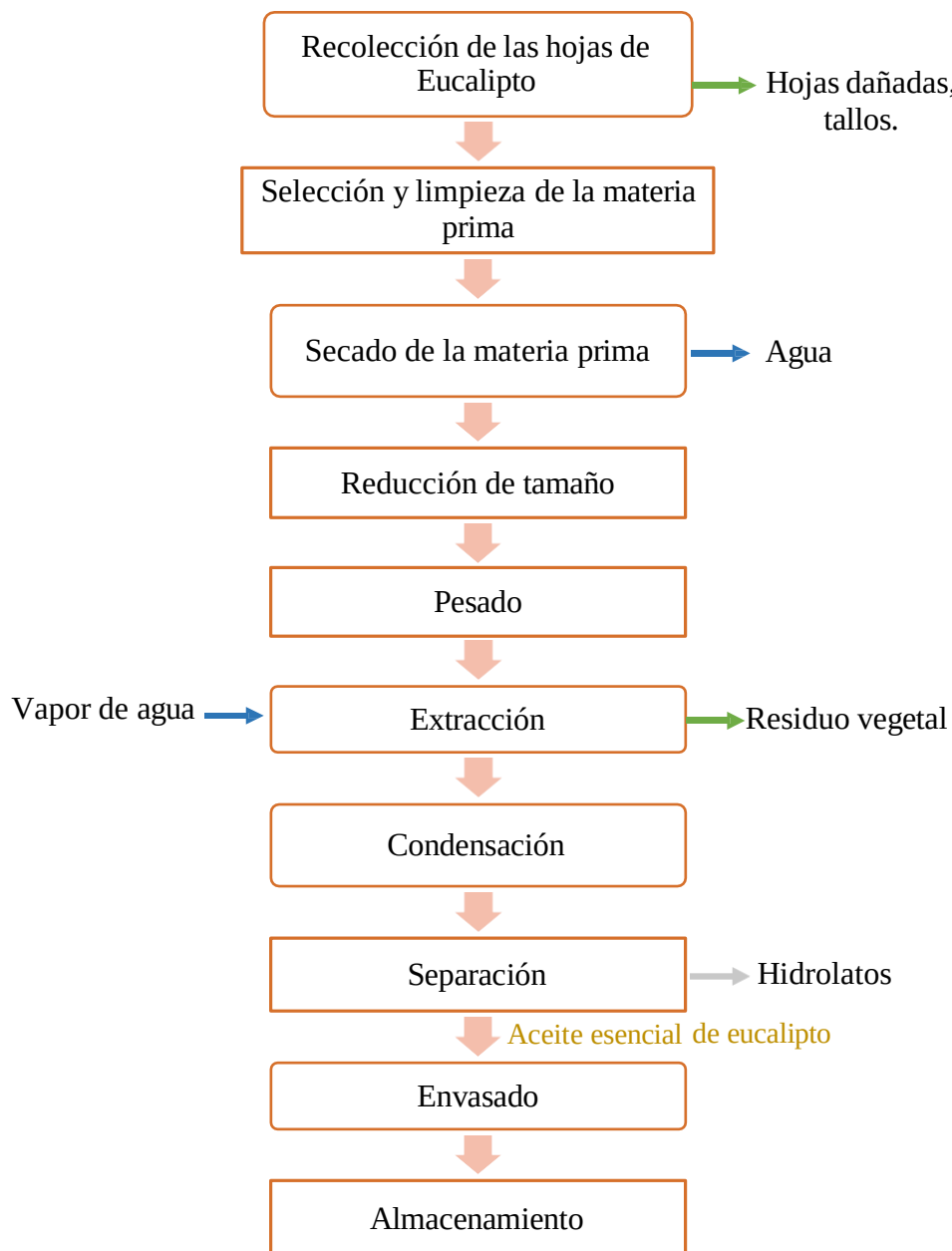
Número de experimentos	Tamaño de la partícula (cm²)	Tiempo (min)	Masa de materia prima (g)	Rendimiento (%)
1	1,3	60	300	R ₁
2	3	60	300	R ₂
3	1,3	80	300	R ₃
4	1,3	60	450	R ₄
5	3	80	300	R ₅
6	3	60	450	R ₆
7	1,3	80	450	R ₇
8	3	80	450	R ₈

Fuente: Elaboración propia, 2021

2.4. PROCESO TECNOLÓGICO PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE EUCALIPTO

El proceso empleado para la extracción de aceite esencial de Eucalipto por arrastre con vapor de agua se muestra en el diagrama de flujo presentado en la Figura 2-1.

Figura 2-1 Diagrama de bloques del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.1. Recolección de la materia prima

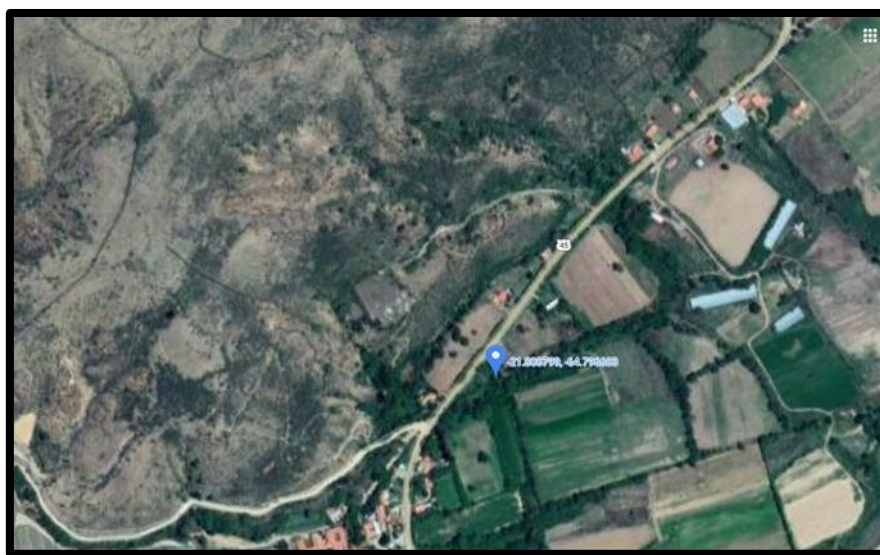
Las hojas de eucalipto se recolectan a primeras horas de la mañana de la comunidad de Juntas de la provincia Uriondo que se encuentra a 46 km de la ciudad de Tarija, localizada en las coordenadas mostradas en la Tabla II-10.

Tabla II-10 Coordenadas de localización

Comunidad	Coordenadas UTM		Coordenadas geográficas	
Juntas	X	Y	Latitud sur	Latitud oeste
	-21,8101765	-64,7974474	21°48'36,635"	64°47'50,81"

Fuente: Elaboración propia, 2021

Ilustración 2-4 Mapa de ubicación del lugar de recolección de materia prima



Fuente: Google Maps, 2021

Se recolectan las hojas jóvenes intentando mantener un promedio de tamaño de hojas (entre 12 a 15 cm de longitud aproximadamente).

Ilustración 2-5 Recolección de materia prima



Fuente: Elaboración propia, 2021

2.4.2. Selección y limpieza de la materia prima

Para obtener mayor eficiencia en el proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto se realiza un pretratamiento a la materia prima, descartando las hojas marchitadas o dañadas por insectos, se apartan además las hojas de los tallos y ramas.

Para limpiar las hojas de partículas extrañas se lava las hojas con gran cantidad de agua e hipoclorito de sodio (solución 8,25 ppm de hipoclorito de sodio), eliminando polvo e impurezas presentes en las hojas.

Ilustración 2-6 Selección y limpieza de hoja de Eucalipto



Fuente: Elaboración propia, 2021.

2.4.3. Secado

Es importante realizar el secado de la materia prima antes de proceder a extraer el aceite esencial, este es un factor de influencia en para la extracción de aceites esenciales, según datos bibliográficos la humedad contenida en la hoja debe ser menor al 30% para conseguir buenos resultados de extracción. (Diaz & Martinez).

- **Ubicación y Configuración del Espacio de Secado:** El secado de las hojas de eucalipto se efectúa en un espacio cubierto para proteger de las condiciones meteorológicas adversas que podrían afectar el proceso de deshidratado, adaptado para maximizar la eficiencia del secado mediante la exposición a calor natural.
- **Estructura y Disposición:** Las hojas se disponen en mallas colocadas sobre soportes elevados dentro del área cubierta. Estas mallas permiten una circulación adecuada de aire alrededor de las hojas, facilitando así una evaporación uniforme de la humedad. La disposición en capas finas y la separación entre las hojas contribuyen a evitar la acumulación de humedad y a asegurar un secado homogéneo.
- **Monitoreo y Control del Proceso:** Se realiza un control riguroso del proceso de secado mediante el pesaje diario de una muestra representativa de hojas. Este método de pesaje periódico permite determinar la tasa de pérdida de peso diario, proporcionando información precisa sobre la progresión del secado. La monitorización diaria también ayuda a ajustar las condiciones de secado en caso de detectar variaciones en la tasa de deshidratado.
- **Condiciones Ambientales:** El espacio cubierto en el patio permite la entrada de calor natural, lo cual es crucial para el proceso de secado. Se asegura que el área esté bien ventilada para favorecer la circulación de aire y evitar la acumulación de humedad que podría interferir con la eficacia del secado.
- **Mantenimiento y Evaluación:** Durante la etapa de secado, se realizan inspecciones periódicas para garantizar que las condiciones permanezcan óptimas. Se presta especial atención a la integridad de las mallas y al estado general de las

hojas, realizando ajustes si se observan signos de problemas, como acumulación de humedad o formación de hongos.

En resumen, la etapa de secado se realiza en un espacio cubierto, utilizando mallas para la disposición de las hojas y controlando el proceso mediante pesajes diarios, durante 10 días. Este enfoque permite un secado eficiente y uniforme de las hojas de eucalipto, garantizando la calidad y viabilidad del material deshidratado para las etapas posteriores de la investigación.

Se pesó diariamente una muestra representativa hasta llegar a peso constante.

Ilustración 2-7 Secado de hoja de Eucalipto



Fuente: Elaboración propia, 2021

2.4.3.1. Determinación de la Humedad de la Materia Prima

Se determina el porcentaje de humedad de la hoja de eucalipto en estado fresco reciente a su recolección y en estado seco.

Para la determinación de la humedad se emplea la ecuación:

$$\%H = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} * 100 \quad \text{Ec. 2-1}$$

Donde:

M_i =Masa inicial

M_f =Masa final (Masa seca)

2.4.3.1.1. Determinación de humedad de la materia prima en estado fresco.

Para la determinación de la humedad de la hoja de eucalipto fresca se emplea el secador infrarrojo SARTORIUS-MA100. Tomando nota de las variaciones de humedad en función al tiempo transcurrido.

2.4.3.1.2. Determinación de humedad de la materia prima en estado seco.

La humedad contenida en la hoja de eucalipto secada de manera natural se determina en el secador infrarrojo SARTORIUS-MA100 siguiendo los pasos correspondientes de uso y tomando nota de las variaciones de humedad en relación al tiempo, datos que se encuentran en la Tabla III-5.

2.4.4. Reducción de tamaño.

Uno de los factores que influyen en el rendimiento de la extracción de aceite esencial es el tamaño de la partícula, en el diseño factorial se plantea realizar las experiencias reduciendo el tamaño de las hojas de eucalipto a 1,3cm y 3cm. Se corta las hojas a los tamaños mencionados con una tijera de acero inoxidable, previamente desinfectada y limpia.

Ilustración 2-8 Reducción de tamaño de la hoja de eucalipto



Fuente: Elaboración propia, 2021

2.4.5. PRUEBAS PRELIMINARES

Previo a la experimentación planteada de acuerdo al diseño factorial, se realizan pruebas preliminares, realizando el control de variables y verificando el funcionamiento del equipo armado.

Verificación de las condiciones de funcionamiento del extractor:

Se llena el equipo extractor con 5 litros de agua, se enciende la hornalla a máxima potencia y se hace funcionar hasta obtener vapor condensado. Observando y verificando que no haya fugas en el equipo.

Prueba preliminar 1: Con el fin de establecer la potencia a emplear en el proceso se introducen 300 gr de materia prima seca al destilador. Se ajusta la potencia entregada de la coccinilla a media potencia según el control de paso de gas con la perilla y de igual forma se procede a regular la perilla a máxima potencia. Observando que pasado los 30 min no hay la suficiente producción de vapor para la extracción de los componentes volátiles. Por lo tanto, se vió por conveniente establecer la máxima potencia de la coccinilla.

Prueba preliminar 2: Se realiza una prueba con hojas enteras en estado fresco a una carga de 300 g (100g en cada canastillo) con tiempo de destilación de 80 minutos obteniendo 0,6ml de extracto lo que indica que la destilación de la materia prima en estado fresco requiere de mayor tiempo y mayor costo de energía.

Prueba preliminar 3: Se realiza una prueba con hojas enteras en estado seco a una carga de 300 g (100 g en cada canastillo) con tiempo de extracción de 80 minutos obteniendo entre 1 a 1,2 ml, al haber incrementado la cantidad de aceite extraído, verificamos que el estado (seco o fresco) de la hoja es importante para el proceso, también que el tamaño de la hoja sigue influyendo en el proceso.

Así, con las pruebas preliminares 2 y 3 comprobamos que las hojas enteras al tener menor área de contacto disminuyen la capacidad de extracción del aceite esencial.

Prueba preliminar 4: Para determinar el tamaño mínimo de corte de la materia prima se tomó como referencia 1cm que recomiendan Guerra (2019) y Delgado (2016), pasados los 80 min establecidos se obtuvieron 1,5 ml de extracto, sin embargo, se observó un taponamiento en los orificios de los canastillos y se repitió el proceso con un tamaño de hoja de 1,3 cm obteniendo una insignificante diferencia en el resultado siendo este de aproximadamente 1,55ml pero con menor bloqueo de los orificios.

2.4.6. Extracción de aceite esencial

La extracción de aceite esencial de eucalipto se realiza por el método de arrastre por vapor de agua en el equipo extractor de aceites esenciales perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química.

Se realizaron pruebas preliminares a la propuesta en el diseño experimental con el fin de verificar que no existan fugas en el equipo y adecuar parámetros para la extracción, posterior a eso se sigue el diseño planteado.

2.4.6.1. Equipo extractor de aceites esenciales.

El conjunto de equipos, materiales e instrumentos que componen el equipo de extracción de aceites esenciales se detallan a continuación:

a) Torre de destilación

La torre de extracción es un recipiente cilíndrico de acero inoxidable, recubierto de fibra de vidrio en el cual se carga la materia vegetal. Esta se coloca en canastillos cilíndricos que tiene perforaciones en la base, el extractor cuenta además con un medidor de nivel.

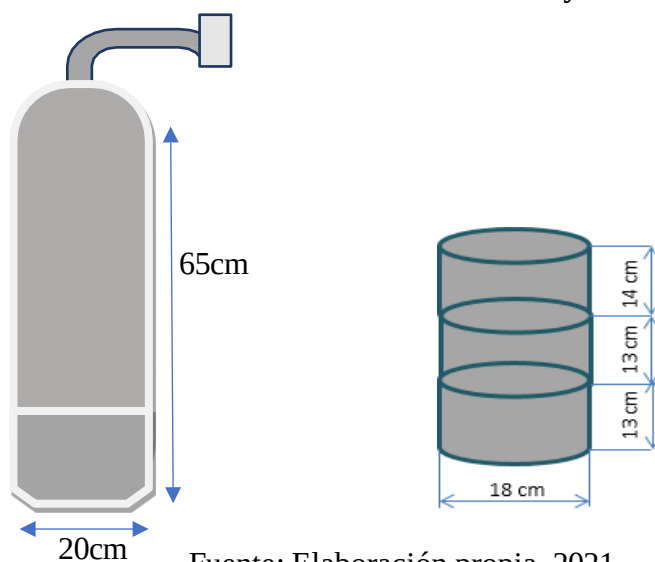
La temperatura de operación es de 92°C, siendo esta la temperatura a la cual en Tarija se produce la ebullición del agua, y una presión atmosférica de 0.94 atm.

Ilustración 2-9 Torre de destilación y canastillos



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura 2-2 Dimensiones de la torre de destilación y de los canastillos



Fuente: Elaboración propia, 2021

b) Cocinilla, garrafa y balanza

Para la generación de calor a la torre de destilación se utiliza una cocinilla conectada a una garrafa con GLP con el fin de entregar un óptimo flujo de vapor y a su vez determinar la cantidad suministrada de gas mediante el pesaje de la garrafa durante el proceso de extracción.

Ilustración 2-10 Generador y control de vapor (garrafa, cocinilla, balanza)



Fuente: Elaboración propia, 2021

2.4.7. Condensación

Al momento de iniciarse la ebullición del agua, el arrastre del vapor da inicio y se arrastran la mezcla de los vapores de agua y del aceite esencial a temperaturas aproximadas a 92°C, los vapores salen de la torre por el cuello de cisne que se encuentra conectado con el intercambiador de calor tubular.

a) Condensador o serpentín refrigerante

En el condensador se produce el intercambio de calor entre los vapores de aceite esencial y agua con el líquido refrigerante (agua fría).

El intercambiador de calor es de carcasa de Aluminio fundido/bronce para el flujo de agua y tubos de Cobre-Níquel para el condensado del aceite esencial.

El agua refrigerante es suministrada del grifo a través de una manguera conectada al condensador, otra manguera se encuentra conectada a la salida del condensador por la que fluye el agua para ser desechada por el desagüe.

Ilustración 2-11 Condensador



Fuente: Elaboración propia, 2021

b) Recolección y separación de aceite esencial

El agua y el aceite destilado se recibe en un vaso florentino, al pasar un tiempo se hace visible la separación de los dos líquidos inmiscibles agua-aceite, el aceite asciende a la parte superior como es lógico, esto por efecto de la densidad. una vez que el aceite llega al nivel de salida se extrae el aceite esencial.

Ilustración 2-12 Vaso de florentino



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Con la finalidad de conseguir una mejor separación del aceite esencial-agua, se pasa a la ampolla de separación dejando reposar para luego realizar la decantación y extraer el aceite esencial de eucalipto.

Ilustración 2-13 Ampolla de separación



Fuente: Elaboración propia, 2021

2.4.7.1. Purificación del aceite esencial

Posterior a la etapa de separación de las fases, donde se separa el aceite esencial del agua, la fase orgánica extraída presenta un contenido mínimo de agua, por este motivo es necesario realizar la purificación del aceite esencial extraído mediante la adición de sulfato de sodio anhidro, el cual presenta propiedades higroscópicas y es empleado como agente desecante. (Delgado, 2016)

El sulfato de sodio es una sustancia sólida, incolora, cristalina, con muy buena solubilidad en agua y mala en sustancias orgánicas a excepción de la glicerina.

La purificación se realiza añadiendo sulfato de sodio lentamente, formándose de esta manera pequeños terrones de sulfato de sodio hidratado hasta su saturación.



Se reposa por una media hora hasta su completa precipitación, luego se procede a realizar la filtración en un embudo con papel filtro.



2.4.8. Envasado y almacenamiento

El aceite esencial separado del hidrolato es envasado en frasco de vidrio ámbar de 30 ml con cierre hermético tipo gotero para evitar pérdidas. Se etiquetan los frascos con el número de extracción correspondiente y almacenan en un lugar fresco y oscuro.



2.5. RESIDUOS

Posterior a la extracción se pesan los residuos de los canastillos con las hojas de eucalipto y se miden las cantidades de hidrolato y del agua sobrante del extractor para el balance de materia y energía.

2.6. CARACTERIZACION Y CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO

El aceite esencial obtenido sometido a análisis fisicoquímico y organoléptico.

2.6.1. Análisis fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos se realizan en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Los análisis fisicoquímicos por parte del CEANID son: densidad, índice de refracción, acidez y el perfil cromatográfico de gases para la verificación de la presencia de Eucaliptol (1,8 cineol).

En el Anexo B se muestran los resultados de los análisis mencionados.

2.6.1.1. Densidad del aceite esencial

La densidad del aceite esencial la determinaron en el CEANID mediante el método que indica la Norma Boliviana. (los resultados se muestran en el Anexo B),

2.6.1.2. Índice de refracción

La medición del índice de refracción se emplea para determinar la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo. Es un valor numérico en el que se expresa una relación entre los senos del ángulo de incidencia y refracción de la luz.

El índice de refracción se determina en el CEANID, el mismo que emplea el método estipulado en la Norma Boliviana 34003:06 “Aceites y grasas-Determinación del índice de Refracción (Segunda Versión)”.

El resultado de los análisis se muestra en el Anexo B.

2.6.1.3. Índice de acidez

Es el grado de acidez de un aceite esencial, definido como el número de miligramos de hidróxido potásico necesarios para neutralizar la acidez contenida en un gramo de aceite esencial. (Centro de Gestión de Mercados, Logística y TIC's, 2012)

En el Anexo B se muestra el resultado del análisis.

2.6.1.4. Perfil Cromatográfico

La afinidad a la fase estacionaria de los distintos componentes del aceite esencial, en el análisis determina la separación de los mismos; algunos compuestos son afines a esta fase por lo que serán retenidos por la misma y saldrán después de un largo período de tiempo. Por otro lado, algunos otros componentes no serán afines a la fase estacionaria por lo que saldrán inmediatamente, logrando así la separación de los distintos componentes del aceite esencial.

El perfil cromatográfico se detalla en el Anexo C.

2.6.2. Análisis Organoléptico

Las características organolépticas del aceite esencial de Eucalipto referentes al aspecto, olor y color se determinaron en el RIMH.

El anexo E muestra los resultados obtenidos del análisis organoléptico.

CAPITULO III
RESULTADOS Y DISCUSIONES

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA

3.1.1. Clasificación taxonómica de la materia prima

La caracterización de la materia prima se especifica según la clasificación taxonómica de la hoja de eucalipto realizada por el Herbario de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.1.2. Características físicas de la materia prima

En la Tabla II-1 se presentan las características de la materia prima (Hoja de Eucalipto) recolectada en la comunidad de Juntas de la provincia Uriondo del departamento de Tarija.

En la Tabla III-1 se comparan las características físicas observadas en las experiencias de otros trabajos consultados en bibliografía.

Tabla III-1 Comparación de las características físicas de la hoja de eucalipto

Característica	DESCRIPCION		
	Tarija-Bolivia	Puno-Perú	Huacho-Perú
	Elaboración propia, 2021	Quispe, 2017	Natividad, 2019
Forma	Hoja lanceolada redondeada y ápice acuminado, medianas de aproximadamente 12 cm de largo	Hojas frescas de tamaño mediano a grande.	Sésiles opuestas de base cordada (jóvenes). Alargadas y alternas, pecioladas, con base cuneada y el ápice acuminado (adultas)
Color	Hojas de color verde azulado	Verde oscuro	Grisáceas
Olor	Intenso y refrescante.	Característico, ligeramente fuerte y agradable	Característico

Fuente: Elaboración propia. 2021

3.1.3. Humedad de la materia prima.

El contenido de agua presente en la materia prima se mide con el secado de la misma en el secador infrarrojo SARTORIUS-MA100 del L.O.U.

- La humedad de la materia prima se determina a partir de los datos experimentales y el empleo de la ecuación 2-1.

$$\%H = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} * 100$$

- La humedad en base seca representa la cantidad de agua presente en un kg de materia solida seca. Según la ecuación 3-1.

$$X_S = \frac{M_i - M_s}{M_s} \quad \text{Ec. 3-1}$$

Siendo:

X_S =Humedad en base seca (kg H₂O/kg masa seca)

M_i =Masa inicial (kg)

M_s =Masa seca sin agua (kg)

- La velocidad de secado es definida como la pérdida de humedad del sólido húmedo por unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial (-dX/dt) operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire a las condiciones de temperatura, presión, humedad y velocidad constantes en el tiempo.

Para determinar la cinética de secado se aplicó el método de los 3 puntos con el fin de encontrar la pendiente y la linealización de la curva de secado

Y la ecuación de la velocidad de secado:

$$-\frac{dX}{dt} = kX^n \quad \text{Ec. 3-2}$$

Donde:

$(-dX/dt)$ = Velocidad de secado

k = Constante de cinética.

n = Numero de orden de la cinética.

h = Intervalo de tiempo (h)

Y mediante el método de los tres puntos con intervalos de tiempo iguales, se encuentra la pendiente.

$$y_0 = \frac{-3y_0 + 4y_1 - y_2}{2h} \quad \text{Ec. 3-3}$$

$$y_1 = \frac{-y_0 + y_2}{2h} \quad \text{Ec. 3-4}$$

$$y_2 = \frac{y_0 - 4y_1 - 3y_2}{2h} \quad \text{Ec. 3-5}$$

Para que las pendientes se correlacionen con la variación de la humedad se linealiza la ecuación 3-2.

Llevando a la forma $y = a + bX$:

$$\ln\left(-\frac{dX}{dt}\right) = \ln k + n \ln X \quad \text{Ec. 3-6}$$

Donde:

$$\ln(-dX/dt) = y$$

$$n = b$$

$$k = e^a$$

3.1.3.1. Humedad de la materia prima en estado fresco.

3.1.3.1.1. Determinación de la humedad de la materia prima en estado fresco.

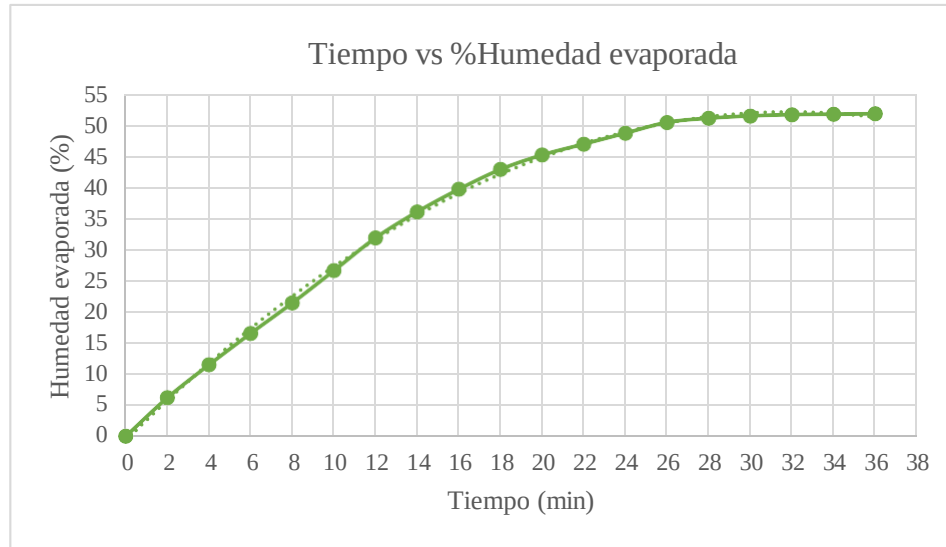
En la Tabla III-2 se muestra la variación de la humedad y la disminución de peso en función al tiempo transcurrido, medido en el secador de infrarrojo. Observamos que a medida que el peso disminuye el porcentaje de humedad también. A los 36 minutos se evapora toda el agua contenida en la muestra de 5,012 g de hoja de eucalipto fresca, obteniendo una masa solida final de 2,415 g y una humedad de la materia prima en estado fresco (recién recolectada) del 51,82%.

Tabla III-2 Determinación de la Humedad de la materia prima vs Tiempo.

Tiempo (min)	Masa hoja (g)	Humedad evaporada (%)
0	5,012	0
4	4,436	11,49
8	3,938	21,42
12	3,414	31,88
16	3,023	39,69
20	2,747	45,2
22	2,659	46,95
24	2,571	48,7
26	2,484	50,44
28	2,451	51,1
30	2,432	51,47
32	2,422	51,68
34	2,418	51,75
36	2,415	51,82

Fuente: Elaboración propia, 2021.

A partir de los datos registrados de la humedad de la hoja en función al tiempo de secado de la Tabla III-2 se representa en el Gráfico 3-1 la curva de secado de la materia prima en estado fresco empleando el secador infrarrojo, que nos demuestra que a medida que el peso de la muestra va disminuyendo, la humedad también va disminuyendo, hasta que el peso de la muestra se mantiene constante, pues la muestra ya no puede perder más humedad.

Gráfico 3-1 Curva de secado de materia prima fresca

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.1.3.1.2. Humedad de la materia prima fresca en base seca

Con la ecuación 3-1 se obtiene la humedad en base seca de la hoja de eucalipto.

Así para el primer caso, X_s se calcula:

$$X_s = \frac{M_i - M_s}{M_s}$$

$$X_s = \frac{5,012 - 2,415}{2,415}$$

$$X_s = 1,076$$

En la Tabla III-3 se muestra la humedad en base seca a distintos tiempos.

Tabla III-3. Humedad en base seca

Tiempo	Pérdida de peso	X _s
0	5,012	1,076
4	4,436	0,837
8	3,938	0,631
12	3,414	0,414
16	3,023	0,252
20	2,747	0,137
24	2,571	0,065
28	2,451	0,015
32	2,422	0,003
36	2,415	0,000

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.1.3.1.3. Cinética de secado de la materia prima en estado fresco

Con el método de los tres puntos y las ec. 3-3; 3-4; 3-5, se calculan los valores para (dX/dt) y con ello el logaritmo natural de la humedad en base seca (X_s) y del diferencial de la humedad en función del tiempo $(-dX/dt)$. La Tabla III-4 muestra los resultados del método de los tres puntos

Tabla III-4 Resultado del método de 3 puntos

Tiempo	X _s	(dX/dt)	(-dX/dt)	lnX _s	ln(-dX/dt)
0	1,076	-0,064	0,064	0,073	-2,754
4	0,837	-0,053	0,053	-0,178	-2,940
8	0,631	-0,054	0,054	-0,461	-2,922
12	0,414	-0,050	0,050	-0,882	-2,999
16	0,252	-0,034	0,034	-1,379	-3,381
20	0,137	-0,022	0,022	-1,985	-3,801
24	0,065	-0,015	0,015	-2,737	-4,190
28	0,015	-0,007	0,007	-4,203	-4,939
32	0,003	0,000	0,000	-5,841	-9,461
36	0,000	0,000	0,000	-	-

Fuente: Elaboración propia, 2021

Linealizando $\ln X_s$ y $\ln(-dX/dt)$ se obtienen los valores de a y b de la ecuación de la recta ($y = a + bX$)

$$a = -2,24$$

$$b = 0,97$$

Reemplazando valores en la Ec.3-6

$$\ln\left(-\frac{dX}{dt}\right) = \ln k + n \ln X$$

$$y = -2,24 + 0,97 \ln X$$

Para la ecuación 3-2, correspondiente a la velocidad de secado:

$$n = b = 0,97$$

$$k = e^a = e^{-2,24} = 0,106$$

Remplazando en la ec. 3-2 que representa la velocidad de secado de la materia prima en estado fresco en el secador infrarrojo.

$$-\frac{dX}{dt} = kX^n$$

$$-r = 0,106X^{0,97}$$

3.1.3.2. SECADO NATURAL DE LA MATERIA PRIMA

Los resultados del proceso de secado realizado de manera natural se muestran en la Tabla III-5, la cual representa la pérdida de masa en función al tiempo de una muestra representativa de toda la materia utilizada para la experimentación.

Tabla III-5 Masa de materia prima en función al tiempo

Tiempo (Días)	Masa hoja (g)
0	30,01
1	23,72
2	18,53
3	16,62
4	15,60
5	15,38
6	15,12
7	15,08
8	14,97
9	14,88
10	14,81

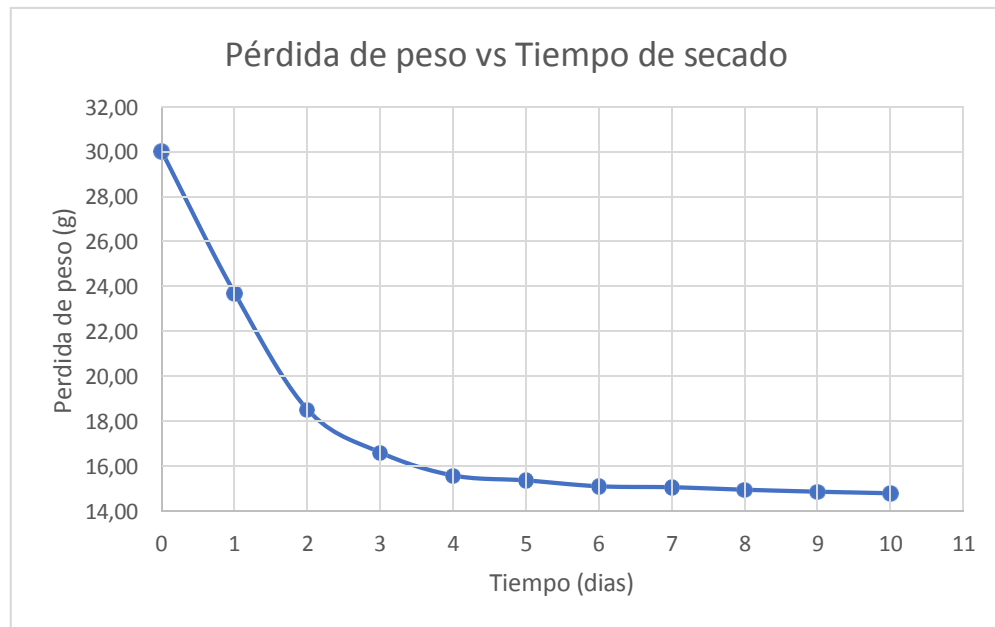
Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la Tabla III-5 se muestra la variación del peso de la muestra representativa en función al tiempo de secado natural a temperatura ambiente. La muestra representativa inicia con un peso de 30g de hojas de eucalipto.

3.1.3.2.1. Curva de secado de la materia prima en el proceso de secado natural.

De la Tabla III-5, se obtiene la relación entre la pérdida de peso de la materia prima en función a los días transcurridos de secado.

El grafico 3-2 representa la curva de secado natural de la materia prima, la que indica que en los 10 días del proceso de secado la muestra tiene un peso de 14,81g es decir que ha perdido un 50,65% de su peso inicial.

Gráfico 3-2 Curva de secado natural de la materia prima

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.1.3.2.2. Humedad de la materia prima en base seca

Con la ecuación 3-1 se obtiene la humedad en base seca de la hoja de eucalipto.

Así para el primer caso, X_s se calcula:

$$X_s = \frac{M_i - M_s}{M_s}$$

$$X_s = \frac{30 - 14,81}{14,81}$$

$$X_s = 1,026$$

En la Tabla III-6 se muestra la humedad en base seca a distintos tiempos.

Tabla III-6 Humedad en base seca

Tiempo (Días)	Masa hoja (g)	X _s
0	30,01	1,026
1	23,72	0,601
2	18,53	0,251
3	16,62	0,122
4	15,60	0,053
5	15,38	0,039
6	15,12	0,021
7	15,08	0,018
8	14,97	0,011
9	14,88	0,005
10	14,81	0,000

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.1.3.2.3. Cinética de secado de la materia prima mediante secado natural.

Con el método de los tres puntos y las ec. 3-3; 3-4; 3-5, se calculan los valores para (dX/dt) y con ello el logaritmo natural de la humedad en base seca (X_s) y del diferencial de la humedad en función del tiempo $(-dX/dt)$. La Tabla III-7 muestra los resultados del método de los tres puntos.

Tabla III-7 Resultado del método de los 3 puntos

Tiempo (Días)	X _s	(dX/dt)	(-dX/dt)	lnX _s	ln(-dX/dt)
0	1,026	-0,462	0,462	0,026	-0,771
1	0,601	-0,424	0,424	-0,509	-0,858
2	0,251	-0,237	0,237	-1,381	-1,440
3	0,122	-0,071	0,071	-2,100	-2,644
4	0,053	-0,031	0,031	-2,930	-3,458
5	0,039	-0,010	0,010	-3,254	-4,639
6	0,021	-0,010	0,010	-3,866	-4,608
7	0,018	-0,003	0,003	-4,012	-5,823
8	0,011	-0,008	0,008	-4,547	-4,873
9	0,005	-0,005	0,005	-5,355	-5,263
10	0,000	-0,004	0,004	-	-5,484

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Linealizando $\ln X_s$ y $\ln(-dX/dt)$ se obtienen los valores de a y b de la ecuación de la recta ($y = a + bX$)

$$a = -0,596$$

$$b = 1,019$$

Reemplazando valores en la Ec.3-6

$$\ln\left(-\frac{dX}{dt}\right) = \ln k + n \ln X$$

$$y = -0,596 + 1,019 \ln X$$

Para la ecuación 3-2, correspondiente a la velocidad de secado:

$$n = b = 1,019$$

$$k = e^a = e^{-0,596} = 0,551$$

Remplazando en la ec. 3-2 que representa la velocidad de secado de la materia prima en estado fresco en el secador infrarrojo.

$$-\frac{dX}{dt} = kX^n$$

$$-r = 0,551X^{1,019}$$

3.1.3.3. Humedad de la materia prima en estado seco

3.1.3.3.1. Determinación de la humedad de la materia prima en estado seco

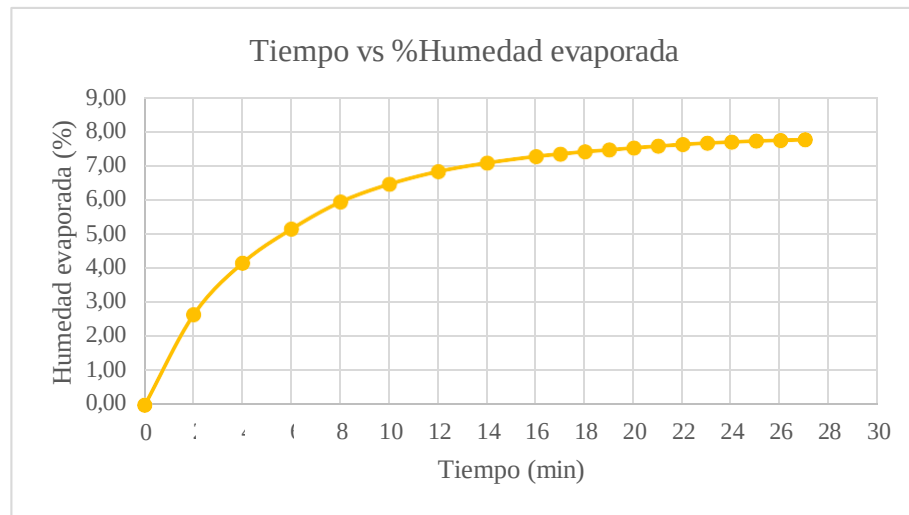
En la Tabla III-8 se muestra la variación de la humedad y la disminución de peso en función al tiempo transcurrido. Observamos que a medida que el peso disminuye el porcentaje de humedad también. A los 27 minutos se evapora toda el agua contenida en la muestra de 5,013 g de hoja de eucalipto seca, registrando una masa solida final de 4,624 g y una humedad de la materia prima en estado seco (secado natural) del 7,75%.

Tabla III-8 Peso de la materia y humedad evaporada

Tiempo (min)	Masa hoja (g)	Humedad evaporada (%)
0	5,013	0,00
2	4,881	2,64
4	4,805	4,15
6	4,755	5,14
8	4,716	5,93
10	4,690	6,45
12	4,671	6,82
14	4,659	7,07
16	4,649	7,26
17	4,646	7,33
18	4,642	7,40
19	4,640	7,45
20	4,637	7,51
21	4,634	7,56
22	4,632	7,61
23	4,630	7,65
24	4,628	7,68
25	4,626	7,71
26	4,625	7,73
27	4,624	7,75

Fuente: Elaboración propia, 2021.

A partir de los datos registrados de la humedad de la hoja en función al tiempo de secado infrarrojo de la Tabla III-8 se representa en el Gráfico 3-3 la curva de secado de la materia prima en estado seco empleando el secador infrarrojo, que muestra que a partir del minuto 12 la variación de humedad evaporada va disminuyendo, hasta volverse constante.

Gráfico 3-3 Curva de secado de la materia prima seca

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.1.3.3.2. Humedad de la materia prima en base seca

Con la ecuación 3-1 se obtiene la humedad en base seca de la hoja de eucalipto.

Así para el primer caso, X_s se calcula:

$$X_s = \frac{M_i - M_s}{M_s}$$

$$X_s = \frac{5,013 - 4,624}{4,624}$$

$$X_s = 0,084$$

En la Tabla III-9 se muestra la humedad en base seca a distintos tiempos.

Tabla III-9 Humedad en base seca

Tiempo (min)	Masa hoja (g)	X_s
0	5,013	0,084
4	4,805	0,039
8	4,716	0,020
12	4,671	0,010
16	4,649	0,005
20	4,637	0,003
21	4,634	0,002

22	4,632	0,002
23	4,630	0,001
24	4,628	0,001
25	4,626	0,000
26	4,625	0,000
27	4,624	0,000

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.1.3.3.3. Cinética de secado de la materia prima en estado seco

Con el método de los tres puntos y las ec. 3-3; 3-4; 3-5, se calculan los valores para (dX/dt) y con ello el logaritmo natural de la humedad en base seca (X_s) y del diferencial de la humedad en función del tiempo $(-dX/dt)$. La Tabla III-10 muestra los resultados del método de los tres puntos.

Tabla III-10 Resultado del método de 3 puntos

Tiempo (min)	X_s	(dX/dt)	$(-dX/dt)$	$\ln X$	$\ln(-dX/dt)$
0	0,084	-0,017	0,017	-2,477	-4,053
2	0,055	-0,010	0,010	-2,893	-4,564
4	0,039	-0,006	0,006	-3,244	-5,127
6	0,028	-0,005	0,005	-3,565	-5,382
8	0,020	-0,004	0,004	-3,926	-5,654
10	0,014	-0,002	0,002	-4,262	-6,085
12	0,010	-0,002	0,002	-4,597	-6,438
14	0,007	-0,001	0,001	-4,910	-6,786
16	0,005	-0,001	0,001	-5,238	-7,050
18	0,004	-0,001	0,001	-5,574	-7,352
20	0,003	-0,001	0,001	-5,952	-7,471
22	0,002	0,000	0,000	-6,491	-7,626
24	0,001	0,000	0,000	-7,184	-8,118

Fuente: Elaboración propia, 2021

Linealizando $\ln X_s$ y $\ln(-dX/dt)$ se obtienen los valores de a y b de la ecuación de la recta ($y = a + bX$)

$$a = -2,25$$

$$b = 0,87$$

Reemplazando valores en la Ec.3-6

$$\ln\left(-\frac{dX}{dt}\right) = \ln k + n \ln X$$

$$y = -2,24 + 0,87 \ln X$$

Para la ecuación 3-2, correspondiente a la velocidad de secado:

$$n = b = 0,87$$

$$k = e^a = e^{-2,24} = 0,106$$

Remplazando en la ec. 3-2 que representa la velocidad de secado de la materia prima en estado seco en el secador infrarrojo.

$$-\frac{dX}{dt} = kX^n$$

$$-r = 0,106X^{0,87}$$

3.1.4. Resumen del secado de la materia prima

A continuación, en la Tabla III-11 se muestran los resultados de las determinaciones de humedad y pérdida de peso en relación al método de secado empleado para cada estado de la materia prima.

Tabla III-11 Resumen del secado de la materia prima

Estado de la materia prima	Método	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Humedad evaporada (%)
Hoja fresca	Secador infrarrojo	5,012	2,415	51,82
Hoja fresca	Secado natural (10 días)	30,01	14,81	50,65
Hoja seca (10 días)	Secador infrarrojo	5,013	4,624	7,75

Fuente: Elaboración propia, 2023

3.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA FASE EXPERIMENTAL

3.2.1. Rendimiento de extracción

De acuerdo al diseño factorial planteado y experimentado se identifican las variables más significativas para el proceso de extracción de aceite esencial de Eucalipto.

La Tabla III-12 muestra las variables respuesta en función a las variables independientes (Masa, tiempo de extracción, tamaño).

El rendimiento de extracción se determina con la Ec.3-7.

$$\%R = \frac{M_{ae}}{M_e} * 100 \quad \text{Ec. 3-7}$$

Donde:

$\%R$ = Rendimiento porcentual de aceite esencial.

M_{ae} = Masa de aceite esencial.

M_e = Masa de hojas de eucalipto secas.

La masa de aceite esencial (M_{ae}) se calcula a partir de la densidad del aceite esencial.

$$\rho_{ae} = \frac{M_{ae}}{V_{ae}}$$

Donde:

ρ_{ae} = Densidad del aceite esencial.

M_{ae} = Masa de aceite esencial.

V_{ae} = Volumen de aceite esencial.

La densidad del aceite esencial de eucalipto obtenido es de 0,92 g/ml.

Despejando la Ec.2-2 y reemplazando la densidad y el volumen obtenido en la extracción:

$$M_{ae} = \rho_{ae} V_{ae}$$

$$M_{ae} = 0,92 \frac{g}{ml} * 4,9ml$$

$$M_{ae} = 4,508 \text{ g}$$

Reemplazando datos en la Ec.3-7, obtenemos el rendimiento.

$$\%R = \frac{M_{ae}}{M_e} * 100$$

$$\%R = \frac{4,5 \text{ g}}{450 \text{ g}} * 100$$

$$\%R = 1\%$$

Tabla III-12 Datos experimentales de la Extracción de aceite esencial de Eucalipto

Nro.	Masa (g)	Tiempo (min)	Tamaño (cm)	Volumen Extraído (ml)	Masa Extraída (g)	Rendimiento (%)
1	300	60	1,3	1,6	1,47	0,49
2	450	60	1,3	4,4	4,05	0,9
3	300	80	1,3	1,7	1,56	0,52
4	300	60	3	1,3	1,2	0,4
5	450	80	1,3	4,9	4,5	1
6	450	60	3	3,9	3,6	0,8
7	300	80	3	1,5	1,38	0,46
8	450	80	3	4,0	3,69	0,82
REPLICA						
9	300	60	1,3	1,7	1,56	0,52
10	450	60	1,3	4,6	4,23	0,94
11	300	80	1,3	1,7	1,56	0,52
12	300	60	3	1,5	1,38	0,46
13	450	80	1,3	4,8	4,41	0,98
14	450	60	3	3,9	3,6	0,8
15	300	80	3	1,6	1,47	0,49
16	450	80	3	4,2	3,87	0,86

Fuente: Elaboración propia, 2021

La Tabla III-12 representa las variables, sus interacciones y la respuesta de las 16 experiencias realizadas de acuerdo el modelo experimental 2^3 y su respectiva réplica.

3.2.2. Análisis Estadístico del Diseño factorial

Para el análisis de resultados se hace uso del programa estadístico para Windows IBM SPSS STATISTICS 21 (Statistical Package for the Social Sciences).

Se realiza el análisis de varianza ANOVA, de los niveles máximos y mínimos de cada factor planteado para la investigación (Masa, Tiempo de extracción y tamaño de la partícula). Los factores y las interacciones entre ellos representan las variables independientes del diseño y el rendimiento de extracción representada por el volumen extraído de aceite esencial de eucalipto la variable dependiente.

Tabla III-13 Factores inter-sujetos

		N
Masa	-1,00	8
	1,00	8
Tiempo	-1,00	8
	1,00	8
Tamaño	-1,00	8
	1,00	8

Fuente: Elaboración propia (SPSS21), 2021

La Tabla III-14 representa el análisis de varianza ANOVA de los factores inter-sujetos, en el que se prueba la significancia estadística de los factores sobre la respuesta rendimiento.

Tabla III-14 Pruebas de los efectos inter-sujetos*Variable dependiente: Rendimiento*

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,708 ^a	6	,118	196,556	,000
Intersección	7,508	1	7,508	12512,667	,000
Masa	,656	1	,656	1093,500	,000
Tiempo	,007	1	,007	12,042	,007
Tamaño	,038	1	,038	63,375	,000
Masa * Tiempo	,001	1	,001	1,042	,334
Masa * Tamaño	,006	1	,006	9,375	,014
Tiempo *	,000	1	,000	,000	1,000
Tamaño					
Error	,005	9	,001		
Total	8,221	16			
Total corregida	,713	15			

a. R^2 cuadrado = ,992 (R^2 cuadrado corregida = ,987)

Fuente: Elaboración propia (SPSS21), 2021

El análisis ANOVA mostrado en la Tabla III-14 indica que las interacciones que más significancia presentan son la masa de materia prima, tamaño de la partícula, tiempo de extracción del aceite esencial y la interacción entre las variables masa y tamaño de la partícula, teniendo valores de significancia menores a 0,05, de este modo se acepta las hipótesis planteadas, comprobadas estadísticamente la variación en los factores para un nivel de confianza de 95%.

En tanto las interacciones masa-tiempo y tiempo-tamaño no son muy significativas, interpretación dada porque la significancia (Sig.) calculada en el programa SPSS21 y mostrada en la Tabla III-14 es mayor al 0,05 para estas interacciones, de este modo se rechaza las hipótesis planteadas con un nivel de confianza de 95%.

Al ser los factores principales significativos se realiza el cálculo del modelo matemático para la representación de la mejor experiencia, mediante el método de regresión lineal con las variables significativas y las interacciones significativas.

En consecuencia, para la modelación con los factores e interacciones significativas se introduce y genera los datos de la variable MasaTamaño. La Tabla III-15 muestra las variables introducidas.

Tabla III-15 Variables introducidas/eliminadas

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	MasaTamaño, Tamaño, Tiempo, Masa ^b	.	Introducir

Fuente: Elaboración propia (SPSS21). 2021.

Tabla III-16 Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,996 ^a	,992	,988	,02340

a. Variables predictoras: (Constante), MasaTamaño, Tamaño, Tiempo, Masa

b. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: Elaboración propia (SPSS21), 2021.

Tabla III-17 ANOVA

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	,707	4	,177	322,686	,000 ^b
Residual	,006	11	,001		
Total	,713	15			

a. Variable dependiente: Rendimiento

b. Variables predictoras: (Constante), MasaTamaño, Tamaño, Tiempo, Masa

Fuente: Elaboración propia (SPSS21), 2021

La Tabla III-18 muestra los coeficientes calculados en el programa SPSS21 del modelo matemático del diseño experimental.

Tabla III-18 Coeficientes de modelo

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
(Constante)	,685	,006		117,076	,000	,672	,698
Masa	,203	,006	,959	34,610	,000	,190	,215
Tiempo	,021	,006	,101	3,632	,004	,008	,034
Tamaño	-,049	,006	-,231	-8,332	,000	-,062	-,036
MasaTamaño	-,019	,006	-,089	-3,205	,008	-,032	-,006

Fuente: Elaboración propia (SPSS21), 2021

De acuerdo a los coeficientes determinados de regresión lineal en el programa, el modelo matemático que se ajusta para el rendimiento de extracción de aceite esencial de *Eucalyptus Globulus* con las variables seleccionadas y sus interacciones es:

$$Y = 0,685 + 0,203\text{Masa} + 0,021\text{Tiempo} - 0,049\text{Tamaño} - 0,019\text{MasaTamaño}$$

La Tabla III-19 muestra los rendimientos obtenidos experimentalmente y el rendimiento modelo determinado en el programa SPSS21.

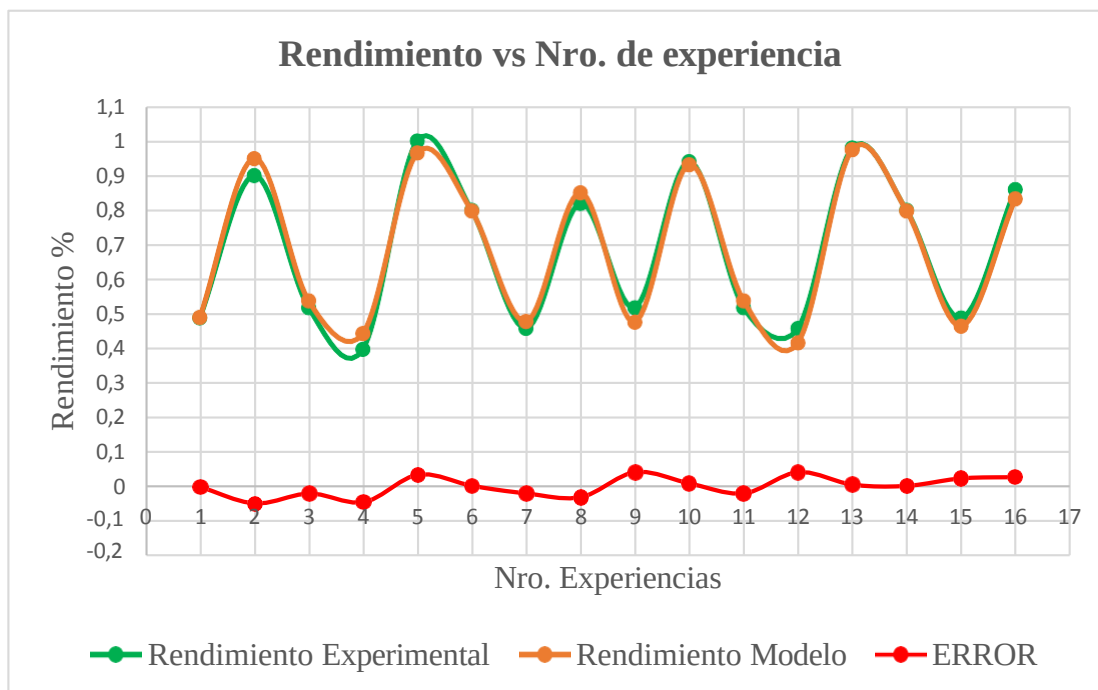
Tabla III-19 Rendimiento experimental y modelo

Nro. Experiencias	Rendimiento experimental	Rendimiento Modelo	ERROR
1	0,49	0,492	-0,0018
2	0,9	0,949	-0,0491
3	0,52	0,540	-0,0200
4	0,4	0,445	-0,0455
5	1	0,965	0,0346
6	0,8	0,798	0,0018
7	0,46	0,480	-0,0200
8	0,82	0,851	-0,0309
9	0,52	0,478	0,0418
10	0,94	0,931	0,0091
11	0,52	0,540	-0,0200
12	0,46	0,418	0,0418
13	0,98	0,975	0,0054
14	0,8	0,798	0,0018
15	0,49	0,466	0,0236
16	0,86	0,833	0,0273

Fuente: Elaboración propia, 2021.

En el grafico 3-4 se compara gráficamente los resultados obtenidos experimentalmente y los resultados según el modelo matemático.

Gráfico 3-4 Curva comparativa de Rendimiento experimental y rendimiento del modelo matemático



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Se establece que la variable dependiente y las variables independientes son significativas para un nivel de confianza del 95 %, señalando que el modelo elegido es correcto.

El factor más influyente en el proceso de obtención de aceite esencial de eucalipto, es la masa y el tamaño de la partícula, esto se deduce por la compactación de la materia prima, siendo significativo que las partículas en el lecho no se encuentren muy sueltas. Y el tamaño de la materia prima permite un mayor contacto entre el vapor y la partícula.

Según otros autores el factor de empaquetamiento influye en el proceso de extracción, Soliz (2021), encuentra que el factor de empaquetamiento es la variable mas significativa del proceso experimental. Este factor se encuentra relacionado entre la masa de materia y la altura del lecho. Al ser en este caso la altura la misma en los tres canastillos, la relación directa de influencia es la masa de la materia prima.

De los datos experimentales fijamos como factores óptimos de extracción los mostrados en la Tabla III-20.

Tabla III-20 Parámetros óptimos de extracción

Factores			Rendimiento (%)
Masa (g)	Tiempo (min)	Tamaño (cm)	
450	80	1,3	1

Fuente: Elaboración propia, 2021.

3.2.2.1. Influencia de los parámetros de extracción en el rendimiento.

3.2.2.1.1. Influencia de la masa en el rendimiento

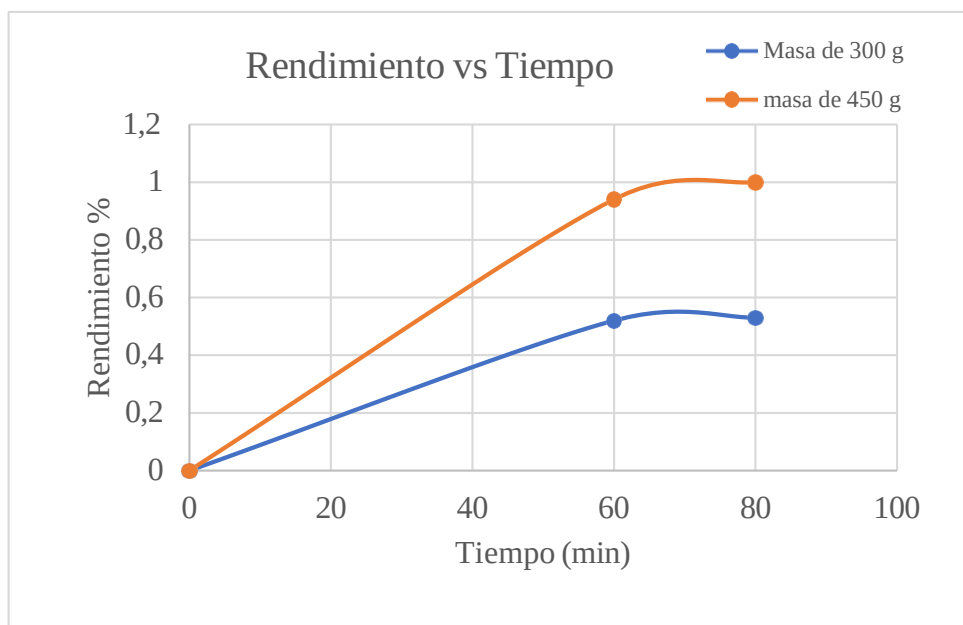
Se emplean dos cantidades de masa de materia prima para la extracción: 300 y 450 gramos, tomando los datos de mayor rendimiento de 1,3cm de tamaño se elabora la Tabla III-21.

Tabla III-21 Rendimiento en función a las masas

Masa (g)	Tiempo (min)	Rendimiento (%)
300	0	0
	60	0,52
	80	0,52
450	0	0
	60	0,94
	80	1

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Gráfico 3-5 Rendimiento en función al tiempo de acuerdo a la masa



Fuente: Elaboración propia, 2021.

El gráfico 3-5 muestra que se obtienen mayores rendimientos de extracción para una masa de materia prima de 450g ya sea para un tiempo de 60 u 80 min de extracción.

El rendimiento obtenido con esta cantidad de masa es de 1%, mientras que para una masa de 300g el rendimiento disminuye hasta un 0,52%. Esto indica que es conveniente la extracción con masas mayores.

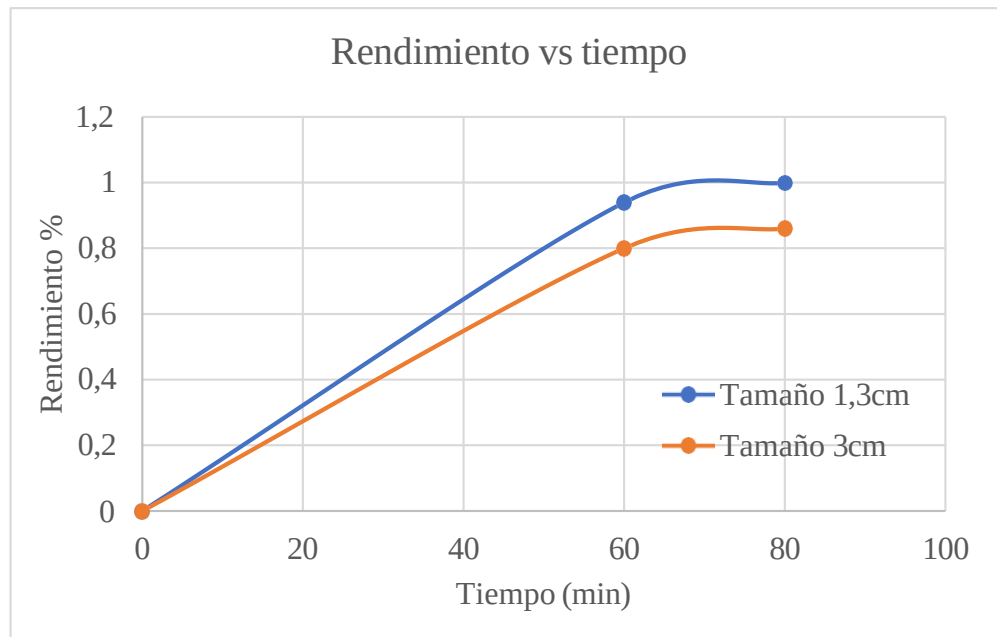
3.2.2.1.2. Influencia del tamaño en el rendimiento

El tamaño de la partícula a estudiar son dos 1,3cm y 3cm. En la Tabla III-22 se muestran los datos de rendimiento obtenidos y el tiempo de extracción del aceite esencial de eucalipto relacionados con los tamaños de partícula, con los mejores resultados de extracción con la masa de 450 gr.

Tabla III-22 Rendimiento en función al tamaño de la partícula

Tamaño (cm)	Tiempo (min)	Rendimiento (%)
1,3	0	0
	60	0,94
	80	1
3	0	0
	60	0,8
	80	0,86

Fuente: Elaboración propia, 2021

Gráfico 3-6 Rendimiento en función al tiempo de acuerdo al tamaño de la partícula

3.2.2.1.2.1. Influencia del tiempo de extracción en el rendimiento

La relación del tiempo con la masa es un factor influyente sobre la cantidad de volumen obtenido de aceite esencial, sin embargo, según los resultados obtenidos de las extracciones no afecta significativamente como la masa y el tamaño de la partícula, la Tabla III-23 muestra la relación existente entre el tiempo de extracción y el volumen obtenido de aceite esencial

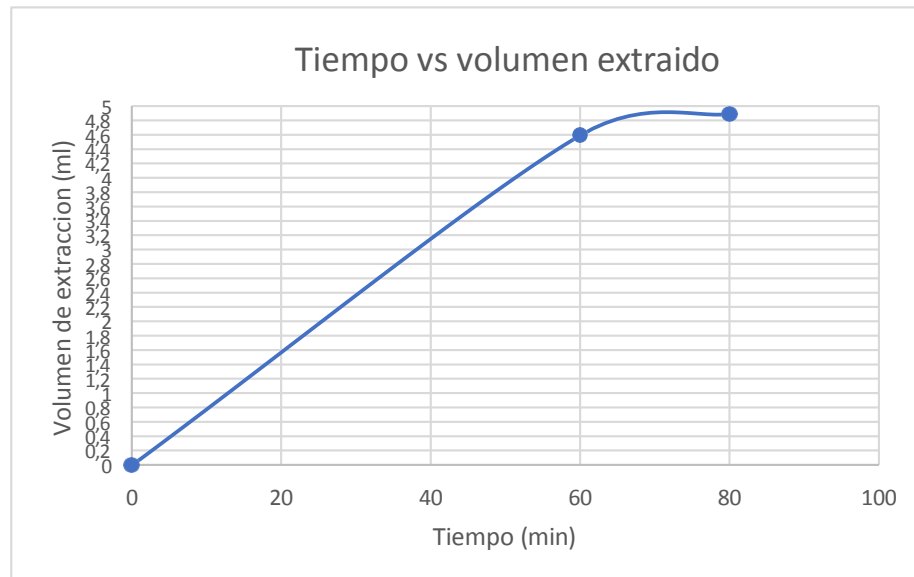
Tabla III-23 Rendimiento en función del tiempo

Masa (g)	Tamaño (cm)	Tiempo (min)	Volumen (ml)
450	1,3	0	0
		60	4,6
		80	4,9

Fuente: Elaboración propia, 2021

En el gráfico 3-7 el volumen de aceite extraído en función del tiempo se observa que hasta el minuto 60 se extrae 4,6 ml de aceite esencial lo que representa un 93,88% del total extraído. Entre los intervalos de tiempo de 60 a 80 min se extraen 0,3ml que representa un 6,12% de extracción.

Esto indica que el mayor porcentaje de extracción sucede en los primeros 60 min. La curva de extracción cambia a partir del minuto 60.

Gráfico 3-7 Volumen extraído en función al tiempo

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.3. RESULTADOS ANALITICOS Y DISCUSION DEL PRODUCTO OBTENIDO

3.3.1. Resultado del análisis de características físicas

Se realizaron análisis en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), mismo que cuenta con el aval del Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria (SENASAG), siguiendo la norma dando como resultados los siguientes expresados en la Tabla III-24.

Tabla III-24 Resultados de los Análisis Físicos del Aceite esencial extraído

PARAMETRO	TECNICA Y/O METODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO
Densidad relativa (20°C)	NB 34021:07	g/ml	0,9207
Índice de Refracción (20°C)	NB/34003:06	---	1,4739
Acidez Total	NB 322004:04	MG KOH/g	0,33

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la Tabla III-25 se muestran resultados comparativos de los resultados obtenidos experimentalmente con las referencias bibliográficas.

Tabla III-25 Comparación de características físicas del aceite esencial de Eucalipto

PARAMETRO	LUGAR DE ANALISIS	REF. BIBLIOGRAFICA	RESULTADO
Densidad relativa	Tarija-Bolivia	Propia	0,9207 g/ml
	Arequipa-Perú	Lipa Huamani	0,926 g/ml
	Ayacucho-Perú	Cisneros & Medrano	0,907 g/ml
Índice de Refracción (20°C)	Tarija-Bolivia	Propia	1,4739
	Arequipa-Perú	Lipa Huamani	1,458 a 1.470
	Ayacucho-Perú	Cisneros & Medrano	1,4641

Acidez Total	Tarija-Bolivia	Propia	0,33 mg KOH/g
	Ayacucho-Perú	Cisneros & Medrano	0,42 mg KOH/g

Fuente: Elaboración propia, 2023

Los parámetros evaluados en la investigación como en las referencias bibliográficas tienen las características mismas de su especie, tomando en cuenta en el caso del índice de acidez que el valor obtenido es inferior al presentado por Cisneros & Medrano, lo que es un indicador de aceite esencial de alta calidad.

3.3.2. Resultado de la Composición de química

La composición química del aceite esencial de eucalipto determinado en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) mediante el perfil cromatográfico de gases, presenta resultados óptimos e importantes por la abundancia del componente principal Eucaliptol en el aceite esencial, presentando un porcentaje del 79,68 %.

El eucaliptol (1,8 cineol) es el componente que le da al aceite esencial el olor característico y las propiedades características del aceite esencial.

La tabla III-26 representa la comparación de la composición química presente en el trabajo de investigación con datos bibliográficos.

Tabla III-26 Comparación de porcentaje de abundancia del aceite esencial de eucalipto

Componente	Aceite obtenido	Datos Bibliográficos		
	% Abundancia Bolivia Extracción por arrastre de vapor	% Abundancia Díaz et al. – Argentina Extracción por arrastre de vapor	% Abundancia Santos et. Al Extracción por solventes	% Abundancia Norma ISO 770
1,8 cineol	79,68	78%	60-70%	Min. 70%

Fuente: Elaboración propia, 2023

Las características de recolección, la edad, el clima, los tratamientos de la hoja influyen en la presencia del componente eucaliptol. El método de extracción empleado es otro factor que influye en la variabilidad de la composición. El arrastre con vapor extrae aceite esencial con mayor concentración de cineol, mientras que en la extracción con solventes el cineol se obtiene en porcentajes de 60-70%, debido a la solubilidad de otros compuestos no volátiles que alteran la pureza del aceite.

3.3.3. Análisis organoléptico.

Los resultados del análisis organoléptico del aceite esencial de eucalipto realizados en el RIMH se presentan en la Tabla III-27.

Tabla III-27 Análisis Organoléptico

PARAMETRO	TECNICA Y/O METODO DE ENSAYO	RESULTADO
Color	Sensorial	Transparente
Olor	Sensorial	Fuerte a eucalipto
Aspecto	Sensorial	Líquido Aceitoso

Fuente: Elaboración propia, 2021

Se observa que el aceite esencial de eucalipto extraído, tiene un color un amarillo, olor característico del eucalipto, intenso al sentido, la presencia del eucaliptol le da al aceite esencial las características organolépticas.

Según otros investigadores el color del aceite esencial varía entre amarillo intenso e incoloro, y el olor por la presencia del cineol es fuerte y característico.

La Tabla III-28 muestra características organolépticas de otros países.

Tabla III-28 Comparación de análisis organolépticos de aceites esenciales de eucalipto

Parámetro	Aceite obtenido en Tarija-Bolivia	Guatemala	España
Color	Transparente	Incoloro	De amarillo a naranja o naranja oscuro
Olor	Característico, cítrico	Aroma característico	Característico, cítrico, fresco, intenso
Aspecto	Líquido transparente	Líquido transparente	Líquido transparente

Fuente: Elaboración propia

3.4. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Los balances de materia y energía son una contabilidad de entradas y salidas de materia y energía de un proceso. Los balances, se basan en las leyes de la conservación de la masa y energía.

La tabla siguiente muestra los datos utilizados para el balance de materia y energía.

Los datos del agua fueron extraídos del Manual del Ingeniero Químico (Perry & Green, 2007). Los datos referentes al GLP se obtuvieron de La Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH.

La densidad del aceite esencial empleada para el balance de materia es la obtenida en el CEANID medida mediante el uso del picnómetro.

Tabla III-29 Datos para el balance de materia y energía

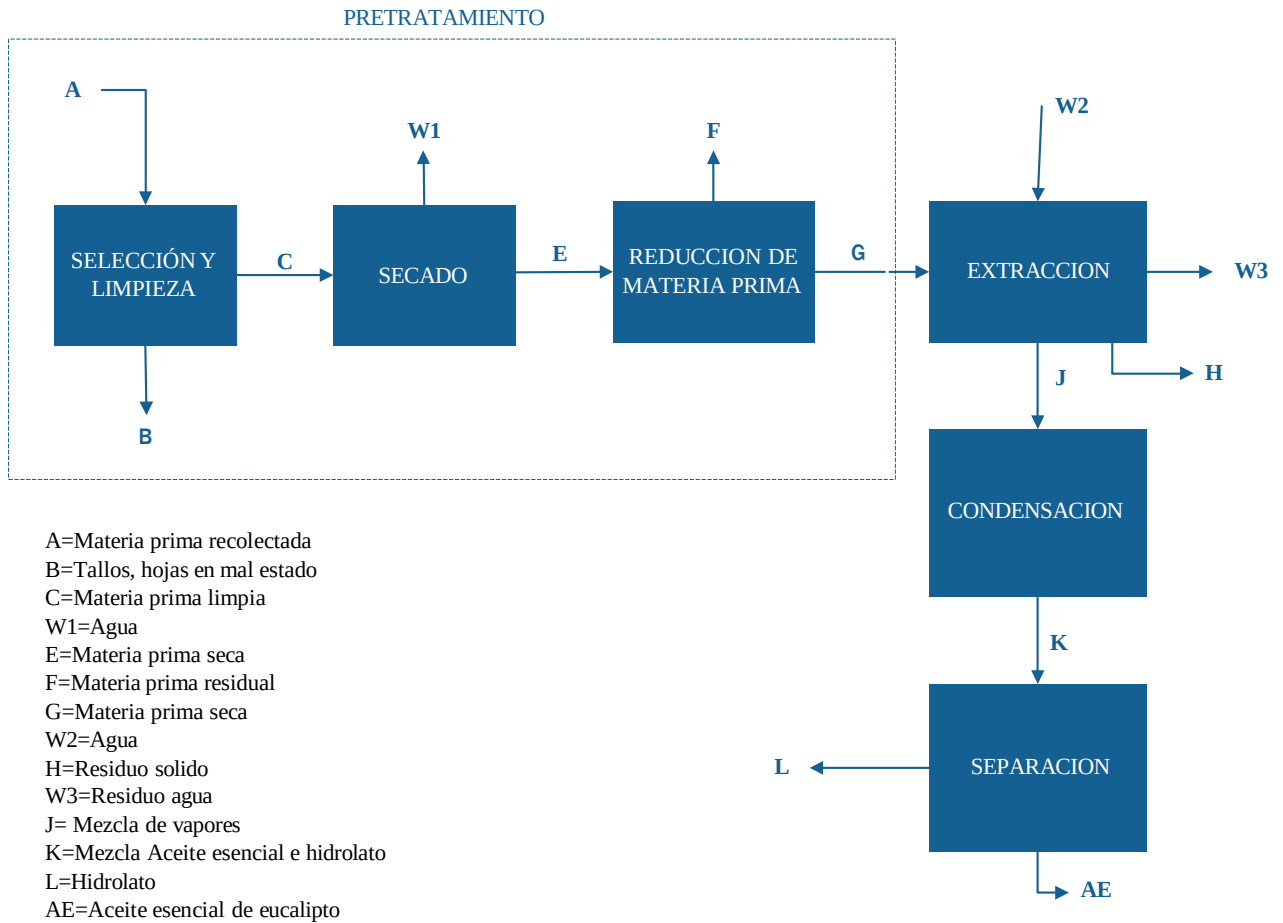
DATOS	VALOR	UNIDAD
Densidad del agua (16°C)	0,9988	g/ml
Densidad del aceite de eucalipto	0,92	g/ml
Temperatura agua grifo	16	°C
Calor específico Cp	1	Kcal/kg°C
Densidad del GLP	2,23	Kg/m ³
Poder calorífico del GLP	11 867	Kcal/kg
Datos recolectados		
Cantidad de hojas recolectadas	19,74	Kg
Cantidad de hojas seleccionadas	16,35	Kg
Peso total de hojas secas	7,9	Kg
Volumen de agua inicial del condensador	4 500	ml

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.4.1. Balance de materia.

El proceso general realizado para la extracción de aceite esencial se muestra en la figura 3-1 especificando sus corrientes respectivas.

Figura 3-1 Diagrama general del proceso de extracción



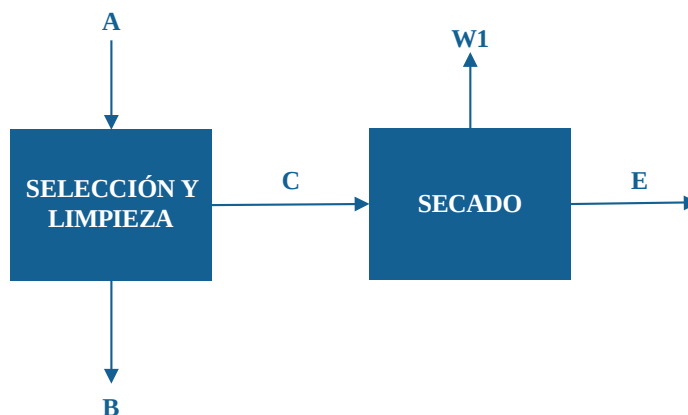
Fuente: Elaboración propia, 2021

3.4.1.1. Etapa de pretratamiento general

- Selección y limpieza

En la figura 3-2 se muestra el balance general del pretratamiento de la materia prima total empleada para el proceso de extracción según el diseño factorial planteado.

Figura 3-2 Balance del pretratamiento general



Fuente: Elaboración propia, 2021

Se tiene inicialmente 19,74 kg de hojas de eucalipto (Corriente A) las mismas que se someten a un proceso de selección y limpieza desechando ramas, hojas dañadas e impurezas, las hojas seleccionadas tienen un peso de 16,35kg (Corriente C).

$$A=19,74\text{kg}$$

$$C=16,35\text{kg}$$

$$A=B+C$$

(Ec. 3-8)

$$B= A-C$$

$$B=19,74\text{kg} - 16,35\text{kg}$$

$$\mathbf{B= 3,390\text{kg}}$$

La corriente B indica que en la selección y limpieza de la materia prima recolectada se descarta 3,39kg (Hojas dañadas, impurezas, ramas).

- **Etapas de secado**

Pasado los 10 días de secado de toda la materia prima en el secador natural se pesan las hojas de eucalipto (Hojas secas).

$$E=7,9 \text{ kg}$$

El agua evaporada se determina según la Ec.3 -9.

$$C=D+E \quad (\text{Ec. 3-9})$$

$$D=C-E$$

$$D=16,35\text{kg} - 7,92\text{kg}$$

$$D=8,43\text{kg de agua evaporada.}$$

3.4.1.2. Balance de materia para la obtención de aceite esencial de eucalipto

Posterior a la etapa de secado se realiza la preparación de la materia prima ya seca cortando la materia prima según el tamaño especificado por el diseño factorial 1,3 y 3 cm.

Se realiza el balance de materia para el experimento con mejor rendimiento correspondiente a la masa de 450g de hoja de eucalipto con 1,3cm de tamaño de la partícula.

- **Balance de materia general del proceso**

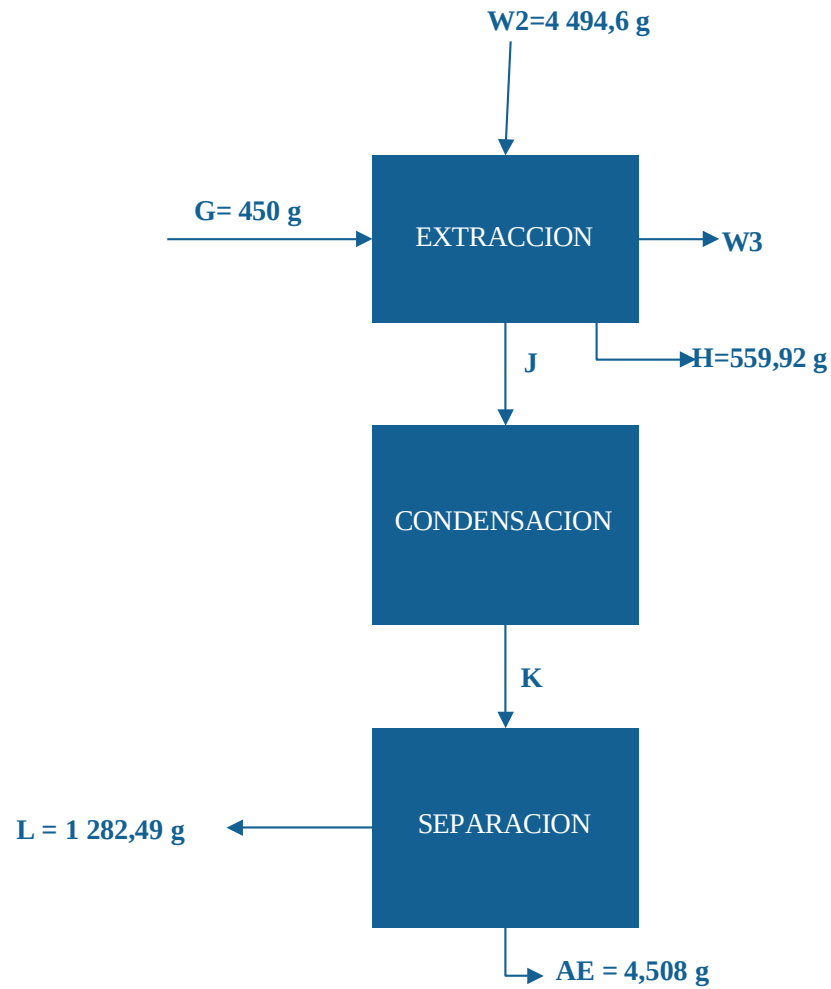
En la entrada de la torre de destilación se introducen 4,5 litros de agua y 450g de hoja de eucalipto seca (%H=7,75%).

Con la densidad del agua, calculamos la masa de ingreso del agua:

$$W2 = \rho_w * V_w$$

$$W2 = 0,9988 \frac{g}{ml} * 4500 \text{ ml}$$

$$W2 = 4494,6 \text{ g}$$



Del balance general calculamos $W3$:

$$W2 + G = H + W3 + L + AE$$

Ec. 3-10

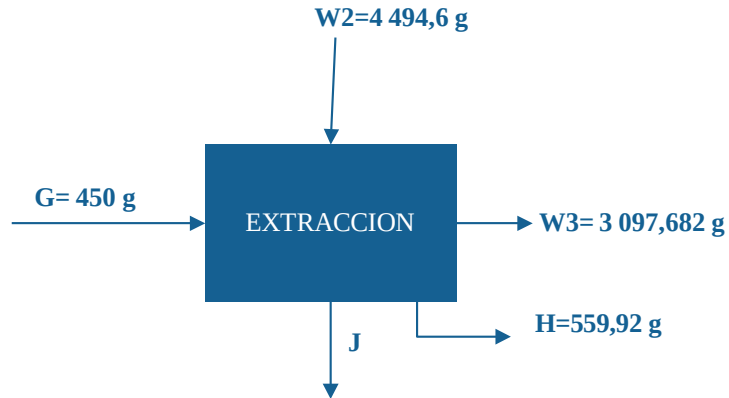
$$W3 = W2 + G - H - L - AE$$

$$W3 = 4\,494,6\text{g} + 450\text{g} - 559,92\text{g} - 1\,282,49\text{g} - 4,508\text{g}$$

$$\mathbf{W3 = 3\,097,682g}$$

- **Balance de materia en la etapa de extracción**

Figura 3-3 Balance de materia en la etapa de extracción



Fuente: Elaboración propia, 2021

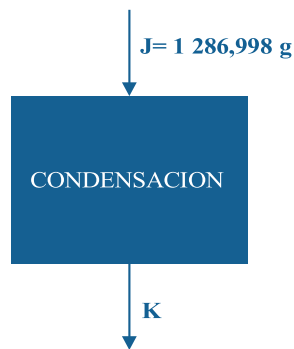
$$G + W2 = H + J + W3$$

$$J = G + W2 - H - W3$$

$$J = 450g + 4\,494,6g - 559,92g - 3\,097,682g$$

$$J = 1\,286,998g$$

- **Balance de materia en la etapa de condensación**

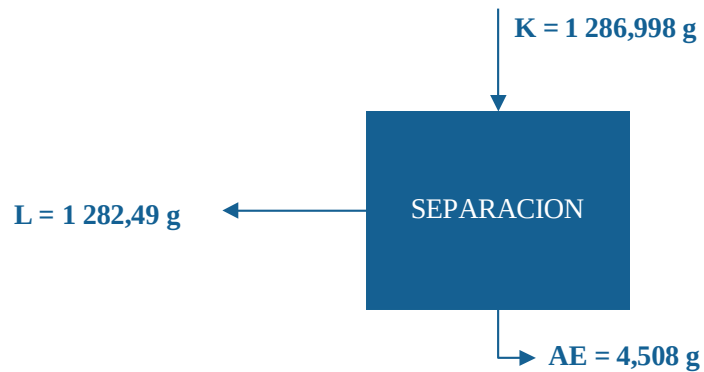


En la etapa de condensación no se gana ni se pierde masa, por tanto, la cantidad de J es igual a la de K, dando cumplimiento a la ley de la conservación de la materia:

$$J = K$$

$$K = 1\,286,998g$$

- **Balance de materia en la etapa de separación**



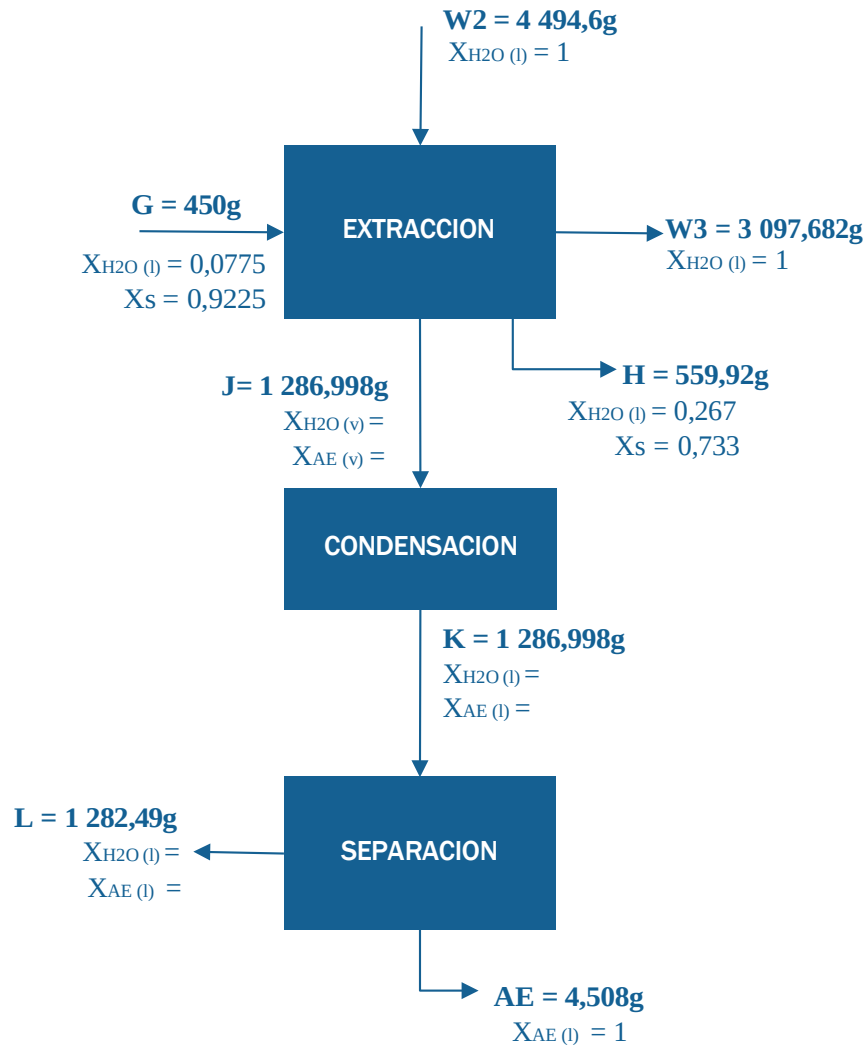
$$K = AE + L$$

$$L = 1\,286,998\text{g} - 4,508\text{g}$$

$$L = 1\,282,49\text{ g}$$

- **Balance de líquidos, sólidos y vapores en las corrientes**

La corriente H es la cantidad de residuo de hojas agotadas después de la extracción, Esta masa de hojas sale con un porcentaje de agua por la rehidratación que sufren en el proceso.



El cálculo de la fracción de agua contenida en las hojas de eucalipto residuales (corriente H), se determina mediante un análisis de humedad en el secador infrarrojo, el cual muestra un resultado de 26,7%.

$$X_{H_2O(l)} = 0,267$$

Entonces, la fracción sólida en la corriente H será:

$$X_S = 1 - X_{H_2O}$$

$$X_S = 1 - 0,267$$

$$X_S = 0,733$$

Balance parcial de Agua en la etapa de extracción

$$G+W_2=W_3+H+J$$

$$(G \cdot X_{H_2O(l)}) + (W_2 \cdot X_{H_2O(l)}) = (W_3 \cdot X_{H_2O(l)}) + (H \cdot X_{H_2O(l)}) + (J \cdot X_{H_2O(v)})$$

$$(J \cdot X_{H_2O(v)}) = (G \cdot X_{H_2O(l)}) + (W_2 \cdot X_{H_2O(l)}) - (W_3 \cdot X_{H_2O(l)}) - (H \cdot X_{H_2O(l)})$$

$$(1\,286,998g \cdot X_{H_2O(v)}) = (450g \cdot 0,0775) + (4\,494,6g \cdot 1) - (3\,097,682g \cdot 1) - (559,92g \cdot 0,267)$$

$$X_{H_2O(v)} = \frac{1\,282,294g}{1\,286,998g}$$

$$X_{H_2O(v)} = 0,9963$$

Así, la fracción de aceite esencial (vapor) en la corriente J se determina con la diferencia de fracciones:

$$X_{AE(v)} = 1 - X_{H_2O(v)}$$

$$X_{AE(v)} = 1 - 0,9963$$

$$X_{AE(v)} = 3,655 \cdot 10^{-3}$$

Balance de X_{AE} en la etapa de separación

La fracción de aceite esencial que se pierde en la etapa de separación correspondiente a la corriente L se determina:

$$K=L+AE$$

$$(K \cdot X_{AE(l)}) = (L \cdot X_{AE(l)}) + (AE \cdot X_{AE(l)})$$

$$(L \cdot X_{AE(l)}) = (K \cdot X_{AE(l)}) - (AE \cdot X_{AE(l)})$$

$$(1\,282,49g \cdot X_{AE(l)}) = (1\,286,998g \cdot 3,655 \cdot 10^{-3}) - (4,508g \cdot 1)$$

$$(1\,282,49g \cdot X_{AE(l)}) = 0,196g$$

$$X_{AE(l)} = 1,528 \cdot 10^{-4}$$

Por lo tanto, $X_{H_2O(l)}$ será:

$$X_{H_2O(l)} = 1 - X_{AE(l)}$$

$$X_{\text{H}_2\text{O(l)}} = 1 - 1,528 \cdot 10^{-4}$$

$$X_{\text{H}_2\text{O(l)}} = 0,9998$$

- **Flujo de vapor generada en la torre de destilación**

La masa de agua para la generación de vapor en la torre de destilación se determina a continuación:

$$W_2 = W_v + W_3$$

$$W_v = W_2 - W_3$$

$$W_v = 4\,494,6\text{g} - 3\,097,682\text{g}$$

$$W_v = 1\,396,918\text{g} = 1,4\text{ kg}$$

Donde:

W_2 = Masa inicial de agua colocada en el fondo de la torre de destilación.

W_3 = Masa residual de agua en la torre de destilación.

W_v = Masa de vapor generada

El flujo de vapor se calcula considerando un tiempo de extracción de 4 800 s (80 min).

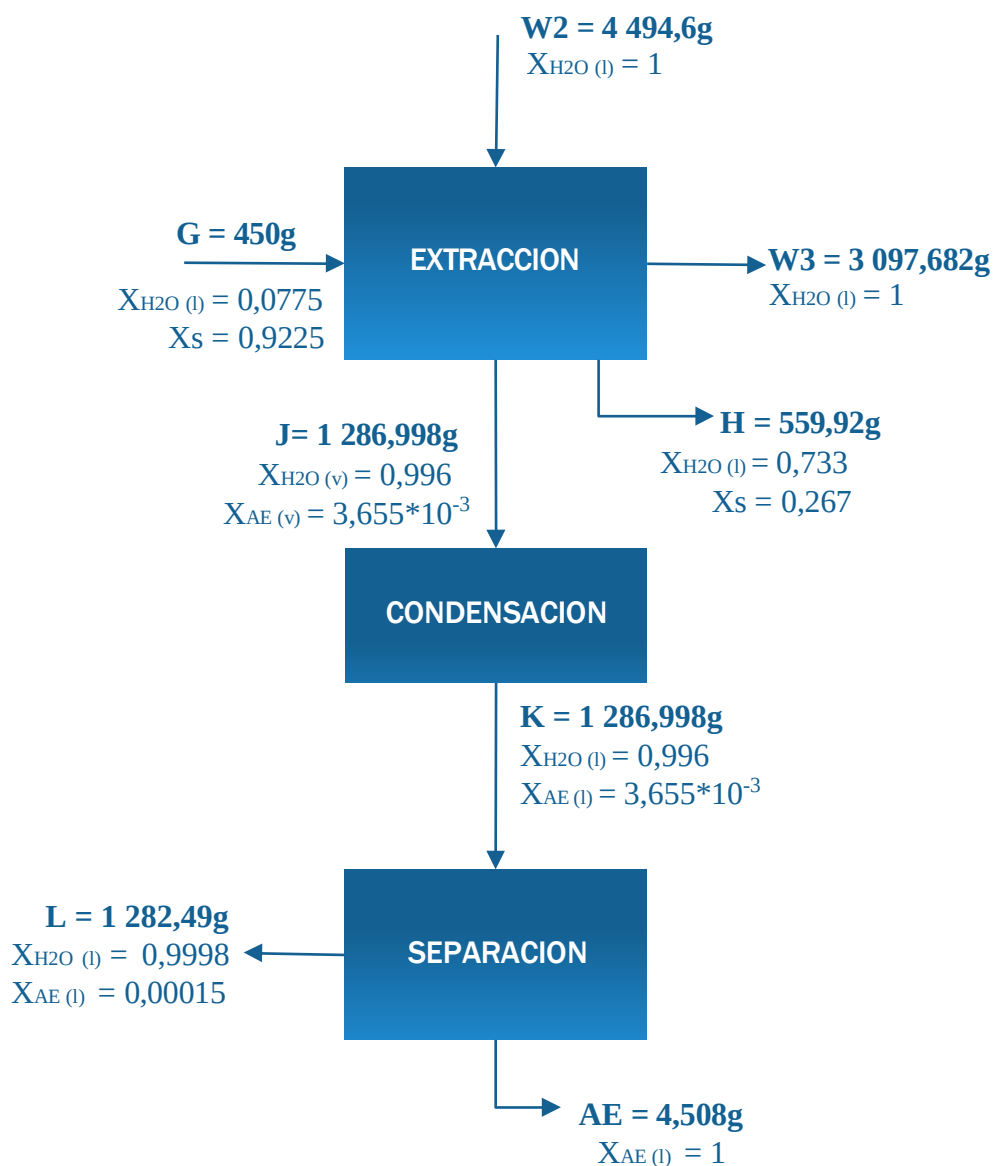
$$F_v = \frac{W_v}{t_e}$$

$$F_v = \frac{1,4\text{ kg}}{4\,800\text{ s}}$$

$$F_v = 2,92 \times 10^{-4}\text{ kg/s}$$

3.4.1.3. Resumen del balance de materia.

En la extracción por arrastre de vapor, el aceite esencial cambia de estado, de líquido contenido en la hoja a vapor debido a su bajo punto de ebullición. Una vez que el vapor de agua se mezcla con el aceite esencial, ambos se dirigen a un sistema de condensación. Aquí es donde ocurre el cambio de estado de vapor a líquido. Cuando el vapor de agua $X_{H_2O(V)}$ y el aceite esencial $X_{AE(V)}$ alcanzan una zona más fría en el condensador, el vapor de $X_{AE(V)}$ y $X_{H_2O(V)}$ se enfría, lo que provoca su condensación, cambio de estado de gas a líquido $X_{AE(l)}$ y $X_{H_2O(l)}$ respectivamente.



3.4.2. Balance de energía.

Se desarrollan tres etapas generales para realizar la extracción de aceite esencial de eucalipto, etapa de calentamiento, generación de vapor y de condensación.

Se debe lograr la generación de vapor por lo que es necesario llegar al punto de ebullición del agua dentro de la torre, esto lo realizamos empleando una hornalla con conexión a una garrafa con gas.

3.4.2.1. Balance de energía en la torre de destilación.

- **Etapas de calentamiento.**

En esta etapa se tiene calor sensible porque se produce solo cambio de temperatura, más no existe cambio de fase.

$$Q_s = m_{\text{agua introducida}} * C_{p\text{Agua}} * (\Delta T)$$

Ec. 3-11

$$Q_s = 4,495 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (92^\circ - 16^\circ)$$

$$Q_s = 341,62 \text{ kcal}$$

Donde:

Q_s = Calor sensible

$m_{\text{agua introducida}}$ = Masa de agua introducida a la torre de destilación

C_p = Calor específico del agua $1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$

T_2 = Temperatura de ebullición

T_3 = Temperatura inicial del agua

Potencia térmica de la hornilla de la cocinilla

La potencia térmica de la hornilla de la cocinilla conectada a una garrafa de GLP utilizada, se determina a partir de la masa de gas de la garrafa suministrada a la torre de destilación en un intervalo de tiempo.

Según la fórmula del caudal nominal, calculamos la potencia de la hornilla.

$$F_{GLP} = \frac{P}{P_c} \quad \text{Ec. 3-12}$$

Donde:

F_{GLP} = Caudal nominal del gas suministrado

P = Potencia nominal de la hornilla

PC = Poder calorífico del GLP

Con la variación de masa de GLP suministrado se determina el caudal F_{GLP} .

Realizando las mediciones de la masa de gas en la balanza se determinó que en 80 minutos se consumen 0,07 kg de GLP.

$$F_{GLP} = \frac{M_{GLP}}{t}$$

Ec. 3-13

$$F_{GLP} = \frac{0,07 \text{ kg}}{1,2 \text{ h}}$$

$$F_{GLP} = 0,058 \text{ kg/h}$$

Reemplazando en la ecuación 3-12, determinamos la potencia de la hornilla de la cocinilla:

$$P = F_{GLP} * PC$$

$$P = 0,058 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 11\,867 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$P = 692,24 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Determinación del calor

Determinación del calor latente durante la generación de vapor en la extracción:

$$Q_{lat} = P * t_{ext}$$

$$Q_{lat} = 692,24 \frac{kcal}{h} * 1,2 h$$

$$Q_{lat} = 830,688 kcal$$

Calor total requerido para la extracción

$$Q_{Total} = Q_S + Q_{lat}$$

$$Q_{Total} = 341,62kcal + 830,688kcal$$

$$Q_{Total} = 1\,172,308kcal$$

Se determina el calor latente de vaporización del agua a 92°C.

$$\lambda_{vap} = \frac{Q_{vap}}{M_{vap}}$$

$$\lambda_{vap} = \frac{830,688kcal}{1,4 kg}$$

$$\lambda_{vap} = 593,35 kcal/kg$$

3.4.2.2. Balance de energía en la condensación

En la etapa de condensación se produce transferencia de calor entre el líquido refrigerante (agua) y la mezcla de vapores (aceite esencial y agua).

La mezcla de vapores cede calor al agua.

El calor cedido se debe a que el vapor se pone en contacto con el agua refrigerante, elevando su temperatura.

- **Caudal del agua refrigerante**

$$Fvol = \frac{V}{t}$$

$$Fvol = \frac{700ml}{8,57 s}$$

$$Fvol = 81,66 ml/s$$

- **Cantidad de agua de refrigerante**

El volumen de agua refrigerante se calcula en función al tiempo de extracción.

$$V_{Agua\ ref} = F_{vol} * t_{ext}$$

$$V_{Agua\ ref} = 81,66 \frac{ml}{s} * 1,2h * \frac{3600s}{1h}$$

$$V_{Agua\ ref} = 352\ 809,7\ ml = 352,80\ l$$

La masa de agua del refrigerante se calcula a partir del volumen y la densidad.

$$M_{Agua\ ref} = V_{Agua\ ref} * \rho_{Agua}$$

$$M_{Agua\ ref} = 352\ 809,7\ ml * 0,9988 \frac{g}{ml}$$

$$M_{Agua\ ref} = 352\ 386,4\ g = 352,39\ kg$$

- **Calor cedido**

La mezcla de vapores de agua y aceite esencial ceden calor al agua refrigerante, esto se determina a partir de la ecuación:

$$Q_{ced} = Q_{lat} + Q_s$$

$$Q_{ced} = M_{vap} * \lambda_{vap} + M_{vap} * Cp * (T_{cond} - T_{vap})$$

$$Q_{ced} = 1,4\ kg * 593,35 \frac{kcal}{kg} + 1,4\ kg * 1 \frac{kcal}{kg^{\circ}C} * (19 - 92)^{\circ}C$$

$$Q_{ced} = 728,49\ kcal$$

- **Calor ganado**

El agua refrigerante gana el calor cedido por la mezcla de vapores, al no existir cambio de fase se produce solamente el calor sensible.

$$Q_{ganado} = M_{AguaRef} * Cp * (T_{sal} - T_{ent})$$

$$Q_{ganado} = 352,39 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (18 - 16)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{ganado} = 704,78 \text{kcal}$$

• **Porcentaje de transferencia**

$$\%Transferencia \text{ de calor} = \frac{Q_{Ganado}}{Q_{Cedido}} * 100$$

$$\%Transferencia \text{ de calor} = \frac{704,78 \text{ kcal}}{728,49 \text{kcal}} * 100$$

$$\%Transferencia \text{ de calor} = 96,74\%$$

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación y los resultados obtenidos de la experimentación concluimos:

- Cumpliendo con el objetivo general del proyecto de investigación se procede a la extracción del aceite esencial de la hoja eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) proveniente de la comunidad de Juntas en la ciudad de Tarija, mediante el método de arrastre de vapor.
- La caracterización taxonómica de la materia prima empleada en este proyecto de investigación se basa al herbario de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, la cual pertenece a la clase *Eucalyptus sp.*
- Para realizar la extracción de aceite esencial, es necesario secar la materia prima, misma que mediante un secado natural por el lapso de 10 días contiene un 7,75% de humedad según lo determinado en el secador infrarrojo.
- La fase experimental se define tomando como pasos previos al proceso de extracción del aceite esencial al pretratamiento de la materia prima, desde la recolección, selección, limpieza y secado.
- Para el proceso de extracción del aceite esencial de la hoja de eucalipto empleamos el modelo 2^k tomando niveles máximos y mínimos, con tres factores.

Las variables de operación definidas, son la masa medida en gramos, el tiempo en minutos y el tamaño de la partícula medida en centímetro.

Se estudian masas de 300 y 450 g con tiempos de 60 y 80 min a tamaños de 1,3 y 3 cm.

- De acuerdo al diseño planteado, el mayor rendimiento de aceite esencial de eucalipto se dio empleando la mayor masa (450g) en un tiempo de extracción de 80min y tamaño de la partícula menor (1,3cm).

De este análisis se concluye que el menor tamaño de la hoja permite un mayor contacto de área entre la hoja y el vapor de agua.

- Según el análisis estadístico del diseño factorial, las variables principales masa, tamaño de la partícula y el tiempo son factores significativos además de la relación entre la masa y el tiempo, para un intervalo de confianza del 95%.
- El rendimiento de aceite esencial de eucalipto obtenido en el proceso de extracción es de 1%, el cual tiene similitud con algunos autores, sin embargo, hay discrepancia con otros que obtuvieron mayores resultados, esto se debe a las diferentes condiciones de trabajo y otros factores influyentes (clima, zona, altitud, etc).
- El aceite esencial presenta un olor característico e intenso, el color que se observa es amarillo.
- Los parámetros fisicoquímicos del aceite esencial de eucalipto extraído indican una densidad relativa de 0,92 g/ml, un índice de refracción de 1,4739. Los datos referenciales de bibliografía tienen similitud.
- La calidad del aceite esencial se determinó con el perfil cromatográfico de gases, el cual muestra una del componente 1,8 cineol con 79%, parámetro aceptable comparado con datos bibliográficos. Este componente da las características de olor tanto abundancia a la hoja de eucalipto como al aceite esencial.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda estudiar otras variables o factores que afectan el rendimiento y producción del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*), tomando en cuenta factores climatológicos y cuidados de pretratamiento.
- Se recomienda tomar en cuenta la humedad de la materia prima para realizar el proceso de extracción, así como el secado previo de la misma, pues es un factor influyente en el proceso de extracción.
- Por el desperdicio de agua del refrigerante en el proceso de condensación es recomendable realizar el diseño de un sistema de recirculación del agua con una torre de enfriamiento, para dar las condiciones de temperatura al agua recirculada.
- Tomando en cuenta los múltiples beneficios del Aceite esencial de Eucalipto (*Eucalyptus Globulus*), en la salud coadyuvando contra las infecciones respiratorias, y tomando en cuenta que en nuestro departamento actualmente no se realiza la extracción de este aceite esencial de forma industrial se recomienda el diseño de una planta de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) ya que esta sería de gran beneficio para la sociedad en conjunto.
- Debido a los múltiples beneficios y aplicaciones del aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus Globulus*), se recomienda realizar estudios para la generación de productos derivados de dicho aceite ya que se puede elaborar productos en áreas como: cosmética, medicina, alimenticia y fungicida a partir de los hidrolatos.