

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades de la Materia Prima

1.1.1. Origen del Laurel

El laurel es un árbol que procede de la cuenca del Mediterráneo y Asia Menor, habiéndose plantado desde la antigüedad, por lo que su área natural está poco definida. Es un árbol que aparece consagrado al dios Apolo (rey de la sabiduría y del heroísmo) y con él se coronaban a los emperadores romanos como símbolo de la gloria y del triunfo. En la antigua Grecia también se coronaban con laurel a los vencedores en los juegos deportivos (olimpiadas) y se consideraba que significaba victoria. (Mitchell, 1992)

1.1.2. Descripción y Características Del Laurel

Figura. 1-1: Laurus Nobilis



El laurel un arbusto o árbol perenne perteneciente a la familia de las lauráceas, a la que da nombre, es un árbol muy ornamental de hojas perennes, alternas, coriáceas, ahusadas, divididas claramente por un nervio central, son de color verde oscuro y brillante por el haz y más claro por el envés. Las flores son blancas o amarillentas y

se agrupan en las axilas foliares (donde las hojas se unen al tallo). El fruto parece una aceituna pequeña y es de color negro. Al romper las hojas, despiden un fragante y característico aroma, muy agradable. (Murcia, 2008)

Es una planta aromática perenne, de porte arbustivo y clima templado, que puede alcanzar los 12 o más metros de altura. Es un condimento culinario muy popular en la cocina Boliviana. Sus hojas se emplean frescas o secas. Su fruto es una baya parecida a una aceituna negra que lleva una semilla y madura en otoño. Tiene muchas propiedades beneficiosas para el organismo de ahí sus múltiples aplicaciones porque es una planta rica en aceites esenciales, es expectorante y digestivo, puede usarse para perfumar el ambiente o guardado en bolsitas dentro de los armarios aleja las polillas. (Vicente, 2017)

Tabla I-1: Composición de la hoja de laurel por cada 100 gr

Energía (Kcal)	300	Magnesio (mg)	120
Proteínas (g)	7,6	Zinc (mg)	3,7
Lipios Totales(g)	8,4	Sodio (mg)	23
AG saturaos (g)	-	Potasio (mg)	530
AG monoinsaturados (g)	-	Fosforo (mg)	110
AG polisaturados (g)	-	Selenio (µg)	2,8
w-3 (g)*	-	Tiamina (mg)	0,01
C18:2 Linoleico (w-6) (g)	-	Riboflamina (mg)	0,42
Colesterol (mg/1000 kcal)	0	Equivalentes niacina (mg)	3,9
Hidratos de Carbono (g)	48,6	Vitamina B ₆ (mg)	-
Fibra (g)	-	Folatos (µg)	0
Agua (g)	35,4	Vitamina B ₁₂ (µg)	0
Calcio (mg)	830	Vitaminas C (mg)	0
Hierro (mg)	43	Vitamina A: Eq.Retinol	618
Yodo (µg)	-	Vitamina (µg)	0
Magnesio (mg)	120	Vitamina E (mg)	-

Moreiras, 2013

1.1.3. Composición del Laurel

Las hojas de Laurel contienen un aceite esencial cuyos principales componentes son el cineol y el linalol. También se encuentran diversos ácidos orgánicos, ácidos grasos insaturados, sustancias de acción anti oxidante y bactericida y minerales tales como manganeso, calcio, potasio y magnesio. (Pinto & Alfredo, 2013)

1.2. Generalidades de los Aceites Esenciales

1.2.1. Aceites Esenciales

Los aceites esenciales son las fracciones líquidas volátiles, generalmente destilables por arrastre con vapor de agua, que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas y que son importantes en la industria cosmética (perfumes y aromatizantes), de alimentos (condimentos y saborizantes) y farmacéutica (saborizantes). (Martinez, 2013)

1.2.2. Clasificación

Los aceites esenciales se clasifican con base en diferentes criterios: consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios. (Martínez M.2003)

1.2.2.1. Clasificación por su Consistencia.

De acuerdo con su consistencia los aceites esenciales se clasifican en esencias fluidas, bálsamos y oleorresinas.

Las esencias fluídas son líquidos volátiles a temperatura ambiente.

Los Bálsamos son de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización,

Las Oleorresinas tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas (caucho, gutapercha,

chicle, balata, oleorresina de paprika, de pimienta negra, de clavero, etc.) (Rodríguez, Alcaraz, & Real, 2012)

1.2.2.2. Clasificación por su Origen.

De acuerdo a su origen los aceites esenciales se clasifican como naturales, artificiales y sintéticos. Los naturales se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas. 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 enriquecidas con linalool, o la esencia de anís enriquecida con anetol. Los aceites esenciales sintéticos como su nombre lo indica son los producidos por la combinación de sus componentes los cuales son la mayoría de las veces producidos por procesos de síntesis química. Estos son más económicos y por lo tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes (esencias de vainilla, limón, fresa, etc.). (Rodríguez, Alcaraz, & Real, 2012)

1.2.2.3. Clasificación según la naturaleza química de los componentes mayoritarios.

De acuerdo con el tipo de sustancias que son los componentes mayoritarios. Según esto los aceites esenciales ricos en monoterpenos se denominan aceites esenciales monoterpenoides (p.ej. hierbabuena, albahaca, salvia, etc.). Los ricos en sesquiterpenos son los aceites esenciales sesquiterpenoides (p.ej. copaiba, pino, junípero, etc.). Los ricos en fenilpropanos son los aceites esenciales fenilpropanoides (p.ej. clavo, canela, anís, etc.).

1.2.3. Composición Química de los Aceites Esenciales

Los aceites esenciales contienen principalmente compuestos orgánicos líquidos, los cuales son más o menos volátiles. Su composición química es (Piedrasanta, 1999):

a) Ésteres: principalmente de ácido benzoico, acético, salicílico y cinámico.

- b) Aldehídos: citral, citronelal, benzaldehído, cinamaldehído, aldehído cumínico, vainilla.
- c) Ácidos: benzoico, cinámico, mirístico, isovalérico; los que se encuentran en estado libre.
- d) Fenoles: eugenol, timol, carvacrol.
- e) Cetonas: carvona, mentona, pulegona, irona, fenchona, tujona, alcanfor, metilnonil cetona, metil heptenona.
- f) Éteres: cineol, éter internoo eucaliptol, anetol, safrol.
- g) Lactonas: cumarina
- h) Terpenos: canfeno, pineno, limoneno, felandreno y credeno.

Tabla I-2: Grupos Funcionales de cada categoría

Compuesto	Grupo funcional	Ejemplo	Propiedades
Alcohol	$\begin{array}{c} \\ -C-OH \\ \end{array}$	Mentol, geraniol	Antimicrobiano, antiséptico, tonificante, espasmolítico
Aldehído	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-H \end{array}$	Citral, citronelal	Espasmolítico, sedante, antiviral
Cetona	$\begin{array}{c} O \\ \\ R_1-C-R_2 \end{array}$	Alcanfor, tujona	Mucolítico, regenerador celular, neurotóxico
Éster	$\begin{array}{c} O \\ // \\ R_1-C \\ \backslash \\ O-R_2 \end{array}$	Metil salicilato	Espasmolítico, sedativo, antifúngico
Éteres	$-C-O-C-$	Cineol, ascaridol	Expectorante, estimulante
Éter fenólico	Anillo - O - C	Safrol, anetol, miristicina	diurético, carminativo, estomacal, expectorante
Fenol		Timol, eugenol, carvacrol	Antimicrobiano Irritante Estimulante inmunológico
Hidrocarburo	Sólo contiene C y H	Pineno, limoneno	Estimulante descongestionante antivírico, antitumoral

Fuente: Uso industrial de plantas aromáticas y medicinales.

Los Aceites Esenciales se encuentran muy difundidos en el reino vegetal, de las 295 familias de plantas, de 60 a 80 producen Aceites Esenciales, entre las cuales 38 crecen en los trópicos, 8 en los climas templados y tropicales, 17 en clima templado y 24 familias de plantas habitan en diferentes climas. Los Aceites Esenciales se obtienen tanto de plantas cultivadas como de plantas silvestres. Las principales plantas que contienen Aceites Esenciales, se encuentran en las fanerógamas distribuidas en unas sesenta familias como: compuestas, labiadas, lauráceas, mirtáceas, rosáceas, rutáceas, umbelíferas, pináceas. La cantidad y composición del aceite esencial varía de una especie a otra y dentro de los mismos géneros de la planta. (Montoya, 2010)

Los Aceites Esenciales, se encuentran en la planta entera o en diferentes partes de la planta, como se muestra a continuación en forma gráfica:

Figura. 1-2: Partes de las plantas en las que se encuentran los aceites esenciales



Fuente: (Montoya, 2010)

1.2.4. Usos Aplicaciones y Beneficios de los Aceites Esenciales

El consumo de aceites esenciales en la industria es muy variado y se emplean como aromatizantes, ambientadores y artículos de limpieza. Se emplean en la elaboración de jabones, champús, licores, cremas, desodorantes y hasta alimentos. (Montoya, 2010)

Tabla I-3: Industrias que usan productos aromáticos naturales y aceites esenciales:

Industrias	Aplicaciones.
Alimenticia	Salsas, condimentos, bebidas refrescantes, alimentos procesados y enlatados
Cosmética	Perfumes, dentífricos, cremas, lociones.
Licorera	Aperitivos y saborizantes.
Farmacéutica	Veterinaria, antisépticos, analgésicos, aromaterapia y homeopatía.
Uso doméstico	Desodorantes, desinfectantes del ambiente y jabones.
Agroquímica	Bioinsecticidas y aleoquímicos
Textil	Elaboración de enmascaradores de olores y tratamiento con mordientes después del teñido.
Petroquímica y Minería	Utiliza esencias no terpenos derivados de ellas como vehículos flotantes y lubricantes.
Pinturas	Enmascaradores de olores, disolvente biodegradable
Química Fina	Precursores químicos, por ejemplo citral, safrol, trementina.

Fuente: (Diaz, 2017)

Aceite esencial de laurel

Es un aceite que se obtiene de las hojas del árbol de laurel mediante un proceso de destilación por vapor. Es un aceite muy masculino de aroma fuerte y picante, algunos incluso llegan a confundir su aroma con el de aceite de clavo. Su color es amarillo.

Se compone en su mayor parte de cineol, en una proporción aproximada de 4% (en las hojas secas), el cineol es el principal componente químico de la esencia del eucalipto (aceite esencial de eucalipto).

Es altamente eficaz contra los males respiratorios (alrededor del 50%), con cantidades variables de linalol y en menor proporción esterificado, pineno, ácidos orgánicos (acéticos, isobutíco, valeriánico) en parte también libres, y en partes, esterificado; terpineno, un sesquiterpereno y un alcohol sesquiterpénico, etc.

1.2.5. Propiedades Organolépticas

Tabla I-4: Propiedades Organolépticas del Aceite de Laurel

Propiedad	Características
Olor	Aroma fuerte y picante
Color	Amarillo
Aspecto	Líquido Limpio

Fuente: (Mañé, 1949)

AZ>. (Rodas, 2012)

1.2.6. Componentes Principales del Aceite de Laurel

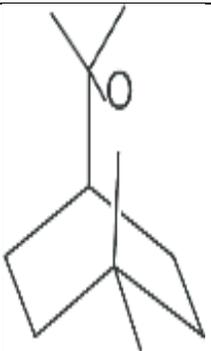
Se compone en su mayor parte de cineol con cantidades variables de linalol y en menor proporción esterificado, pineno, ácidos orgánicos (acéticos, isobutíco, valeriánico) en parte también libres, y en partes, esterificado; terpineno, un sesquiterpereno y un alcohol sesquiterpénico, etc

1.2.7. Cineol

El cineol (eucalyptol) es un terpeno aromático presente en múltiples variedades de plantas, a las que aporta algunos olores maravillosos. Esta sustancia ha sido estudiada en profundidad y se ha mostrado que ofrece propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias y antibacterianas.

Es un líquido transparente e incoloro. Olor: Característico. Inmiscible en agua y miscible en éter, etanol y cloroformo. Presente en el aceite esencial de laurel en un porcentaje de 44,16 %

Tabla I-4: Propiedades físicas del cineol

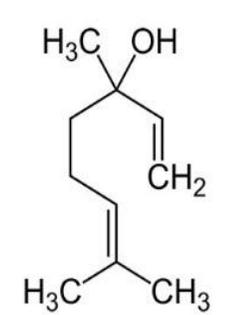
Propiedades Físicas del Cineol	Valor	Unidad	Estructura Molecular	Formula
Punto de Ebullición	177	°C		C ₁₀ H ₁₈ O
Densidad	0,92	g/ml		

Fuente: Chemicalbook, 2016

1.2.8. Linalol

Linalool es un terpeno con un grupo alcohol cuya forma natural es común en muchas flores y plantas aromáticas. Su olor floral con un toque mentolado le ha conferido cierto valor para su uso en productos aromáticos

Tabla I-5: Propiedades físicas del linalol

Propiedades Físicas del linalol	Valor	Unidad	Estructura Molecular	Formula
Punto de Ebullición	198.6	°C		C ₁₀ H ₁₈ O
Densidad	0.858	g/ml		

Fuente: Chemicalbook, 2016

1.3. Proceso de Extracción de Aceites Esenciales.

Según la variedad del material vegetal, parte de la planta a emplear y estabilidad del aceite esencial que se pretenda obtener, se emplean diversos procedimientos físicos y químicos de extracción, donde su correcta aplicación será lo que determine la calidad del producto final. De esta manera se puede clasificar en métodos directos, destilación y extracción con solventes. (SENA, 2000)

Tabla I-6: Clasificación de los procesos de extracción de aceites esenciales

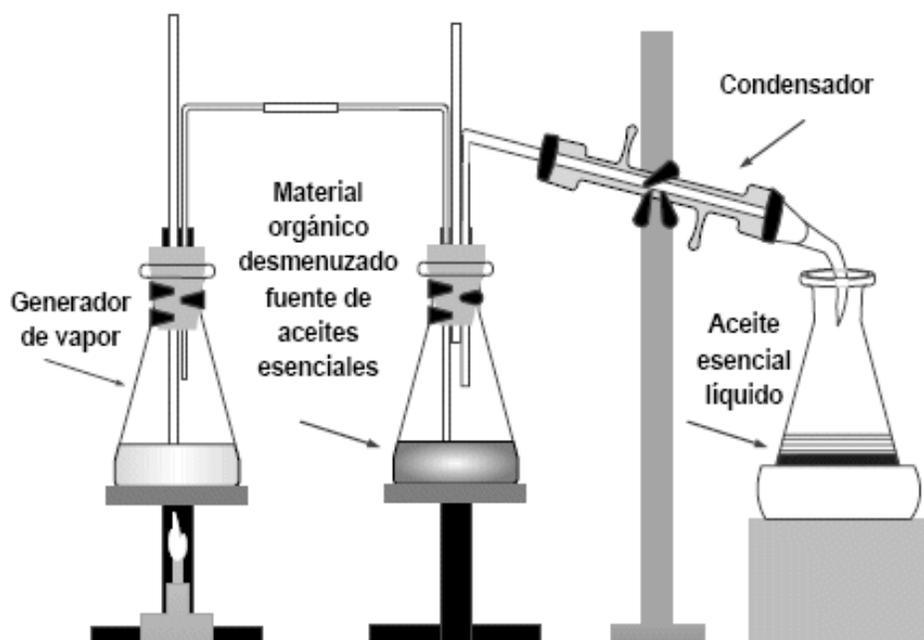
TIPO DE METODO	PROCEDIMIENTO	PRODUCTOS OBTENIDOS
a) Métodos Directos	Extrusión	Aceites Esenciales Cítricos
	Exudación	Resinas
b) Destilación	Arrastre con Vapor de Agua	Aceites Esenciales
	Destilación	
	Maceración	
c) Extracción con solventes	Solventes Volátiles	Aceites Esenciales
	Solventes Fijos (Grasas y Aceites)	Aceites Esenciales

Fuente; (SENA, 2000)

1.3.1. Destilación por arrastre de vapor

La destilación es un proceso físico de separación que usa el calentamiento de materiales líquidos hasta el punto donde uno o varios de sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriando este vapor, se pueden separar componentes líquidos a través de la condensación. (Balboa, 2016)

Figura. 1-3: Equipo de destilación por arrastre de Vapor a escala de laboratorio

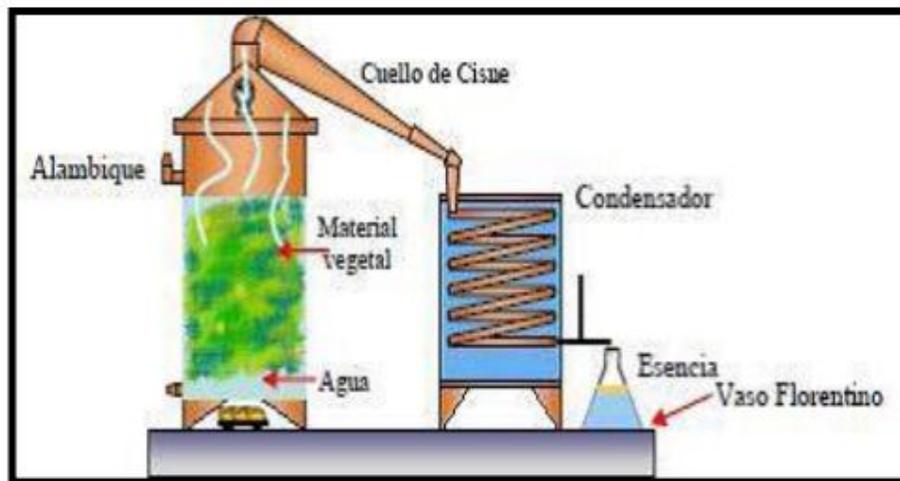


Fuente: (Balboa, 2016)

La destilación por arrastre de vapor puede realizarse de tres formas distintas y son comúnmente conocidas como: hidrodestilación simple o destilación con agua; destilación con vapor saturado o destilación con agua y vapor y destilación con vapor seco o sobrecalentado. Delgado, M. (2016)

1.3.1.1. Hidrodestilación Simple o Destilación con Agua

Figura. 1-4: Hidrodestilación Simple o Destilación con Agua



Fuente: Márquez (D., 2011)

En este método, el material está completamente sumergido en agua, el cual es hervido aplicando calor por fuego directo, camisa de vapor, camisa de vapor cerrada, serpentín de vapor cerrado o serpentín de vapor abierto. La característica principal de este proceso es que hay contacto directo entre agua hirviendo y material de la planta aromática a extraer. (Cardenas, 2014)

Ventajas

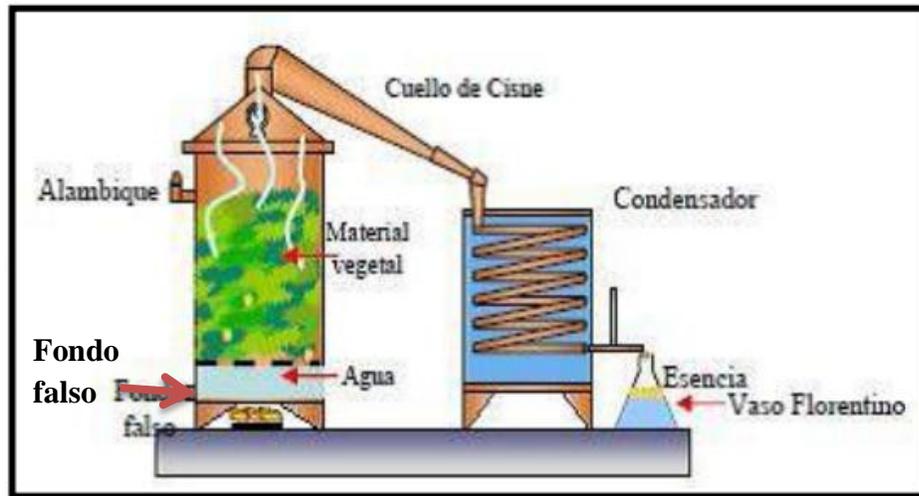
- ✓ Es de infraestructura económica.
- ✓ Configuración Simple
- ✓ Es un método muy utilizado en extracción de aceites esenciales

Desventajas

- ✓ La hidrodestilación es un proceso más lento que cualquier otro tipo de destilación con vapor de agua
- ✓ Si se llega a sobrecalentar se puede quemar la materia prima.

1.3.1.2. Destilación con Vapor Saturado o Destilación Con Agua y Vapor

Figura. 1-5: Destilación Con Agua y Vapor



Fuente: Márquez D, 2011

En la destilación con vapor directo o vapor húmedo, el vapor puede ser generado ya sea en una caldera externa o dentro del destilador, aunque está separada del material de la planta aromática a procesar. Es ampliamente usado al igual que la hidrodestilación. Además, no ocasiona mucho gasto de capital que la hidrodestilación. También, el equipo usado es generalmente similar al que se usa en la hidrodestilación, pero el material de la planta es soportado por encima del agua hirviendo con una rejilla perforada. (Cardenas, 2014)

Ventajas

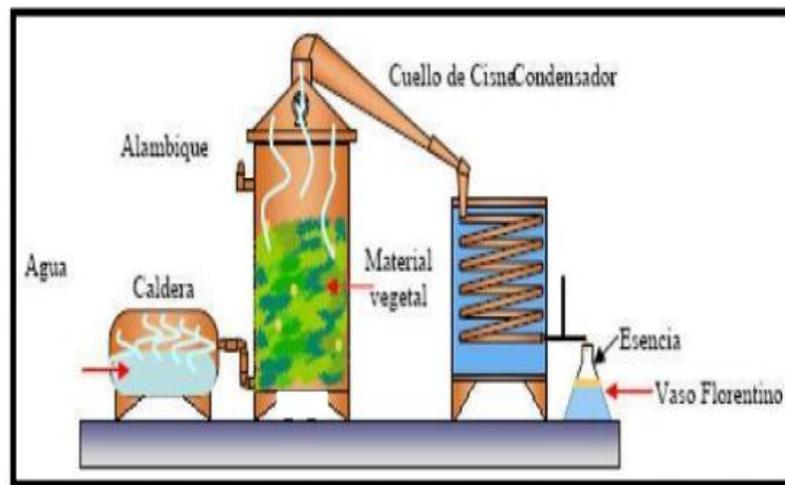
- ✓ La destilación con vapor directo es más rápida que la hidrodestilación, es más eficiente energéticamente.
- ✓ Configuración Simple
- ✓ Infraestructura económica

Desventajas

- ✓ Exceso de temperatura de vapor puede degradar la calidad de aceite esencial.
- ✓ Riesgo de que la extracción no llegue a completarse.

1.3.1.3. Destilación con Vapor Seco o Sobrecalentado

Figura. 1-6: Vapor seco o sobrecalentado



Fuente: Márquez D., 2011.

La destilación con vapor seco es una operación unitaria de extracción de aceite esencial del material aromático con vapor generado fuera del destilador en un generador del vapor externo generalmente llamado "caldera". Como en la destilación con vapor húmedo, el material de la planta es soportado en una cuadrícula agujereada por encima de la entrada del vapor. Una ventaja real de generación del vapor externo es que la cantidad de vapor puede controlarse fácilmente. Como el vapor es generado en una caldera externa, el material de la planta no es calentado por encima de 100 oc, consecuentemente, no debería experimentar degradación térmica. La destilación con vapor seco es un proceso ampliamente aceptado para la producción de aceites esenciales. (Cardenas, 2014)

Ventajas

- ✓ La cantidad de vapor puede controlarse fácilmente.
- ✓ No hay descomposición térmica de componentes de aceite.
- ✓ Aceite esencial Puro
- ✓ Tiempo de extracción más puro

Desventajas

- ✓ Su infraestructura es costosa.
- ✓ Las temperaturas altas pueden causar hidrólisis de los esteres y la polimerización de terpenos presentes en los aceites esenciales.

1.3.2. Selección del Método a Utilizar

Tabla I-7: Comparación de Métodos

Método	Ventajas	Desventajas
Hidrodestilación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Configuración simple y económica. ▪ Método ampliamente utilizado en extracción de aceites esenciales. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El sobrecalentamiento puede quemar el material vegetal, produciendo un aceite de baja calidad ▪ Es un proceso lento
Destilación agua-vapor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La destilación con vapor directo es más rápida que la hidrodestilación, es más eficiente energéticamente. ▪ Configuración simple. ▪ Infraestructura económica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exceso de temperatura de vapor puede degradar la calidad de aceite esencial. ▪ Riesgo de que la extracción no llegue a completarse.
Destilación con vapor seco o sobrecalentado	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La cantidad de vapor puede controlarse fácilmente. ▪ No hay descomposición térmica de componentes de aceite. ▪ Aceite esencial Puro ▪ Tiempo de extracción más puro 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Su infraestructura es costosa. ▪ Las temperaturas altas pueden causar hidrólisis de los esteres y la polimerización de terpenos presentes en los aceites esenciales

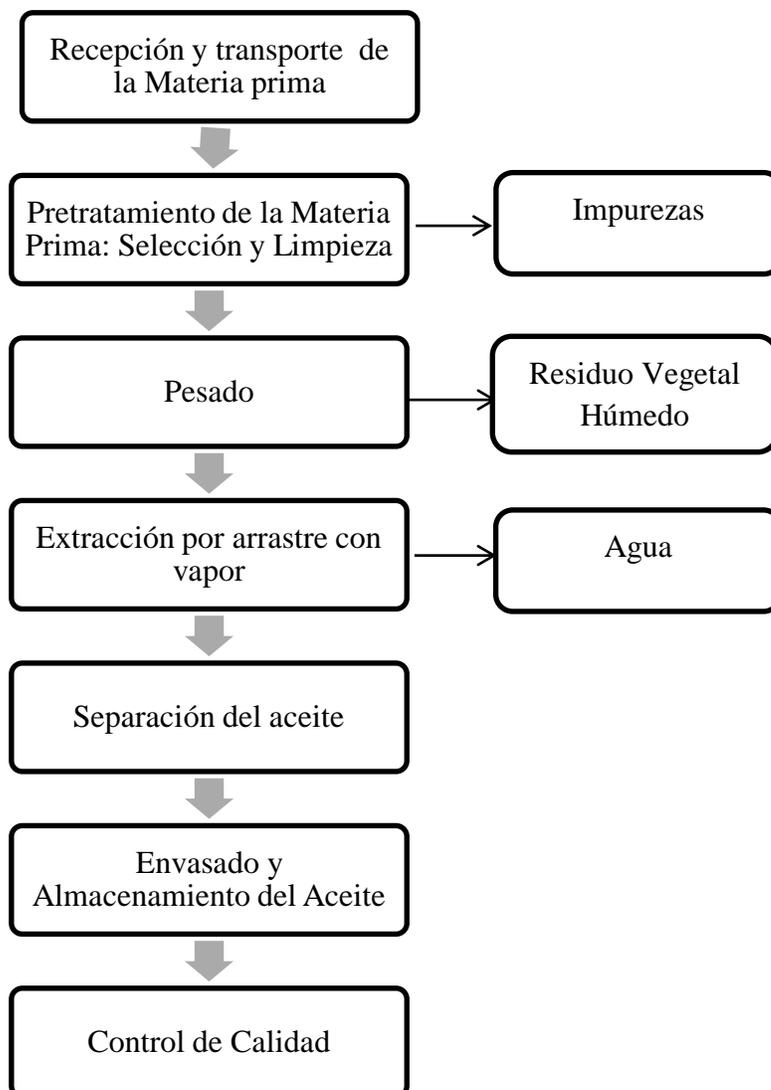
Fuente: Elaboración Propia

En el presente trabajo de investigación se utilizará el método de destilación por arrastre de vapor de agua, existen tres formas de destilación por arrastre con vapor de agua, las cuales se explicaron exhaustivamente en el marco teórico de la presente investigación, de las cuales se va a utilizar la destilación con vapor saturado o destilación con agua y vapor se eligió este método considerando que a través de este método la destilación se la realiza más rápida, es más eficiente energéticamente, tiene una configuración Simple e infraestructura económica (lo cual es una limitante ante la disponibilidad de tecnología y equipamiento. Además, tomando en cuenta que es un método que tiene buen rendimiento por su sencillez y bajo costo de operación.

Este método consiste en el paso directo de vapor de agua a través de la masa vegetal dispuesta sobre placas perforadas. Este va a arrastrar el aceite esencial del laurel va a pasar por un refrigerante donde es condensado y finalmente es recibido en un matraz Erlenmeyer.

1.3.3. Etapas del Proceso de Extracción de Aceites Esenciales

Diagrama I-1 Diagrama de Bloques del proceso de extracción de aceite esencial



1.3.4. Descripción del Proceso

- **Recepción y Transporte de la Materia Prima:** Se traslada la materia prima desde el lugar del que se la va a adquirir hasta el lugar donde se realizará la extracción de su aceite esencial.

- **Pre tratamiento de la Materia Prima:** se realiza la selección de la materia prima, se rechaza la materia prima en mal estado y las partes que no serán usadas.
- **Extracción por arrastre de Vapor:** se extrae el aceite esencial y se obtiene como residuo el vegetal húmedo.
- **Separación del Aceite:** el producto que se obtiene de la extracción por arrastre con vapor es aceite esencial y agua, ambos se separan debido a la diferencia de densidades teniendo como rechazo el agua y así obtener un aceite esencial puro.
- **Envasado y Almacenamiento del Aceite Esencial:** el aceite esencial se almacena en frascos de vidrio, no de plástico para evitar dañar el aceite con tóxicos químicos. Los frascos de vidrio deben ser oscuros (ámbar) para evitar que la luz altere el aceite esencial.
- **Control de Calidad:** el primer control de calidad que se va a realizar es de los parámetros organolépticos, esto con la finalidad de saber si el aceite esencial presenta alguna alteración como ser la dilución; otros parámetros usados para el control de calidad de los aceites esenciales son, determinaciones físicas (aroma, peso específico, índice de refracción, solubilidad), determinaciones cromatográficas.

1.4. Almacenamiento

Los aceites esenciales 100% naturales no se ponen rancios como los aceites vegetales grasos. Legalmente un aceite esencial se puede almacenar durante un máximo de 5 años.

Los aceites esenciales pueden deteriorarse y perder sus cualidades aromáticas a través del tiempo si algunos principios básicos de almacenamiento no son respetados.

- Los aceites esenciales son altamente sensibles a la luz y al calor, por tanto se deben conservar alejados del paso de la luz y protegidos en frascos de cristal oscuro o de aluminio que no permitan el paso de los UV. Idealmente en un lugar oscuro y fresco (la temperatura ideal es entre 5 hasta 35 grados). Para una máxima durabilidad, pueden guardarse en el refrigerador.
- Para evitar la pérdida molecular por volatización, es conveniente minimizar su contacto con el aire: ser extremadamente cuidadosos al manipularlos y mantener sus envases siempre muy bien cerrados, cerrar el frasco herméticamente con una tapa rosca, a presión o un corcho para que el aceite no se evapore ni entre en contacto con el aire que puede modificar sus propiedades. (PRANARÔN, 2018)

Figura. 1.7: Frascos para aceites esenciales



1.5. Control de Calidad

La composición y calidad de un aceite esencial varía de una especie vegetal a otra, dentro del mismo género de la planta, y también dentro del mismo género de la especie dependiendo del clima, región de cultivo, la madures de las planta, etc.

SENA, 2011

Tabla I-8: Parámetros para caracterizar el producto

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS	Color Olor Aspecto
CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS	Densidad Índice de Refracción
COMPOSICIÓN QUÍMICA	Cineol Linalol

Fuente. Elaboración Propia

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Caracterización de la Materia Prima

En la presente investigación la materia prima para la obtención de aceite esencial son las hojas del árbol de laurel (*Laurus Nobilis L.*). Estas se obtienen de los árboles de laurel de al menos dos años de edad.

Los árboles de los que se realiza la recolección se pudo observar que presentan tronco recto recubierto de corteza gris y una densa copa compuesta por ramas rectilíneas recubiertas por hojas de un verde muy oscuro, su altura varía entre 8 y 12 metros aproximadamente.

Se realiza la descripción física de las hojas de laurel recolectadas y determina el porcentaje de humedad en las hojas frescas y secas.

2.1.1. Ubicación Geográfica

La recolección se realiza en la Provincia Méndez de Tarija específicamente en la Comunidad de Tomatas Grande el árbol se lo puede encontrar tanto en huertas como en jardines para su uso en cocina o como parte de la ornamentación

Foto 2- 1: Ubicación geográfica-Zona de recolección de la materia prima



Fuente: Google Earth, 2019

2.1.2. Descripción física de las hojas de laurel

Las hojas de laurel son cosechadas de varios árboles de la Provincia Méndez de Tarija, las mismas que se usan en las extracciones de aceite esencial, se muestran en la figura 2-2.

Foto 2- 2: Materia prima – Hojas de laurel



Fuente: Elaboración propia, 2019

Las características consideradas en la descripción física en las hojas de laurel son la forma, textura, color, tamaño y olor. Los procedimientos empleados y valores obtenidos se muestran a continuación

- Forma: se realiza una inspección visual de las hojas y se determina su forma. Se observa que tienen forma lanceolada.
- Textura: Se agarra una hoja y mediante el contacto directo con la piel se determina su textura. En su estado fresco la hoja es suave mientras que en su estado seco es más rígida.
- Color: por simple inspección visual se determina el color de las hojas, observándose la cara es de color verde oscuro, con un aspecto brillante, mientras el envés presenta un tono más pálido.

- Tamaño: Se toma varias hojas y con la ayuda de una regla se mide el largo de cada una de ellas. Los resultados oscilan entre 3,5 a 7 cm de largo.
- Olor: se acerca las hojas a la nariz y se siente un ligero aroma dulce picante, que es el aroma característico del laurel.

2.1.3. Determinación del porcentaje de humedad de las hojas de laurel.

El procedimiento para determinar el contenido de humedad en las hojas de laurel está basado en el método de desecación de la FAO aplicable a la mayoría de los alimentos, el cual indica que se debe secar la muestra en estufa a la temperatura de $105 \pm 1^\circ\text{C}$ hasta alcanzar peso constante.

En el Laboratorio de Operaciones Unitarias LOU de la Carrera de Ingeniería Química se cuenta con el analizador infrarrojo SARTORIUS MA 100, el mismo que se usa para determinar el contenido de humedad de las hojas de laurel.

El procedimiento para determinar el contenido de humedad es el siguiente:

- Pesar 5 gr de hojas en la balanza del analizador.
- Programar el equipo a 105°C .
- Iniciar el proceso de secado anotando la variación de la humedad con el tiempo hasta llegar a peso constante.
- Registro del resultado final de porcentaje de humedad.

Al cabo de 14 min el peso se mantiene constante y el porcentaje de humedad no varía, siendo el resultado final 28,69% de humedad en la muestra. En el capítulo IV que corresponde a Resultados y Discusión se muestra la curva de porcentaje de humedad evaporada vs. tiempo de secado construida con los datos obtenidos del analizador durante el proceso de secado.

Foto 2- 3: Analizador infrarrojo SARTORIUS MA 100



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.2. Descripción del Método a Utilizar

En la presente investigación se utilizó la técnica de destilación por arrastre con vapor de agua, esta técnica es ampliamente utilizada en el mundo para la extracción de aceites esenciales de una serie de plantas aromáticas.

La destilación por arrastre con vapor, consiste en el paso directo a través de la materia prima de vapor de agua, el mismo que arrastra el aceite esencial, esto gracias a la diferencia en los puntos de ebullición de los componentes de dicho aceite.

El vapor una vez que atraviesa la materia prima y arrastra su aceite esencial sale de la cámara como vapor de agua y aceite esencial pasa por un refrigerante donde es condensado y finalmente recibido en un vaso florentino.

El producto obtenido se separa en dos fases líquidas, en la parte inferior el agua y en la superior el aceite esencial (gracias a su diferencia en densidades).

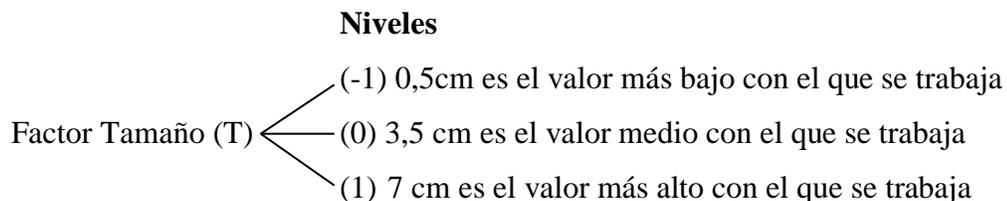
2.3. Diseño factorial

El diseño experimental es una técnica estadística, que tiene por objeto definir el número de pruebas que se van a realizar en una investigación manipulando dos o más variables independientes (factores) del sujeto de estudio, de tal manera que sea posible observar los cambios que se producen en la variable respuesta.

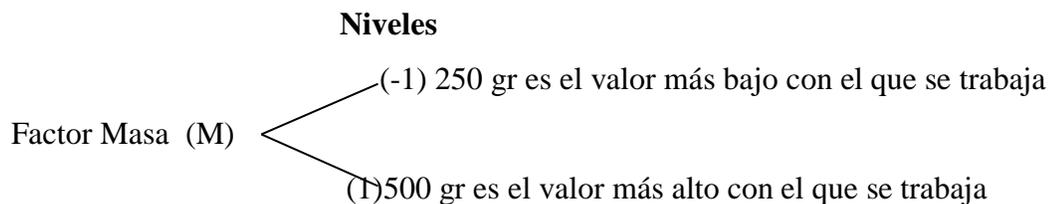
El diseño experimental planteado para la presente investigación es un diseño del tipo 3x2, es decir, consta de dos factores con tres y dos niveles y se evalúa su influencia sobre una variable respuesta. Se repite la experiencia dos veces para validar los resultados.

2.3.1. Variables y niveles del diseño factorial

- **Tamaño:** Esta variable se refiere a tres niveles que corresponden a las hojas de laurel entera (5 cm y 3,5 cm) y un tamaño de hoja picada (0,5 cm), las cuales son variables que modifican a la variable respuesta el rendimiento de aceite esencial, debido a que varía el área de contacto con el vapor.



- **Masa:** Esta variable se refiere a la masa de hojas de laurel a emplear en la torre de destilación, la variable tendrá dos niveles 250 gr 500 gr de masa de hojas de laurel.



- **Variable respuesta:** Es el rendimiento de aceite esencial obtenido de las hojas de laurel.

N° de Experimentos

2x3=6x2 repeticiones= 12 experimentos

Tabla II-1: Diseño factorial para el proceso de extracción de aceite esencial de laurel

PRIMERA REPETICIÓN				SEGUNDA REPETICIÓN			
N°	Masa (gr)	Tamaño (cm)	rendimiento (ml)	N°	Masa (gr)	Tamaño (cm)	rendimiento (ml)
1	-1	+1		1	-1	+1	
2	-1	0		2	-1	0	
3	-1	-1		3	-1	-1	
4	+1	+1		4	+1	+1	
5	+1	0		5	+1	0	
6	+1	-1		6	+1	-1	

Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla II-2: Datos para el diseño factorial para el proceso.

PRIMERA REPETICIÓN				SEGUNDA REPETICIÓN			
N°	Masa (gr)	Tamaño (cm)	rendimiento (ml)	N°	Masa (gr)	Tamaño (cm)	rendimiento (ml)
1	250	7		1	250	7	
2	250	3.5		2	250	3.5	
3	250	0.5		3	250	0.5	
4	500	7		4	500	7	
5	500	3.5		5	500	3.5	
6	500	0.5		6	500	0.5	

Fuente: Elaboración propia, 2019

2.4. Equipos, instrumentos y material utilizados.

Equipos e Instrumentos

Para la presente investigación se utilizó el equipo existente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias LOU compuesto por:

Tabla : II-3: Equipos e instrumentos utilizados

Equipo	Especificación	Cantidad
Cámara de extracción	De acero inoxidable	1
Calentador	A gas	1
Condensador	De bronce revestido con estaño	1
Balanza	-	1

Fuente: Elaboración propia, 2019

Material utilizado

El material utilizado en la extracción de aceite esencial es el siguiente:

Tabla II-4 Material de laboratorio empleado para la extracción

Material	Especificación	Cantidad
Mangueras	-	4
Soporte Universal		2
Pinza doble nuez		2
Vaso florentino	1850 ml	1
Termómetro	0,150 °C	1
Ampolla de Separación	150 ml	1
Pipeta	1ml	1
frascos	30 ml	1

Fuente: Elaboración propia, 2019.

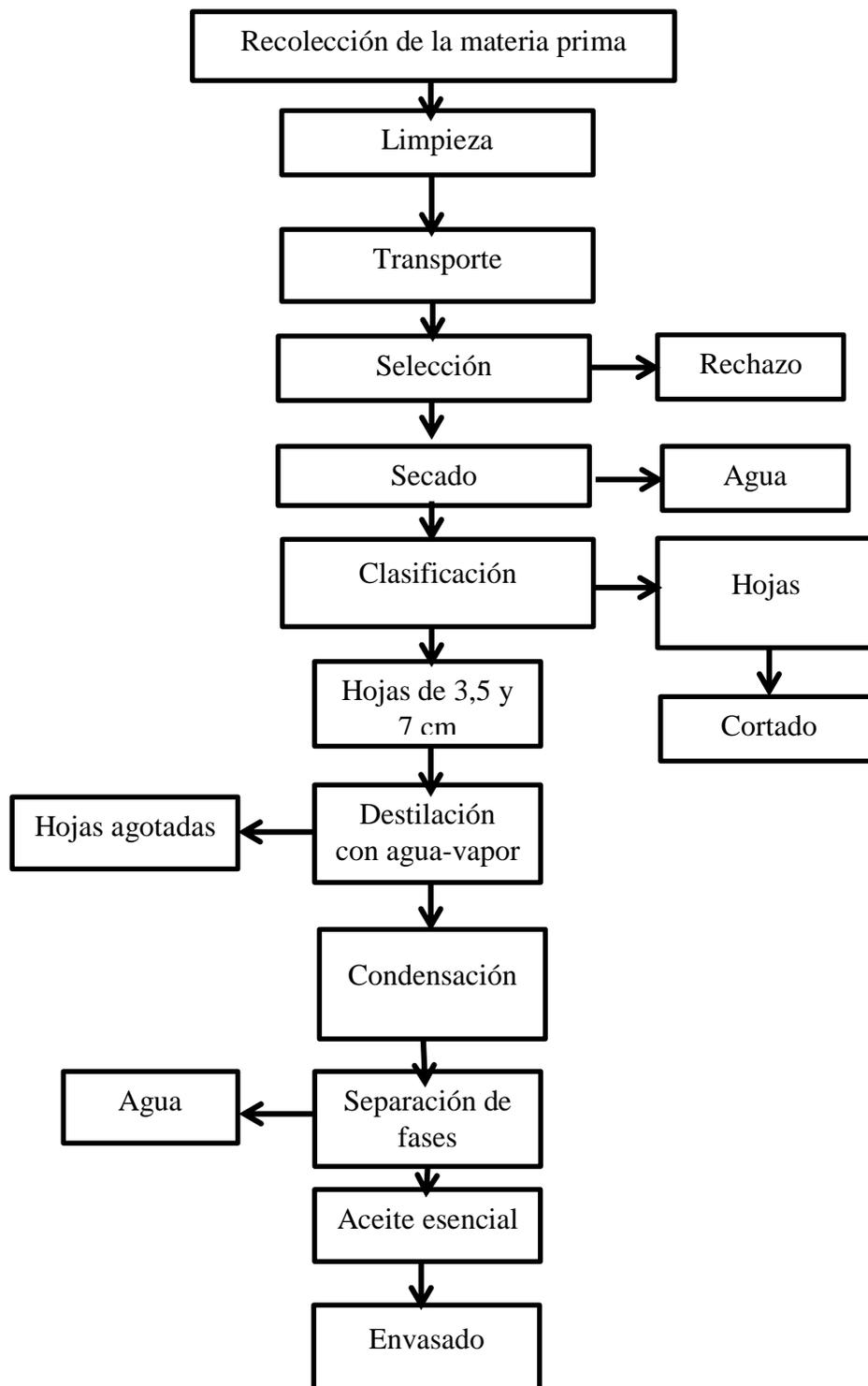
2.5. Obtención del aceite esencial de laurel en condiciones controlables de operación.

Una vez determinados todos los niveles de los factores T y M, se procede a la extracción del aceite esencial de acuerdo al diseño experimental planteado.

2.5.1. Etapas del proceso

Las etapas del proceso de extracción de aceite esencial de hojas de laurel se presentan en el diagrama de flujo de la figura 2-3, y se describe cada una de ellas desde la cosecha de los frutos hasta el almacenamiento del aceite. Esta última etapa es muy importante para conservar las propiedades del producto y asegurar que el aceite llegue inalterable a los consumidores.

Diagrama II-1: Diagrama de flujo. Extracción del aceite esencial de laurel



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.5.1. Recolección de la materia prima.

Las hojas de laurel se recolectaron de árboles adultos de al menos dos años de edad de la provincia Méndez del departamento de Tarija durante el mes de Abril. El corte se realizó. La recolección la realizó una persona del lugar con experiencia en poda de este tipo de árboles.

Foto 2- 4: Recolección de Hojas de Laurel



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.5.2. Limpieza

Posteriormente a la recolección se pudo observar que las hojas de laurel estaban sucias, por lo que se requería lavarlas, para ello se llenó las ramas de laurel en un recipiente de aproximadamente 50 litros y con la ayuda de una manguera se procedió lavarlas

Foto 2- 5: Limpieza de las hojas de laurel



Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.5.3. Transporte

El laurel fue transportado en transporte público a los predios del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), dependiente del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (DPIBA) de la Facultad de Ciencia y Tecnología; ubicado en el bloque 8 del campus universitario de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS).

2.5.4. Selección

Una vez que el laurel es trasladado al Laboratorio de Operaciones Unitarias, es seleccionado. La que está en buenas condiciones para la extracción de su aceite esencial de la que está dañada o cualquier otro aspecto que impida o altere la extracción, como así también se descarta cualquier otro material extraño. Todo material desechado se denomina rechazo.

Foto 2- 6: Selección y rechazo de las hojas de laurel



Fuente: Elaboración Propia, 2019

2.5.5. Secado

El secado de las hojas de laurel seleccionado se realiza a condiciones ambiente de presión y temperatura, durante dos semanas en el mes de abril.

Estas hojas se esparcen sobre bandejas hechas de hojas de papel bond reciclado, y se ubican encima de los mesones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) bajo sombra para evitar que la exposición a los rayos solares produzca la modificación de los aceites contenidos.

Foto 2- 7: Secado de las hojas de laurel bajo sombra

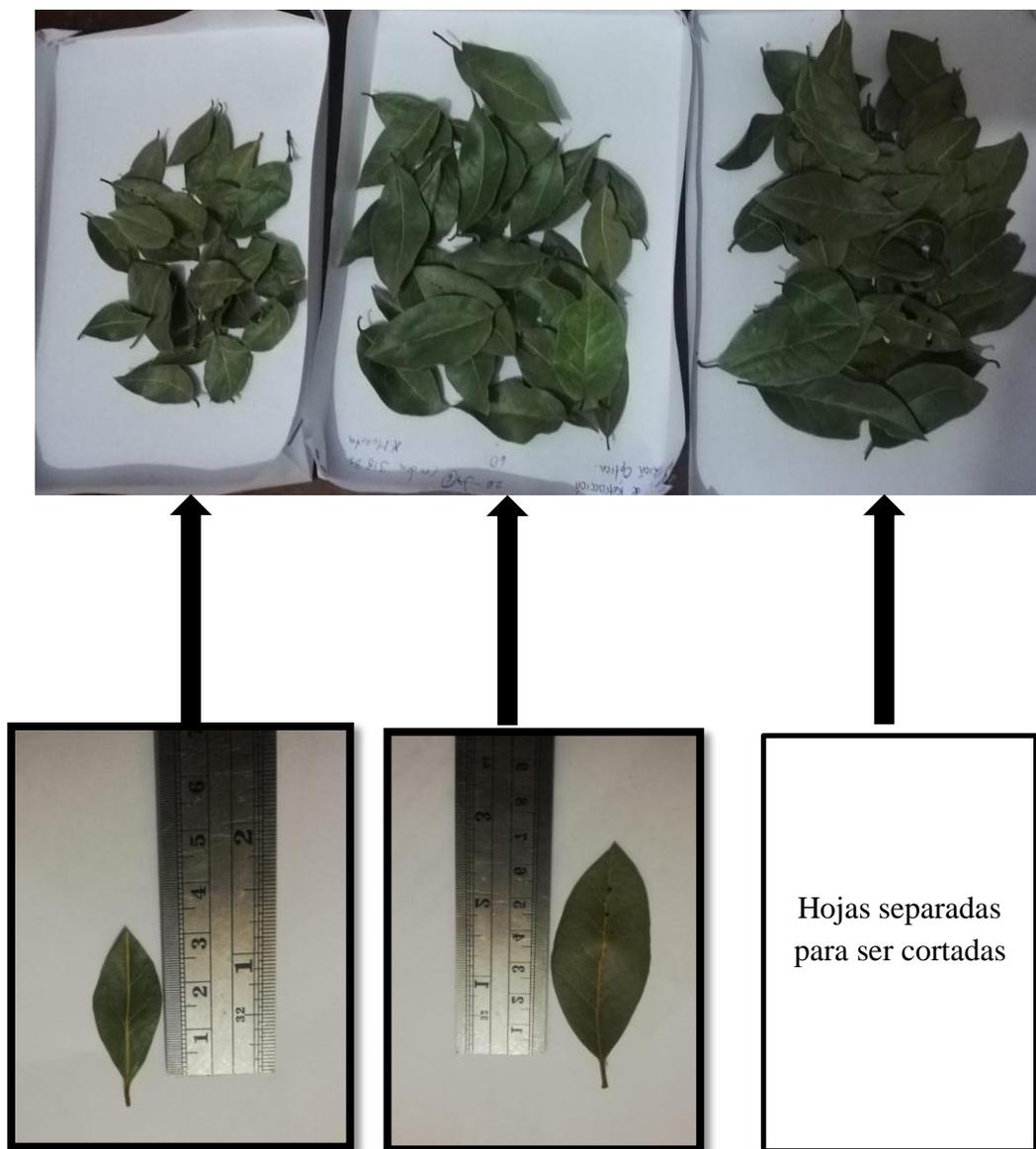


Fuente: Elaboración Propia, 2019.

2.5.6. Clasificación

Se realiza la selección de las hojas secas en dos tamaños diferentes en 3,5 cm y 7 cm, y las que no estén dentro de estos tamaños se las separa para cortarlas y de esta manera reducir su tamaño a 0,5 cm.

Foto 2- 8: Clasificación de las hojas de laurel



Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.5.7. Cortado

Las hojas fueron cortadas a 0,5 cm y también se utilizó la hoja entera en dos tamaños diferentes (3,5 y 7 cm), el cortado de las hojas se realizó con la ayuda de una tijera.

Foto 2- 9: Cortado de las hojas



Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.5.8. Tamizado

La etapa posterior al cortado de las hojas es el tamizado. Se realiza con el fin de separar el tamaño de partícula requerido para la extracción de los otros tamaños existentes en el producto.

Para tal efecto se emplea un tamiz vibratorio, un juego de tamices norma española de 5; 4; mm y una bandeja de recepción.

Foto 2- 10: Tamiz vibratorio



Fuente: Elaboración propia, 2019.

El procedimiento para cada tamizado se describe a continuación:

- Pesar 300 g. de hojas picadas.
- Cargar la muestra al tamiz superior y colocar la tapa asegurándola.
- Encender el tamiz vibratorio ajustando la velocidad a 30 rpm durante 10 minutos.
- Al término de dicho tiempo separar los tamices y seleccionar el que contenga el tamaño de partícula requerido para la extracción.
- Repetir el procedimiento hasta completar la cantidad de hojas picadas de 0,5 cm necesaria para cargar a los canastos del equipo de destilación y proceder a la extracción.

2.5.9. Pesado de la materia prima

La masa de hojas de laurel es una variable para la extracción de aceite esencial, empleándose dos masas de 250 g y 500 g. La balanza utilizada para pesar las hojas de laurel es la que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU); es una balanza analítica digital de marca Europe, cuyas especificaciones son las siguientes.

Marca: Europe

Exactitud: 0,01 g

Capacidad máxima: 510 g

Mínimo: 1 g

Potencia: 220 W

Foto 2- 11: Balanza analítica



Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.5.10. Destilación por arrastre de vapor

En el presente trabajo de investigación la metodología a utilizar para la obtención de aceite esencial es la destilación por arrastre de vapor, la cual utiliza los siguientes equipos:

- Cocinilla
- Equipo de destilación
- Condensador

2.5.10.1. Cocinilla

Durante la extracción de aceite esencial se emplea una cocinilla de una hornalla que funciona con gas natural perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la carrera de Ingeniería Química. Este equipo provee el calor necesario para que el agua llegue a su punto de ebullición.

Foto 2- 12: Cocinilla



Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.5.10.2. Equipo de destilación.

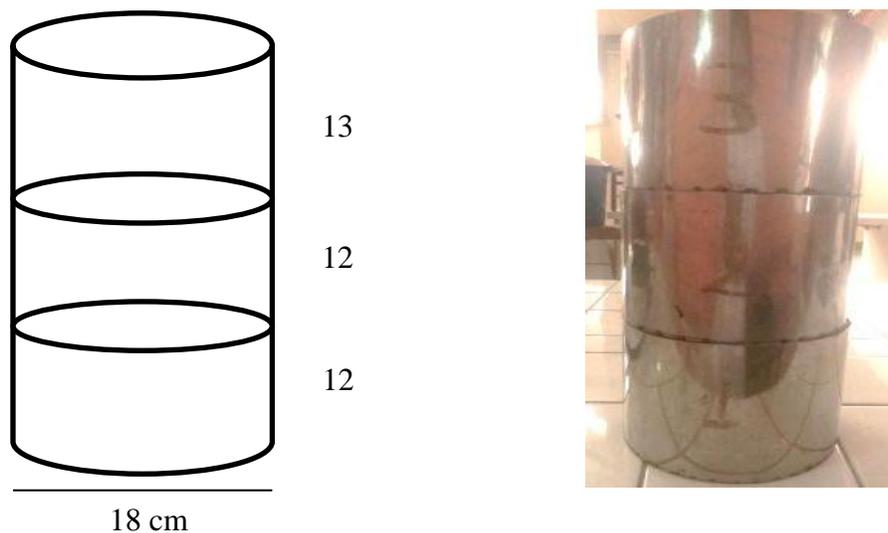
El equipo de destilación que se emplea para la obtención de aceites esenciales pertenece al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química, este equipo está constituido de acero inoxidable y forrado con una capa de lana de vidrio misma que está recubierta con una capa de calamina aluminizada con tres canastillos de acero inoxidable.

Foto 2- 13: Cámara de extracción



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto 2- 14: Dimensiones de los tres canastillos del equipo de destilación



Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.5.10.3. Refrigerante

El equipo de condensación pertenece al Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química, es un refrigerante construido de estaño y recubierto con aluminio, que se usa para condensar los vapores que se desprenden del equipo de destilación como se puede observar en la siguiente figura.

Foto 2- 15: Refrigerante



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.5.10.4. Condiciones de Operación.

El equipo de destilación opera bajo las siguientes condiciones, las cuales se aplican para todos los experimentos realizados.

❖ **Temperatura.**

La temperatura con la que trabaja la torre destilación durante todos los ensayos es de 93 °C (temperatura de ebullición en el departamento de Tarija). Siendo esta la temperatura a la cual empieza la extracción del aceite esencial de laurel.

❖ **Presión.**

El equipo trabaja a 0,94 atm durante toda la extracción de aceite esencial que es la presión atmosférica en el departamento de Tarija.

❖ **Condensación.**

En el condensador se produce el cambio de fase de los vapores de aceites esencial a líquido, el cual toma agua fría de un grifo mediante una manguera y descarga agua a mayor temperatura, por otra manguera.

En principio el condensador toma el agua fría de un grifo mediante una manguera y descarga el agua caliente por otra. La temperatura del agua del grifo es de 19°C y la temperatura de salida de 20 °C.

❖ **Potencia de la hornilla.**

Para determinar la potencia de la hornilla se hace tres pruebas antes de iniciar con las pruebas de extracción de aceite esencial, en tres niveles; bajo medio y alto. Ya que la potencia de la hornilla de calefacción influye directamente sobre el flujo de vapor generado dentro de la torre de extracción y este a su vez directamente sobre el rendimiento de aceite esencial.

En la potencia baja y media se observa que el rendimiento es menor y el tiempo usado es mayor esto debido a que el flujo de vapor producido es poco. Además que con un flujo de vapor menor se puede producir una maceración de la materia prima y no obtener aceite esencial.

Se opta por la potencia alta de esta manera el flujo de vapor aumenta a medida que se eleva la potencia y es capaz de arrastrar con mayor eficiencia el aceite esencial

aumentando el rendimiento, y también estando dentro de la capacidad de enfriamiento del condensador.

El nivel de potencia debe mantenerse constante en todos los ensayos y durante todo el tiempo de extracción para evitar alteraciones en los resultados del rendimiento.

❖ Masa de agua cargada en la cámara de extracción.

De acuerdo a las pruebas realizadas la masa de agua necesaria para extracción de aceite esencial en un tiempo de 1,5 horas es de 1,4 litros, pero se carga el equipo con 4 litros esto para poder controlar el nivel de agua.

2.5.10.5. Proceso de destilación

Una vez determinadas las condiciones de operación, el procedimiento para la extracción de aceite esencial es el siguiente:

- Armar el equipo de destilación como se muestra en la figura 2-15
- Llenar la cámara con 4 litros de agua.
- Pesar los tres canastillos vacíos registrando los resultados.
- En cada canastillo pesar la misma cantidad de materia
- Introducir los canastillos cargados en la cámara de extracción y cerrar la tapa.
- Encender la hornilla al nivel de potencia alto para iniciar el calentamiento del agua dentro de la cámara de extracción, registrando la hora de encendido..
- Durante la etapa de extracción el vapor asciende por la cámara pasando a través de las semillas trituradas y arrastra el aceite esencial.

Foto 2- 16: Equipo de destilación.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.5.11. Condensación

Durante la etapa de condensación, la mezcla de vapores de agua y aceite esencial que sale de la cámara de extracción ingresa al condensador y por intercambio de calor con una corriente de agua fría pasa a la fase líquida. La mezcla líquida de agua y aceite esencial se recoge a la salida del condensador en un vaso florentino.

En principio el condensador toma el agua fría de un grifo mediante una manguera y descarga el agua caliente por otra. La temperatura del agua del grifo es de 19°C y la temperatura de salida de 20 °C.

2.5.12. Separación de fases.

En el vaso florentino se obtiene una mezcla líquida de aceite esencial y agua, que por la diferencia de densidades e inmiscibilidad se separan en dos fases; el aceite esencial en la parte superior y el agua en la parte inferior, desde el vaso florentino la mezcla es pasada a una ampolla de decantación para su posterior separación y medición del volumen con la ayuda de una pipeta de 1 ml.

Foto 2- 17: Separación de fases.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.5.13. Almacenamiento

El envasado de aceite esencial de laurel se realiza en un frasco de vidrio color ámbar de 30 ml con cierre hermético para evitar la volatilización del mismo. El aceite esencial se almacena en lugar fresco, seco y oscuro para evitar la degradación de sus componentes, por la luz solar.

Foto 2- 18: Aceite esencial envasado



Fuente: Elaboración propia, 2019

2.5.13. Residuo

Una vez finalizada la extracción del aceite esencial se obtiene como materia de residuo las hojas de laurel agotadas en contenido de aceite esencial pero con un contenido de humedad mayor al inicial debido a la condensación de una parte del vapor de agua dentro de la cámara de extracción.

Después de apagar la hornilla debe esperarse un tiempo prudencial al enfriamiento del equipo de destilación, se procede a retirar los canastillos con el residuo y se pesan registrando los resultados con el fin de calcular la cantidad de agua condensada, que corresponde a la diferencia de peso entre los canastillos con residuo húmedo y los canastillos con la carga inicial.

El residuo húmedo se extiende sobre bandejas hechas de hojas de papel bond recicladas en y se deja secar para darle un uso como abono natural.

2.6. Caracterización del aceite esencial de laurel obtenido.

2.6.1. Características organolépticas.

Las características organolépticas a realizar una vez obtenido el aceite esencial de laurel son el color, olor y aspecto.

- **Color.-** El color es ligeramente amarillo, el cual se determinó mediante simple observación.
- **Olor.-** Se acerca el frasco que contiene el aceite esencial de laurel a la nariz y se percibe el olor; este fue picante.
- **Aspecto.** – Líquido limpio.

2.6.2. Características fisicoquímicas.

La medición de los parámetros: densidad e índice de refracción se realizan en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, según las normas establecidas por este centro.

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

2.6.3. Cromatografía de Gases

Para la presente investigación el análisis cromatográfico se realizó en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en un equipo con las siguientes especificaciones.

Equipo: Cromatógrafo Gaseoso Agilent 6890N acoplado a Detector de Masas 5975

Columna: HP-5MS(30m*0.250mm*0.25um)

Gas carrier: Helio

Volumen de inyección: 1 ul

Modo de inyección: Split ratio 10:1

Temperatura de Inyector: 250 °C

Programación de temperaturas: 40 °C 3MIN, 4°C/min 150°C min, 15°C/min 250

°C 1 min.

En el anexo se presenta el informe con los resultados de composición del aceite esencial de laurel en el cual se reportan 3 compuestos mayoritarios: Eucalyptol, Linalol y α -Terpineol acetate.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización de la materia prima.

3.1.1. Características organolépticas.

Se realizó la determinación de las características organolépticas de las hojas de laurel los resultados se presentan en la tabla III-1, misma en la que también se muestra la comparación de los resultados con datos de bibliografía de otras partes del mundo.

Tabla III-1 Características organolépticas de las hojas de laurel

Característica	Tarija	Argentina (Mañe P.A)	Perú Cruz J.L. y Quispe C.)
Forma	lanceolada	Lanceolada alargada	lanceolada
Aroma	Dulce picante	Dulce picante	-----
Color	Verde oscuro brillante	Verde oscuro	Verde oscuro lustroso
Textura	Suave	coriácea	coriácea
Largo/ancho			
Tamaño (cm)	3,5-7/2-3	3-10/5	3-9
Largo/Ancho			

Fuente: Elaboración propia, 2019

De acuerdo a la comparación en las características organolépticas con los datos obtenidos de otras partes del mundo, se puede observar que tanto la forma, color, aroma, y tamaño no hay diferencia significativa. Pero si se pudo observar diferencia en la textura según la información obtenida en los países de Argentina y Perú el laurel presenta textura coriácea y el departamento de Tarija su textura es suave.

3.1.2. Contenido de humedad.

El análisis de humedad se realizó en el analizador infrarrojo SARTORIUS MA 100 en el Laboratorio de Operaciones Unitarias el cual permite registrar la variación del porcentaje de humedad vaporada respecto al tiempo. La temperatura de secado es $105\pm 1^{\circ}\text{C}$ y la muestra es de 3g.

Se realizó el análisis de contenido de humedad de las hojas frescas cosechadas a pocas horas y también de las hojas secas al ambiente por un tiempo de 14 días.

3.1.2.1. Contenido de humedad en las hojas frescas

En la tabla III-2 se exponen los datos de variación del porcentaje de humedad evaporada con el tiempo, de las hojas de laurel frescas.

Tabla III-2: Porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo de la hoja fresca.

Tiempo (min)	%H evap.
2	8,87
4	17,18
6	24,61
8	30,62
10	35,35
12	38,85
14	41,27
16	42,77
18	43,69
20	44,11
22	44,29
23	44,33
24	44,33

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se puede observar en la tabla III-2, a partir del minuto 23 el porcentaje de humedad evaporada se mantiene constante por lo tanto se detiene el proceso de secado y se anotan los siguientes resultados que aparecen en la pantalla del equipo.

Tabla III-3: Resultados del análisis de humedad

% Humedad	44,33
% Peso Seco	55,67
Pérdida de peso	1,331
Residuo	1,6690

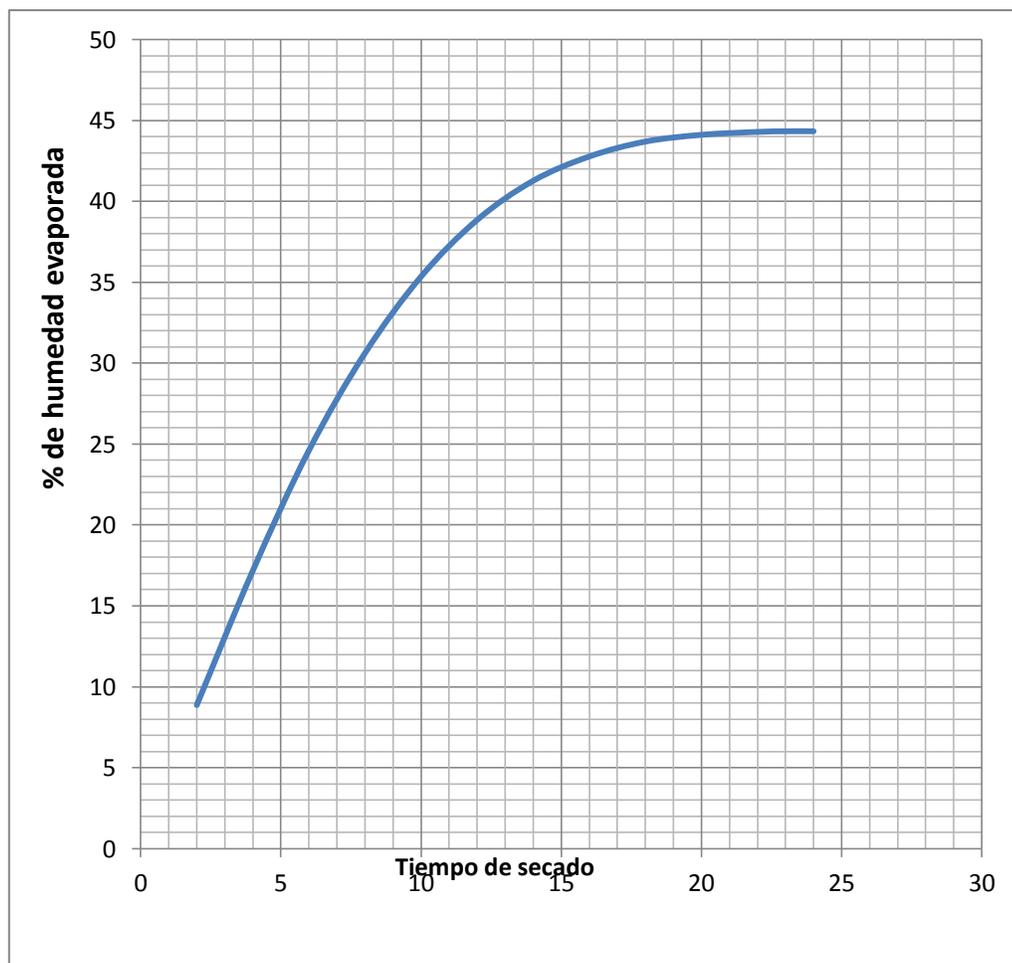
Fuente: Elaboración propia, 2019

En la tabla III-3 podemos ver que el porcentaje de humedad para las hojas frescas de laurel es de 44,33 lo que equivale al 1,331g de pérdida de peso en la muestra. Peso que fue perdiendo la muestra durante el proceso de secado, hasta que en el minuto 23 el porcentaje de humedad se mantiene constante y por ende el proceso de evaporación se detiene.

Los 1,6690g de residuo que corresponden al 55,67 % siendo estos la cantidad de muestra seca que queda después de la evaporación de agua que contenía.

A continuación se presenta la curva de porcentaje humedad evaporada vs el tiempo de secado con los datos de la tabla III-2.

Grafico 1-1: Curva de porcentaje de humedad evaporada vs tiempo de secado de las hojas frescas.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se puede observar en la figura III-1 que después de iniciado el proceso de secado en el porcentaje de humedad evaporada aumenta con el tiempo hasta que en el minuto 16 la pendiente de la curva disminuye, volviéndose una línea recta en el minuto 23, donde se registra el resultado final de 44,33% de humedad que equivale a 1,331g de pérdida de peso en la muestra.

3.1.2.2. Contenido de humedad en las hojas Secas

En la tabla III-4 se exponen los datos de variación del porcentaje de humedad evaporada con el tiempo, de las hojas de laurel secas.

Tabla III-4: Porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo de la hoja seca.

Tiempo (min)	%H evap.
2	3,67
4	5,67
6	6,81
8	7,63
10	7,85
12	8,02
14	8,20
16	8,21
18	8,21

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se puede observar en la tabla III-2, a partir del minuto 16 el porcentaje de humedad evaporada se mantiene constante por lo tanto se detiene el proceso de secado y se anotan los siguientes resultados que aparecen en la pantalla del equipo.

Tabla III-5: Resultados del análisis de humedad

% Humedad	8,21
% Peso Seco	91,79
Pérdida de peso	0,2470
Residuo	2,7530

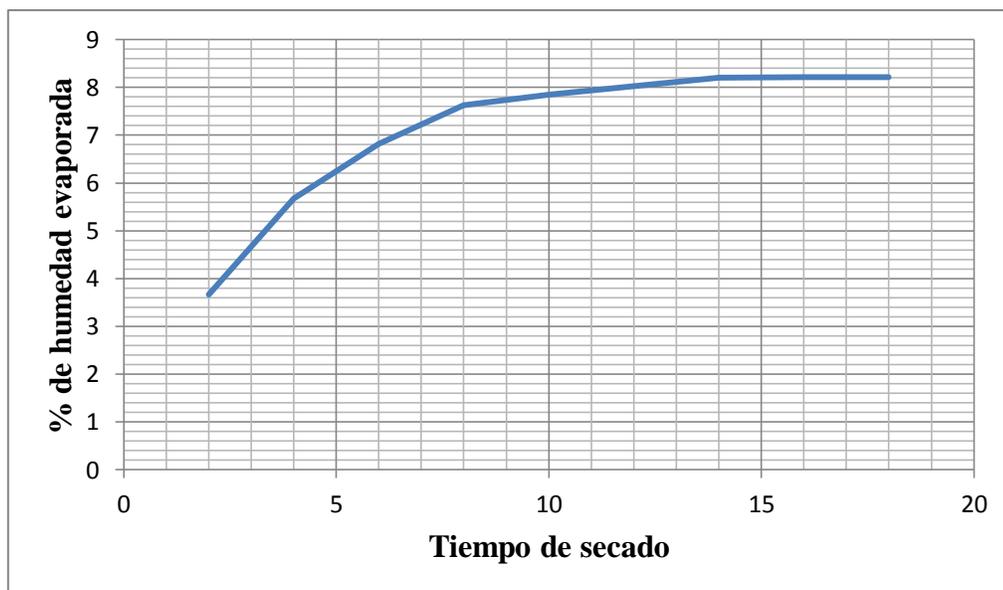
Fuente: Elaboración propia, 2019

En la tabla III-3 podemos ver que el porcentaje de humedad para las hojas secas de laurel es de 8,21 lo que equivale al 0,2470g de pérdida de peso en la muestra. Peso que fue perdiendo la muestra durante el proceso de secado, hasta que en el minuto 16 el porcentaje de humedad se mantiene constante y por ende el proceso de evaporación se detiene.

Los 2,7530g de residuo que corresponden al 91,79 % siendo estos la cantidad de muestra seca que queda después de la evaporación de agua todavía que contenía.

A continuación se presenta la curva de porcentaje humedad evaporada vs el tiempo de secado con los datos de la tabla III-2.

Grafico 3-2: Curva de porcentaje de humedad evaporada vs tiempo de secado de las hojas secas.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se puede observar en la figura III-1 que después de iniciado el proceso de secado en el minuto 12 la pendiente de la curva disminuye, volviéndose una línea recta en el minuto 16, donde se registra el resultado final de 8,21% de humedad que equivale a 0,2470g de pérdida de peso en la muestra.

3.1.2.2. Resumen del análisis de contenido de humedad.

Tabla III-6 Resultados que se obtienen al determinar el porcentaje de humedad en las hojas de laurel frescas y secas.

Estado de la planta	Porcentaje de humedad en las hojas de laurel
Fresco	44,33%
Seco	8,21%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El resultado que se observa en la tabla III-6 para las hojas frescas se obtiene empleando hojas de laurel frescos a pocas horas de ser cosechado, mientras que para las hojas secas se emplean hojas de laurel que se hicieron secar bajo condiciones de temperatura y humedad del ambiente durante un tiempo de 14 días. Estas muestras se emplean como materia prima del presente trabajo.

De la tabla III-6 se puede concluir que al realizar el secado de las hojas de laurel, bajo condiciones ambientales se elimina un 36,12% de humedad.

3.2. Rendimiento del aceite esencial de laurel

Para determinar el rendimiento se realiza una prueba con materia prima seca (14 días de secado) y otra con materia prima fresca. La masa de materia prima fresca y seca fue de 500 g.

La materia prima seca fue sometida a catorce días de secado, teniendo una humedad final de 8,21 %.

Los siguientes datos corresponden a la materia prima fresca.

Tabla III-7: Datos de extracción con materia fresca

Tiempo (minuto)	Volumen (ml) de aceite extraído (por 500 g de muestra)	Volumen (ml) de aceite acumulado.
0	No determinable	No determinable
30	No determinable	No determinable
60	No determinable	No determinable
90	No determinable	No determinable
120	No determinable	No determinable

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la prueba realizada con hojas frescas se puede apreciar minúsculas gotas de aceite esencial en la superficie del destilado en una cantidad muy difícil de cuantificar por lo que se define que el valor es cercano a cero.

En la siguiente tabla se muestran los datos que corresponden a la extracción con materia seca.

Tabla III-8: Datos de extracción con materia seca

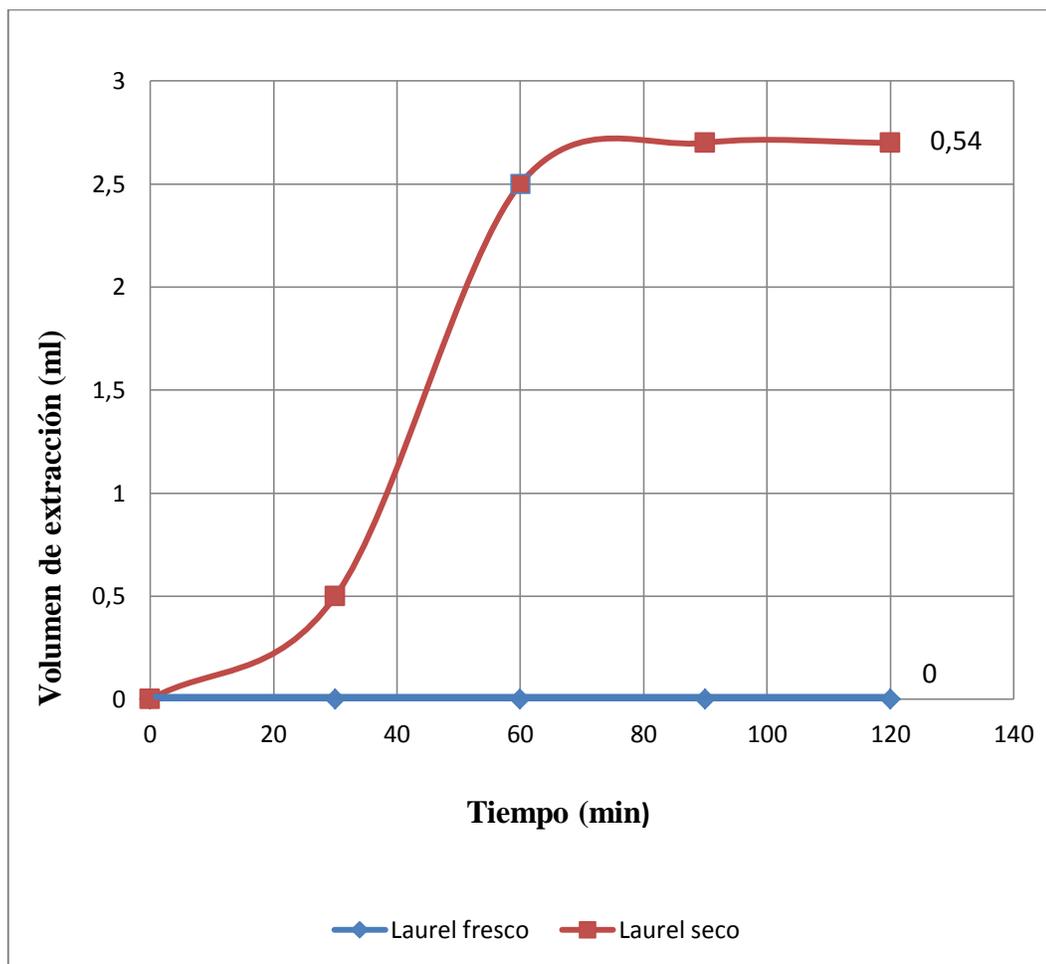
Tiempo (minuto)	Volumen (ml) de aceite extraído (por 500 g de muestra)	Volumen (ml) de aceite acumulado.
0	0	0
30	0,5	0,5
60	2	2,5
90	0,2	2,7
120	0	2,7

Fuente: Elaboración propia, 2019

Como se observa en la tabla III-8 hasta el minuto 90 todavía se extrae aceite esencial pero al minuto 120 la cantidad de aceite extraído es de 0 ml, por esta razón se da por finalizado el proceso de extracción, lo que significa el agotamiento de la materia prima a las dos horas de iniciado el proceso.

En la siguiente grafica se presenta una comparación de rendimiento utilizando hojas de laurel secas y frescas con los datos de las tablas III-7 y III-8.

Grafico 3-3: Comparación del volumen extraído laurel fresco y seco



Fuente: Elaboración propia, 2019

De acuerdo a la curva mostrada se puede apreciar que el volumen extraído con materia fresca durante la prueba es de 0ml, durante la experiencia se observa que el rendimiento es bajo casi insignificante, imposible de separar del agua. Mientras que la extracción con laurel seco dio un rendimiento de 0,56ml/por cada 100 gr de materia seca.

3.2.1. Rendimiento del diseño experimental

Tabla III-9: Datos experimentales del proceso de extracción de aceite esencial de las hojas de laurel.

N°	Factores		Variable respuesta (ml)	Rendimiento (ml) (por 100g de muestra)
	M(g)	T(cm)		
PRIMERA REPETICIÓN				
1	250	0,5	1,4	0,56
2		3,5	1,1	0,44
3		7	1	0,40
4	500	0,5	2,7	0,54
5		3,5	2,2	0,44
6		7	2	0,40
SEGUNDA REPETICIÓN				
7	250	0,5	1,3	0,52
8		3,5	1,1	0,44
9		7	0,9	0,36
10	500	0,5	2,6	0,52
11		3,5	2,2	0,44
12		7	1,9	0,38

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla III-9 se observa que la variable respuesta, es decir, el rendimiento es mayor, con menor masa. Con 250 g se obtiene mayor rendimiento que con 500 g, a un mismo tamaño de muestra, esto es debido al apelmazamiento que dificulta el paso del vapor produciendo un reflujo interno.

Se observa que el rendimiento es mayor a un tamaño de muestra menor; para esto se tomaron 3 tamaños de muestra, se tomó las hojas más grandes y las más pequeñas de

3,5 y 7 cm , y para el tercer tamaño se fracciono las hojas a un tamaño de 0,5 cm en cual se obtuvo mayor rendimiento siendo este 0,56 % por cada 100 gr de materia mientras más pequeño sea el tamaño de partícula mayor será el área de contacto entre la especie vegetal (hojas de laurel) y el flujo de vapor que va a arrastrar el aceite esencial.

3.2.2. Tamaño vs Rendimiento.

Para el presente trabajo se trabajó con tres tamaños de muestra (hojas de laurel); 7cm, 3,5 cm y 0,5 cm.

En la siguiente tabla se exponen los datos de rendimiento y tiempo de extracción de aceite esencial de laurel tomando en cuenta los tres tamaños diferentes, utilizando los datos de la primera repetición con 500 g.

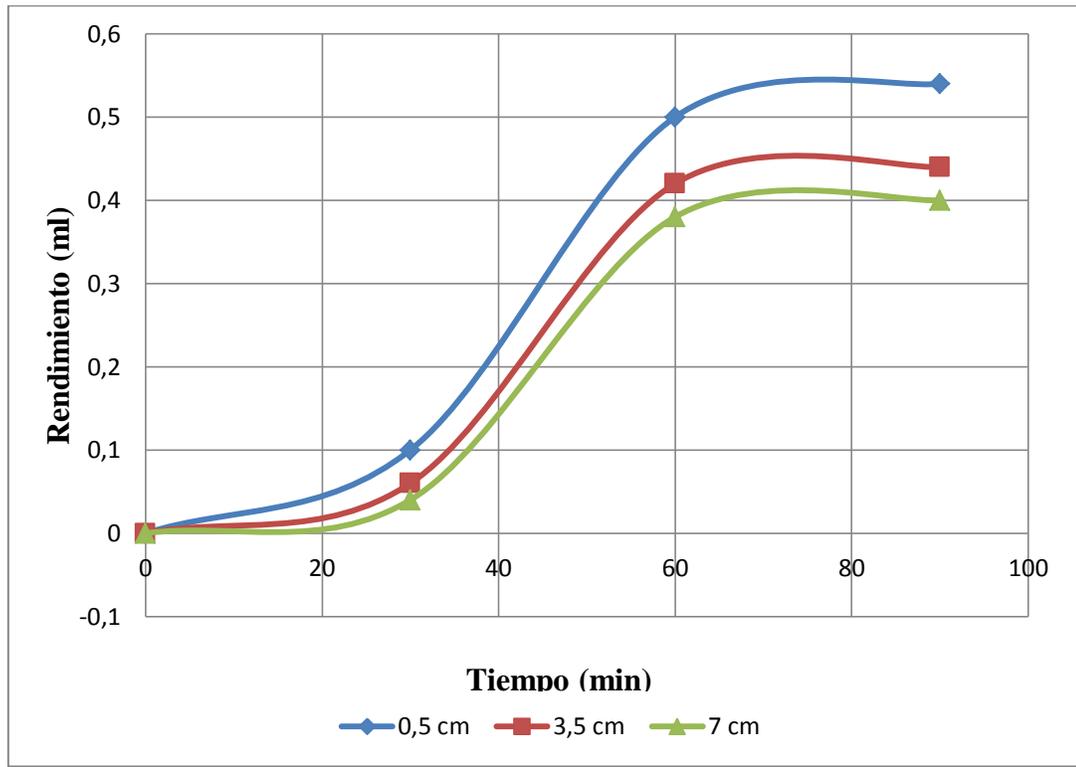
Tabla III-10: Datos de rendimiento de los 3 tamaños de muestra (0,5cm, 3,5cm y 7cm)

Tamaño (cm)	Tiempo (min)	Rendimiento (ml) (por 500 g de muestra)	Rendimiento (ml) (por 100 g de muestra)
0,5	0	0	0
	30	0,5	0,1
	60	2,5	0,5
	90	2,7	0,54
3,5	0	0	0
	30	0,3	0,06
	60	2,1	0,42
	90	2,2	0,44
7	0	0	0
	30	0,2	0,04
	60	1,9	0,38
	90	2	0,4

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A continuación se muestra la gráfica de comparación de rendimiento entre los 3 tamaños de muestra.

Grafico 3-4: Rendimiento vs tamaño.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

De acuerdo a la figura 3-4 se puede observar que el rendimiento es menor cuando se trabaja con tamaños más grandes de muestra en cualquier intervalo de tiempo. Siendo el rendimiento 0,54 ml a un tamaño de 0,5 cm, 0,44 ml a un tamaño de 3,5 ml y 0,40 a un tamaño de 7 cm (ml/100 g de muestra)

3.2.3. Masa vs Rendimiento

Esta variable tiene dos niveles que son; 250 g y 500 g con los cuales se trabaja. Para la comparación se toma los datos de la primera repetición a un tamaño de 0,5 cm, datos que se muestran en la siguiente tabla.

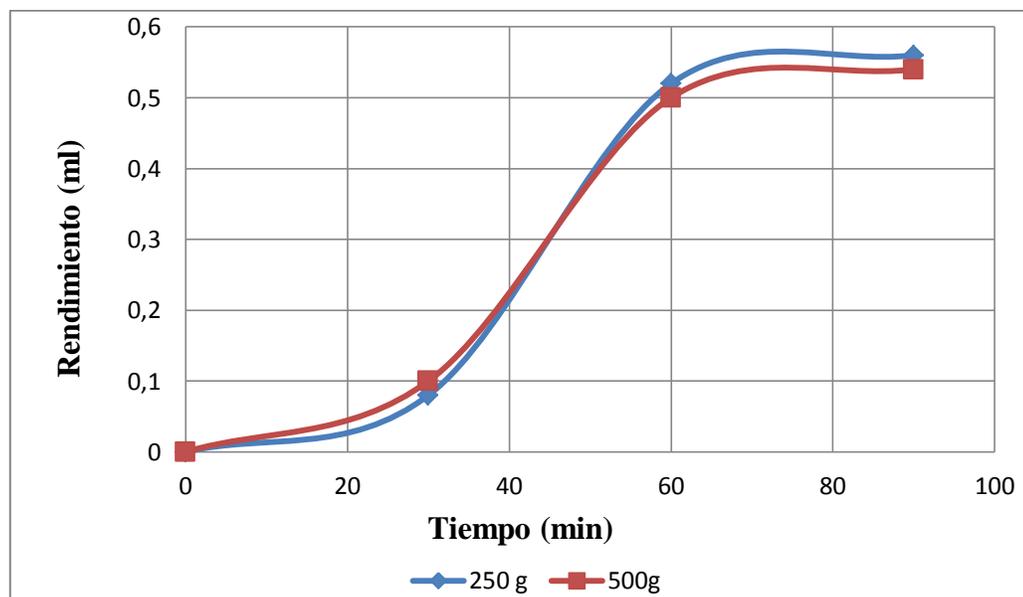
Tabla III-11: Datos de rendimiento de las dos masas (250g y 500g).

M(g)	T(min)	Rendimiento (ml) (a 0,5 cm)	Rendimiento (ml) (por 100g de muestra)
250 g	0	0	0
	30	0,2	0,08
	60	1,3	0,52
	90	1,4	0,56
500 g	0	0	0
	30	0,5	0,1
	60	2,5	0,5
	90	2,7	0,54

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A continuación se construye la gráfica de comparación rendimiento vs masa.

Gráfico 3-5: Rendimiento vs masa



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se puede observar que el rendimiento en el primer intervalo de tiempo que es a los 30 min el rendimiento es mayor a mayor masa ya que se obtiene un rendimiento de 0,1ml a 500g y 0,08 ml a 250, en el segundo intervalo de tiempo los rendimientos con ambas masas son muy parecidos, y en el intervalo de 90 min a diferencia del primero se observa que hay mayor rendimiento a mayor masa, obteniendo rendimientos finales de 0,56 ml a 250 g y 0,54ml a 500g. Con estos resultados se puede concluir que menor masa mayor es el rendimiento.

3.2.4. Análisis del residuo.

Al finalizar el proceso de extracción, durante la descarga del residuo (materia vegetal) se pueden observar cierta presencia de agua entre las hojas, debido a la condensación de vapor dentro de la cámara de extracción.

Teniendo el peso de los canastillos vacíos, el peso de los canastillos con la carga inicial y el peso de los canastillos con el residuo húmedo se construye la siguiente tabla donde se calcula el agua retenida.

Tabla III-12: Análisis del residuo

Tamaño de muestra	Peso canastillos vacíos (g)			Peso canastillos con carga inicial (g)			Peso canastillos con residuo húmedo (g)			Agua retenida por canastillo (g)			Agua retenida total (g)
250 g													
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
0,5	295,8	286,4	294,4	379,1	369,7	377,7	384,4	376,7	384,4	5,3	7,0	6,7	19,0
3,5	295,8	286,4	294,4	379,1	369,7	377,8	384,1	375,2	382,9	5,0	5,5	5,1	15,6
7	295,7	286,4	294,4	379,0	369,7	377,8	383,4	372,7	382,4	4,4	3,0	4,6	12,0
500g													
0,5	295,8	286,4	294,4	462,4	453,0	461,1	470,4	463,5	471,1	8,0	10,5	10,0	28,5
3,5	295,8	286,4	294,4	462,4	453,0	461,1	469,9	461,3	468,8	7,5	8,3	7,7	23,5
7	295,8	286,4	294,4	462,4	453,0	461,1	469,0	457,5	468,0	6,6	4,5	6,9	18,0

Fuete: Elaboración propia, 2019.

Tomando en cuenta la masa se observa que a mayor masa mayor es el agua que se retiene, con una masa de 250 se retiene 19 g de masa de agua retenida y para una masa de 500 la retención es de 28g.

En cuanto al tamaño de la muestra, s concluye que mientras más pequeña es la muestra mayor es la retención de agua, con un tamaño de 0,5 la retención de agua es de 19 g, y con 7 cm de tamaño la retención es de 12 g. La diferencia en retención de agua se debe al enfriamiento al que se expone la torre al concluir con la extracción.

3.3 Análisis estadístico del diseño factorial.

Para realizar el análisis se emplea el programa SPSS STATISTICS 25(Statistical Package for the Social Sciencis), el cual es un programa estadístico con la capacidad de trabajar con grandes bases de datos y una sencilla interface para la mayoría de los análisis.

Con el análisis de varianza ANOVA se determina la influencia de los factores masa y tamaño de extracción y sus interacciones sobre la variable respuesta o dependiente rendimiento de aceite esencial.

La tabla III-13 muestra los datos de las variables analizadas en la etapa experimental de acuerdo al diseño factorial 2x3 (dos variables con 2 y 3 niveles respectivamente)

Tabla III-13: Niveles de variación de los factores

Niveles	Factores	
	M(g)	T(cm)
Inferior	250	0,5
Medio	-	5
Superior	500	7

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El programa SPSS, permite un tratamiento integrado de todos los factores que con lleva el análisis de datos, obteniéndose resultados confiables y representativos.

Para la determinación de las variables más significativas se realizaron todas las combinaciones posibles de las variables y estas fueron evaluadas con la ayuda de SPSS.

La variable respuesta de los datos experimentales fue expresada a través del volumen de aceite esencial obtenido de las diferentes experiencias.

En la siguiente tabla se exponen los resultados obtenidos de manera experimental dentro del proceso de extracción del aceite esencial de laurel.

Tabla III-14: Datos experimentales del proceso de extracción de aceite esencial de laurel

N° de ensayo	Factores		Respuesta
	Masa	Tamaño	Rendimiento (ml)
1	250	0,5	1,4
Replica	250	0,5	1,3
2	250	3,5	1,1
Replica	250	3,5	1,1
3	250	7	1
Replica	250	7	0,9
4	500	0,5	2,7
Replica	500	0,5	2,6
5	500	3,5	2,2
Replica	500	3,5	2,2
6	500	7	2
Replica	500	7	1,9

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la tabla III-15 se muestran los datos con los cuales se realizó el cálculo del análisis de varianza (ANOVA) de un diseño 2x3, el cual muestra las variables principales que influyen en el proceso de extracción, en función de la variable respuesta (rendimiento).

Tabla III-15: Datos para el análisis de varianza

N° de ensayo	Factores		Respuesta
	Masa	Tamaño	Rendimiento (ml)
1	-1	-1	1,4
Replica	-1	-1	1,3
2	-1	0	1,1
Replica	-1	0	1,1
3	-1	1	1
Replica	-1	1	0,9
4	1	-1	2,7
Replica	1	-1	2,6
5	1	0	2,2
Replica	1	0	2,2
6	1	1	2
Replica	1	1	1,9

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A continuación en la tabla III-16 se muestra las variables del diseño experimental y el número de experiencias para cada variable que registra el programa, mismas que fueron las que se realizó a lo largo de la etapa experimental de la presente investigación para un diseño 2x3 con dos repeticiones, un total de 12 experiencias.

Tabla III-16: Factores inter-sujetos.

		Etiqueta de valor	N
Masa	-1,00	250 g	6
	1,00	500 g	6
Tamaño	-1,00	0,5 cm	4
	0,00	3,5 cm	4
	1,00	7 cm	4

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la siguiente tabla se detalla el análisis de varianza aplicado al diseño experimental del presente trabajo de investigación.

Tabla III-17: Análisis de varianza (ANOVA)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Rendimiento					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4,520 ^a	5	,904	271,200	,000
Intersección	34,680	1	34,680	10404,000	,000
Masa	3,853	1	3,853	1156,000	,000
Tamaño	,620	2	,310	93,000	,000
Masa * Tamaño	,047	2	,023	7,000	,072
Error	,020	6	,003		
Total	39,220	12			
Total corregido	4,540	11			

a. R al cuadrado = ,996 (R al cuadrado ajustada = ,992)

Fuente: Elaboración propia, 2010.

En el análisis de varianza, un nivel de significancia menor a 0.05 expresa que la variable o factor influye en la respuesta. En la tabla IV-17 los factores M y T tienen un valor de significancia igual a 0, por lo tanto son significativos en el proceso de extracción con una confianza del 95 %, y serán las variables utilizadas para realizar el cálculo del modelo matemático.

La siguiente tabla muestra los valores introducidos para la determinación del modelo matemático.

Tabla III-18: Variables introducidas/eliminadas

Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	Tamaño , Masa ^b	.	Introducir
a. Variable dependiente: Rendimiento			
b. Todas las variables solicitadas introducidas.			

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La tabla III-19 muestra los coeficientes del modelo matemático que genera el programa SPSS 25.0 con el diseño experimental realizado.

Tabla III-19. Coeficientes.

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza para B	
		B	Desv. Error				Beta	Límite inferior
1	(Constante)	1,700	0,027		61,821	0,000	1,638	1,762
	Masa	0,567	0,027	0,921	20,607	0,000	0,504	0,629
	Tamaño	-0,275	0,034	-0,365	-8,165	0,000	-0,351	-0,199
a. Variable dependiente: Rendimiento								

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

$$\text{Rend} = 1.700 + 0,567 \text{ Masa} - 0.275 \text{ Tamaño}$$

Del análisis se puede concluir que el factor masa y tamaño son significativos en el proceso de extracción.

3.4. Características y principales componentes del aceite esencial de laurel obtenido.

3.4.1. Características Organolépticas.

Se puede ver en la tabla III-20 una comparación de las características organolépticas del aceite esencial de laurel obtenido con datos de bibliografía.

Tabla33III-20: Comparación de las características organolépticas del aceite esencial de laurel.

Características	Aceite obtenido en Tarija	Aceite de Argentina (Mañe P.A., 1949)
Color	Ligeramente amarillo	Ligeramente amarillento
Olor	Picante	Fuerte picante
Aspecto	Líquido limpio	Líquido

Fuete: Elaboración propia, 2019.

Los datos de color, olor y aspectos de ambos aceites esenciales son iguales, con esto se puede determinar que el aceite esencial obtenido se encuentra dentro de los parámetros esperados.

3.4.2. Características fisicoquímicas.

En la tabla siguiente se muestran los resultados de densidad e índice de refracción del aceite esencial obtenido comparado con otros datos de bibliografía.

Tabla III-21: Comparación de las características físicas del aceite esencial de laurel.

Características	Bolivia Aceite obtenido	Argentina (Mañe P.A., 1949)	España (LOZANO)	Colombia (Quijano C.E. y Pino J., 2007)
Densidad g/ml (20°)	0,9103	0,9160	0,900-0,950	0,908
Índice de refracción (20°)	1,4754	1,4661	1460-1480	-

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Con los datos de la tabla, se establece que la densidad del aceite obtenido se encuentra entre los rangos esperados; ya que es menor que la reportada en Colombia por Quijano C.E. y Pino J, pero menor que la registrada en Argentina por Mañe P.A.

En cuanto al índice de refracción es mayor al registrado en Argentina por Mañe P.A. pero con milésimas, pero se encuentra dentro de los rangos establecidos por Lozano en España.

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

3.4.3. Composición Química

La composición del aceite esencial de laurel se determina a través de un análisis de cromatografía gaseosa acoplada a un detector de masas como se indicó en el capítulo II. Dicho análisis registra 9 componentes para el aceite esencial de laurel obtenido en Tarija que demuestra su calidad.

En la siguiente tabla se muestran los componentes identificados por el análisis cromatografico.

Tabla III-22: Perfil cromatográfico Aceite Esencial de Laurel (*Laurus Nobilis*)

Aceite obtenido de Laurel		
Compuesto	Tiempo de retención	% abundancia
1R- α -Pinene		2,75
Thujene	12,15	6,71
Terpinene	12,24	3,13
Limonene	14,31	2,27
Eucalyptol	14,40	29,65
Linalool	17,100	27,02
Linalol,formato	22,77	4,35
Linalyl butyratee		
A-Terpineol acetate	25,95	15,87
isohomogenol	27,76	4,53
No determinado	30,58	3,71
TOTAL		100

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

En la tabla III-23 se realiza una comparación con los componentes mayoritarios del aceite esencial de laurel obtenido en Tarija y datos de bibliografía.

Tabla III-23: Comparación de los resultados del análisis cromatográfico.

Compuesto	Bolivia-Tarija	Colombia (Quijano C.E. y Pino J., 2007).	Italia Tzakou O., 2017
	% de abundancia	% de abundancia	% de abundancia
Eucalyptol	29,65	22	31,90
Linalool	27,02	16,4	10,2
α -Terpineol acetate	15,87	11,1	5,9

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla anterior se puede observar que el componente mayoritario del aceite esencial obtenido en Tarija es el eucalyptol en cuanto a este componente el porcentaje obtenido es similar al reportado en Italia y Colombia. Pero se puede observar la diferencia que existe entre el porcentaje de linalool del aceite esencial obtenido en Tarija que 27,02 con el porcentaje registrado en Colombia e Italia 16,4 y 10,2 respectivamente, cabe resaltar que entre el eucalyptol y linalool del aceite obtenido suman más del 50 % de la composición de dicho aceite. También se puede observar que el hay diferencia entre el compuesto que se encuentra en tercer lugar en cuanto porcentaje de abundancia en Tarija presenta un 15,87 % y en datos bibliográfico 11,1 y 5,9 %.

La composición predominante en el aceite esencial obtenido en Tarija son los mismos que los reportados en trabajos realizados en Colombia e Italia.

3.5. Balance de materia y energía de la obtención de aceite esencial de laurel.

Para cada una de las extracciones se registran en tablas los tiempos empleados, las condiciones de materia prima y residuo, las condiciones de las corrientes de proceso, y los volúmenes de los productos. Estos datos sirven para realizar el balance de materia y energía, sin embargo se usan solo aquellos que correspondan a la extracción que proporciona el mayor rendimiento en aceite esencial, con el fin de determinar las condiciones óptimas de proceso.

De acuerdo a la tabla III-10 del capítulo III: Resultados y Discusión, el mejor rendimiento es de 1,4 ml que corresponde a la experiencia realizada con hojas fraccionadas a 0,5 cm y 250g . Entonces se usan todos los datos registrados para dicha experiencia, los cuales se muestran a continuación en la tabla III-24.

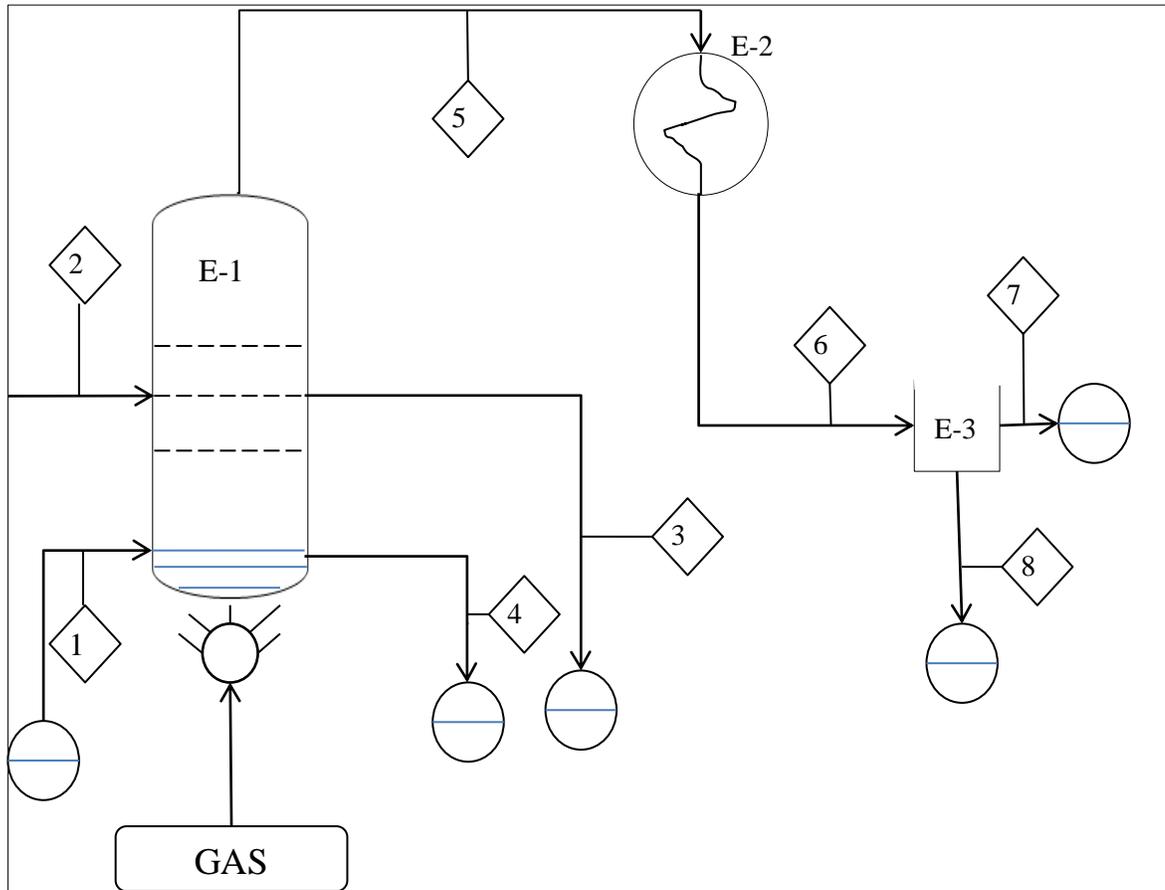
Tabla III-24: Datos del mejor rendimiento con 250 g a 0,5 cm.

Tiempos empleados en la extracción	
Tiempo de acondicionamiento	28 min
Tiempo de extracción	90 min
Materia Prima y residuo	
Tamaño de la muestra	0,5 cm
Masa cargada a la torre	250g
Masa del residuo	269 g
Corrientes de proceso	
Volumen de agua cargada a la torre	4000 ml
Temperatura inicial en la torre	19 °C
Densidad del agua a 19 °C	0,99849 g/ml
Temperatura del vapor T_{vapor}	93 °C
Volumen de agua condensada M_8	1420 ml
Temperatura de condensado $T_{\text{condensado}}$	22 °C
Volumen de aceite esencial V_{aceite}	1,4 ml
Densidad del aceite	0,9103 g/ml
Masa de aceite obtenido $M7$	1,27 g
Temperatura de entrada del agua de refrigeración T_{entrada}	19 °C
Temperatura de salida del agua de refrigeración T_{salida}	20°C
Caudal del agua de refrigeración.	150 ml/s

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.5.1. Balance de Materia en la obtención de aceite esencial de laurel.

Diagrama III-1: Diagrama de flujo de equipos del proceso de extracción.



E-1 Torre de destilación E-2 Condensador E-3 Vaso florentino

Fuente elaboración propia.

Donde:

M1: Masa de materia cargada a la torre

M2: Masa de agua inicial cargada a la torre

M3: Masa del residuo (hojas agotadas + agua retenida por las hojas)

M4: Masa de agua al final de la torre

M5: Mezcla de vapores

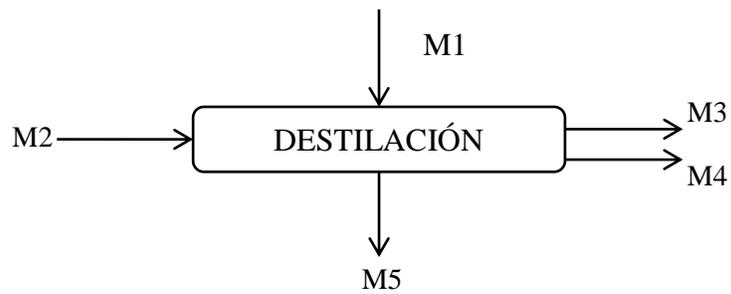
M6: Mezcla de condensados

M7: Masa de aceite obtenido

M8: Masa de agua condensada

Balance de materia en la destilación

Diagrama III-2: Balance de materia en la etapa de destilación.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Balance Global

$$M1 + M2 = M3 + M4 + M5 \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Masa de agua inicial cargada a la torre destilación

El dato de la densidad se lo toma de tablas a presión de 1 atm y temperatura de 19 °C

$$M2 = 4000 \text{ ml} * 0,998 \text{ g/ml} = 3993,96 \text{ gr} \rightarrow 3,99 \text{ kg}$$

Masa de agua condensada

$$M8 = V_{\text{Agua condensada}} * \rho_{\text{agua}}$$

$$M8 = 1420 \text{ ml} * 0,998 \text{ g/ml} = 1417,16 \text{ g} \rightarrow 1,42 \text{ kg}$$

Masa de aceite esencial condensado

$$M7 = V_{\text{Volumen de aceite condensado}} * \rho_{\text{aceite}}$$

$$M7 = 1,4 \text{ ml} * 0,9103 \text{ g/ml} = 1,27 \text{ g de aceite esencial condensado.}$$

Teniendo la masa de agua que se condensa, el agua retenida en el residuo (M_r), la masa de agua que se carga en la destilación y la masa de aceite esencial obtenido se procede a calcular la masa de agua que queda en la torre después del proceso de destilación.

$$M2 = M4 + M8 + M_r + M7 \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

M_r : masa de agua retenida en el residuo después del proceso de destilación a causa de apelmazamiento o condensación de agua al final del proceso en la etapa de enfriamiento de la torre y su valor es $M_r = 19 \text{ g} \rightarrow (0,019 \text{ kg})$

Entonces de la Ec. 3.2 despejamos $M4$

$$M4 = M2 - M8 - M_r - M7$$

$$M4 = 3993,96 \text{ g} - 1417,16 \text{ g} - 19 \text{ g} - 1,27 \text{ g}$$

$$M4 = 2556,53 \text{ g}$$

Teniendo el dato de M4 se puede calcular M5 (mezcla de vapores) de la Ec.1

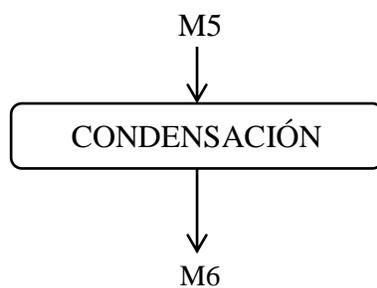
$$M5 = M1 + M2 - M3 - M4$$

$$M5 = 250g + 3993,96g - 269g - 2556.53g$$

$$M5 = 1418,43g$$

Balance de materia en la condensación

Diagrama III-3: Balance de materia en la etapa de condensación



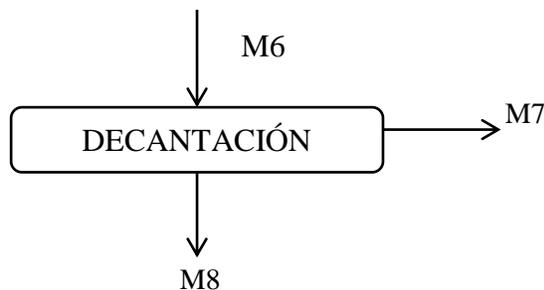
Fuente: Elaboración propia, 2019

En esta etapa no se gana ni se pierde masa, por lo que $M5 = M6$

$$M6 = 1418,43g$$

Balance de material en la decantación

Diagrama III-4: Balance de materia en la etapa de decantación



Fuente: Elaboración propia, 2019.

$$M6 = M7 + M8$$

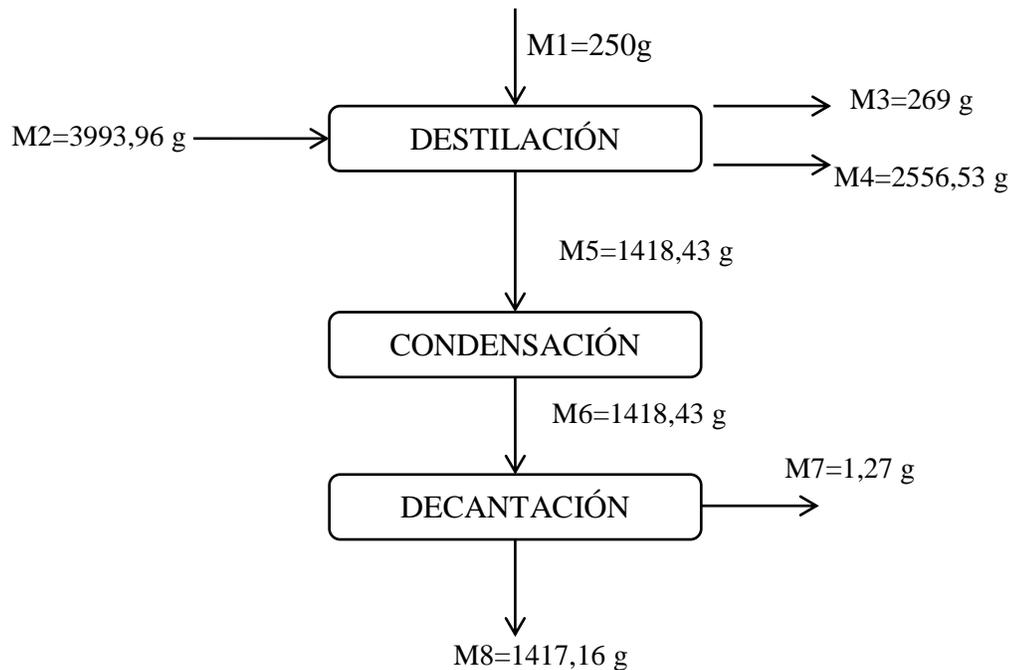
$$M8 = M6 - M7$$

$$M8 = 1418,43 \text{ g} - 1,27 \text{ g}$$

$$M8 = 1417,16 \text{ g.}$$

El resumen del balance de materia de la obtención de aceite esencial de laurel se muestra en la siguiente figura.

Diagrama III-5: Resumen del balance de materia de la obtención de aceite esencial de laurel.



Fuente: Elaboración propia, 2019

La masa de vapor generado en la torre destilación es el siguiente:

$$M_{vapor} = M8 + M7 + Mr$$

$$M_{vapor} = 1417,16 \text{ g} + 1,27 \text{ g} + 19 \text{ g}$$

$$M_{vapor} = 1437,43 \text{ g.}$$

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

$$F_{vapor} = \frac{1,43743 \text{ kg.}}{5400 \text{ s}}$$

$$F_{vapor} = 2,66 \times 10^{-4} \text{ kg/seg}$$

3.5.2. Balance de Energía en la Obtención de aceite esencial de laurel.

Balance de energía en la destilación

Calor sensible Q_{sensible} :

$$Q_{\text{sensible}} = M2 * Cp * (T_{\text{vapor}} - T_{\text{inicial}})$$

$$Q_{\text{sensible}} = 3,993 \text{ kg} * \frac{1 \text{ Kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (93 - 19)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{sensible}} = 295,55 \text{ kcal}$$

Potencia de la hornalla a gas:

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

$$P = \frac{295,55 \text{ kcal}}{0,47 \text{ h}}$$

$$P = 628,81 \text{ kcal/h}$$

Calor latente para la generación de vapor Q_{latente}

$$Q_{\text{latente}} = P * t_{\text{extracción}}$$

$$Q_{\text{latente}} = 628,81 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} * 1,5 \text{ h}$$

$$Q_{\text{latente}} = 943,24 \text{ kcal}$$

Calor total requerido en la destilación para la extracción Q_{TOTAL}

$$Q_{TOTAL} = Q_{sensible} + Q_{latente}$$

$$Q_{TOTAL} = 295,55 \text{ kcal} + 943,24 \text{ kcal}$$

$$Q_{TOTAL} = 1238,79 \text{ kcal}$$

Calor latente de vaporización del agua a 93 °C $\lambda_{vaporización}$.

$$\lambda_{vaporización} = \frac{Q_{latente}}{M_{vapor}}$$

$$\lambda_{vaporización} = \frac{943,24 \text{ kcal}}{1,448 \text{ kg}}$$

$$\lambda_{vaporización} = 651,40 \text{ kcal/kg}$$

Balance de energía en el condensador

Calor cedido por el vapor Q_{cedido}

$$Q_{cedido} = M_{vapor} * \lambda_{vaporización} + M_{vapor} * Cp * (T_{condensado} - T_{vapor})$$

$$Q_{cedido} = 1,437 \text{ kg} * 651,40 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} + 1,437 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (22 - 93)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{cedido} = 834,28 \text{ kcal}$$

Calor recibido por el agua de refrigeración $Q_{recibido}$

$$Q_{recibido} = m_{refrigeración} * Cp * (T_{salida} - T_{entrada})$$

$$Q_{recibido} = 808,38 \text{ kg} * 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (20 - 19)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{recibido} = 808,38 \text{ kcal}$$

Porcentaje de transferencia de calor

$$\% \text{transferencia de calor} = \frac{Q_{\text{recibido}}}{Q_{\text{cedido}}}$$

$$\% \text{transferencia de calor} = \frac{808,38 \text{ kcal}}{834,28 \text{ kcal}} * 100$$

$$\% \text{transferencia de calor} = 0,9689 * 100$$

$$\% \text{transferencia de calor} = 96,89\%$$

La cantidad de combustible se calcula de la siguiente manera

$$P_{\text{hornilla}} = 628,81 \text{ kcal/h}$$

$$\text{Poder calorífico del gas natural} = 9300 \text{ kcal/m}^3$$

Tiempo total de consumo

$$t_{\text{total}} = t_{\text{acondicionamiento}} + t_{\text{extracción}}$$

$$t_{\text{total}} = 0,47 \text{ h} + 1,5 \text{ h}$$

$$t_{\text{total}} = 1,97 \text{ h}$$

$$V_{\text{Combustible}} = \frac{P * t_{\text{total}}}{\text{Poder calorífico}}$$

$$V_{\text{Combustible}} = \frac{628,81 \text{ kcal/h} * 1,97 \text{ h}}{9300 \text{ kcal/m}^3}$$

$$V_{\text{Combustible}} = 0,133 \text{ m}^3$$

En la siguiente tabla se presenta el resumen del balance de materia y energía

Tabla III-25: Resumen del balance de energía

Término	Valor
Calor sensible	295,55 kcal
Calor latente	943,24 kcal
Calor total	1238,79 kcal
Calor latente de vaporización del agua a 93 °C	651,40kcal/kg
Calor cedido	834,28 kcal
Calor recibido	808,38kcal
% de transferencia de calor	96,89%
Potencia de la hornalla	628,81 kcal/h
Volumen de combustible utilizado para una extracción	0,133m ³

Fuente: Elaboración propia, 2019

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Las hojas de laurel en Tarija tienen una forma lanceolada, su textura en estado fresco es suave y en seco es más rígida, la hoja es de color verde oscuro con aspecto brillante encima, mientras que el envés presenta un tono más pálido, el tamaño oscila entre 3,5 y 7 cm de largo y el ancho entre 2 y 3 cm, en cuanto al olor se acerca las hojas a la nariz y se percibe un ligero aroma dulce picante que es el aroma característico del laurel. Luego de comparar con bibliografía peruana y argentina se concluye que no existe una diferencia significativa entre las características organolépticas de hojas de laurel de diferentes partes del mundo.
- Se determinó el porcentaje de humedad de las hojas frescas a pocas horas de ser cosechadas y de las hojas secas después de catorce días de secado al ambiente, este análisis se realizó con el analizador infrarrojo SARTORIUS MA 100 perteneciente a la Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química, y dio como resultado 44,33 % de humedad en materia fresca y 8,21% en materia fresca
- Se determinó como variables el tamaño de la muestra y la masa de laurel, que influyen directamente sobre el rendimiento expresado en volumen de aceite esencial/masa de hojas de laurel.
- El tiempo de extracción de aceite esencial de laurel el cual es de 90 minutos.
- El aceite esencial de hojas de laurel de Tarija se extrae por el método de destilación por arrastre de vapor de agua. El equipo opera a la presión atmosférica y a 93°C. Los vapores provenientes de la cámara se enfrían en el condensador, y se recibe el aceite esencial a una temperatura de 22 °C
- El aceite esencial de laurel obtenido presenta un color ligeramente amarillo, un olor picante y un aspecto líquido; los mismos que coinciden con los resultados de la bibliografía.

- La densidad relativa del aceite esencial de laurel de Tarija es de 0.9103g/ml y el índice de refracción es de 1,4754; comparándolos con los datos de bibliografía se determina que se encuentran dentro de los rangos.
- El análisis de cromatografía gaseosa acoplado a detector de masas, se encuentran 9 compuestos mayoritarios en el aceite obtenido: eucalyptol, linalool, α -terpineol acetate, thujene, isohomogenol, linalool formate/linalyl butyrate, terpinene, 1-R- α -pinene y limonene. De los cuales los primeros tres compuestos están registrados en la lista de los componentes característicos del aceite esencial de laurel.
- Empleando las hojas frescas para la extracción de aceite esencial de laurel se obtiene un rendimiento cercano a cero. En el vaso florentino se obtiene solo trazas de aceite esencial, los cuales eran imposibles de separar de la fase acuosa.
- Se concluyeron los siguientes valores como condiciones de operación, a un tamaño de 0,5 cm se tiene un rendimiento de 0.56 % (0,56 ml de aceite esencial/100 gr de materia prima) , a un tamaño de 3,5 cm 0,44% y a un tamaño de 7 cm 0,40. Con esto se concluye que a menor tamaño de la muestra mayor es el rendimiento, ya que mayor será el área de contacto entre las hojas de laurel y el vapor de agua. Usando 500 g de muestra se obtiene un rendimiento de 0.54 % en volumen de aceite esencial/100 g de muestra y con una masa de 250 g se tiene un rendimiento de 0.56% en volumen de aceite esencial/100 g de muestra; es decir, a menor masa mayor el rendimiento.

5.2. Recomendaciones

- En esta investigación se demuestra de acuerdo a lo obtenido en el desarrollo del presente proyecto resultados satisfactorios en cantidad y calidad de aceite, sin embargo estos resultados son a escala experimental; de acuerdo al trabajo realizado se determinó que no existe producción por lo que se recomienda realizar estudios de mercado para este aceite ya que este tiene muchas aplicaciones y usos industriales, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores.
- Evaluar el rendimiento de aceite esencial de laurel en las diferentes estaciones del año a objeto de observar si existe variación
- Realizar un estudio sobre la actividad antiséptica del hidrolato de laurel (subproducto obtenido del proceso de destilación).
- Extender el estudio de la extracción de aceites esenciales a otras plantas que son nativas del país y de las cuales no se tiene mucha información como la muña, carqueja, etc

