

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL CEDRÓN

Cymbopogon citratus (DC.) Stapf.

Es una planta medicinal aromática que posee grandes propiedades medicinales, dentro de los nombres más comunes de la Hierba Luisa tal como indica Fonegra (2007) son: en la Región Amazónica es llamada patchuli; en Cuba, caña de limón; en Costa Rica, México y Nicaragua, zacate limón, té limón, zacate té; en España, caña de limón, caña santa, hierba de la calentura, hierba limón, limoncillo, malojillo; en Estados Unidos, lemongrass; en Venezuela, malojillo criollo. Por otro lado Lopera y Pelaéz, (2005) afirma que: en Colombia es conocida como Limonera, en Panamá, paja de limón.

Es una planta originaria de la India, Asia Suroriental y África, crece bien en clima tropical y subtropical. Vida, (2006); citado por (Green, 2007) Vida, afirma: que el *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. Es bien conocida en las regiones Sur y Sureste de Brasil, es muy utilizada en los ornamentos, las prácticas medicinales y también para controlar erosiones (Jiménez y Fonnegra, 2007).

Figura I- 1 Planta de cedrón.



Fuente:https://es.wikipedia.org/wiki/Cymbopogon_citratus

1.2 CARACTERIZACIÓN DEL CEDRÓN

Es un pasto perenne que crece de 60 a 100 cm de altura, tiene un rizoma corto y ramificado que origina numerosas macollas, con hojas largas y planas, pubescentes y acentuadamente verdes que despiden un aroma muy agradable a limón que tiene su origen en el citral, ya que es el principal componente de su aceite esencial. Sus hojas son arrosetadas en la base de la planta, son largas, lineales cuando son jóvenes y erguidas cuando son antiguas (Fonnegra R., 2007). Y entre 1 y 2 cm de ancho, (Vallecillo, 2004).

Poseen textura seca y quebradiza. Tienen los bordes ásperos llenos de cerdas parecidos al filo de un serrucho, que al manipular la planta cortan, (Green, 2007). De acuerdo a las condiciones locales varía el color de la planta y rara vez florece.

No es exigente en la calidad de los suelos, pero los mejores rendimientos se logran en suelos bien drenados y mullidos. Las sequías prolongadas son perjudiciales para el desarrollo y aroma de las hojas.

La cosecha y la conservación se lleva a cabo cortando las hojas por medios mecánicos, cuando las puntas comienzan a amarillearse y la base (cuello) de la planta se torna rojiza. Los cortes se pueden hacer de 2 a 3 veces por año, las hojas se las dejan orear durante 24 horas y luego se traslada para su secado (Especies-aromáticas M.D.S. Bolivia).

1.2.1 TAXONOMÍA DEL CEDRÓN

Reino: Vegetal.

Phylum: Telemophytae.

División: Tracheophytae.

Subdivisión: Anthophyta.

Clase: Angiospermae.

Subclase: Monocotyledoneae.

Orden: Poales.

Familia: Poaceae.

Subflia.: Panicoideae.

Tribu: Andropogoneae.

Nombre científico: *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.

Nombre común: Cedrón.

Fuente: (Herbario Universitario, (T.B.) 2018)

1.2.2 PARTES DE LA PLANTA DE CEDRÓN

Tabla I- 1 Partes de la planta de cedrón.

PARTE	DESCRIPCIÓN
Raíz	El cedrón posee una raíz corta y fibrosa, sus raíces en el suelo se encuentran a una profundidad de 0.30 cm.
Tallo	Presenta dos tipos de tallo: rizoma taelosubterraneo y el tipo caña.
Hoja	Simples lineales.
Flor	Tipo espiguilla bifloras. La planta no tiende a florecer, cuando lo hace es porque ha crecido en un clima propio y no ha sido cortada en muchos años.

Fuente: Acosta I. *Encargado Herbario Universitario, (T.B.), 2017.*

1.3 USOS DEL CEDRÓN

Tabla I- 2 Usos del cedrón.

USOS	
Medicina	Tiene diversas propiedades internas tales como digestivas, antiespasmódicas, contra los gases, el mal aliento, también para relajar y tonificar los nervios.
Agrícola	Se usa como barrera viva contra la erosión en lugares con pendientes inclinados.
Gastronomía	Las hojas se usan para preparar aguas aromáticas, refrescos y dulces.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

1.4 PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL CEDRÓN

Tabla I- 3 Porcentaje de humedad del cedrón.

PLANTAS	HUMEDAD (%)
CEDRON	61,97
SUNFO	76,31
CEDRON (HIERBA LUISA)	72,62

Fuente: VELÁSQUEZ, J. (1996) *Proyecto piloto “Recolección, adaptación y producción de biomasa de plantas medicinales y aromáticas de la sierra ecuatoriana” Informe de actividades DENAREF- DPS Quito-Ecuador.*

1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEDRÓN

Tabla I- 4 Composición química del cedrón.

COMPUESTO	PORCENTAJE %
Aceite esencial	0.1 - 0.3
Monoterpenos: lilmoneno	6
Sesquiterpenos	18
Alcoholes alifáticos	1 – 1,5
Monoterpenoles	15 – 16
serquilerpenoles	4 – 5
Esteres terpenicos	6
Aldehídos	39 – 40

Fuente: CUASPUD, M (2004) *Extracción de aceites esenciales y análisis de posibles compuestos insecticidas de Vetiver (Vetiveria Zinazoide); FICAYAUTN (Ibarra-Ecuador).*

1.6 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

Tabla I- 5Componentes del aceite esencial del cedrón.

Nº	COMPUESTO	DB-5MS		
		IK ^{cal}	IK ^{ref}	%
1	β-myrcene	988	988	13,89
5	α-Ocimene	1035	1033	0,34
6	Trans-β-Ocimene	1046	1044	0,20
7	α-Terpinolene	1102	1097	0,56
11	Cis-α-Terpineol	1162	1160	1,17
13	Isocitral E	1181	1177	1,45
16	β-Citral	1240	1241	31,39
17	α-Citral	1250	1267	0,48
18	β-Geraniol	1255	1253	3,71
19	Geranial	1271	1264	44,91
20	2-Undecanone	1296	1296	0,63
23	Caryophyllene	1408	1410	0,12
24	Trans-α-bergamotene	1427	1431	0,07
28	Caryophyllene oxide	1576	1573	0,04
TOTAL		98,96		

Fuente: Caracterización física y química de aceites esenciales (Rojas Jaramillo, Katty Yasmín, 2016).

Nº: Según el orden de elución en la columna DB-5MS.

IK^{cal}: Índice de Kóvats calculado.

IK^{ref}: Índice de Kóvats reportado en la literatura.

%: Calculado en base al porcentaje de área de los picos reportados en la columna DB-5MS.

1.7 ACEITE ESENCIAL

Los Aceites Esenciales se definen como la mezclas de componentes volátiles, productos del metabolismo secundario de las plantas. Se encuentran muy difundidos en el reino vegetal, de las 300 familias de plantas, de 60 a 80 producen aceites esenciales. Las principales plantas que contienen aceites esenciales, se encuentran en familias como: compuestas, labiadas, lauráceas, mirtáceas, rosáceas, rutáceas, umbelíferas, pináceas.

Los aceites esenciales están contenidos en semillas, glándulas, pelos glandulares, sacos, o venas de diversas piezas de la plantas.

1.8 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son sustancias volátiles lo que los diferencia de los aceites fijos y generalmente son líquidos a temperatura ambiente, solubles en aceites, alcohol, éter de petróleo, tetracloruro de carbono y además solventes orgánicos; insolubles en agua aunque le transmiten su perfume; son inflamables, responsables del aroma de la plantas, colores y sabores, a veces dulces o amargos, con densidad generalmente inferior a la del agua. Están compuestos en su mayor parte por hidrocarburos de la serie de polimetilénica del grupo de los terpenos que se encuentran con otros compuestos, casi siempre oxigenados (Castillo S. (2016)).

Los aceites esenciales presentan las siguientes características físicas:

- Son líquidos fluidos a temperatura ambiente
- Son no grasos

- Son volátiles.
- El color y el olor de estos depende de la planta de la cual se lo extrae.
- Densidad inferior a la del agua.
- Índice de refracción mayores que el del agua.
- La mayoría son insolubles en agua, pero se disuelven con facilidad en alcohol, éter y entre ellos mismos.

1.9 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES

Como sabemos un aceite esencial está compuesto por centenares de sustancias distintas. Generalmente, aunque hay excepciones, los componentes mayoritarios son hidrocarburos terpénicos (sin aroma o con poca distribución de aroma global) y los minoritarios (no por ello menos importantes) son los responsables del aroma característico del aceite esencial y quedan englobados en distintas familias químicas.

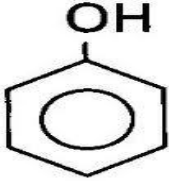
- Hidrocarburos terpénicos: terpenos y terpenoides.
- Aldehídos: aldehído benzoico, aldehído cinámico, butanal, propanal.
- Ácidos: acético, palmítico.
- Alcoholes: linalol, geraniol, mentol.
- Fenoles: anetol, eugenol.
- Ésteres: acetato de linalilo, acetato de geranilo.
- Cetonas: tujona.

Otros ésteres, derivados nitrogenados, sulfuros, tioéteres, tioésteres.

Considerando el aceite esencial como producto de aroma característico y clasificado su composición sobre la base de esta propiedad, se puede afirmar que un aceite esencial es una mezcla de sustancias constituida fundamentalmente por una base

integrada por hidrocarburos terpénicos. En menor concentración se encuentra un número no muy alto de sustancias químicas volátiles que son los responsables principales del aroma global del aceite esencial (Composición-química-de-los-aceites-esenciales/scribd.com).

Tabla I- 6 Propiedades químicas de los aceites esenciales.

Compuesto	Grupo funcional	Ejemplo	Propiedades
Alcohol	R-OH	Mentol, geraniol	Antimicrobiano, antiséptico, tonificante, espasmolítico.
Aldehído	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{H} \end{array}$	Citral, citronelal	Espasmolítico, sedante, antiviral.
Cetona	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}^1-\text{C}-\text{R}^2 \end{array}$	Alcanfor, tuyona	Mucolítico, regenerador celular, neurotóxico.
Éster	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{R}-\text{C}-\text{OR}' \end{array}$	Metil salicilato	Espasmolítico, sedativo, antifúngico.
Éteres	R - O - R	Cineol, ascaridol	Expectorante, estimulante.
Éter fenólico	Anillo - o-c	Safrol, anetol, miristicina	Diurético, carminativo, estomacal, expectorante.
Fenol		Timol, eugenol, carvacrol	Antimicrobiano, irritante, entumulante inmunológico.
Hidrocarburo	Solo contienen C y H	Pineno, limoneno	Estimulante, descongestionante, antivírico, antitumoral.

Fuente: Castillo S. (2016) *extracción de aceite esencial de hojas de albahaca.*

1.10 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales se clasifican con base en las siguientes categorías:

Consistencia

De acuerdo con su consistencia los aceites esenciales se clasifican en:

- Esencias.
- Bálsamos.
- Oleoresinas.

Esencias fluidas: son líquidos volátiles a temperatura ambiente.

Bálsamos: Son de consistencia más espesa, poco volátiles, contienen principalmente sesquiterpenoides y son propensos a polimerizarse. Son extractos naturales obtenidos de un arbusto o árbol. Se caracteriza por tener un alto contenido de ácido benzoico y cinámico, así como sus correspondientes esteres.

Oleoresina: Son mezclas homogéneas de resinas y aceites esenciales. Por ejemplo, la trementina, obtenida por incisión de los troncos de diversas especies de Pinus. Contiene resina (colofonia) y aceite esencial (esencia de trementina) que se separa por destilación por arrastre de vapor. Tienen el aroma de plantas en forma concentrada, son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas. Contiene los aceites esenciales, los aceites fijos, colorantes y los principios activos de la planta (Sistema de Bibliotecas SENA).

Origen

De acuerdo a su origen los aceites esenciales se clasifican como:

- Naturales
- Artificiales
- Sintéticos

Naturales: Se obtiene directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosas.

Artificiales: Se obtiene a través de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes, por ejemplo, la mezcla de esencia de rosa, geranio y jazmín, enriquecida con linalol, o la esencia de anís enriquecida con anetol.

Sintético: 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 tanto son mucho más utilizados como aromatizantes y saborizantes. Esencias de vainilla, limón, fresa, etc. (Sistema de Bibliotecas SENA).

Naturaleza química

El contenido total de aceites esenciales en una planta es generalmente bajo (inferior al 1%) pero mediante su extracción se obtienen en una forma muy concentrada que se emplea en los diversos usos industriales. La mayoría de ellos, son mezclas muy complejas de sustancias químicas. La proporción de estas sustancias varía de un aceite a otro, y también durante las estaciones, a lo largo del día, bajo las condiciones de cultivo y genéticamente.

Según la estructura química de los componentes mayoritarios que determinan el olor particular de los aceites, estos se dividen en tres grupos principales:

- Monoterpenoides (linalol, nerol, 1 – 8 cineol, geraniol).
- Sesquiterpenoides (farnesol, nerolidol).

- Compuestos oxigenados: alcoholes, aldehídos, cetonas. (Sistema de Bibliotecas SENA).

1.11 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

El aceite esencial de cedrón se obtiene de las hojas de la planta mediante el método que se elija, siendo el más común el método de destilación por arrastre de vapor.

El rendimiento del aceite esencial de cedrón varía dependiendo de varios factores, como son: época de la recolección de la planta, lugar de crecimiento de la planta, variaciones genéticas de la planta, edad de la planta cuando fue recolectada, órgano del cual se va a extraer el aceite, entre otras. Los aceites esenciales se pueden extraer de las hojas frescas o secas del cedrón; como se muestra en la siguiente tabla, se obtiene un mayor rendimiento al extraer con las hojas secas.

Los siguientes rendimientos de aceite esencial son de 1 kg de materia prima.

A1= Cedrón (*Hierba luisa*)

B1= Fresco

B2= Deshidratado

C1= 45 minutos-destilación

C2= 90 minutos- destilación

R= Rendimiento

Tabla I- 7 Rendimiento de aceite esencial de cedrón según el estado de la planta.

RENDIMIENTO (ml)				
	R1	R2	R3	\bar{X}
A1B1C1	3,6	3,5	3,4	3,50
A1B1C2	4,6	4,8	3,7	4,37

A1B2C1	4,4	4,3	4,7	4,47
A1B2C2	5,5	6,3	4,5	5,43

Fuente: 03 AGI Tesis (CUASPUD, M (2004) *Extracción de aceites esenciales y análisis de posibles compuestos insecticidas de Vetiver (Vetiveria-Zinazoide)*).

1.12 COMPONENTES PRINCIPALES DEL ACEITE ESENCIAL DEL CEDRÓN

Los principales componentes en el aceite esencial del cedrón son los que se muestra en la tabla continuación.

Tabla I- 8 Composición del aceite esencial de cedrón.

COMPONENTE	PORCENTAJE
Z- Citral (Neral)	31.15%
E- Citral (Geranial)	43.37%
Limoneno	15.59%
Geraniol	4.74%
Linalool	1.10%
Acetato de geranilo	0.64%

Fuente: Linares (2005); citado por (Castro y Bedoya, 2011).

Acerca de la composición del aceite esencial del cedrón (hierba luisa), menciona que está compuesto por electrolitos y minerales como (Na, K, Ca, Cu, Mg, Mn, Se, P, Fe y Zn), vitaminas (folato, niacina, piridoxina, riboflamina y vitaminas A y E), macronutrientes (carbohidratos y proteínas), razón por la cual este aceite es responsable de un margen amplio de acciones terapéuticas (Burbano V.A., (2016)).

1.13 USOS DEL ACEITE ESENCIAL DEL CEDRÓN

Tabla I- 9 Usos del aceite esencial del cedrón.

USOS	
-------------	--

Uso Medicinal	<p>Carminativo: Es útil para expulsar los gases del aparato digestivo, evitando las flatulencias y la aerofagia.</p> <p>Estómago: Para facilitar la digestión o en estómagos débiles o nerviosos, ejerce una función tónico estomacal, digestiva y tranquilizante, evitando los espasmos y la dispepsia, malas digestiones, acompañadas de gases, sensación de vómito y ardor en el estómago.</p> <p>Mal aliento: Cuando se tiene la tendencia a tener halitosis (mal aliento), resulta útil realizar enjuagues bucales.</p> <p>Relajante: Resulta adecuada la infusión de hierba luisa para relajar y tonificar los nervios.</p>
Uso en Aromaterapia	Cuando se utiliza en masaje, también es utilizado en los saunas como aromatizante y llegan a aumentar la cantidad de nutrientes que llegan a los músculos cansados.
Industria Alimentaria	Se lo emplean: salsas, condimentos, en preparación de bebidas alcohólicas y no alcohólicas.
Industria Farmacéutica	Se usan en cremas dentales, analgésicos, se usa como complemento para el tratamiento de caída del cabello y caspa.
Industria de Cosméticos	Esta industria emplea los aceites esenciales en la producción de cosméticos, jabones, colonias y perfumes.
Industria Agroquímica	En la elaboración de Bioinsecticidas y agroquímicos.

Fuente: Castillo S. (2016).

1.14 PROCESOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DEL CEDRÓN

Los aceites esenciales se pueden extraer mediante diferentes métodos como: prensado, destilación con vapor de agua, extracción con solventes volátiles, enfleurage y con fluidos súper críticos.

1.14.1 Prensado

Este procedimiento es utilizado para la extracción de esencias cítricas, raspando o prensando la cascara de los frutos cítricos que es donde contienen su aceite esencial.

El material vegetal es exprimido mecánicamente para liberar el aceite y este es recolectado y filtrado.

En la actualidad se usan máquinas especializadas que ejercen presión sobre la cascara de estos frutos.

Los aceites esenciales de cítricos obtenidos por prensado tienen características odoríferas superiores a los obtenidos por cualquier método de destilación. Esto es debido a la ausencia de calor durante el procesado y la presencia de componentes que no serían volátiles en el vapor. Son también más estables a la oxidación, ya que contienen sustancias antioxidantes naturales, como tocoferoles, las cuales no son volátiles en el vapor. La ausencia de daño térmico en el aceite es significativa.

Los aceites obtenidos por prensado en frío, se extraen del pericarpio de la piel del cítrico, raspando o rompiendo los sacos de aceite cercanos a la superficie de la fruta. Este proceso involucra la abrasión de la piel (Sistema de Bibliotecas SENA).

Figura I- 2 Prensa multiuso de aceite en frio.



Fuente: Pagina wed. Disponible en:
<http://www.orsemachine.com>.

1.14.2 Extracción con solventes volátiles

Consiste en poner en contacto la mezcla molida y seca, con alcohol o cloroformo.

Estos compuestos solubilizan el aceite, pero también extraen otras sustancias como grasas y ceras. Se utiliza a escala de laboratorio, pues a nivel industrial resulta costoso por el alto valor comercial de los solventes y porque se obtienen esencias mezcladas con otras sustancias.

1.14.3 Enflorado o enfleurage

El material vegetal (generalmente flores) se pone en contacto con una grasa. La esencia es solubilizada en la grasa que actúa como vehículo extractor. Se obtiene inicialmente una mezcla de aceite esencial y grasa la cual es separada posteriormente por otros medios físicos-químicos. En general se recurre al agregado de alcohol caliente a la mezcla y su posterior enfriamiento para separar la grasa (insoluble) y el

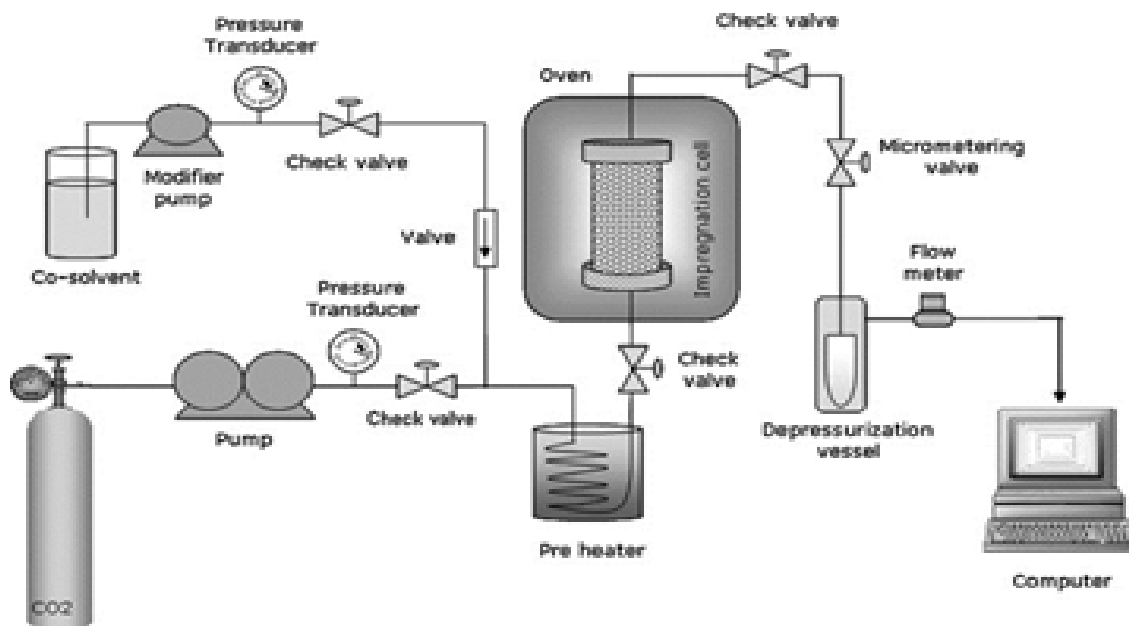
extracto aromático (absoluto). Esta técnica es empleada para la obtención de esencias florales (rosa, jazmín, azahar, etc.).

Con este método se obtiene un aceite esencial de bajo rendimiento y la separación del aceite extractor es muy difícil, lo que acrecienta el costo monetario de este método de extracción.

1.14.4 Extracción con fluidos supercríticos

El material vegetal cortado en trozos pequeños, o molido, se empaca en una cámara de acero inoxidable y se hace circular a través de la muestra un fluido en estado supercrítico (por ejemplo CO₂). Las esencias son así solubilizadas y arrastradas mientras que el fluido supercrítico, que actúa como solvente extractor, se elimina por descomposición progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente. Finalmente se obtiene una esencia cuyo grado de pureza dependen de las condiciones de extracción. Este procedimiento presenta varias ventajas: alto rendimiento, fácil eliminación del solvente (que además se puede reciclar), no se alteran las propiedades químicas de la esencia por las bajas temperaturas utilizadas para su extracción. Sin embargo el equipo requerido de extracción es relativamente costoso, ya que se requieren bombas de alta presión y sistemas de extracción también resistentes a las altas presiones.

Figura I- 3 Proceso de extracción de aceite esencial con solventes supercríticos.



Fuente: <https://www.uam.es>

1.14.5 Destilación por arrastre de vapor de agua

Es el proceso más común para extraer aceites esenciales, mas no es aplicable a flores ni a materiales que se apelmazan. En esta técnica se aprovecha la propiedad que tienen las moléculas de agua en estado de vapor de asociarse con moléculas de aceite. La extracción se efectúa cuando el vapor de agua entra en contacto con el material vegetal y libera la esencia, para luego ser condensada. Con el fin de asegurar una mayor superficie de contacto y de exposición de las glándulas de aceite, se requiere picar el material según su consistencia.

En este método se utiliza inyección directa de vapor de arrastre, que no tiene la función de arrastrar al componente volátil si no de condensarse formando otra fase inmiscible que cederá su calor latente a la mezcla a destilar para lograr su evaporación.

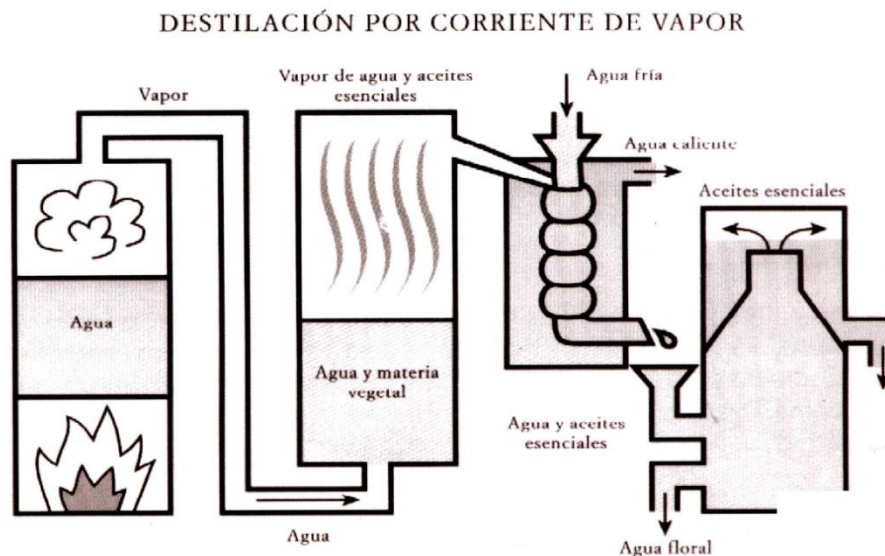
En este caso se obtiene la presencia de dos fases inmiscibles a lo largo de la destilación, por lo tanto cada líquido se comportara como si el otro no estuviera

presente; es decir cada uno ejerce su propia presión de vapor perteneciente a la de líquido puro a una temperatura de referencia. La presión total del sistema es la suma de las presiones de vapor de los componentes de la mezcla orgánica y del agua.

Descripción del proceso: El vapor de agua se inyecta desde una caldera externa por medio de tubos difusores, ubicados en la parte inferior de la masa vegetal que se coloca sobre una parrilla interior de un tanque extractor. El vapor de agua provoca que los aceites esenciales se difundan desde las membranas de la célula hacia fuera (Sistema de Bibliotecas SENA).

Generando una mezcla de aceite esencial y vapor de agua que pasan por un serpentín, un intercambiador de calor para enfriarse hasta que se condensen. La mezcla líquida se dirige a un decantador, donde se separa el agua del aceite esencial.

Figura I- 4 Proceso de extracción de aceite esencial por arrastre de vapor.



Fuente: Ir-valencia.blogspot.com.

1.14.6 Destilación con agua o hidrodestilación

Consiste en poner a hervir agua, bien sea por fuego directo, camisa de vapor o camisa de aceite, en la cual se ha sumergido previamente el material vegetal, preferiblemente molido, con el objeto de que el vapor de agua ejerza su acción en el mayor número posible de partículas vegetales.

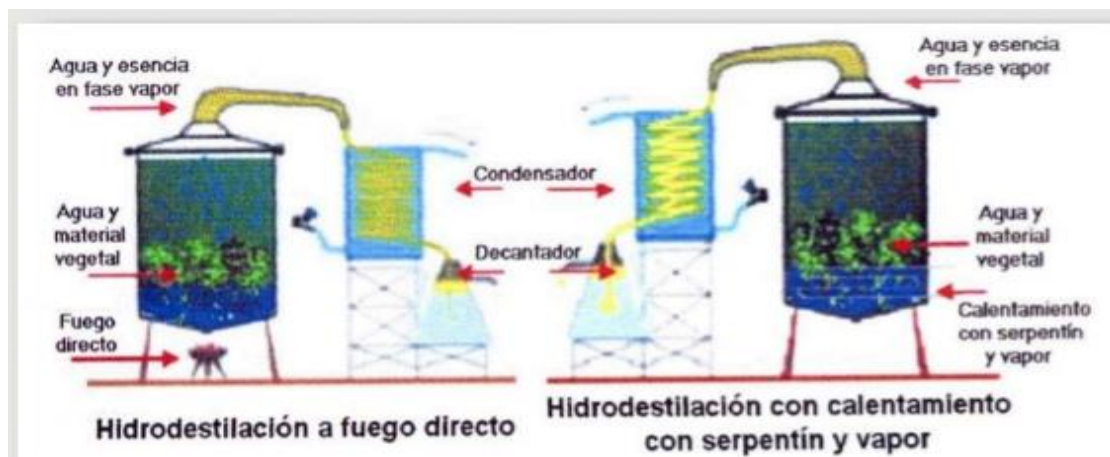
Similar al arrastre con vapor, el vapor producido arrastra los aceites esenciales hasta otro recipiente donde se condensan y se separan. Este sistema de extracción tiene el inconveniente de que la temperatura que se emplea provoca que algunos compuestos presentes en las plantas se degeneren y se pierdan. El material vegetal aromático siempre debe encontrarse en contacto con el agua, para así evitar el sobrecalentamiento y la carbonización del mismo. Debe mantenerse en constante agitación para evitar que se aglomere o sedimente al adherirse a las paredes del recipiente, lo cual puede provocar también su degradación térmica.

Dado que generalmente no es posible colocar suficiente agua para sostener todo el ciclo de destilación, se han diseñado equipos que se presentan en un tubo de cohobación lateral que permite el retorno de agua hacia el recipiente de destilación.

En general, los aceites producidos por destilación en agua son de menor calidad por las siguientes razones:

1. Algunos componentes son sensibles a la hidrólisis, mientras que otros, son susceptibles de polimerización.
2. Los compuestos oxigenados tienden a ser parcialmente solubles en agua de destilación, por lo que es imposible la remoción completa de estos compuestos.
3. Los tiempos requeridos de destilación son demasiados largos, lo cual se asocia a un detrimento de la calidad del aceite obtenido (Sistema de Bibliotecas SENA).

Figura I- 5 Equipo de hidrodestilación.



Fuente: Biblioteca SENA

1.14.7 Destilación agua-vapor o vapor húmedo

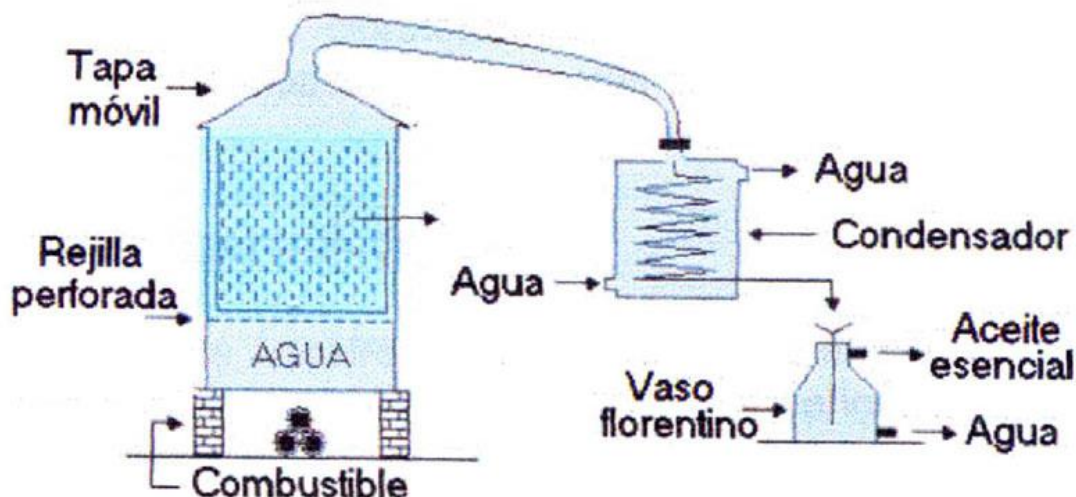
Este procedimiento comúnmente se utiliza en el agro para destilar especialmente hierbas y hojas. El material se coloca sobre una parrilla, y luego, entre el fondo y la parrilla se coloca agua, hasta un nivel un poco inferior a la parrilla. Cuando se dispone de poco agua, el agua que sale con el aceite esencial en la primera extracción, se recircula al extractor para sostener el proceso de destilación (cohobación).

El recalentamiento se puede efectuar desde una fuente externa o dentro del propio cuerpo del extractor. El vapor de agua producido, se satura, atraviesa el material que se encuentra sobre la parrilla y provoca el arrastre de la esencia, no existe peligro de sobrecalentamiento del material vegetal, tal como ocurre en la hidrodestilación.

Se debe prevenir el recalentamiento porque produce un olor desagradable en el aceite, y acanalar el vapor generado, de manera que se distribuya uniformemente en el alambique.

Aunque este sistema mejora la calidad del aceite obtenido por hidrodestilación, y además tiene aplicación en el trabajo experimental, no es conveniente para ninguna destilación comercial (Sistema de Bibliotecas SENA).

Figura I- 6 Equipo de destilación agua-vapor.



Fuente: Biblioteca SENA

1.14.8 Destilación previa maceración

El método se aplica al extraer el aceite de semilla de almendras amargas, bulbos de cebolla, bulbos de ajo, semillas de mostaza y hojas de corteza de abedul. En el caso de plantas aromáticas, la maceración en agua caliente se emplea para favorecer la separación de su aceite esencial, ya que sus componentes volátiles están ligados a componentes glicosilados (Sistema de Bibliotecas SENA).

1.14.9 Destilación al vacío

Se han diseñado sistemas para aislar constituyentes del aceite esencial, el cual se basa en sus diferentes puntos de ebullición. La mayor ventaja de este método, es la mínima probabilidad de descomposición de los aceites esenciales y formación de compuestos no deseados, debido a las bajas temperaturas de trabajo (Sistema de Bibliotecas SENA).

1.14.10 Destilación molecular

Este método se utiliza para la obtención de productos coloreados, más estables y la recuperación de las notas más delicadas que caracterizan los aceites esenciales. Se basa en una destilación de material entre 10,3 a 10,6 psi, cuyo producto se procesa con diversos solventes orgánicos, que luego se separan y recuperan, obteniendo en cada fase orgánica compuestos determinados del aceite esencial según su afinidad frente al solvente (Sistema de Bibliotecas SENA).

1.15 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN

Para facilitar la selección del método de trabajo, se realiza a través de una matriz de elección Tabla I- 9.

Para tabla:

- A. Prensado.
- B. Enflorado.
- C. Extracción con solventes.
- D. Extracción con fluidos supercríticos.
- E. Destilación por arrastre de vapor.

Rangos de valores:

Aplicable a las hojas de cedrón:

Si = 10

No = 0

Disponibilidad del equipo:

Disponible = 6

Costosa disponibilidad = 3

Disponibilidad en la Facultad de

Ciencias y Tecnología = 10

Calidad del producto obtenido:

Mala = 3

Buena = 6

Muy buena = 10

Costo:

Bajo = 10

Alto = 6

Muy alto = 3

Contaminación por solventes:

Si = 0

No = 10

Tabla I- 10 Selección de metodología de trabajo.

Factores	Porcentaje	Alternativas de los procesos de extracción										
		A	B	C			D			E		
Aplicación a las hojas de cedrón	30	No	No	Si	10	300	Si	10	300	Si	10	300
Disponibilidad de equipos	25			Si	6	150	Costosa	3	75	Disponible en la Fac.de Cs. y Tec.	10	250
Calidad del producto	20			Mala	3	60	Muy buena	10	200	Buena	6	120
Costo	15			Alto	6	90	Muy alto	3	45	Bajo	10	150
Toxicidad por solventes	10			Si	0	0	Si	0	0	No	10	100
TOTAL	100	0	0			600			620			920

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Por los resultados de la tabla anterior se puede concluir que la mejor opción para la extracción de aceite esencial de cedrón es el Método de Destilación por Arrastre con vapor de agua.

1.16 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 de la misma especie dependiendo el clima, zona de cultivo, la madurez de la planta, etc. (Sistema de Biblioteca SENA).

Se tiene que tomar en cuenta los siguientes parámetros analíticos en el control de calidad de los aceites esenciales que se muestra en la Tabla I- 11:

Tabla I- 11 Clasificación de los parámetros analíticos utilizados en el control de calidad de aceites esenciales.

Características organolépticas	Olor Color Apariencia
Determinaciones físicas	Densidad Poder rotatorio Índice de refracción Miscibilidad en etanol Punto de congelación Punto de inflamación Rango de destilación
Índices químicos	Índice de acidez Índice de éster Índice de saponificación Índice de acetilo Índice de fenoles
Cromatografía cualitativa y cuantitativa	Perfil cromatográfico por CG Cuantificación de los principales componentes
Características espectroscópicas	Ultravioleta-visible Infrarrojo
Otras determinaciones	Pesticidas Metales pesados

Fuente: Sara Castillo, 2016 (*Extracción de aceite esencial de las hojas de albahaca*).

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Son hojas de cedrón de las cuales se extraerá su aceite esencial.

Sus hojas son de color acentuadamente verde, su aroma y sabor muy agradables a limón; las cuales lo hacen preferidas para mates, refrescos.

El cedrón (hierba Luis) es una planta medicinal aromática que posee grandes propiedades medicinales. Originaria de la India, Asia Suroriental y África, crece bien

en clima tropical y subtropical, su nombre científico es *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.

Sus aceites principales son el citral, nerol y genariol. Si bien esta especie posee diversos usos y propiedades medicinales, los estudios farmacológicos se concentran en su mayoría en el aceite esencial, habiéndose reportado actividad antiespasmódica, eupéptica, carminativa, antimicrobiana, analgésica local y ligeramente sedante (Meza K.L; Vargas G.G., (2013)).

Sus propiedades medicinales del cedrón:

- Mejora la digestión y ayuda en casos de indigestión.
- Ayuda a tratar la diarrea en niños y adultos.
- Favorece la eliminación de gases intestinales.
- Ayuda a controlar los nervios y la ansiedad.
- Ayuda a bajar de peso.
- Eficaz al tratar el insomnio.
- Ayuda a controlar el dolor y los espasmos estomacales.
- Favorece a la eliminación de toxinas del organismo.
- Ayuda a controlar dolores reumáticos.
- Ayuda a tratar los síntomas del estrés.
- Ayuda a tratar jaquecas y dolores de cabeza.

Formas de uso: La infusión o te de cedrón es la forma de ingesta más popular ya que es efectiva y de sabor agradable pero también hay otros productos en base de cedrón como jabones, tintura, yerba mate con cedrón, aceite esencial, entre otros.

La recolección de la materia prima se lo llevo a cabo en distintas partes de la zona el mercado campesino, al ser una planta con escasa demanda en el mercado interno en la ciudad de Tarija, no es de mucha preferencia para la producción por los agricultores.

Figura II- 1 Planta de cedrón.



Fuente: elaboración propia, 2017.

El traslado de la materia prima se realizó en vehículo desde su origen hasta el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química, ubicado en el Campus Universitario de la Universidad Juan Misael Saracho, donde se llevó a cabo el acondicionamiento de la materia antes de su extracción de aceite esencial. El acondicionamiento se lo explica a continuación en el punto 2.3.

2.2 DISEÑO FACTORIAL

Un diseño factorial es utilizado generalmente por los científicos que desean comprender el efecto de dos o más variables independientes respecto de una única variable dependiente.

En Estadística, un experimento factorial completo es un experimento cuyo diseño consta de dos o más factores, cada uno de los cuales con distintos valores o niveles, cuyas unidades experimentales cubren todas las posibles combinaciones de esos

niveles en todo los factores (Diseño factorial – Explorable.com).

Para la presente investigación se plantea un diseño factorial de 2^k que corresponde a 2 variables y 2 niveles.

2.2.1 VARIABLES Y NIVELES DEL DISEÑO FACTORIAL

- **Peso:** Esta variable se refiere a la masa de hojas que cedrón a emplear en la torre de destilación que se utilizará para la extracción de aceite esencial, el peso o masa a utilizar es 300 gr y 150 gr.
- **Tiempo:** Esta variable se refiere a la duración que tendrá la destilación después de la primera gota de condensación, la duración es de 90 min y 60 min.
- **Variable respuesta:** Es el volumen de extracción (Rendimiento) de aceite esencial de las hojas de cedrón.

Lo cual se puede concluir que tenemos un diseño factorial de 2^2 con dos repeticiones para cada experimento.

Calculo numérico de experimento a realizar:

$$N_{exp} = N_{niveles}^{N_{factores}} * repetición$$

$$N_{exp} = 2^2 * 2 = 8$$

De la ecuación realizada se puede ver que el número de experimentos a realizar es de 8.

- **Número de combinaciones:** El número de combinaciones de los factores es igual a 4 por tratarse de un diseño factorial de 2^2 .
Se realizará una repetición de cada prueba; por lo cual el número total de experimentos a realizar es de 8.

Tabla II- 1 Número de combinaciones del diseño factorial.

EXP.	PESO	TIEMPO
------	------	--------

1	1	1
2	1	-1
3	-1	1
4	-1	-1
5	1	1
6	1	-1
7	-1	1
8	-1	-1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.3 ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL

Para extraer aceite esencial de cedrón se debe trabajar con materia seca, ya que se obtiene un mayor rendimiento en la extracción de aceite esencial.

Una vez adquirido el cedrón se lo llevo a seleccionarla y posteriormente a acondicionarla para su secado, en el proceso de acondicionamiento para el secado no se utilizo ningún equipo ya que las hojas de cedrón tienen la facilidad de liberar o perder rápidamente su humedad a temperatura ambiente (25 ± 1) °C bajo sombra.

- Extender papel periódico.
- Colocar las hojas de cedrón sobre el papel.
- Dejar secar (dos a tres días).

Figura II- 2 Hojas de cedrón, secado al ambiente.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.4 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LAS HOJAS DE CEDRÓN

2.4.1 Porcentaje de la humedad de las hojas de cedrón

Para su determinación del contenido de humedad en las hojas de cedrón se emplea un Secador Infrarrojo marca Sartorius, equipo que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química, el cual está programado a 105°C para realizar su secado.

Para su determinación de la humedad de la hoja de cedrón se procedió de la siguiente manera:

- Encendido del equipo, introducir el plato de aluminio y tarar.
- Pesar 5 gramos de hojas de cedrón.
- iniciar el proceso de secado.

Figura II- 3 Secador Infrarrojo.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Resultado del porcentaje de humedad encontrada de las hojas de cedrón en Capítulo III del presente.

2.4.2 Contenido de cenizas

Se determinó según el método gravimétrico de la estufa (método por incineración directa) el equipo se encuentra en el Laboratorio de Química de la Carrera de Ingeniería Química.

Para su determinación se coloca 5g de cedrón en un crisol previamente pesado, luego se introducirá a la mufla a 500°C por 8 horas. Finalmente se pesara el crisol con las cenizas, y se calculara con la siguiente fórmula:

$$\%cenizas = \frac{\text{peso de cenizas (g)}}{\text{peso muestra inicial (g)}} \times 100$$

Figura II- 4 Mufla.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.4.3 Porosidad

Se lo determino según el método hidrostático (*Principio de Arquímedes*).

Se lo determino en el Laboratorio de Química de la Carrera de Ingeniería Química.

Llenando una probeta con el producto has 100ml, y luego se completan los espacios con agua. El agua se vaciara a otra probeta y se medirá su volumen. La porosidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$\epsilon = \frac{\text{volumendeagua (ml)}}{100\text{ml}}$$

2.5 EQUIPOS PARA EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

En esta investigación la metodología que se utilizará para la obtención del aceite esencial es por destilación agua-vapor, el cual está compuesto por los siguientes equipos:

- Cocinilla.
- Equipo de destilación.
- Condensador.
- Intercambiador de calor.

2.5.1 Cocinilla

La cocinilla que se emplea es de una hornalla, perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias (**LOU**) de la Carrera de Ingeniería Química; el equipo provee calor necesario para que el agua llegue a su punto de ebullición.

2.5.2 Equipo de destilación

El equipo de destilación que se emplea para la obtención del aceite esencial pertenece al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química, está construido de un material que es acero inoxidable con tres canastillos del mismo material.

2.5.3 Refrigerante

El equipo de condensación o refrigerante pertenece al Laboratorio de Química de la Carrera de Ingeniería Química, es un refrigerante construido de vidrio, se usa para condensar vapores que salen del equipo de destilación.

Consta de dos tubos concéntricos, por el tubo interior circula los vapores expulsados por el equipo de destilación que serán condensados, este tubo tiene un recorrido en espiral.

Por el tubo exterior circula el líquido refrigerante que en este caso como refrigerante será agua de grifo. El tubo de vidrio consta de dos conexiones donde se ajustan mangueras de caucho, de entrada y salida del líquido refrigerante.

2.5.4 Intercambiador de calor LAUDA (PROLINERP870)

Este equipo es una de las últimas adquisiciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química.

El equipo intercambiador de calor (LAUDA) con un rango de temperatura de $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, se utilizará para bajar la temperatura del agua que sale del grifo que se usará como refrigerante para la condensar el vapor que saldrá del equipo de destilación.

Figura II- 5 Intercambiador de calor (LAUDA).



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura II- 6 Equipo armado y completo para la extracción de aceite esencial de cedrón.

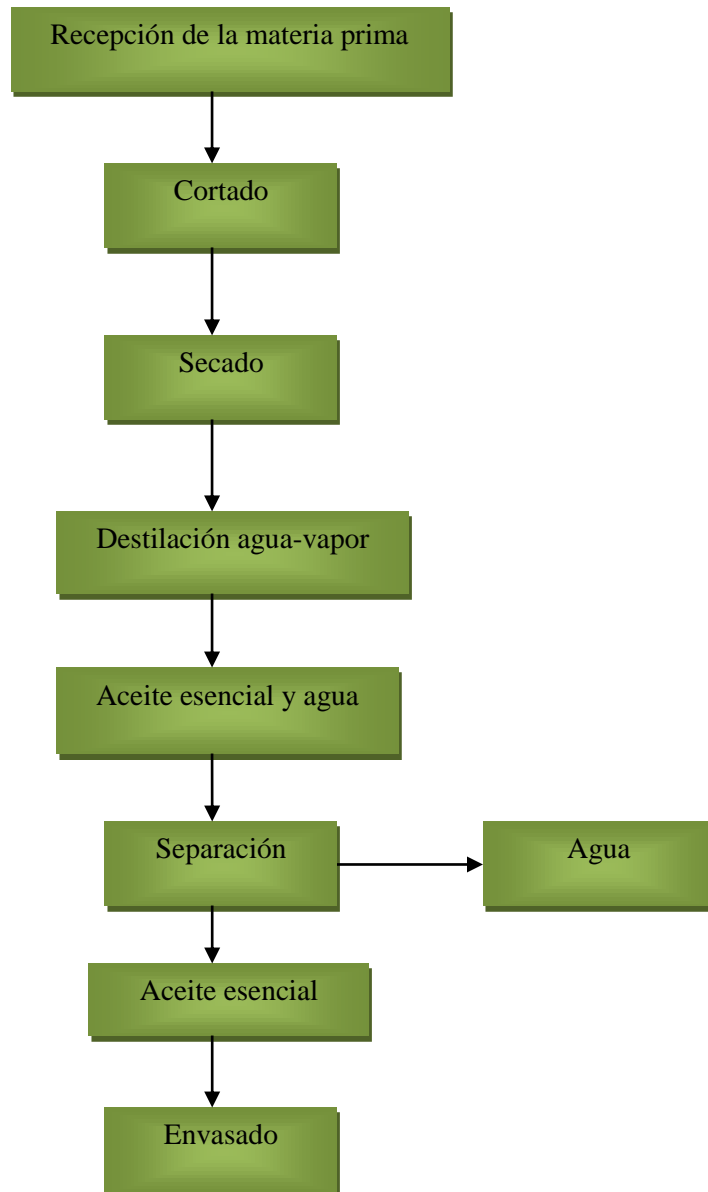


Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.6 ETAPAS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

El proceso de extracción lo representamos a continuación en un diagrama de bloques, que presenta las etapas de extracción de aceite esencial de cedrón.

Diagrama II- 1 Diagrama de bloques del proceso de extracción de aceite esencial de cedrón.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.7 PRUEBAS PRELIMINARES

Para verificar el buen funcionamiento del equipo y observar el rendimiento de aceite esencial de cedrón que se obtiene, se realiza las siguientes pruebas.

- ✓ Prueba para el funcionamiento del equipo: se carga con 5 litros de agua y se hace funcionar hasta obtener vapor condensado, se observa que el equipo no presenta fugas y funciona correctamente.
- ✓ Prueba con hojas frescas de cedrón: se carga al equipo de destilación por arrastre de vapor 4.5 litros de agua y una masa de hojas de cedrón frescas 300 gramos; la destilación se da en un tiempo de 1,5 horas, registrando un volumen de aceite esencial de cedrón obtenido.
- ✓ Prueba con hojas secas de cedrón: se carga 4.5 litros de agua al equipo de destilación y una masa de hojas de cedrón secas 300 gramos; la destilación llevo un tiempo de 1,5 horas, también registrando un volumen de aceite esencial de cedrón.

Los resultados de las variables de operación empleadas en las pruebas preliminares se detallan en el Capítulo III del presente.

2.8 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

2.8.1 PESADO DE LA MATERIA PRIMA

La masa de hojas de cedrón es una variable para la extracción de aceite esencial, empleándose 2 masas de 300 gramos y 150 gr.

La muestra es pesada en una balanza analítica digital de una precisión $d= 0.001g$ marca Europe perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Figura II- 7 Balanza analítica.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.8.2 EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

La extracción de aceite esencial de cedrón se realiza en un equipo de destilación agua-vapor el cual opera con vapor de arrastre. El equipo de destilación se llena con 4.5 litros de agua; esta se calienta mediante el calor proporcionado por la hornilla de la cocinilla perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias hasta llevar el agua a la temperatura de ebullición.

El vapor generado dentro de **2.5.2**traviesa los canastillos que contienen la masa de las hojas de cedrón. El vapor atrapa las sustancias orgánicas que tiene la planta en las hojas (su aceite esencia).

Figura II- 8 Equipo de destilación agua-vapor.



Figura: Elaboración propia, 2017.

2.8.3 CONDENSACIÓN Y SEPARACIÓN DE CONDENSADOS

Para condensar la mezcla de agua y aceite esencial se emplea un refrigerante de vidrio perteneciente al Laboratorio de Química; la mezcla condensada se recibe en una ampolla de separación de 100 ml, el aceite se posiciona encima del agua ya que su densidad es menor al del agua.

Una vez terminado el tiempo de destilación se procede a la separación.

Figura II- 9 Condensado de mezcla de agua y aceite esencial.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura II- 10 Separación de aceite esencial y agua.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.8.4 ENVASADO Y ALMACENAMIENTO DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

El envasado de aceite esencial se realiza en un frasco de vidrio color ámbar de 45 ml.

El aceite esencial se almacena en un lugar fresco, seco y oscuro para evitar la oxidación de sus componentes por la luz solar.

Figura II- 11 Aceite esencial envasado.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.9 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS DEL PRODUCTO FINAL

A continuación se detallan las metodologías a emplear para la obtención de resultados del producto final, que se exponen en el Capítulo III.

2.9.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

La densidad del aceite esencial de cedrón se lo determina según el Método hidrostático (*Principio de Arquímedes*) en el Laboratorio de Operaciones Unitarias. Siguiendo los siguientes pasos que se lo detallan a continuación (Aquino E.L. (2012).

- Pesar una probeta de 5 ml en la balanza analítica.
- Medir un volumen de 5ml de aceite esencial de cedrón extraído con la probeta anteriormente pesada.
- Pesar el aceite esencial de la probeta.
- Calcular la densidad empleando la fórmula $\rho = \frac{m}{v}$

Figura II- 12 Determinación de la densidad del aceite esencial de cedrón.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.9.2 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

El índice de refracción es el valor numérico que expresa la relación entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción.

Para la siguiente investigación se realizó la determinación de esta propiedad física en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Química, el equipo que se usó para la determinación de esta propiedad es el Refractómetro de marca OPTIC ivymen SYSTEM (ABBE REFRACTOMETER).

Figura II- 13 Refractómetro.



.Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.9.3 CROMATOGRAFÍA DE GASES

La cromatografía es básicamente una técnica de separación, que puede lograr la más alta resolución de la composición química de los aceites esenciales, su gran capacidad para resolver muestras complejas ha conducido a utilizarla cada vez más como técnica analítica.

La cromatografía de gases es probablemente la técnica de más amplia utilización; ninguna técnica analítica puede ofrecer su capacidad de separación o su sensibilidad a la hora de analizar compuestos volátiles.

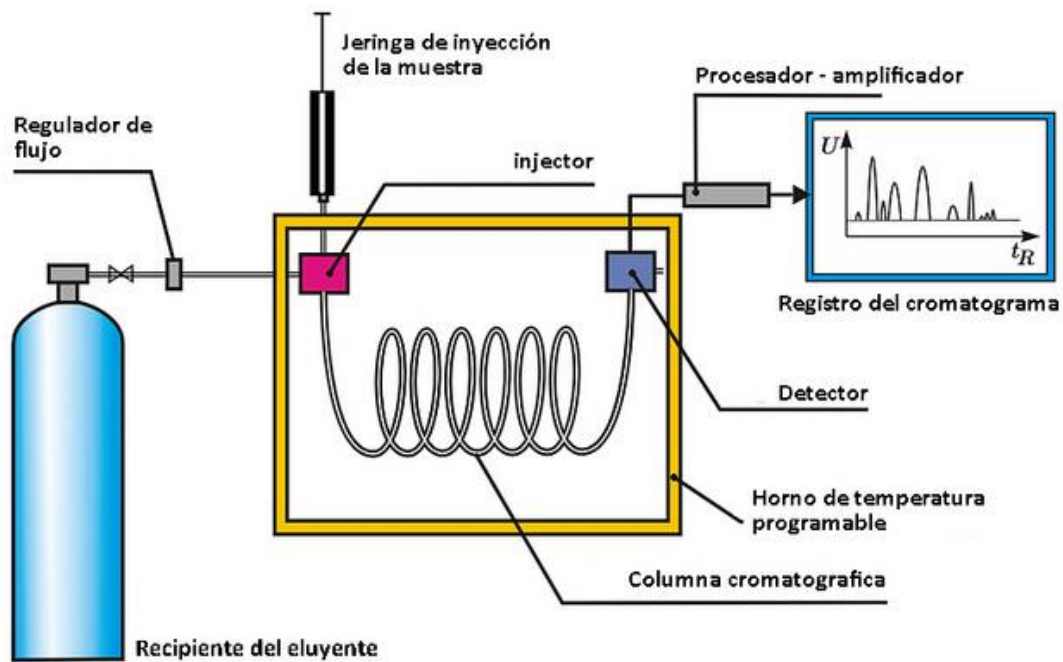
Esta se basa principalmente en los fenómenos de partición de una fase móvil gaseosa (helio, argón, hidrogeno, nitrógeno) y una fase estacionaria, la cual está constituido por un líquido muy viscoso que será retenido en el interior de la columna de una columna de cromatografía. Al llevar a cabo una separación cromatográfica de gases, la muestra deberá inyectarse a la cabeza de una columna para ser vaporizada. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. A diferencia de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interactúa con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna (Jaramillo R.; Yasamín K. (2016) Ecuador).

Para la investigación se realizó el análisis de cromatografía de gases en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID de la Facultad de Ciencias y Tecnología.

En el cual se obtuvo el perfil cromatográfico del aceite esencial de cedrón.

El perfil nos da una cualificación de los compuestos que conforman el aceite esencial de cedrón.

Figura II- 14Cromatógrafo de gases.



Fuente: Acebedo, (2010).

2.10 ALMACENAMIENTO DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

Los aceites esenciales son vulnerables a oxidarse así también se ven afectados por la luz artificial o natural que provoca su degradación de sus componentes, razón por la cual se debe almacenar cuidadosamente.

El almacenamiento del aceite esencial de cedrón se lo realizó:

- En frasco de vidrio oscuro o de aluminio; los envases de plástico no son recomendables ya que se deforman y en contacto con el aceite esencial se pueden romper.
- Utilizando envases con tapa de rosca, para facilitar su uso y evitar el ingreso de oxígeno.
- Se lo conservo en lugares oscuros o con poca luz.
- Manteniéndola a temperaturas bajas, máximas a los 15 °C, ya que el calor provoca su rápido deterioro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA: HOJAS DE CEDRÓN

Los análisis fisicoquímicos de la materia prima, hojas de cedrón se describen continuación:

3.1.1 RESULTADOS FISICOQUÍMICOS DE LAS HOJAS DE CEDRÓN

Tabla III- 1 Resultado del porcentaje de humedad de las hojas de cedrón.

Estado de la planta	Porcentaje de humedad de las hojas de cedrón %
Fresca	68,730 %
Seca	8,624 %

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III- 2 Resultados de cenizas y porosidad.

Características	Valor %
Cenizas	55,055
Porosidad	76.5

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.1.2 ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO DE LAS HOJAS DE CEDRÓN

Las propiedades organolépticas son todas las descripciones de las características físicas que tiene la materia en general, que pueden describirse por los sentidos (del humano), su sabor, olor, color, textura, etc. Este análisis se hace en base a los indicadores que se muestra en la siguiente tabla; las hojas de cedrón presentan los siguientes resultados al análisis organoléptico.

Tabla III- 3 Análisis organoléptico de las hojas de cedrón.

Característica	Evaluación
Forma	Lineal
Aroma	Limón
Color	Verde
Textura	Áspera
Sabor	Agrio

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.1.3 ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

El aceite esencial de cedrón muestra los siguientes resultados al análisis organoléptico:

Tabla III- 4 Características organolépticas del aceite esencial de cedrón.

Característica	Evaluación
Aroma	Limón
Color	Amarillo pálido
Apariencia	Translucido

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.2 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

A continuación se detallan todos los análisis fisicoquímicos realizados al aceite esencial de cedrón.

3.2.1 SOLUBILIDAD DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

Se realizaron dos análisis para la determinación de la solubilidad del aceite esencial de cedrón.

Tabla III- 5 Solubilidad del aceite esencial de cedrón.

Análisis	Resultados
Solubilidad en agua	Insoluble
Solubilidad en alcohol	Soluble

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.2.2 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

Los datos para calcular la densidad del aceite esencial de cedrón se obtiene en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, empleando una probeta de 5 ml la cual es tarada previamente y luego se realiza la medición del volumen y del peso con la muestra, para lo cual se emplea la siguiente relación de cálculo:

Datos:

$$m = 4,3383 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = 5 \text{ ml}$$

$$\rho = \frac{4,3383}{5} = 0,86766 \text{ g/ml}$$

La densidad del agua es de 1 g/ml, la densidad de los aceites esenciales generalmente es menor a la del agua; por tanto la densidad del aceite esencial de cedrón se encuentra dentro de este rango.

3.2.3 CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

El rendimiento del aceite esencial de cedrón se calcula con la siguiente expresión:

$$R = \frac{\text{masa de aceite esencial}}{\text{masa de follaje}} \times 100$$

Para los cálculos se toma en cuenta la extracción en la que se obtiene el volumen más alto de aceite esencial.

$$\text{Masa de aceite esencial} = 1,4750 \text{ gr}$$

$$\text{Volumen de aceite esencial} = 1,7 \text{ ml}$$

$$\text{Masa de follaje} = 300 \text{ gr}$$

$$R = \frac{1,4750}{300} \times 100 = 0,4917 \%$$

En 300 gramos de cedrón seco se obtiene 0,4750 gr de aceite esencial, por tanto de 100 gr de cedrón seco se obtiene 0,4917 gr de aceite esencial y en volumen se obtiene 0.567 ml de aceite esencial de cedrón.

A continuación se muestran datos tabulados de rendimiento de aceite esencial obtenido en:

Tabla III- 6 Comparación de resultados de rendimiento de aceite esencial de cedrón.

Lugar	Rendimiento del cedrón (ml)
Ecuador	5,43 (1 kilo de M.P. seca)
Tarija, Bolivia	5,57 (1 kilo de M.P.seca)

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.2.4 RESULTADO DE LA MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

El resultado de la medición del índice de refracción del aceite esencial de cedrón que se lleva a cabo en el Refractómetro ABBE que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química se muestra en la siguiente tabla:

Tabla III- 7 Resultado de la medición del índice de refracción.

Parámetros	Técnica y/o Método de ensayo	Resultado
Índice de refracción (23.7)	NB 34003:06	1,4800

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.2.5 RESULTADO DE LA CROMATOGRAFÍA DE GASES

Los resultados en el análisis del perfil cromatográfico realizado en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” de la Facultad de Ciencias y Tecnología son los siguientes:

Tabla III- 8 Resultados de análisis del perfil cromatográfico.

Item	Compuesto	Tiempo de retención (min.)	Abundancia %
1	Myrcene	9,558	20,921
2	Limonene	10,375	1,595
3	Verbenol	13,109	0,944
4	Cis-Verbenol	13,452	1,708
5	Citral b	14,544	29,500
6	Citral	15,067	43,720
7	2-Undecanone	15,446	1,613
TOTAL			100

Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO FACTORIAL

El programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), es un programa estadístico con la capacidad de trabajar con grandes bases de datos y una sencilla interface para la mayoría de los análisis.

Para realizar el análisis se utilizó este programa estadístico SPSS. Los datos introducidos al programa son las variables del diseño factorial independientes: masa del lecho, el tiempo de extracción y la variable respuesta o dependiente rendimiento de aceite esencial.

Tabla III- 9 Datos obtenidos de todos los experimentos.

Nº	Masa en el lecho (g)	Tiempo (min.)	Volumen de aceite (ml)
1	300	90	1.7
REP.	300	90	1.1
2	150	90	1.4
REP.	150	90	1.4
3	300	60	1.2
REP.	300	60	0.6
4	150	60	0.8
REP.	150	60	0.5
5	300	90	1.6
REP.	300	90	1
6	150	90	0.6
REP.	150	90	1.2
7	300	60	0.9
REP.	300	60	0.6
8	150	60	0.5
REP.	150	60	0.5

Fuente: elaboración propia, 2017.

Tabla III- 10 Masa 300 gramos.

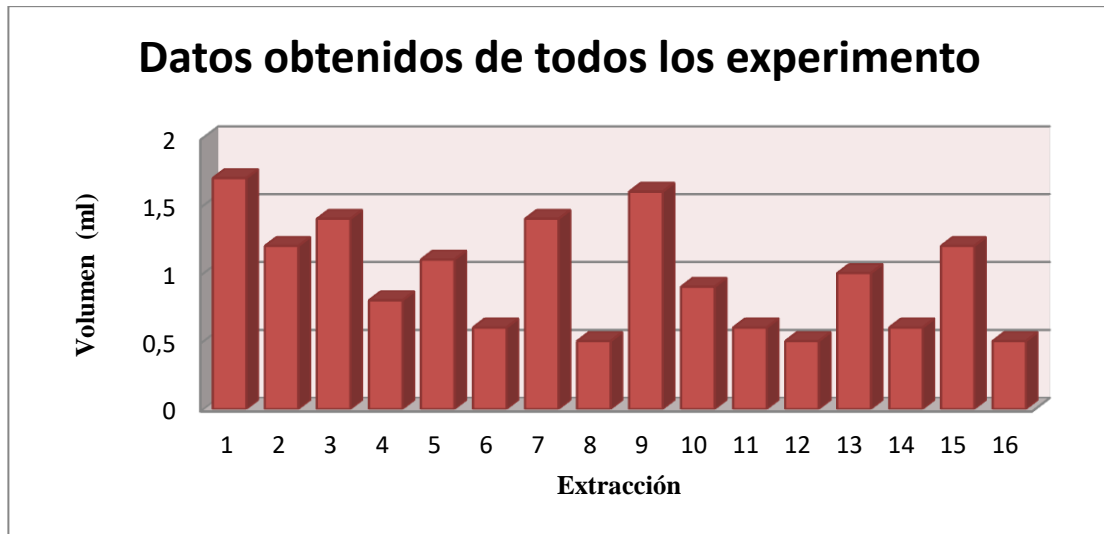
N°	Masa en el lecho (g)	Tiempo (min.)	Volumen de aceite (ml)
1	300	90	1.7
REP.	300	90	1.1
2	300	60	1.2
REP.	300	60	0.6
3	300	90	1.6
REP.	300	90	1
4	300	60	0.9
REP.	300	60	0.6

Tabla III- 11 Masa 150 gramos.

N°	Masa en el lecho (g)	Tiempo (min.)	Volumen de aceite (ml)
1	150	90	1.4
REP.	150	90	1.4
2	150	60	0.8
REP.	150	60	0.5
3	150	90	0.6
REP.	150	90	1.2
4	150	60	0.5
REP.	150	60	0.5

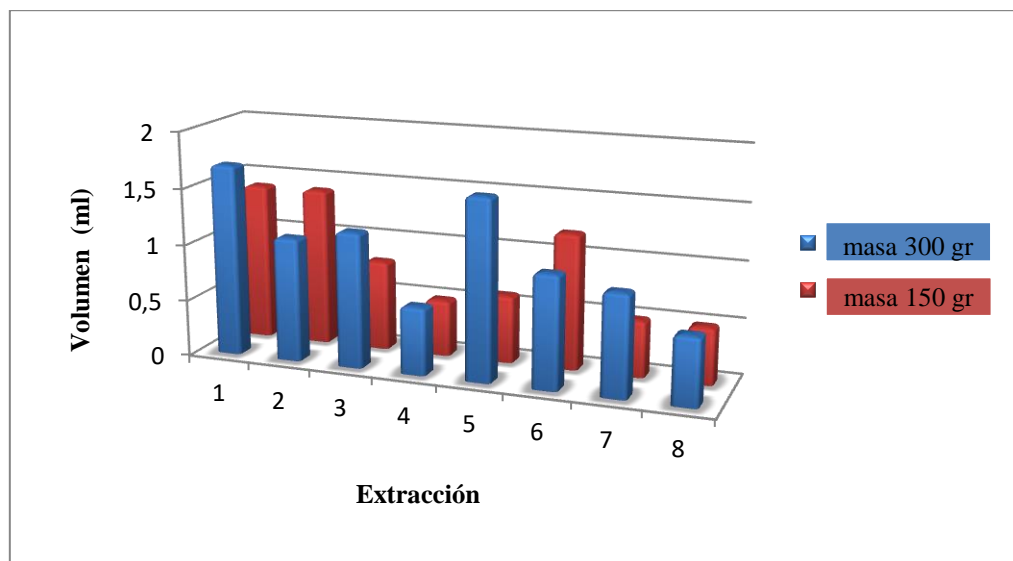
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Gráfico III- 1 Datos obtenidos de todos los experimentos.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Gráfico III- 2 Gráfico de rendimientos, masa 300 y 150 gr.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

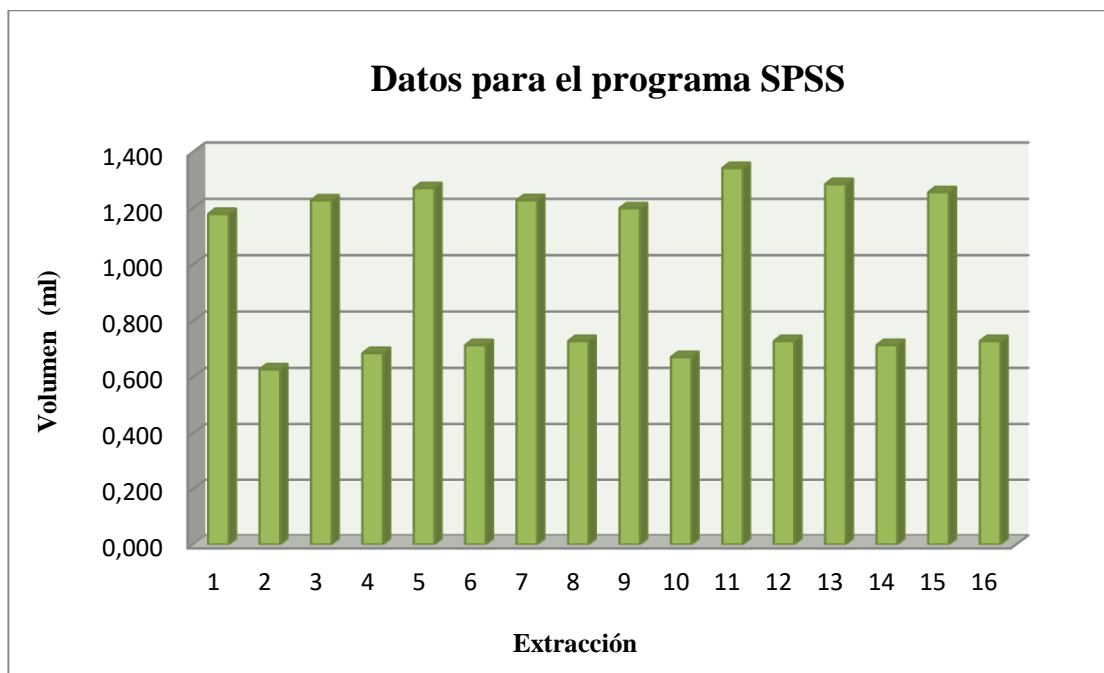
En el gráfico III- 2 se puede comparar los volúmenes obtenidos de aceite esencial de cedrón de masa 300 y 150 gramos y se puede observar que se tiene un mejor rendimiento de extracción de aceite esencial de cedrón con masa de 300 gramos con un tiempo de 90 minutos.

Tabla III- 12 Datos para el análisis estadístico.

N°	Peso	tiempo	volumen de extracción
1	1	1	1,180
2	1	-1	0,628
3	-1	1	1,228
4	-1	-1	0,686
5	1	1	1,271
6	1	-1	0,714
7	-1	1	1,229
8	-1	-1	0,729
9	1	1	1,200
10	1	-1	0,671
11	-1	1	1,343
12	-1	-1	0,729
13	1	1	1,286
14	1	-1	0,714
15	-1	1	1,257
16	-1	-1	0,729

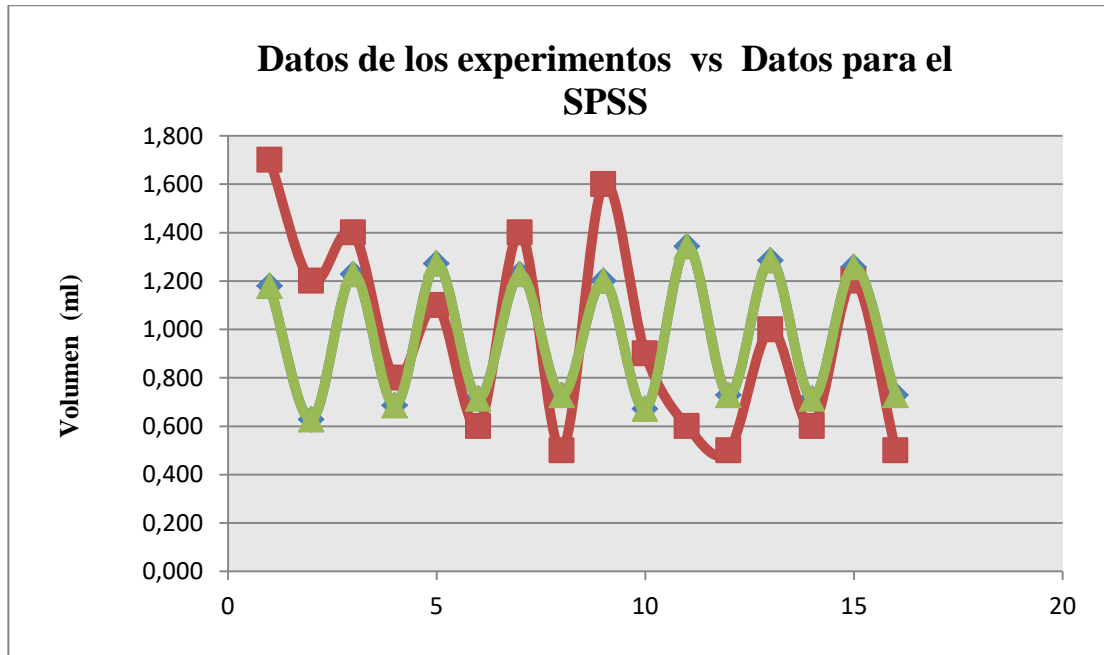
Fuente: Propia SPSS, 2017.

Gráfico III- 3 Datos para el programa SPSS.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Gráfico III- 4 Datos de todos los experimentos vs Datos para el programa SPSS.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III- 13 Factores de inter-sujetos.

		N
Peso	-1	8
	1	8
Tiempo	-1	8
	1	8

Fuente: Propia SPSS, 2017.

Tabla III- 14 Variables introducida/ eliminadas.

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Tiempo ^a	.	Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas

b. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: Propia SPSS, 2017.

Tabla III- 15 Resumen del modelo.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error tip. de la estimación
1	0.692 ^a	0.478	0.441	0.30706

a. Variables periódicas: (constantes), tiempo

b. Variables dependientes: Rendimiento

Fuente: Propia SPSS. 2017.

Tabla III- 16 ANOVA.

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1Regresión	1.210	1	1.210	12.833	0.003
Residual	1.320	14	0.094		
Total	2.530	15			

a. Variables periódicas: (constante), Tiempo

b. Variables dependientes: Rendimiento

Fuente: Propia SPSS, 2017.

Tabla III- 17 Coeficientes.

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig	Intervalo de confianza de 95% para B	
	B	Error tip.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (constante)	0.975	0.077		12.701	0.000	0.810	1.140
Tiempo	0.275	0.077	0.692	3.582	0.003	0.110	0.440

a. Variable dependiente: Rendimiento.

Fuente: Propia SPSS, 2017.

Del análisis realizado se concluye que la ecuación es un modelo lineal que corresponde a la siguiente ecuación:

$$Rend = 0.975 + 0.233 T.$$

La ecuación del modelo del programa SPSS, permite calcular el valor del rendimiento de aceite esencial directamente sin realizar pruebas experimentales en el laboratorio.

3.4 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

Los datos de los siguientes cálculos pertenecen a la extracción que da mayor rendimiento en la extracción de aceite esencial de cedrón.

Datos

Densidad del agua: 0,9956 g/ml

Masa de agua en la torre: 4,50 kg

Calor específico del agua: 1 kcal/kg°C

Densidad del aceite esencial de cedrón: 0,86766 g/ml

Tiempo de calentamiento: 30 min

Tiempo de extracción: 90 min

Peso de hojas: 300 g

Peso residuo: 288,56 g

Tamaño de partícula: hoja tamaño promedio 7 cm

Temperatura del agua de la torre antes de iniciar el proceso: 15°C

Temperatura de entrada del refrigerante: 15°C

Temperatura de salida del refrigerante: 18°C

Temperatura de vapor: 93 °C

Temperatura de condensados: 25°C

Volumen de condensados: 1930 ml

Volumen de agua condensada: 1910 ml

Volumen de aceite condensado: 1,7 ml

Volumen inicial de agua en la torre: 4500 ml

Volumen final de agua en la torre: 2590 ml

Caudal de agua de refrigeración: 125,33 ml/s

Cálculos previos al balance:

- Masa de vapor:

$$V_{\text{vapor}} = V_{\text{inicial de agua en la torre}} - V_{\text{final de agua en la torre}}$$

$$V_{\text{vapor}} = 4500 \text{ ml} - 2590 \text{ ml} = 1910 \text{ ml}$$

$$m_{\text{vapor}} = \rho_{\text{agua}} \times V_{\text{vapor}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 0,9956 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 1910 \text{ ml} = 1901,596 \text{ g}$$

- Masa de agua de refrigeración

$$V_{\text{agua de ref.}} = Q_{\text{agua de ref.}} \times t_{\text{extracción}}$$

$$V_{\text{agua de ref.}} = 90 \frac{\text{ml}}{\text{s}} \times 5400 \text{ s}$$

$$V_{\text{agua de ref.}} = 486000 \text{ ml} \rightarrow 486 \text{ l}$$

$$m_{\text{agua de ref.}} = \rho_{\text{agua}} \times V_{\text{agua de ref.}}$$

$$m_{\text{agua de ref.}} = 0,9956 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 486000 \text{ ml} = 483,862 \text{ kg}$$

Balance de materia:

M_1 = masa de agua en la torre.

M_2 = masa de hojas de cedrón en la torre.

M_3 = masa de residuo de hojas de cedrón.

M_4 = masa de mezcla de vapores.

M_5 = masa de vapor en la torre de destilación.

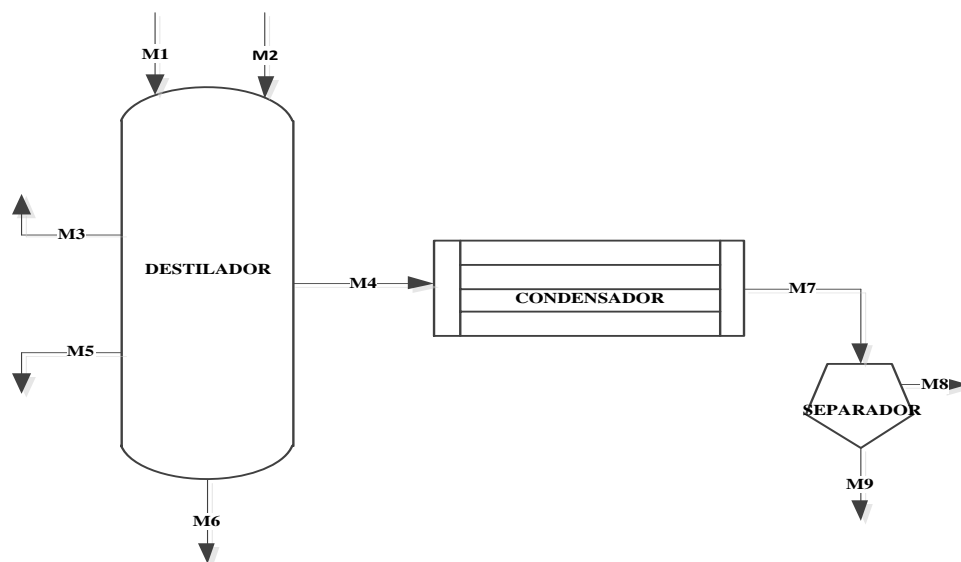
M_6 = masa de agua después del destilado.

M_7 = masa de condensados.

M_8 = masa de agua condensada.

M_9 = masa de aceite esencial de cedrón.

Diagrama III- 1 Diagrama de flujo del equipo de extracción de aceite esencial.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III- 18 Valor de corrientes de diagrama de flujo

Corriente	Variable	Masa (Kg)
M ₁	Agua cargada a la torre	4,50
M ₂	Hojas de cedrón cargadas a la torre.	0,30
M ₃	Residuo de hojas de cedrón.	0,264
M ₆	Agua después de la destilación.	2,58
M ₇	Mezcla de agua y aceite esencial condensados.	1,93
M ₈	Agua condensada	1,91
M ₉	Aceite esencial de cedrón	0,0017

Fuente: Elaboración propia, 2017.

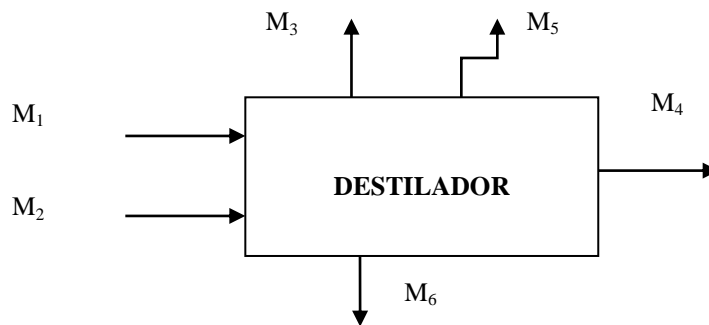
Realizando el balance de materia en el condensador se tiene:



$$M_4 = M_7$$

$$M_4 = M_7 = 1,93 \text{ kg}$$

Para calcular la cantidad de pérdidas en la torre de destilación se realiza balance de materia en la torre:



Realizando el balance de materia todo lo que entra es igual a todo lo que sale se obtiene:

$$M_1 + M_2 = M_3 + M_4 + M_5 + M_6$$

$$M_5 = (M_1 + M_2) - (M_3 + M_4 + M_6)$$

$$M_5 = (4,50 + 0,30) - (0,264 + 1,93 + 2,58)$$

$$M_5 = 0,026 \text{ kg}$$

El valor de M_5 representa el vapor que se pierde cuando se abre la tapa del equipo de destilación o por fugas que se presenta en el transcurso de la obtención del aceite esencial de cedrón; se puede observar que las pérdidas son pequeñas.

Realizando el balance de masa en la etapa de separación se obtiene lo siguiente:

$$M_7 = M_8 + M_9$$

$$1,93 = 1,91 + 0,0017$$

$$1,93 \text{ kg} = 1,9117 \text{ kg} \rightarrow 0,0183 \text{ kg}$$

Con este resultado podemos observar que tenemos pequeñas pérdidas en la etapa de separación de aceite esencial del agua.

Balance de energía:

En el proceso de extracción de aceite esencial de cedrón existen tres etapas: calentamiento, generación de vapor y condensación; a los cuales se les realiza un balance de energía.

Balance de energía para el calentamiento de agua en el destilador:

En esta etapa existe el cambio de temperatura pero no de fase lo cual se trata de calor sensible.

$$Q = m \times c_p \times (T_2 - T_1)$$

$$Q = 4,50 \text{ kg} \times 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (93 - 15) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 351,00 \text{ kcal}$$

Para calentar 4,5 kg de agua se requiere una energía de 351 kcal.

Balance de energía para la generación de vapor:

Para obtener el valor del calor empleado para esta etapa se calcula la potencia térmica de la hornilla a GLP.

$$\text{Potencia térmica} = \frac{Q \text{ calentamiento}}{t \text{ calentamiento}}$$

$$P = \frac{351,00 \text{ kcal}}{0,5 \text{ h}} = 702,00 \text{ kcal/h}$$

$$P = \frac{Q_{\text{extracción}}}{t_{\text{extracción}}} \rightarrow Q_{\text{extracción}} = P \times t_{\text{extracción}}$$

$$Q = 702,00 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \times 1,5 \text{ h} = 1053 \text{ kcal}$$

Energía necesaria que se gasta en 30 min para la generación de vapor.

Balance de energía en la etapa de condensación:

Calor cedido:

Es el calor que cede la mezcla de vapores al agua de refrigeración en la etapa de condensación, es la suma del calor latente y sensible.

$$\lambda_{\text{vaporización}} = \frac{Q_{\text{vaporización}}}{m_{\text{vapor}}}$$

$$\lambda_{\text{vaporización}} = \frac{1053 \text{ kcal}}{1,901596 \text{ kg}}$$

$$\lambda_{\text{vaporización}} = 553,745 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\text{cedido}} = m_{\text{vapor}} \times \lambda_{\text{vapor}} + m_{\text{vapor}} \times c_p \times (T_{\text{condensado}} - T_{\text{vapor}})$$

$$Q_{\text{cedido}} = (1,901596 \text{ kg} \times 553,745 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}) + (1,901596 \text{ kg} \times 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (25 - 93) ^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{cedido}} = 923,69 \text{ kcal}$$

Con masa de 300 g de materia prima y un tiempo de 90 min de proceso de destilación el calor cedido es de 923,69 kcal.

Calor ganado:

Es el calor por el agua de refrigeración, es un calor sensible debido a que no existe cambio de fase; sólo de temperatura.

$$Q_{\text{ganado}} = m_{\text{agua de ref.}} \times c_p \times (T_{\text{salidacond.}} - T_{\text{entradacond.}})$$

$$Q_{\text{ganado}} = 483,862 \text{ kg} \times 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \times (18 - 15) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{ganado}} = 1451,586 \text{ kcal}$$

3.5 COSTOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

A continuación se muestran los costos de la investigación del proyecto de extracción de aceite esencial de cedrón y su caracterización elaborado.

Tabla III- 19 Costo de materia prima.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Cedrón	kg	35	18	630
Transporte	Día	190	5	950
Sub total 1				1580

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III- 20 Costos de materiales y equipos.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Frascos de vidrio ámbar	Pza	2	25	50
alcohol	Litro	5	12	60
Tubo de cobre	Metro	1	45	45
Sub total 2				155

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III- 21 Costos de suministros energéticos.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Agua	m ³	50	0.7	35
Gas	m ³	-	35	35
Sub total 3				70

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III- 22 Costos secundarios.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Internet	mes	5	200	1000
Impresión	hoja	850	0.5	425
Empastado		3	50	150
Sub total 4				1575

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla III- 23 Costos de análisis.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (Bs)	Costo total (Bs)
Perfil cromatográfico		1	1000	1000
Sub total 5				1000

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El resumen de los costos del proyecto se muestra en la siguiente tabla.

Tabla III- 24 Costo total del proyecto

SUB TOTALES	COSTOS (Bs)
Sub total 1	1580
Sub total 2	155
Sub total 3	70
Sub total 4	1575
Sub total 5	1000
TOTAL	4380

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se puede observar en la Tabla III- 19 que el costo total que se invirtió en este proyecto de investigación es de 4380 Bs.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- De acuerdo a la propuesta del trabajo, se ha realizado la extracción de aceite esencial de cedrón por el Método de Destilación por Arrastre de vapor de agua establecido.
- Se realizó la caracterización fisicoquímica del aceite esencial y la materia prima utilizada para la presente investigación.
- Se observó que el contenido de humedad en las hojas de cedrón influyen en el rendimiento de extracción de aceite.
- El proceso de extracción de aceite esencial de cedrón se realizó en un equipo de destilación agua-vapor con las variables de operación: presión atmosférica, temperatura de vapor constante de 93°C, la temperatura del agua de condensación se encontraba en un valor promedio de 12°C, el tiempo de destilación de 90 minutos, masa de materia prima 300 gr.
- El porcentaje de rendimiento del aceite esencial para las hojas de cedrón, por 1 kg de materia prima seca tiene un promedio de 5.5 ml de aceite esencial obtenidos.
- Las condiciones de almacenamiento deben ser apropiadas como bajas temperaturas y protegidos de los rayos UV para evitar reacciones que cambien las características propias del aceite.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda armar un sistema mejorado utilizando un embudo de decantación para la separación de aceite esencial y agua.
- Se debe destilar las hojas de cedrón el mismo día que se cosecho para evitar disminuciones en el rendimiento.
- Para tener un estimado real del rendimiento de aceite esencial de cedrón, se debe realizar un estudio tomando en consideración factores como la fecha de cosecha variando cantidad de materia prima recolectada, clima, el cultivo, entre otros.
- Evaluar la influencia del tamaño de materia prima a futuro empleado al proceso de extracción de aceite esencial de cedrón.
- Evaluar el rendimiento de aceite esencial, con las hojas de cedrón de distintos lugares.
- Realizar un estudio de las aplicaciones de aceite esencial de cedrón para poder comercializarlo más.
- Las condiciones de almacenamiento deben ser apropiadas como bajas temperaturas y protegidos de los rayos Ultra Violeta para evitar reacciones que cambien las características propias del aceite.
- Variar el flujo energía de la cocinilla para la variación del flujo de vapor en la torre de destilación.

