

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Su distribución se extiende desde el sur de Estados Unidos y México hasta Chile, Bolivia y centro de Argentina. Comprende alrededor de 30 especies. Probablemente se haya originado en la parte meridional de América del sur (Muñoz, 2002).

Los aceites esenciales del cedrón son utilizados como ingredientes activos en las industrias refresquera, beta-caroteno y vitamina A, jabones y perfumes. Se utilizan, por ejemplo para preparar ungüentos antiartríticos, pomadas para la dermatitis y como desinfectante. En las pequeñas industrias el cedrón es un ingrediente que se agrega a las salsas, aderezos, pastas para sazonar, quesos, relleno de pasteles, en la preparación de licores, jugos, panes, y para dar aroma a las carnes. Sus hojas conservan muy bien su aroma de citral, incluso después del secado, convirtiéndose en un componente indispensable empleados para aromatizar ambientes. Además de todo, esta especie posee propiedad insecticida y bactericida (Lorenzi y Matos, 2008).

1.2 JUSTIFICACIÓN

- El cedrón es un recurso forestal no maderable, de donde se extraen y se obtienen productos para uso industrial, medicinal y cosmetología. Donde podría ser utilizado como aceite esencial para darle un valor agregado a esta hierba no maderable.
- En vista de lo anterior expuesto, se pone a consideración un estudio sobre la obtención de aceite esencial de cedrón utilizando equipos de laboratorio como ser un destilador y decantador como más importante entre otros, que son esenciales para la extracción del mismo y de esta manera aportar al desarrollo de esta investigación.
- Al igual que la infusión, el aceite esencial de cedrón puede ayudar a reducir la ansiedad y propiciar la relajación. Un baño con unas gotas de aceite esencial de cedrón es eficaz para combatir los efectos del estrés y nos ayuda a prevenir la ansiedad y depresión, así como el agotamiento y el insomnio.
- La presente investigación tiene como finalidad demostrar interés en el aceite esencial de cedrón, para que pueda ser llevado diversos procesos tecnológicos;

como ser la purificación del aceite esencial y que puedan ser aplicados en el área alimentaria y otras.

1.3 OBJETIVOS

Los objetivos que se persiguen en el siguiente trabajo son los siguientes:

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Extraer aceite esencial a partir del cedrón por el método de destilación agua/vapor a escala de laboratorio para obtener un producto de calidad.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la materia prima para conocer sus propiedades químicas.
- Realizar un diseño experimental para determinar las variables a tratarse en el proceso para la obtención de aceite esencial de cedrón.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas del aceite esencial que permita garantizar la calidad del producto.
- Determinar el rendimiento del aceite esencial de cedrón para el proceso de extracción.
- Realizar un balance de materia y energía a nivel experimental en el proceso de extracción de aceite esencial de cedrón.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Estado Plurinacional de Bolivia cuenta con una vasta diversidad de plantas medicinales, además de los mismos considerarse fuente de principios activos precursores de la elaboración de esencias entre otros.

Es necesario en ese entendido hacer hincapié, además que el país requiere y propone incursionar en la mejora de la calidad de vida a través del fomento a la producción y la incursión de nuevos emprendimientos que coadyuven a lo anterior expuesto.

El cedrón es una planta arbustiva no maderable que crece en condiciones naturales, en el valle central de Tarija. En épocas de verano, produce sus hojas que tienen importancia para la obtención de aceites esenciales; en la actualidad la producción es limitada y se exponen a la venta en época de verano los gajos frescos que produce esta planta vendiéndose en los mercados locales. En la actualidad las hojas de cedrón solo son utilizadas para actividades culinarias, en medicina tradicional, en su estado natural.

Los aceites esenciales en la actualidad a nivel mundial se extraen de las hierbas nativas de las regiones, sus componentes principales, a escala industrial por el método de destilación (hidrodestilación, agua-vapor y arrastre de vapor).

1.4.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo extraer aceite esencial a partir de la hoja de cedrón mediante técnica de destilación agua-vapor para obtener un producto de calidad?

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

¿Se obtendrá un aceite esencial de calidad de la hoja seca del cedrón mediante el proceso de extracción por destilación agua-vapor, con aprovechamiento en rendimiento de la hoja a escala laboratorio?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ORIGEN DEL CEDRÓN

Originaria de la región montañosa de Argentina (Catamarca, La Rioja, Salta), Chile y Perú (Domínguez, 1928). En América se cultiva en Paraguay, México, Venezuela, Colombia, Brasil, Bolivia, Uruguay. Se introdujo en Europa a fines del siglo XVIII, y desde entonces se cultiva en países del centro y el este de Europa, en África y en países de clima templado como Vietnam y Marruecos (Dellacasa y Bandoni, 2000).

2.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA PLANTA DE CEDRÓN

El cedrón es un arbusto perenne, que puede medir más de 1.5 metros de altura. Su nombre “triphylla” se debe a sus hojas simples, rugosas e insertadas en cada nudo, están reunidas en vértices de tres; sus flores son pequeñas, blancas por fuera y violáceas por dentro (Muñoz, 2002). En la figura 2.1 se muestra su forma botánica del cedrón.

Figura 2.1
Cedrón



Fuente: Zell, 2009.

2.2.1 TALLO

Sus tallos son largos, leñosos, redondos o angulosos, ramificados en la parte superior, provistos de finas rayas lineares (Muñoz, 2002).

2.2.2 HOJAS

Las hojas son simples, rugosas, reunidas en verticilos de tres, raro cuatro, su limbo, entero o un poco dentado, de color verde pálido, presenta una nervadura mediana, saliente en la cara inferior, de cual se destaca una serie de nervaduras secundarias paralelas, que se reúnen para formar una especie de cordón paralelo al borde foliar, y despiden, al ser restregadas, un agradable olor a limón (Muñoz, 2002).

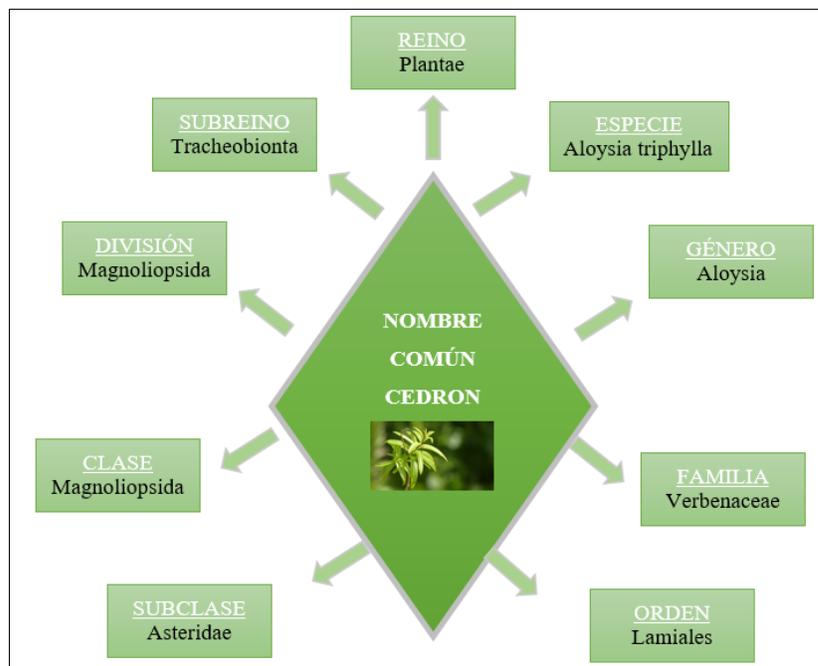
2.2.3 FLORES

Estas son pequeñas, con la corola ensanchada superiormente y bilabiada, blancas por fuera y azul violáceo por dentro, y se ubican al extremo de los tallos en espigas agrupadas en panojas (Muñoz, 2002).

2.3 TAXONOMÍA DEL CEDRÓN

La taxonomía del cedrón se detalla en la figura 2.2.

Figura 2.2
Taxonomía del cedrón



Fuente: Zell, 2009.

2.4 CULTIVO DEL CEDRÓN

El cultivo del cedrón requiere de ciertos factores como ser:

2.4.1 CLIMA

El clima soleado les favorece una buena iluminación, que tiene influencia en la síntesis y acumulación de aceite esencial y en su porcentaje. El sombreado es causa de hojas más grandes y pobres en principios activos (Pérez, 2012).

El porcentaje de esencia también es favorecido por un nivel moderado de humedad atmosférica, lo mismo que su secado (Pérez, 2012).

El viento excesivo es un factor climático desfavorable, su acción incrementa el coeficiente de evaporación de aceites esenciales y baja la producción por unidad de superficie (Pérez, 2012).

2.4.2 COSECHA

Las hojas se recogen cuando han llegado a su máximo desarrollo, un poco antes de la floración. Se procede entonces a cortar las ramas que se pueden pelar en el mismo momento, para aprovechar las estacas, o dejar secar a la sombra, al abrigo del polvo y la humedad, hasta el momento en que se despojarán en sus hojas (Pérez, 2012).

2.4.3 TRATAMIENTO POST COSECHA

La calidad de la producción será mayor si el secado de las hojas se realiza a la sombra, en un lugar ventilado, disponiéndose sobre bastidores de alambre, polipropileno, etc. Hasta que su desecación sea completa, removiéndose a menudo para que no se deteriore el producto con la humedad (Pérez, 2012).

Si se ha puesto a secar las ramas enteras, el secado puede realizarse de la misma forma, pero es necesario deshojar las ramas luego (Pérez, 2012).

2.5 COMPONENTES QUÍMICOS DEL CEDRÓN

Los vegetales elaboran dos tipos de componentes químicos: los principios primarios o inmediatos y los principios activos (Lewis, 2007).

2.5.1 PRINCIPIO PRIMARIO O INMEDIATO

Fundamentales para la nutrición, reguladores del crecimiento e intervienen en la fotosíntesis. Tales compuestos son los carbohidratos, proteínas, grasas, ácidos nucleicos, aminoácidos, algunos ácidos carboxílicos, vitaminas, otros (Lewis, 2007).

2.5.2 PRINCIPIOS SECUNDARIOS O ACTIVOS

Sustancias que presentan actividad farmacológica, no son comunes a todas las plantas, pero son característicos de cada especie ya veces se les considera como medios de defensa. Como ejemplo estos metabolitos se tienen alcaloides, flavonoides, esteroides, taninos, aceites esenciales y muchos más (Lewis, 2007).

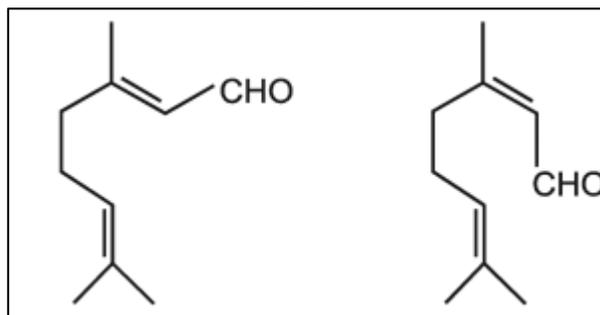
2.5.2.1 PRINCIPIOS ACTIVOS DEL CEDRÓN

El cedrón posee en su composición, aceites esenciales entre los que destacan el citral y el linalol. Estos aceites esenciales son los responsables de sus propiedades antihistamínicas y antiespasmódicas. Además la planta de cedrón está constituida por flavonoides, dentro de la composición del cedrón destacan en abundancia los monoterpenos, canfeno, Terpinol, Cariofileno, limoneno y forocumarinas (Lewis, 2007).

2.5.2.1.1 CITRAL

El citral natural es un extracto del aceite es un líquido amarillo pálido con fuerte olor a limón. El producto comercial es una mezcla de los dos estereoisómeros (figura 2.3), el citral A (trans) o geranial y el citral B (cis) o neral (Lewis, 2007).

Figura 2.3
El citral A y el citral B



Fuente: Street, 2013.

En la tabla 2.1 se muestran algunas propiedades físicas del citral.

Tabla 2.1
Propiedades físicas del citral

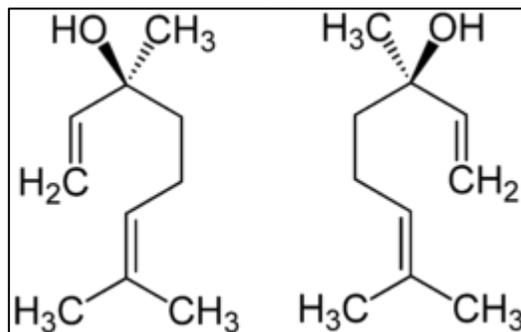
Propiedades físicas del citral	
Apariencia	Líquido amarillo pálido
Fórmula molecular	$C_{10}H_{16}O$
Densidad	0,893 Kg/m ³
Masa molar	152,24 g/mol
Punto de ebullición	229°C (502°K)

Fuente: Street, 2013.

2.5.2.1.2 LINALOL

El linalol es un terpeno formado por dos estéreoisómeros con un grupo alcohol (figura 2.4), cuya forma natural es común en muchas flores y plantas aromáticas. Su olor florar con un toque mentolado le ha conferido cierto valor para su uso en productos aromáticos, es un líquido incoloro. Además de ser utilizado como esencia aromática en utensilios domésticos tales como jabones, champús y lociones, el linalol también sirve como reactivo químico intermediario necesario para producir otras sustancias como la vitamina E (Fernández et al., 2006).

Figura 2.4
(S)-(+)-linalol y (R)-(-)-linalol



Fuente: Pichersky, 1999.

En la tabla 2.2 se muestran algunas propiedades físicas del linalol.

Tabla 2.2
Propiedades físicas del linalol

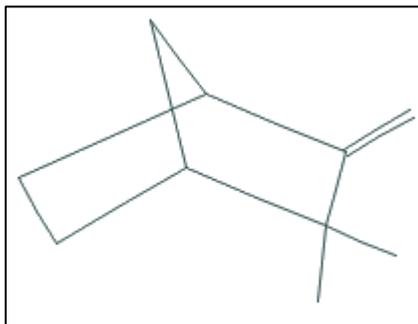
Propiedades físicas del linalol	
Apariencia	Aceite
Fórmula molecular	$C_{10}H_{18}O$
Masa molar	154,25 g/mol
Punto de ebullición	198,6°C (471,75°K)
Densidad	0,858-0,868 g/cm ³

Fuente: Pichersky, 1999.

2.5.2.1.3 CANFENO

El canfeno es un monoterpeno bicíclico (figura 2.5). Es casi insoluble en agua pero es bastante soluble en algunos solventes orgánicos comunes. Es un constituyente menor de varios aceites esenciales. También es utilizado en la preparación de fragancias o perfumes, y un aditivo saborizante para las comidas (Fernández et al., 2006).

Figura 2.5
Canfeno (2,2-dimetil-3-metilen-biciclo heptano)



Fuente: Riswam, 2004.

En la tabla 2.3 se muestran algunas propiedades físicas del canfeno.

Tabla 2.3
Propiedades físicas del canfeno

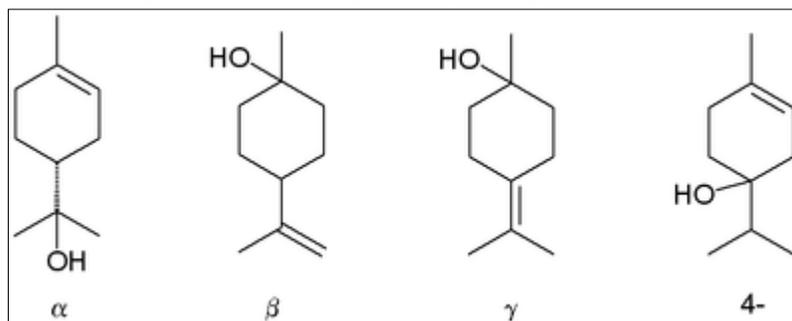
Propiedades físicas del canfeno	
Apariencia	Líquido
Fórmula molecular	$C_{10}H_{16}$
Densidad	842 kg/m^3
Masa molar	$136,24 \text{ g/mol}$
Punto de ebullición	159°C (432°K)

Fuente: Riswam, 2004.

2.5.2.1.4 TERPINOL

Terpinol es una forma natural mono terpeno alcohol. Hay tres isómeros, alfa, beta y gamma-terpinol (figura 2.6), los dos últimos por la única diferencia es la ubicación del doble enlace. El terpinol por lo general es una mezcla de estos isómeros con alfa-terpinol como los principales elementos constitutivos. El terpinol tiene un agradable olor similar a la lila y es un ingrediente común en los perfumes, cosméticos, productos y sabores (Fernández et al., 2006).

Figura 2.6
Terpinol alfa, beta, gamma y 4-terpinol, isómero



Fuente: Street, 2013.

En la tabla 2.4 se muestran algunas propiedades físicas del terpinol.

Tabla 2.4
Propiedades físicas del terpinol

Propiedades físicas del terpinol	
Apariencia	Aceite
Fórmula molecular	C ₁₀ H ₁₈ O
Densidad	0,9338 Kg/m ³
Masa molar	154,25 g/mol
Punto de ebullición	-54°C

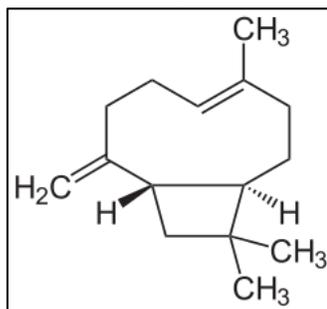
Fuente: Street, 2013.

2.5.2.1.5 CARIOFILENO

El cariofileno o β-cariofileno (figura 2.7), es un sesquiterpeno bicíclico natural, un componente de muchos aceites esenciales. Cariofileno se destaca por tener un anillo ciclobutano, una rareza en la naturaleza (Fernández et al., 2006).

El cariofileno es uno de los compuestos químicos que contribuyen al sabor picante de la pimienta negra. También actúa como Antiinflamatorio, antiasmático, antibacterial y antitumoral (Fernández et al., 2006).

Figura 2.7
Cariofileno o β -cariofileno



Fuente: Bartolini, 2001.

En la tabla 2.5 se muestran algunas propiedades físicas del cariofileno.

Tabla 2.5
Propiedades físicas del cariofileno

Propiedades físicas del cariofileno	
Apariencia	Aceite
Fórmula molecular	$C_{15}H_{24}$
Densidad	0,9052 Kg/m ³
Masa molar	204,36 g/mol
Punto de ebullición	130°C (403°K)

Fuente: Bartolini, 2001.

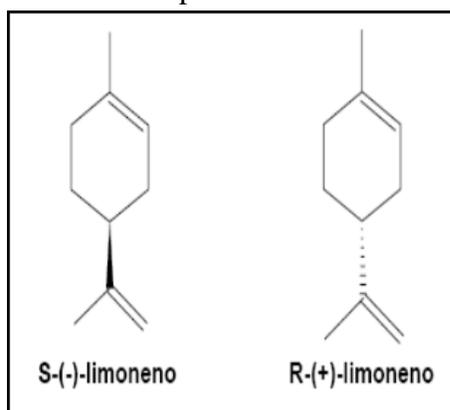
2.5.2.1.6 LIMONENO

El limoneno es un monoterpeno, presenta dos isómeros ópticos, el R-(+)-limoneno y S-(-) limoneno (figura 2.8). Se encuentra abundante en muchos aceites esenciales. Tiene una gran importancia en la industria, se emplea en la producción de p-cimeno, como disolventes de resinas, pigmentos, tintas, en la fabricación de adhesivos y en la obtención de la carvona. Últimamente, la demanda del compuesto se debe a su aplicación como disolvente biodegradable (Fernández et al., 2006).

Es utilizado en muchos procesos farmacéuticos y de alimentos, para dar sabor por ejemplo en la obtención de sabores artificiales de menta, fabricación de dulces y goma de mascar. Recientes estudios apuntan que el limoneno tiene efectos anticancerígenos,

incrementa los niveles de enzimas hepáticas implicadas en la detoxificación de carcinógenos (Fernández et al., 2006).

Figura 2.8
Isómeros ópticos del limoneno



Fuente: Matthieu, 2008.

En la tabla 2.6 se muestran algunas propiedades físicas del limoneno.

Tabla 2.6
Propiedades físicas del limoneno

Propiedades físicas del limoneno	
Apariencia	Líquido incoloro
Fórmula molecular	$C_{10}H_{16}$
Densidad	$841,1 \text{ Kg/m}^3$
Masa molar	$136,23 \text{ g/mol}$
Punto de ebullición	176°C (449°K)

Fuente: Matthieu, 2008.

2.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SÍNTESIS DE LOS PRINCIPIOS ACTIVOS

Los factores que determinan la cantidad y calidad de los principios activos sintetizados por una planta son (Lewis, 2007):

Genotipo, nutrientes, tipo de suelo, agua, sol, viento y prácticas agrícolas (Lewis, 2007).

2.7 GENERALIDADES DE LOS ACEITES ESENCIALES

En este punto se presenta algunos conceptos sobre los aceites esenciales, sus principales propiedades, su composición y características químicas, diversas aplicaciones de los aceites esenciales, el control de calidad que deben tener, tipos de aceites y sus diferentes formas de extracción (Stashenko et al., 1998).

2.7.1 ACEITES ESENCIALES

Son mezclas de componentes volátiles, producto del metabolismo secundario de las plantas; en su composición química entran hidrocarburos del grupo de los terpenos, junto con compuestos oxigenados de bajo peso molecular (alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos), que son los que les dan a los aceites esencial el aroma que lo caracteriza (Stashenko et al., 1998).

Los metabolitos secundarios volátiles tienen una distribución restringida en la naturaleza, la cual se limita a ciertas plantas llamadas “aromáticas”, en algunos casos, a solo algunas especies o subespecies, por lo que son consideradas como una manifestación individual del organismo que las contiene y se los atribuye a una gran variedad de funciones específicas, por lo que estos deben tener algún significado, biológico, ya que son biosintetizados o biodegradados (Bandoni, 2000).

El aceite esencial se biosintetizan en tricomas granulares (hojas) o en glándulas (cáscaras); en las plantas se puede ubicar en pelos glandulares (menta, lavanda), células modificadas del parénquima: Piperáceas (pimienta), tubos oleíferos (canela), tubos esquizógenos (anís, hinojo), canales lisígenos (pino), entre otros (Bandoni, 2000).

2.7.2 PRINCIPALES PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES

Los aceites esenciales son de aspecto oleoso, altamente volátiles, solubles en aceites, alcohol, éter de petróleo, tetracloruro de carbono y demás solventes orgánicos; insolubles en agua aunque le transmiten su perfume; son inflamables, responsables del

aroma de las 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 polimetilénica del grupo de los terpenos que se encuentran con otros compuestos, casi siempre oxigenados (Bandoni, 2000).

2.7.3 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE LOS ACEITES ESENCIALES

La calidad y la intensidad de los aceites esenciales varían debido a: variedad de la planta, condiciones de cultivo, época de recolección, parte cosechada de la planta, manejo del material vegetal, métodos de extracción, otros (Bandoni, 2000).

La cantidad de principios activos (productividad) de las plantas medicinales y aromáticas están determinados por los siguientes factores (Bandoni, 2000):

Genético: se le considera el factor principal (metabolismo secundario).

Ontogenético: Varía de acuerdo con la edad y el estado de desarrollo de la planta.

Ambiental: los genes responsables de la producción de principios activos pueden ser activados o desactivados de acuerdo con las condiciones climáticas, nutricionales y de ataque de plagas a que haya sido sometido el material vegetal (Bandoni, 2000).

Cuando el almacenamiento de los aceites esenciales es el ideal, la mayoría se pueden preservar de 2 a 5 años (Bandoni, 2000).

2.7.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES ESENCIALES

La composición química de los aceites esenciales (tabla 2.7) es muy compleja, los metabolitos secundarios volátiles se pueden clasificar con base en los grupos funcionales que contienen sus moléculas (Díaz, 2007).

Tabla 2.7
Composición química del aceite esencial con base en los grupos funcionales de moléculas constituyentes

Grupo Funcional	Naturaleza Química	Ejemplo
Hidrocarburos	Terpénicos Aromáticos Sesquiterpénicos Monoterpénicos	Limoneno, α terpineno, cumeno, p'cimeno, trans- β - cariofileno, citral
Aldehídos	Alifáticos Aromáticos Monoterpénicos	Nonanal, octadenal, Cinamaldehido, Geraniol, citronelol
Alcoholes	Alifáticos Sesquiterpénicos Aromáticos	3-Decanol
Fenoles	Aromáticos	Timol, carvacrol

Fuente: Díaz, 2007.

Según Bandoni (2000), respecto a la formación y evolución de los aceites esenciales en plantas es necesario tener en cuenta algunos aspectos externos, que pueden afectar la composición química de las esencias de manera cualitativa y cuantitativa, entre ellos, se pueden destacar los siguientes: condiciones geobotánicas (clima, altitud, tipo de suelo, pluviosidad), labores culturales (uso de fertilizantes, abonos, y pesticidas), parte y estado de desarrollo fenológico de la planta, época de recolección, modo de almacenamiento y manejo de material vegetal (fresco, seco, fermentado, tratamiento postcosecha), modo de obtención del aceite (destilación o expresión).

2.7.4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y BIOQUÍMICAS DEL ACEITE ESENCIAL DEL CEDRÓN

En la tabla 2.8 se proporciona la composición química y bioquímica del aceite esencial de cedrón con sus respectivos porcentajes.

Tabla 2.8
Composición química y bioquímica del aceite esencial de cedrón

Sustancia	Tipo de compuesto	Cantidad	Parte de la planta
Citral	Aldehído	18-39 %	Aceite esencial
Limoneno	Monoterpeno	3,7-6,8 %	Aceite esencial
1,8 Cineol (eucaliptol)	Monoterpeno	12,4 %	Aceite esencial
Geranial	Monoterpeno	9,9 %	Aceite esencial
Acetato de geranilo	Monoterpeno	1,6 %	Aceite esencial
Neral	Monoterpeno	6,9 %	Aceite esencial
Linalool	Monoterpeno	1,3 %	Aceite esencial
Mirceno	Monoterpeno	1,73 %	Aceite esencial
Mircenona	Monoterpeno	36,50 %	Aceite esencial
Carvona	Monoterpeno	1,25 %	Aceite esencial
Alfa Pineno	Monoterpeno	1,4 %	Aceite esencial
Alcanfor	Monoterpeno	4,12 %	Aceite esencial
Alfa tuyona	Monoterpeno	0,3-13,1 %	Aceite esencial
Cedrol	Sesquiterpeno	0,98 %	Aceite esencial
Biciclogermacreno	Sesquiterpeno	3,78 %	Aceite esencial
Cariofileno oxido	Sesquiterpeno	5,5 %	Aceite esencial
Alfa curcumeno	Sesquiterpeno	4,6 %	Aceite esencial
Germacreno D	Sesquiterpeno	4,2 %	Aceite esencial

Fuente: Bandoni, 2000.

2.7.5 RENDIMIENTO DE LOS ACEITES ESENCIALES

La mayoría de las plantas contienen entre (0.01 a 10) % de contenido de aceite esencial. La cantidad media se encuentra en la mayoría de las plantas aromáticas es alrededor de (1 a 2) % (Díaz, 2007).

Regularmente el contenido de aceites esenciales aumenta después de la lluvia y alrededor del mediodía, cuando se ha eliminado el agua de rocío depositada sobre la planta, y ha comenzado una deshidratación antes de la humedad relativa alta de la

noche, la excepción a este comportamiento se presenta en la manzanilla que alcanza una mayor concentración de aceite esencial durante la noche (Díaz, 2007).

2.7.6 APLICACIONES DE LOS ACEITES ESENCIALES

El tipo de aceite esencial y su calidad, determinan en que producto final será incorporado un aceite. Los aceites esenciales son ampliamente utilizados como materia prima en diferentes tipos de industria, cosmética, alimenticia, bebidas, textil, etc., mientras que otras industrias pueden usar productos aislados de esencias, como es el caso de la industria farmacéutica. La tabla 2.10 proporciona una visión general del uso del aceite esencial en las diferentes ramas de su consumo (Díaz, 2007).

Tabla 2.10
Industrias usuarias de productos aromáticos naturales y aceites esenciales

Industrias	Aplicaciones
Alimenticia	Salsas, condimentos, bebidas refrescantes, alimentos procesados y enlatados
Licorera	Aperitivos y saborizantes
Cosmética	Perfumes, dentífricos, cremas, lociones
Farmacéutica	Veterinaria, antisépticos, analgésicos, aromaterapia y homeopatía
Uso domestico	Desodorantes, desinfectantes del ambiente y jabones.
Agroquímica	Bioinsecticidas y aleloquímicos
Textil	Elaboración de enmascaradores de olores y tratamiento con mordientes después del teñido.
Petroquímica y minería	Utiliza esencias o 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: Díaz, 2007.

2.7.7 CONTROL DE CALIDAD DE LOS ACEITES ESENCIALES

Dentro de todos los niveles de la cadena productiva de aceites esenciales, el primer control se realiza, es el de los parámetros organolépticos. Esta prueba se realiza para saber si el aceite esencial presenta adulteración, por ejemplo la dilución, aunque en

otros casos, el comprador puede exigir un análisis químico en fin de saber la proporción el cual se encuentran sus componentes principales, o en el peor de los casos, exigirle a la empresa certificaciones en BPM, ISO (Díaz, 2007).

En la tabla 2.11, se observan los parámetros que más se utilizan para el control de calidad del aceite esencial.

Tabla 2.11
Parámetros utilizados para el control de calidad de los aceites esenciales

Parámetros utilizados para el control de calidad de los aceites esenciales	
Características organolépticas	Olor Color
Determinaciones físicas	Densidad Miscibilidad en etanol Índice de refracción Poder rotatorio
Índices químicos	Índice de Acidez Índice de fenoles Índice de éster Determinación de aldehídos y cetonas
Características cromatografías	Cuantificación de los componentes principales Análisis por cromatografía de gases (GC-MS, GC)
Características espectroscópicas	Ultravioleta Infrarrojo RMN

Fuente: Díaz, 2007.

2.7.7.1 CONTROL DE CALIDAD PARA LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

En el caso de los alimentos se usan los códigos Alimenticios: tales como el Codex Alimentarius, que es una publicación de la FAO y la OMS, o el Food Chemical Codex de los Estados Unidos, así como las legislaciones nacionales sobre alimentos (Giraldo, 2012).

Adicionalmente las normas IOFI (International Organization of the Flavour Industry), que al igual que las normas IFRA para la industria de fragancias, tratan de regular o restringir el uso de determinadas materias primas, tanto naturales como sintéticas (Giraldo, 2012).

2.7.8 TIPOS DE ACEITES ESENCIALES

Se pueden clasificar en dos grandes grupos: los aceites esenciales crudos o de baja calidad y los aceites esenciales purificados o refinados que son de alta calidad (Chisowa, 1998).

Entre estos dos grados se encuentra muchas calidades, pero en términos generales podemos decir que (Chisowa, 1998):

- **Los aceites esenciales crudos**, no se les ha agregado mayor valor y se utilizan como materia prima para velas, pebeteros, artículos de aseo y limpieza e incluso insecticidas, papelería o juguetería de plástico.
- **Los aceites crudos purificados o de alta calidad**, tienen el mayor valor agregado y son utilizados en la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética y de perfumes.

2.7.9 FORMAS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES

La destilación es el principal método para extraer los aceites esenciales de las plantas aromáticas, puede ser directo o con vapor de agua. La elección del método depende de la cantidad o características del aceite (volatilidad, punto de ebullición de los componentes, etc.), como de la planta o su parte de la cual se va extraer el aceite esencial (Díaz, 2007).

Dentro de las prácticas existen tres métodos que son los más utilizados tanto a nivel industrial, como de laboratorio y dependen del grado de contacto entre el material vegetal y el agua, estos son (ver tabla 2.12): la hidrodestilación, destilación con agua/vapor y destilación por arrastre con vapor (Díaz, 2007).

Tabla 2.12
Descripción general de los métodos más usados en destilación de aceite

Métodos de destilación	Descripción
Destilación con agua (Hidrodestilación)	Es el método de destilación más simple y relativamente económico. El material es inmerso en agua y puesto a hervir. El vapor y aceite se condensan y se separan del agua. Este método es apropiado para plantas finamente pulverizadas. El inconveniente es que los compuestos pueden sufrir hidrólisis durante la destilación.
Destilación con agua y vapor	Similar a la destilación con agua solo que el material vegetal no necesita ser pulverizado o picado, y es mantenido sobre una criba perforada, que se lo separa del agua. Este método es ligeramente más costoso que el anterior.
Destilación por arrastre con vapor	Este método utiliza vapor seco para extraer el aceite. Es más caro que los dos anteriores. Es apropiado para plantas con aceites que tienen compuestos con puntos de ebullición muy alto. La calidad del aceite obtenido es buena.

Fuente: Díaz, 2007.

2.7.9.1 HIDRODESTILACIÓN

El principio del método es llevar el agua hasta su punto de ebullición, la cual está en contacto directo con el material vegetal, de tal forma que los vapores generados atraviesen los tejidos de la planta, arrastrando las sustancias de interés (Díaz, 2007).

Los aceites esenciales obtenidos mediante la hidrodestilación presentan olores fuertes y colores más oscuros, en comparación con los producidos por otros métodos. Podrán resultar de menor calidad, ya que algunos componentes, como los ésteres, pueden experimentar la hidrólisis, algunos hidrocarburos monoterpénicos o aldehídos son susceptibles a la polimerización. Los compuestos oxigenados, por ejemplo fenoles, tienden a ser algo solubles en agua (Díaz, 2007).

2.7.9.2 DESTILACIÓN CON AGUA/VAPOR

El material vegetal se coloca sobre un fondo perforado o criba, la cual está ubicada a cierta distancia del fondo de un tanque llamado retorta. La parte más baja contiene agua

hasta una altura algo menor que el nivel de la criba. El principio de destilación con agua/vapor es llevar el agua a su estado de ebullición, en donde el vapor generado atraviesa el material vegetal, arrastrando los metabolitos secundarios volátiles, de tal manera, que todos los vapores generados luego puedan ser condensados y recolectados. El tiempo total de destilación es en función de la naturaleza de los componentes presentes en el aceite esencial. Si el aceite contiene compuestos con punto de ebullición altos, el tiempo de destilación es muy largo (Díaz, 2007).

2.7.9.3 DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR

Este método requiere mayor sofisticación pues es necesario con un generador de vapor externo, en este caso un caldero, el cual genera vapor que puede ser transportado por tuberías hacia la cámara de extracción, este vapor puede ser seco o húmedo y puede estar a presiones promedio 3 Kg-f/cm² (Cerpa, 1999).

De manera general, extracción por arrastre de vapor se describe de la siguiente manera: la materia prima vegetal es cargada en un extractor, de manera que forme un lecho fijo compactado. Su estado es entero. El vapor de agua es inyectado por la parte inferior, próximo a su base y con la presión suficiente para vencer la resistencia hidráulica del lecho. La generación de vapor es remota (caldera). Con forme el vapor entra en contacto con el lecho, la materia prima se calienta y va liberando el aceite esencial contenido y éste, a su vez, debido a su alta volatilidad se va evaporando. Al ser soluble en el vapor circundante, es “arrastrado”, corriente arriba hacia el extractor. La mezcla, vapor saturado y aceite esencial, fluye hacia un condensador, mediante un “cuello de cisne” o prolongación curvada del conducto de salida del extractor. En el condensador, la mezcla es condensada y enfriada, hasta la temperatura ambiental. A la salida del condensador, se obtiene una emulsión líquida inestable. La cual, es separada en un decantador dinámico o florentino (Cerpa, 1999).

En la tabla 2.13 y tabla 2.14 se muestran las ventajas y desventajas de las técnicas de obtención de aceite esencial por destilación.

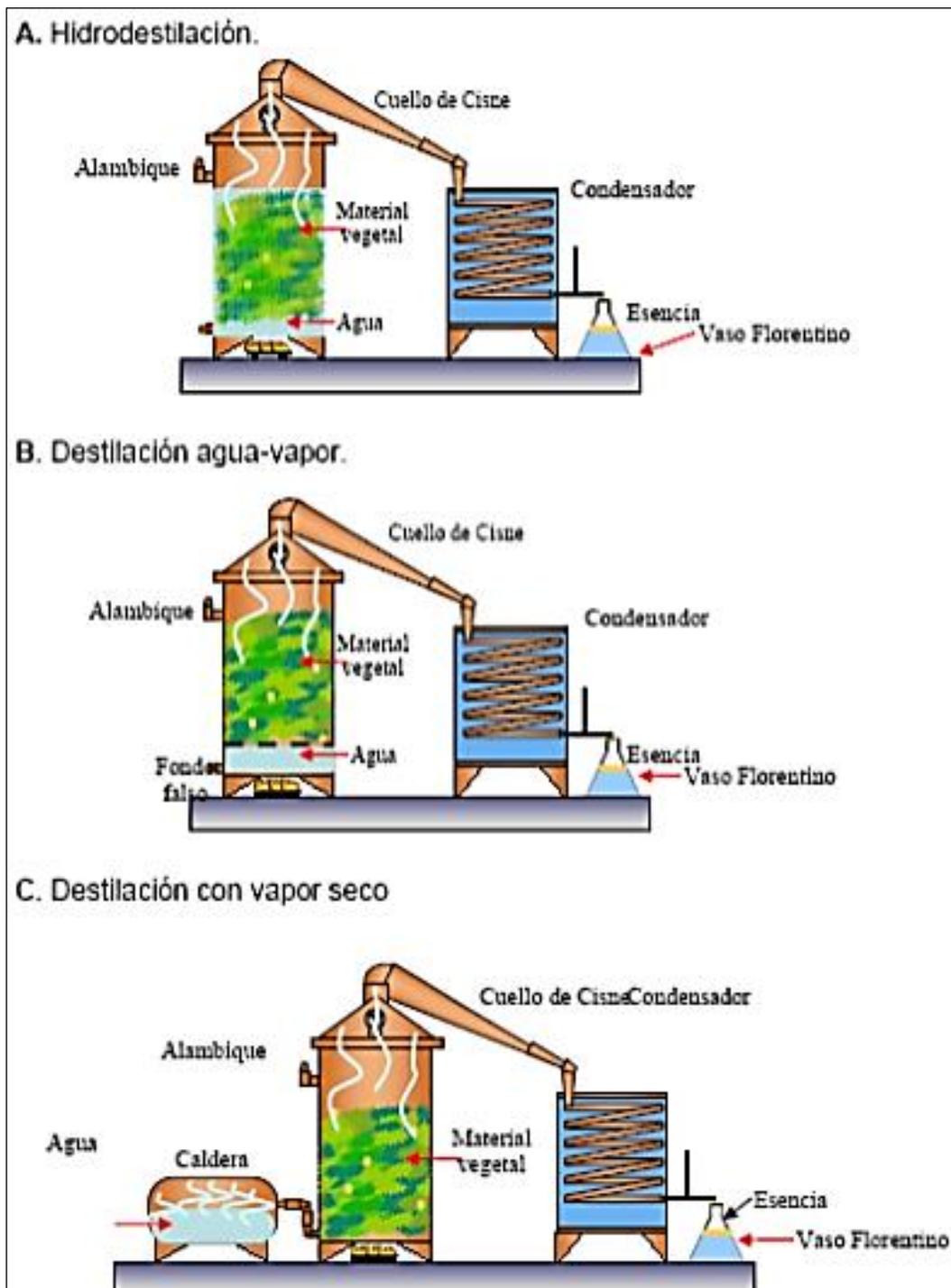
Tabla 2.13
Ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de obtención de aceites esenciales

Técnica	Ventajas	Desventajas
Hidrodestilación	<ul style="list-style-type: none"> • Configuración simple y económica • Método ampliamente utilizado 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento difícil de controlar. • Sobrecalentamiento puede quemar el material vegetal, produciéndose un aceite de baja calidad. • Mayor costo desde el punto de vista energético. • Periodos de extracción más largos • Parcial solubilización de los compuestos más polares.
Destilación agua/vapor	<ul style="list-style-type: none"> • La muestra no es calentada directamente. • Tiempos de extracción. • Configuración simple y económica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgos de extracción incompleta. • El tiempo de extracción está limitado por el volumen de agua utilizado.
Destilación con vapor seco	<ul style="list-style-type: none"> • La muestra no se calienta directamente. • Tiempos de extracción más cortos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las temperaturas altas pueden alcanzar las hidrólisis de los ésteres y la polimerización y resinificación de los terpenos presentes en el aceite esencial. Necesita infraestructura más costosa.

Fuente: Vargas y Bottia, 2008.

En la figura 2.9 se expresan estos métodos de destilación para la obtención de aceites esenciales.

Figura 2.9
Métodos de destilación para la obtención de aceite esencial



Fuente: Vargas y Bottia, 2008

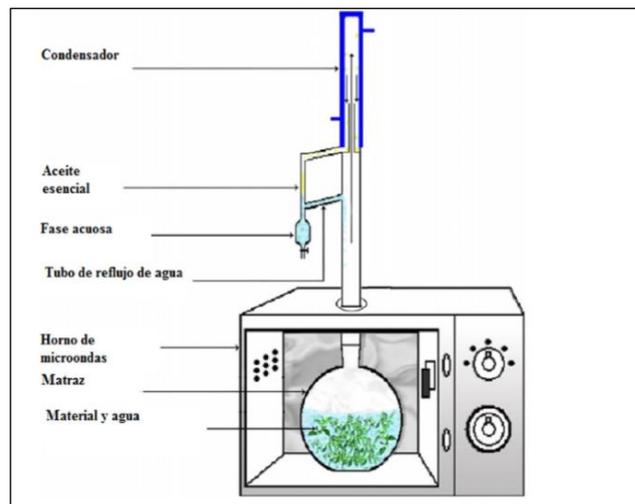
2.7.9.4 HIDRODESTILACIÓN ASISTIDA POR LA RADIACIÓN CON MICROONDAS

El método consiste en sumergir el material vegetal al agua y someterlo a la acción de la radiación del microondas, el agua se calienta hasta su punto de ebullición, libera los compuestos del aceite esencial contenidos en las glándulas, por efecto de la presión de vapor; los compuestos volátiles en fase gaseosa son arrastrados hasta el condensador, en donde se forman dos capas, una rica en aceite y la otra es hidrolato, las cuales se separan por decantación. El periodo de destilación por MWHD toma de 10 a 30 min. Se debe tener en cuenta que el tiempo de hidrodestilación influye tanto sobre la cantidad de aceite aislado, como en su composición (Díaz, 2007).

El método asistido por la radiación del microondas, presenta ventajas sobresalientes con respecto a las técnicas tradicionales de destilación: es un proceso muy rápido y relativamente económico y los aceites esenciales obtenidos se encuentran libres de los productos de descomposición térmica y de contaminantes (Kingstone y jassie, 1988).

En la figura 2.10 se muestra la representación esquemática del sistema.

Figura 2.10
Representación esquemática de un equipo de hidrodestilación con microondas



Fuente: Golmakani y Rezaei, 2008.

2.7.9.5 EXPRESIÓN

La expresión es un método simple por medio de cual es posible obtener un aceite esencial de características muy cercanas al producto natural, porque no se realizan tratamientos térmicos. Sin embargo, esta técnica extractiva solo es aplicable a materiales vegetales que contienen la esencia, en gran contenido, en las células superficiales, como el pericarpio de frutos cítricos. Este proceso puede ser efectuado manualmente o por medios mecánicos “cold pressing” involucra la perforación de las glándulas que contienen el aceite en el pericarpio del fruto, la expresión mecánica y el lavado con agua. La emulsión agua-aceite es impura debido a la presencia de sustancias proteicas y mucilaginosas: entonces, la esencia debe ser separada por centrifugación (Bandoni, 2000).

2.7.9.6 ENFLUERAGE

En el método de enflorado o enfluerage, el material vegetal (generalmente flores) es puesto en contacto con un aceite vegetal que actúa como vehículo extractor. Se obtiene inicialmente una mezcla de aceite esencial y aceite vegetal la cual es separada posteriormente por otros medios físico-químicos. Esta técnica es empleada para la obtención de esencias florales (rosa, jazmín, azahar, etc.), pero su bajo rendimiento y la difícil separación del aceite extractor la hacen costosa (Martínez, 2001).

2.7.9.7 FLUIDOS SUPERCRÍTICOS

El método de extracción con fluidos supercríticos, es de desarrollo más reciente. El material vegetal cortado en trozos pequeños, licuado o molido, se empaca en una cámara de acero inoxidable y se hace circular a través de la muestra un líquido supercrítico (por ejemplo bióxido de carbono líquido), las esencias son así solubilizadas y arrastradas y el líquido supercrítico que actúa como solvente extractor y se elimina por descompresión progresiva hasta alcanzar la presión y temperatura ambiente, y finalmente se obtiene una esencia pura. Aunque presenta varias ventajas como rendimiento alto, es ecológicamente compatible, el solvente se elimina fácilmente e inclusive se puede reciclar, y las bajas temperaturas utilizadas en la

extracción no cambian químicamente los componentes de la esencia, sin embargo el equipo requerido es relativamente costoso, ya que se requieren bombas de alta presión y sistemas de extracción también resistentes a las altas presiones (Martínez, 2001).

2.8 PURIFICACIÓN DE ACEITES ESENCIALES

Este método consiste en los siguientes métodos como ser:

2.8.1 DESHIDRATACIÓN

El agua residual presente en el aceite esencial puede ser eliminada por congelación o mediante el uso de químicos hidrosfóbicos como el sulfato de sodio anhidro (Vargas y Bottia, 2008).

2.8.2 DESTERPENACIÓN

La desterpenación requiere un proceso especial. Se pueden aplicar dos métodos, ya sea eliminación de terpenos, sesquiterpenos y parafinas por destilación fraccionada a presión reducida. O la extracción de los compuestos oxigenados más solubles (principales portadores del olor), con alcohol diluido u otros disolventes (Cerpa, 1999).

Por otra parte, los métodos analíticos instrumentales son ampliamente utilizados para determinar la composición química de diversos materiales fragantes, entre ellos los aceites esenciales. Estos métodos comprenden técnicas de separación como cromatografía de gases (GC), cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), electroforesis capilar (EC); espectroscopias de infrarrojo (IR), de resonancia magnética nuclear, como RMN-¹H Y RMN-¹³C; espectrometría de masas (MS) y técnicas acopladas como GC-MS, GC-GC, GCxGC, GC-FTIR, HPLC-MS (n) y EC-MS (Baner, 2001).

2.9 DESCRIPCIÓN TECNOLÓGICA

La tecnología a utilizar en el proceso de extracción de aceite esencial de cedrón es la siguiente (Vargas y Bottia, 2008):

2.9.1 DESTILACIÓN

Consiste en separar por calentamiento, en alambiques u otros vasos, sustancias volátiles que se llaman esencias, relativamente inmiscibles con el agua, de otras más fijas, enfriando luego su vapor para reducir las nuevamente a líquido (Vargas y Bottia, 2008).

Como la mayoría de los aceites esenciales son una mezcla de compuestos volátiles, que cumplen la ley de Raoult, lo que representa que a una temperatura dada, la presión total de vapor ejercida por el aceite esencial, será la suma de las presiones del vapor de sus componentes individuales, por lo que durante el proceso de la destilación de vapor, la vaporización, del aceite ocurre a una temperatura menor que la del punto de ebullición del agua (Vargas y Bottia, 2008).

En general los componentes del equipo de destilación para extraer aceite esencial son (Vargas y Bottia, 2008):

- Fuente de energía
- Destilador
- Intercambiador de calor
- Decantador

2.9.9.1 FUENTES DE ENERGÍA

Se deben considerar dos tipos básicos de fuente de energía en la destilación de los aceites esenciales. Gas natural o combustión de la madera, la cual una vez iniciada, se mantiene con el material vegetal desgastado en una destilación anterior, y por otro lado, el vapor generado en una caldera (Vargas y Bottia, 2008).

2.9.9.2 DESTILADOR

Es el recipiente donde se carga el material vegetal que se destila, también se le llama extractor o alambique, generalmente es de forma cilíndrica y se instala verticalmente. Su capacidad depende de la escala de operación (Vargas y Bottia, 2008).

2.9.9.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR

También se lo conoce como condensador, su función involucra la remoción de calor para transformar al estado líquido la mezcla de vapor de agua y aceite esencial que emerge del destilador. Los diseños más populares son del tipo serpentín, el de tipo coraza y tubo o tipo tubular (Vargas y Bottia, 2008).

2.9.9.4 DECANTADOR

Popularmente se le conoce como separador del aceite o vaso florentino, su función consiste en separar la mezcla de agua y aceite esencial proveniente del intercambiador de calor (Vargas y Bottia, 2008).

Si el aceite esencial es más ligero que el agua se ubicará en la capa superior o en la capa inferior, si es más pesado (Vargas y Bottia, 2008).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA
EXPERIMENTAL

3.1 INTRODUCCIÓN

La parte experimental del presente trabajo de investigación sobre “Extracción de aceite esencial de cedrón”, se realizó en los ambientes del Laboratorio de Operaciones Unitarias y Laboratorio de química, dependiente de la Carrera de ingeniería Química de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

3.2 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS, MATERIAL Y MATERIA PRIMA

A continuación se detalla los equipos, instrumentos, material y materia prima utilizados para el presente trabajo.

3.2.1 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

Los equipos que se usaron en el presente proyecto son los siguientes:

3.2.1.1 BALANZA ELECTRÓNICA DE HUMEDAD

La balanza de humedad (figura 3.1) sirve para determinar rápidamente y de manera fiable la humedad del material en las sustancias líquidas, porosas y sólidas (tabla 3.1) mediante el análisis termogravimétrico (KERN, 2011).

Tabla 3.1
Especificaciones técnicas de la balanza electrónica de humedad

Especificaciones	Datos
Tipo de luz	Halógena (1x400 W)
Rango de temperaturas	50°C – 200°C
Carga máxima (máx.)	60 g
Masa (min.)	0,02 g
Alimentación eléctrica	220-240 VAC, 50/60 Hz

Fuente: KERN, 2011.

Figura 3.1
Balanza electrónica de humedad



Fuente: LAB. QUÍMICA, 2017.

3.2.1.2 BALANZA ANALÍTICA DIGITAL

Los instrumentos GIBERTINI (figura 3.2) son particularmente precisos y fiables. La balanza electrónica se utiliza para pesar todo tipo de productos y materiales (tabla 3.2). Se utilizan principalmente en los laboratorios.

Tabla 3.2
Especificaciones técnicas de la balanza analítica

Especificaciones	Datos
Marca	GIBERTINI
Rango de temperatura	+15/+30°C
Exactitud	0,01 g
Potencia	220 W
Capacidad máxima	510 g
Capacidad mínima	1g

Fuente: GIBERTINI, 2001.

Figura 3.2
Balanza analítica digital



Fuente: LOU, 2017.

3.2.1.3 TORRE DE DESTILACIÓN

La torre de destilación fue construida con acero inoxidable AISI 347, enchaquetada con fibra de vidrio y acero inoxidable AISI 347 (figura 3.3), tiene una capacidad de tres cestillos (cada cestillo tiene dimensiones de 12x18cm; 12,5x18,4cm; 12,6x18,3cm) y capacidad de 5 litros de agua.

Figura 3.3
Torre de destilación



Fuente: LOU, 2017.

3.2.1.4 INTERCAMBIADOR DE CALOR

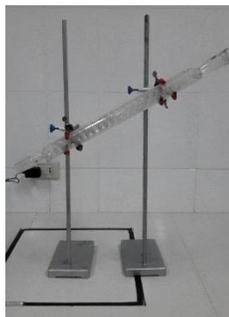
El intercambiador de calor (figura 3.4) es un equipo del kit de destilación del diseño tipo serpentín esta hecho a base de vidrio con bocas esmeriladas en la entrada y salida (tabla 3.3). Utilizado para enfriar vapores provenientes de la destilación y condensarlos en forma líquida (LAB. QUÍMICA, 2017).

Tabla 3.3
Especificaciones del intercambiador de calor

Especificaciones	Datos
Marca	PYREX
Material	Vidrio
Longitud	550 mm
Tipo	Serpentín

Fuente: LAB. QUÍMICA, 2017.

Figura 3.4
Intercambiador de calor



Fuente: LAB. QUÍMICA, 2017.

3.2.1.5 DECANTADOR DEL KIT

El decantador (figura 3.5) es un equipo del kit de destilación, tiene una capacidad de 250 mL con boca esmerilada, llave de regulación de goteo y vástago largo (tabla 3.4). Se utiliza para separaciones de líquidos inmiscibles (LAB. QUÍMICA, 2017).

Tabla 3.4
Especificaciones del decantador Kit

Especificaciones	Datos
Marca	KIMAX
Material	Vidrio
Capacidad	250 mL
Tipo	Ampolla

Fuente: LAB. QUÍMICA, 2017.

Figura 3.5
Decantador del kit



Fuente: LAB. QUÍMICA, 2017.

3.2.1.6 CENTRÍFUGA DIGITAL

La centrifuga (figura 3.6) es un equipo de sobremesa con motor de inducción y control electrónico digital de velocidad y tiempo (tabla 3.5), con la función de la total separación de líquidos inmiscibles (LAB. QUÍMICA, 2017).

Tabla 3.5
Especificaciones técnicas de la centrifuga digital

Especificaciones	Datos
Marca	SELECTA
Potencia (W)	170
Velocidad máxima (rpm)	5000
Peso (Kg)	6

Fuente: LAB. QUÍMICA, 2017.

Figura 3.6
Centrifuga digital



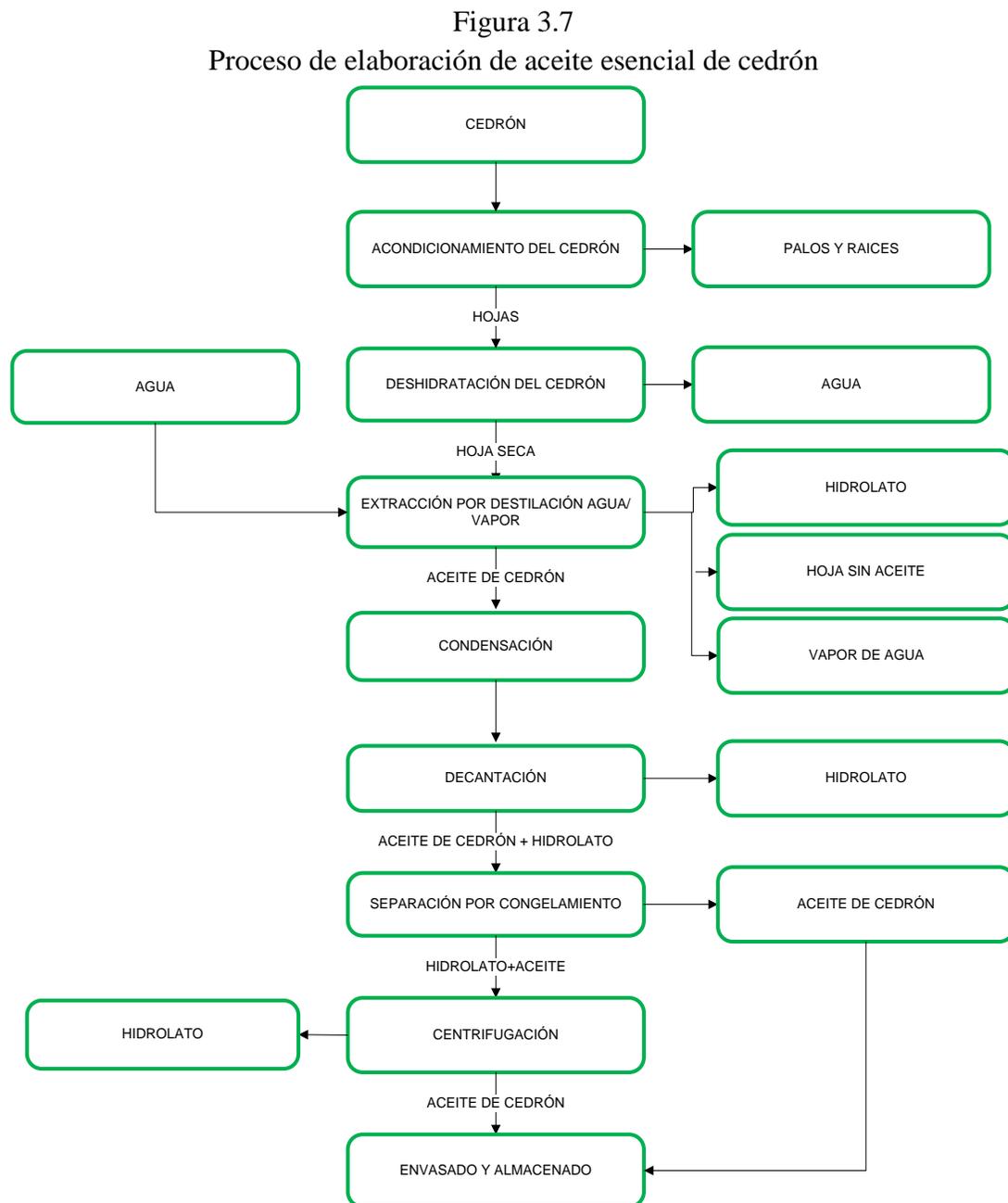
Fuente: LAB. QUÍMICA, 2017.

3.2.2 MATERIA PRIMA

El cedrón utilizado como materia prima para el desarrollo de este trabajo de investigación se adquirió en el mercado Campesino proveniente de las zonas de Lazareto y Guerra-huaico y parte se recolectó del huerto de SEDEGES de Tarija Cercado.

3.3 DIAGRAMA DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

El proceso de extracción de aceite esencial de cedrón se muestra en la figura 3.7.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

A continuación se detalla la descripción del proceso de extracción de aceite esencial de cedrón.

3.3.1.1 CEDRÓN

El cedrón utilizado como materia prima para el desarrollo de este trabajo de investigación se adquirió en el mercado Campesino proveniente de las zonas de Lazareto y Guerra-huaico y parte se recolecto del huerto de SEDEGES de Tarija Cercado.

3.3.1.2 ACONDICIONAMIENTO DEL CEDRÓN

El cedrón adquirido se sometió a un pesaje global, posteriormente se procedió al deshojado apartando las hojas de los tallos, raíces e impurezas, después se realizó un pesaje de las hojas para obtener un promedio de rendimiento en hojas por kilogramo en fresco y posterior lavado de la hoja del cedrón.

3.3.1.3 DESHIDRATACIÓN DEL CEDRÓN

Después del acondicionamiento del cedrón se procedió al secado de las hojas al intemperie no expuesto al sol, sobre una cama de malla milimétrica de media sombra, extendida a una altura de un metro sobre el nivel del suelo, con un porcentaje de humedad inicial en fresco. Extendido la hoja de cedrón homogéneamente sobre toda la malla inicio el proceso de deshidratación durante un tiempo de seis días, con un porcentaje de humedad final en base húmeda.

3.3.1.4 EXTRACCIÓN POR DESTILACIÓN AGUA-VAPOR

Obtenido la hoja seca con un porcentaje de humedad al finalizar el secado, se carga la hoja seca pesada en los cestillos del extractor, ubicado a 20 cm de distancia del fondo del extractor, la parte más baja contiene agua a una altura de 16 cm, separado del cestillo con 4 cm. Se calienta el extractor llevando el agua hasta un cambio de fase,

donde el vapor generado atravesara las hojas de cedrón arrastrando así los metabolitos secundarios volátiles, de manera que los vapores generados puedan ser llevados al intercambiador de calor.

3.3.1.5 CONDENSACIÓN

Una vez arrastrado los metabolitos secundarios por el vapor entran al intercambiador de calor por donde fluye en contracorriente una corriente de agua fría, produciendo así un cambio de fase de estos vapores ha estado líquido pasando a un decantador.

3.3.1.6 DECANTACIÓN

Una vez en estado líquido el aceite mezclado con el agua ocurre un proceso de separación dentro del decantador debido a que el aceite es relativamente inmisible con el agua; característica esta que permite una separación de la mezcla del destilado. En esta etapa del proceso se obtiene aceite esencial como producto principal y un hidrolato al que se le considera un subproducto.

3.3.1.7 SEPARACIÓN POR CONGELAMIENTO

Habiendo ya separado el aceite del hidrolato en la decantación, este queda con un 0,11% del volumen de hidrolato calculado en relación al hidrolato total decantado con el hidrolato presente en el aceite esencial extraído, para la separación, fue almacenado en un freezer, donde el punto de fusión del aceite esencial está por debajo del punto de fusión del hidrolato, llevando a congelamiento de temperatura -14°C el hidrolato que tiene mayor densidad que el aceite esencial de cedrón queda en la parte inferior separado y congelado, mientras que el aceite esencial queda en la parte superior en estado líquido.

3.3.1.8 CENTRIFUGACIÓN

Después de la separación por congelamiento se realiza una centrifugación al hirlolato debido a que queda trazas de aceite esencial del cedrón obtenido para obtener un mayor rendimiento en el proceso de extracción, este proceso se realizó en la centrifuga digital a 5000 rpm durante un tiempo de 40 min.

3.3.1.9 ENVASADO Y ALMACENADO

Habiendo concluido la separación se procede al envasado del aceite esencial de cedrón en un frasco ámbar de una capacidad de 25 mL con la finalidad de evitar la degradación del aceite por la luz directa y almacenada a temperatura de refrigeración para preservar por mayor tiempo el aceite con sus propiedades fisicoquímicas.

3.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para la metodología de investigación del presente trabajo de extracción de aceite esencial de cedrón se realizaron métodos de análisis fisicoquímico y estadístico.

3.4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para la caracterización de la materia prima cedrón se debe considerar como importante la determinación de sus parámetros fisicoquímicos.

3.4.1.1 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA

En la tabla 3.6 se describe los principales parámetros analizados para las características fisicoquímicas del cedrón que se realizaron.

Tabla 3.6
Parámetros analizados en la hoja de cedrón seca

Parámetros	Técnicas y/o método de ensayo	Unidad
Densidad Real	NB 34021:07	g/cm ³
Humedad	instrumental	%

Fuente: IBNORCA, 2017.

3.4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

En este diseño se encuentra en estudio dos factores cada uno con dos niveles de variación, el diseño se conoce como diseño factorial 2^k , según la ecuación (3.1).

$$2^k \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde:

2^k = número de niveles.

K= número de variables.

3.4.3 DISEÑO FACTORIAL 2^k EN LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL

Para efectuar el diseño experimental en la extracción se utiliza la ecuación 3.2 cuyo diseño corresponde a:

$$2^2 = 2 \times 2 = 4 \text{ corridas} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Los niveles de variación de los (factores nivel superior, nivel inferior), aplicados en la etapa de destilación, conformados por dos variables (masa y tiempo). Se detallan en la siguiente tabla 3.7. Así mismo no tomándose la temperatura como variable, debido al impedimento del incremento de la fuente del poder calorífico en el sistema, para llevar un estudio a cabo en variación de temperatura en el sistema de destilación.

Tabla 3.7
Niveles de variación de los factores en la etapa de extracción

Variables	Nivel Superior	Nivel inferior
Masa	200 g	150 g
Tiempo	120 min	90 min

Fuente: Elaboración propia.

La matriz del diseño experimental aplicado a la etapa de destilación conformada por dos variables (masa y tiempo) se detalla en la tabla 3.8.

Tabla 3.8
Diseño factorial de la matriz experimental

Corridas	Combinación de tratamientos	Factores		Interacciones	Respuestas
		M	T	MT	Y_j
1	1	-	-	+	Y_1
2	a	+	-	-	Y_2
3	b	-	+	-	Y_3
4	ab	+	+	+	Y_4

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Y_j = Rendimiento, en (%) de la variable respuesta del aceite esencial de cedrón.

3.4.4 CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

La caracterización del producto final se realizó en base a parámetros fisicoquímicos y cromatográfico.

3.4.5 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DEL PRODUCTO FINAL

Las normas o métodos aplicados para la determinación se detallan en la tabla 3.9.

Tabla 3.9
Análisis fisicoquímico del producto final

Parámetros	Técnicas y/o métodos de ensayo	Unidad
Densidad (20°C)	NB 34021:07	g/ml
Perfil cromatográfico	Cromatografía de gases	%
Índice de refracción	Instrumental	Adimensional

Fuente: CEANID, 2018.

CAPÍTULO IV
CÁLCULOS Y
RESULTADOS

4.1 CARÁCTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA

Para realizar la caracterización de la materia prima, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos.

4.1.1 RENDIMIENTO DE LA HOJA DE CEDRÓN EN EL ACONDICIONADO COMO MATERIA PRIMA

En la tabla 4.1, se muestran los resultados en porcentaje del rendimiento de la hoja de cedrón efectuadas a cada lote adquirido de planta en kilogramos.

Tabla 4.1
Rendimiento de la hoja de cedrón por lote adquirido de planta en kilogramos

Lotes	Planta de cedrón en (Kg)	Hojas de cedrón en (Kg)	Rendimiento (%)
Lote 1	1,8	1	55,5
Lote 2	5	2,65	53
Lote 3	4,5	2,25	50

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los lugares de Lazareto, Guerra-huaico del valle central de Tarija y huerto de SEDEGES perteneciente a Tarija Cercado, es de dónde provino el cedrón y se obtuvo un rendimiento entre el 50-55% en hojas.

4.1.2 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE LA HOJA DE CEDRÓN

En la tabla 4.2, se muestran los resultados de parámetros de análisis fisicoquímico de la hoja de cedrón efectuado en base a las técnicas (Anexo B.1 y Anexo B.2), realizados en el Laboratorio de Química, perteneciente a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Tabla 4.2
Características fisicoquímicas de la hoja del cedrón

Parámetros	Resultados	Unidad
Densidad Real	0,7561	g/cm ³
Humedad	9,32	%

Fuente: Elaboración propia.

La densidad real considero el espacio total ocupado por la hoja de cedrón en un determinado volumen, esta se expresa en g/cm^3 . La humedad de la hoja de cedrón expresado en base a una media de la humedad de la hoja seca de los tres lotes. Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el laboratorio de Química.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS VOLÚMENES DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE LA HOJA DE CEDRÓN

Para caracterizar la pérdida en volumen de humedad de la hoja del cedrón se realizó un control de humedad.

4.2.1 VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD POR LOTE DEL CEDRÓN

En la tabla 4.3, se muestran los resultados de la variación del contenido de humedad del lote 1.

Tabla 4.3
Datos obtenidos en la determinación de humedad de la hoja de cedrón

Nº	Días	Humedad (%)
1	Primer	32,61
2	Segundo	23,15
3	Tercer	13,69
4	Cuarto	10,20
5	Quinto	9,89
6	Sexto	9,15

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.1 se muestra la variación del contenido de humedad de la hoja seca de cedrón del lote 1 en función del tiempo.

Figura 4.1
Descenso de humedad de secado en la hoja del cedrón lote 1



Fuente: Elaboración propia.

En figura 4.1 se observa la variación y descenso del contenido de humedad de las hojas de cedrón en función al tiempo de secado, la materia prima fresca presentó un porcentaje de humedad del 32,61% y al final del proceso de deshidratación de 6 días se observó que las hojas tuvieron un porcentaje de 9,15%; porcentaje con el cual se trabajó el lote 1.

En la tabla 4.4, se muestran los resultados de la variación del contenido de humedad del lote 2.

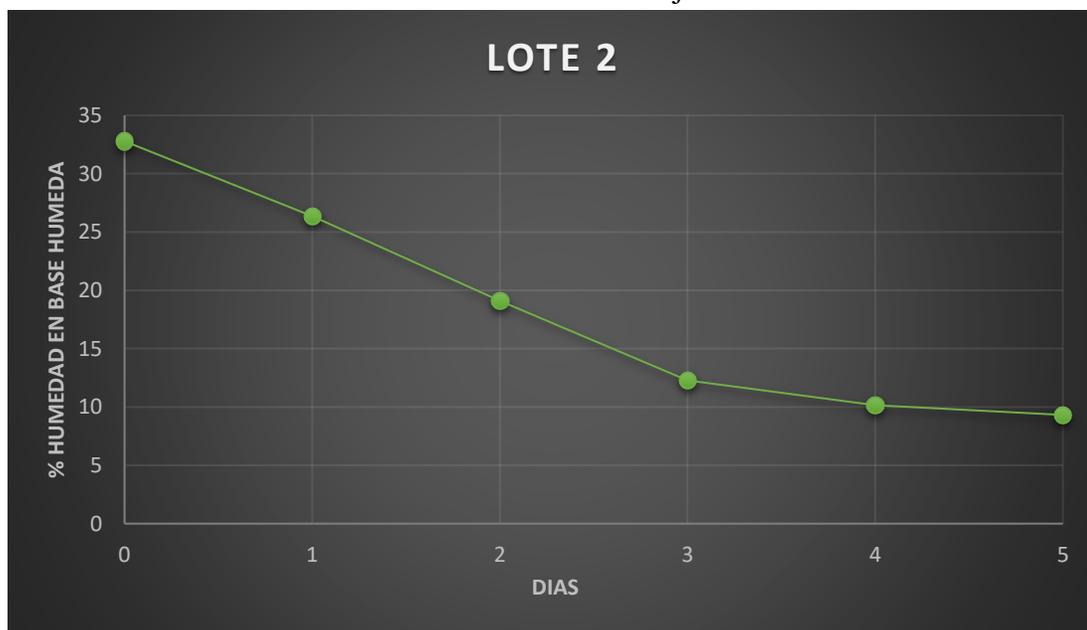
Tabla 4.4
Datos obtenidos en la determinación de humedad de la hoja de cedrón

Nº	Días	Humedad (%)
1	Primer	32,78
2	Segundo	26,37
3	Tercero	19,10
4	Cuarto	12,28
5	Quinto	10,15
6	Sexto	9,32

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.2 se muestra la variación del contenido de humedad de la hoja seca de cedrón del lote 2 en función del tiempo.

Figura 4.2
Descenso de humedad de secado en la hoja del cedrón del lote 2



Fuente: Elaboración propia.

En figura 4.2 se observa la variación y descenso del contenido de humedad de las hojas de cedrón en función al tiempo de secado, la materia prima fresca presentó un porcentaje de humedad del 32,78% y al final del proceso de deshidratación de 6 días se observó que las hojas tuvieron un porcentaje de 9,32%; porcentaje con el cual se trabajó el lote 2.

En la tabla 4.5, se muestran los resultados de la variación del contenido de humedad del lote 3.

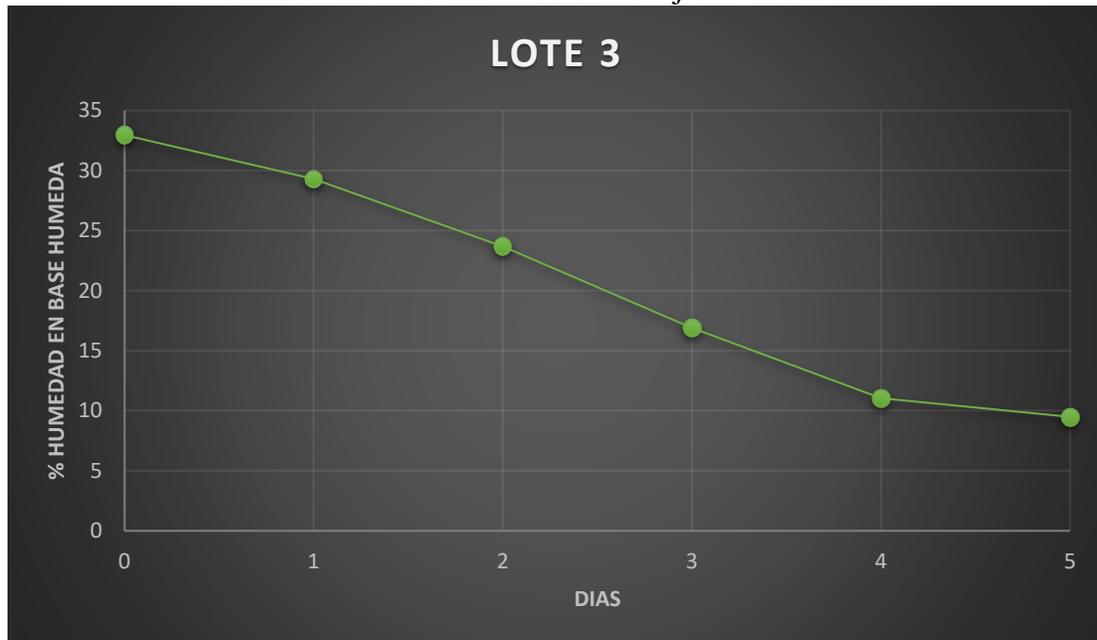
Tabla 4.5
Datos obtenidos en la determinación de humedad de la hoja de cedrón.

Nº	Días	Humedad (%)
1	Primer	32,95
2	Segundo	29,31
3	Tercero	23,68
4	Cuarto	16,89
5	Quinto	11,05
6	Sexto	9,49

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4.3 se muestra la variación del contenido de humedad de la hoja seca de cedrón del lote 3 en función del tiempo.

Figura 4.3
Descenso de humedad de secado en la hoja del cedrón del lote 3



Fuente: Elaboración propia.

En figura 4.3 se observa la variación y descenso del contenido de humedad de las hojas de cedrón en función al tiempo de secado, la materia prima fresca presentó un porcentaje de humedad del 32,95% y al final del proceso de deshidratación de 6 días se observó que las hojas tuvieron un porcentaje de 9,49%; porcentaje con el cual se trabajó el lote 3.

Según el análisis de la variación del contenido de humedad de los tres lotes en la deshidratación efectuado al ambiente, no expuesto al sol, las variaciones de temperatura y humedad en el ambiente varían fluctuosamente mientras van transcurriendo el tiempo de deshidratación de la hoja de cedrón. Concluyendo que el tiempo aplicado al proceso de deshidratación de la hoja de cedrón, su porcentaje final de humedad entre los tres lotes no tienen variaciones altamente significativas en la extracción del aceite esencial de cedrón.

4.3 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

En el diseño experimental para ver la incidencia de los factores masa y tiempo en el proceso de extracción se tomó niveles inferiores y superiores, en el nivel inferior los factores, se analizaron con una masa de 150 g y un tiempo de 90 min y en el nivel superior los factores, se analizaron con una masa de 200 g y un tiempo de 120 min.

Los resultados obtenidos en la extracción del aceite esencial de cedrón obtenido en un destilador de agua-vapor aplicando los niveles de los factores explicados en el anterior punto incluyendo la interacción en los mismos se encuentran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6
Resultados experimentales en la extracción del aceite de cedrón

Nº de ensayos	Factores m_{ij} (g)	Respuesta t_{ij} (min)	Rendimiento mL
1	150	90	1,10
Réplica	150	90	1,20
2	150	120	2,00
Réplica	150	120	2,00
3	200	90	2,10
Réplica	200	90	2,20
4	200	120	2,50
Réplica	200	120	2,45

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EN EL PROCESO EXPERIMENTAL DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

El análisis de varianza muestra las variables principales que influyen en el proceso de extracción, en función de la variable respuesta (rendimiento) del aceite esencial de cedrón obtenido.

Así mismo se observa la influencia de todas las posibles interacciones en el rendimiento y la significancia de los mismos. En la tabla 4.7 se muestra los datos con los cuales se realizó en cálculo de análisis de varianza (ANOVA) de un diseño 2^2 (Anexo C).

Tabla 4.7
 Datos para el análisis de varianza del aceite esencial de cedrón

N° de ensayos	Factores	Respuesta	
	m_{ij} (g)	t_{ij} (min)	Rendimiento %
1	-1	-1	0,73
Réplica	-1	-1	0,8
2	-1	+1	1,05
Réplica	-1	+1	1,1
3	+1	-1	1,33
Réplica	+1	-1	1,33
4	+1	+1	1,25
Réplica	+1	+1	1,23

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.8 se detalla el análisis de varianza aplicado al diseño experimental de la presente investigación de aceite esencial de cedrón.

Tabla 4.8
 Análisis de varianza ANOVA del aceite esencial de cedrón

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrado medio	F cal	F tab
A (masa)	0,0242	1	0,0242	24,821*	21,198
B (Tiempo)	0,26645	1	0,26645	273,282**	21,198
AB (m-t)	0,08	1	0,08	82,051*	21,198
Error	0,0039	4	0,000975		
Total	0,37455	7			

Fuente: elaboración propia. *Significativa **Altamente significativa

En la tabla 4.8, el ($F_{cal} > F_{tab}$) para los factores (masa), (tiempo) y interacción (masa-tiempo) donde indican que son variables estadísticamente significativas entre la variable respuesta (rendimiento, ver tabla C1 del Anexo C), donde influyen en el proceso de extracción de aceite de cedrón siendo el tiempo el más significativo sobre el proceso, seguido de la interacción masa-tiempo y la masa como significativos. El valor de probabilidad es del 99% ($\alpha < 0,01$) de intervalo de confianza.

4.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL PRODUCTO FINAL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

El análisis de propiedades fisicoquímicas del aceite esencial de cedrón (tabla 4.9) extraído en la investigación fue realizado en Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” la densidad y en el Laboratorio de Química perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho el índice de refracción (Anexo A.1).

Tabla 4.9
Análisis fisicoquímico del aceite esencial de cedrón

Detalle	Datos	Unidad	Lugar
Densidad (20°)	0,9078	g/ml	CEANID
Índice de refracción	14,77	Adimensional	LAB. QUÍMICA

Fuente: CEANID y LAB. QUÍMICA, 2018.

La densidad del aceite esencial de cedrón se realizó por el método de picnometría establecido a una temperatura de 20°C, el índice de refracción se realizó su medición en un refractómetro de ABBE llevado la muestra a una temperatura de 20°C.

4.5 CROMATOGRAFÍA DE GASES DEL PRODUCTO FINAL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

La cromatografía de gases para el aceite esencial de cedrón (tabla 4.10) fueron realizadas en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” con el objeto de realizar la identificación de los componentes principales en el aceite esencial (Anexo A.2).

Tabla 4.10
Análisis cromatográfico de gases del aceite esencial de cedrón

Item	Compuesto	Abundancia %
1	Sabinene	7,37
2	Limonene	19,45
3	Eucalyptol	0,67
4	Ocimene	0,39
5	Citronellal	20,87
6	Citral b	16,96
7	Citral	26,40
8	Caryophyllene	1,90
9	Curcumene	1,08
10	Germacrene	0,93
11	Elxene	2,45
12	Spathulenol	1,50

Fuente: CEANID, 2018.

La caracterización química del aceite esencial se llevó a cabo mediante CG-EM. Los análisis cromatográficos se realizaron en un equipo Agilent modelo 6890 acoplado a un espectrómetro de masas modelo 5975, utilizando una columna HP-5MS (30m*0,250mm*0,25µm) con temperatura máxima de 350°C. Se inyectaron 1µl de 0,02% de solución de muestra en acetato de etilo, en modo Split ratio 10:1. La temperatura del inyector fue de 250°C. Se utilizó helio como gas de arrastre a un flujo de 1ml/min y una presión de 7,52 psi. El programa de operación la temperatura inicial 40°C durante 3min, rampa de calentamiento 8°C/min, temperatura final de 250°C durante 3 min. Tiempo total de corrida 25min.

4.5.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LOS PRINCIPIOS ACTIVOS DEL ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN OBTENIDOS, CON UNA REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

De acuerdo a los porcentajes obtenidos de su composición química del aceite esencial de cedrón extraído en la presente investigación, se detalla en la tabla 4.11 con una comparación bibliográfica, donde según Bandoni la composición química y bioquímica del aceite esencial de cedrón se detalló en la tabla 2.8 y tabla 2.9.

Tabla 4.11
Comparación bibliográfica de sus principios activos del aceite esencial de cedrón

Item	Compuesto	Abundancia %	Referencia %
1	Sabinene	7,37	-
2	Limonene	19,45	3,7-6,8
3	Eucalyptol	0,67	12,4
4	Ocimene	0,39	-
5	Citronellal	20,87	6,9
6	Citral b	16,96	-
7	Citral	26,40	18-39
8	Caryophyllene	1,90	5,5
9	Curcumene	1,08	-
10	Germacrene	0,93	4,2
11	Elxene	2,45	-
12	Spathulenol	1,50	5,2

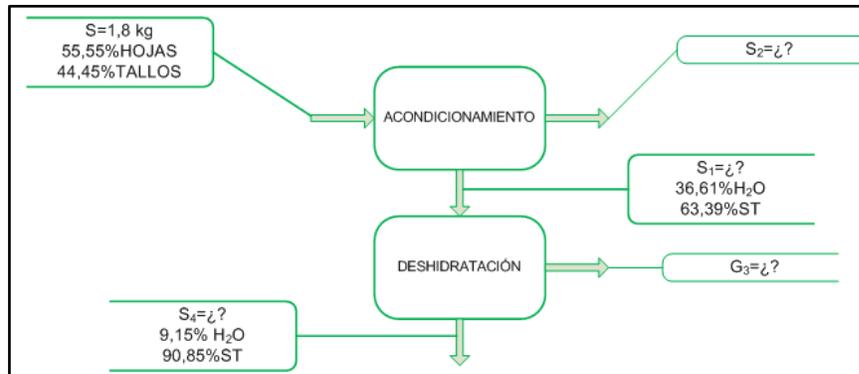
Fuente: CEANID, 2018 y Bandoni, 2000.

El citral el principio activo principal del cedrón se puede observar que oscila entre los porcentajes de la referencia bibliográfica, las diferencias vistas entre los demás principios activos puede deberse, en la etapa de separación por congelamiento también se semi-purifico el aceite eliminando algunos terpenos y otros compuestos que no son de mucho interés en el aceite para la industria alimentaria o/y a la falta de atención al estado vegetativo y manejo agronómico, factores que deben tomarse en cuenta entre otros, que tienen influencia en la síntesis y acumulación de aceite esencial y en su porcentaje. Los principios activos que superan en porcentaje a la referencia se puede deber a los lugares donde provino la materia prima, siendo algunos factores como ser climáticos o el tipo de terreno estén favoreciendo la síntesis de esos principios activos en la hoja de cedrón.

4.6 BALANCE DE MATERIA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

Para el proceso de extracción de aceite de cedrón, a nivel laboratorio, el balance de materia se realizó el acondicionamiento de la materia prima tomando en cuenta el diagrama de bloques representado en la figura 4.4.

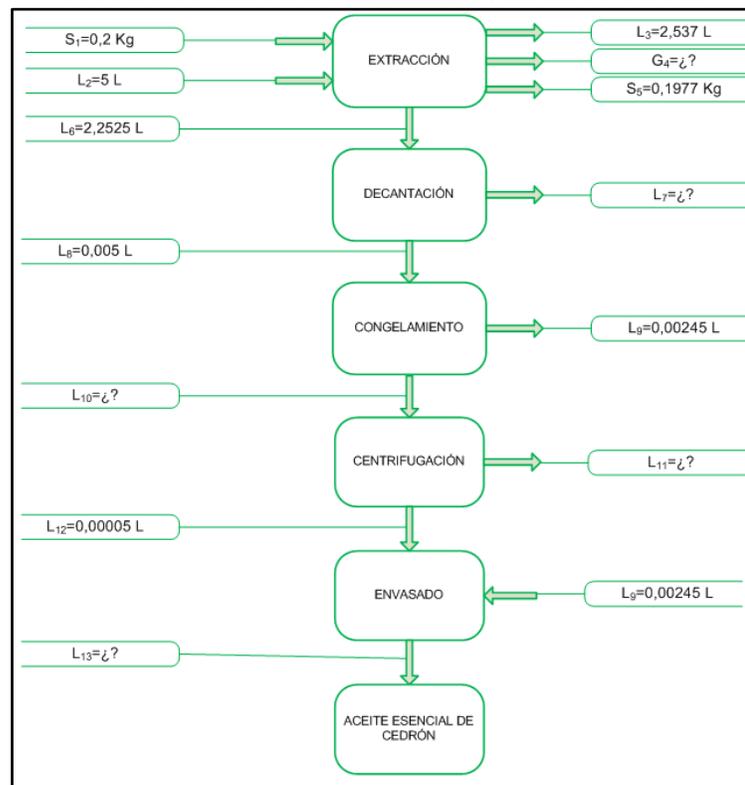
Figura 4.4
Proceso de acondicionamiento de la materia prima



Fuente: Elaboración propia.

Para el balance de materia en el proceso de extracción de aceite esencial de cedrón se realizó tomando en cuenta el diagrama de bloques representado en la figura 4.5.

Figura 4.5
Proceso de extracción de aceite esencial de cedrón



Fuente: Elaboración propia.

4.6.1 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DEL ACONDICIONAMIENTO DEL CEDRÓN

De acuerdo con la investigación realizada se observa que el rendimiento de hojas en la planta de cedrón varía entre el 50–55 % en rendimiento como se detalla en la tabla 4.12.

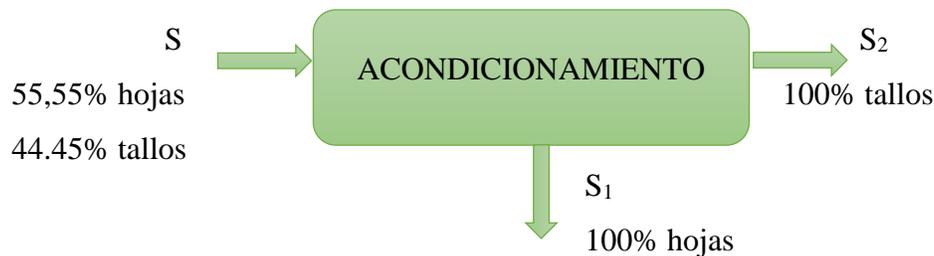
Tabla 4.12
Rendimiento de hojas por Kg de lote de cedrón

Semana I		Semana II		Semana III	
Planta de cedrón (Kg)	Hojas de cedrón (Kg)	Planta de cedrón (Kg)	Hojas de cedrón (Kg)	Planta de cedrón (Kg)	Hojas de cedrón (Kg)
1,8	1	5	2,65	4,5	2,25

Fuente: Elaboración propia

El balance de materia que se aplicó en el proceso de acondicionamiento del cedrón se muestra en la figura 4.6.

Figura 4.6
Acondicionamiento del cedrón



Donde:

S (Planta de cedrón)= 1,8 Kg

S₁ (Hojas de cedrón)= ¿?

S₂ (Palos y raíces)= ¿?

Balance general de materia en el proceso de acondicionamiento.

$$S = S_1 + S_2 \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Balance parcial de materia de porción comestible en el proceso de acondicionamiento.

$$SX^{\text{comestible}} = S_1X_1^{\text{comestible}}$$

Despejando S₁ del balance parcial tenemos:

$$S_1 = \frac{S_{X\text{comestible}}}{X_1\text{comestible}}$$

Remplazando los datos tendremos:

$$S_1 = \frac{(1,8 \text{ Kg})(0,5555)}{(1)} = 1 \text{ Kg}$$

De la ecuación 4.1 despejamos S_2 obteniendo:

$$S_2 = S - S_1$$

Remplazando los datos obtenidos se tiene:

$$S_2 = 1,8 \text{ Kg} - 1 \text{ Kg} = 0,8 \text{ Kg}$$

El total de porción no utilizada en el proceso es de 0,8 Kg.

4.6.2 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE LA HOJA DE CEDRÓN

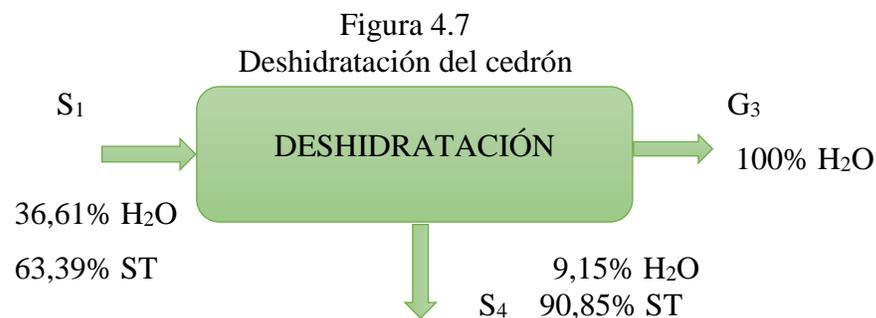
De acuerdo con la investigación realizada se observa el rendimiento de hojas secas en función de las hojas con contenido de humedad inicial la planta de cedrón varía entre el 69 - 74% en rendimiento como se detalla en la tabla 4.13.

Tabla 4.13
Rendimiento de hojas secas por Kg de hojas con humedad inicial

Semana I		Semana II		Semana III	
Hojas de cedrón con humedad inicial	Hojas de cedrón secas	Hojas de cedrón con humedad inicial	Hojas de cedrón secas	Hojas de cedrón con humedad inicial	Hojas de cedrón secas
1 kg	0,697 Kg	2,650 Kg	1,966 Kg	2,25 Kg	1,666 Kg

Fuente: Elaboración propia.

El balance de materia que se aplicó en el proceso de deshidratación de la hoja del cedrón se muestra en la figura 4.7.



Donde:

S_1 (Hojas de cedrón)= 1 Kg

G_3 (Agua evaporada)= ¿?

S_4 (Hojas secas del cedrón)= ¿?

Balance general de materia en el proceso de deshidratación.

$$S_1 = G_3 + S_4 \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

Balance parcial de materia de sólidos totales en el proceso de deshidratación.

$$S_1 X_1^{ST} = S_4 X_4^{ST}$$

Despejando S_4 del balance parcial tenemos:

$$S_4 = \frac{S_1 X_1^{ST}}{X_4^{ST}}$$

Remplazando los datos tendremos:

$$S_4 = \frac{(1\text{kg})(0,6339)}{(0,9085)} = 0,697\text{Kg}$$

Despejando G_3 de la ecuación 4.2 tenemos:

$$G_3 = S_1 - S_4$$

Remplazando los datos obtenidos se tiene:

$$G_3 = 1 \text{ Kg} - 0,697 \text{ Kg} = 0,303 \text{ Kg}$$

El total de agua evaporada en la hoja de cedrón es de 0,303 Kg.

4.6.3 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE CEDRÓN

Para el balance de materia en extracción se aplicó una masa que fue definida en el punto 4.2.

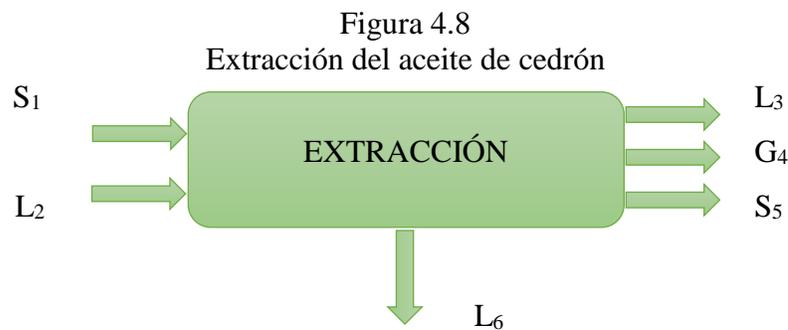
De acuerdo con la investigación se obtuvieron los siguientes datos para las diferentes masas utilizadas en la extracción como se expresan en la tabla 4.14.

Tabla 4.14
Datos obtenidos en el proceso de extracción

Detalle	Extracción 1	Extracción 2	Extracción 3	Extracción 4
Masa (hoja de cedrón)	0,150 Kg	0,150 Kg	0,200 Kg	0,200 Kg
Tiempo	90 min	120 min	90 min	120 min
Agua de entrada en la torre	5 L	5 L	5 L	5 L
Agua restante en la torre	2,736 L	2,524 L	2,737 L	2,537 L
Masa (hoja de cedrón sin aceite)	0,1489 Kg	0,1481 Kg	0,1980 Kg	0,1977 Kg
Aceite de cedrón + hidrolato	2,0012 L	2,2520 L	2,0022 L	2.2525 L

Fuente: Elaboración propia.

El balance de materia que se aplicó en el proceso de extracción de aceite de cedrón se muestra en la figura 4.8.



Donde:

S_1 (Hoja seca de cedrón a la entrada de la columna de destilación)= 0,2 Kg

L_2 (Agua que entra a la torre de destilación)= 5 L

L_3 (Hidrolato restante en la columna al finalizar la extracción)=2,537 L

G_4 (Vapor de agua al finalizar la extracción)=?

S_5 (Hoja de cedrón sin aceite)=0,1977 Kg

L_6 (aceite de cedrón con hidrolato)=2.2525 L

Balance general de materia en el proceso de extracción

$$S_1 + L_2 = L_3 + G_4 + S_5 + L_6 \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

Balance general del agua a partir de la ecuación 4.3

$$L_2 = L_3 + G_4 + L_6$$

Despejando G_4 se tiene:

$$G_4 = L_2 - L_3 - L_6$$

Remplazando los datos tenemos:

$$G_4 = 5\text{L} - 2,537\text{ L} - 2,250\text{ L}$$

$$G_4 = 0,213\text{ L}$$

El total de vapor de agua en la columna es de 0,213 L

4.6.4 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE DECANTACIÓN

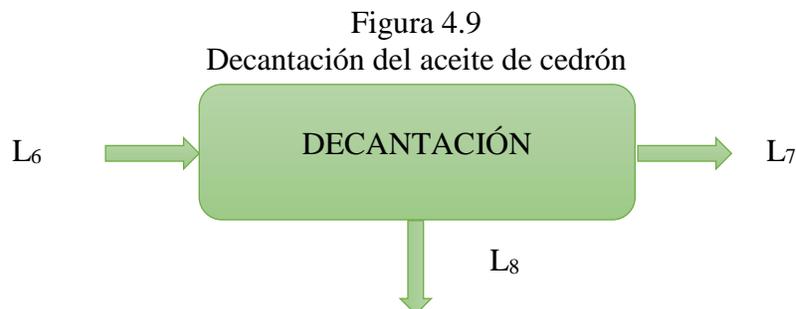
De acuerdo con la investigación realizada en el proceso de decantación se obtuvieron los siguientes datos representados en la tabla 4.15.

Tabla 4.15
Datos obtenidos en el proceso de decantación

Detalle	Extracción 1	Extracción 2	Extracción 3	Extracción 4
Aceite de cedrón + hidrolato	2,0012 L	2,2520 L	2,0022 L	2.2525 L
Aceite de cedrón + hidrolato al finalizar la decantación	0,003 L	0,004 L	0,005 L	0,005 L

Fuente: Elaboración propia.

El balance de materia aplicado en el proceso de decantación se muestra en la figura 4.9.



Donde:

L_6 (aceite de cedrón +hidrolato)= 2,2525 L

L_7 (Hidrolato)=?

L_8 (aceite + hidrolato al finalizar la decantación)= 0,005 L

Balance general de materia en el proceso de decantación

$$L_6=L_7+L_8 \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Despejando L_7 de la ecuación 4.4 se tiene:

$$L_7=L_6-L_8$$

Remplazando los datos tenemos:

$$L_7=2,2525 \text{ L}-0,005 \text{ L}$$

$$L_7=2,2475 \text{ L}$$

El total de hidrolato decantado es 2,2475 L.

4.6.5 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN POR CONGELAMIENTO

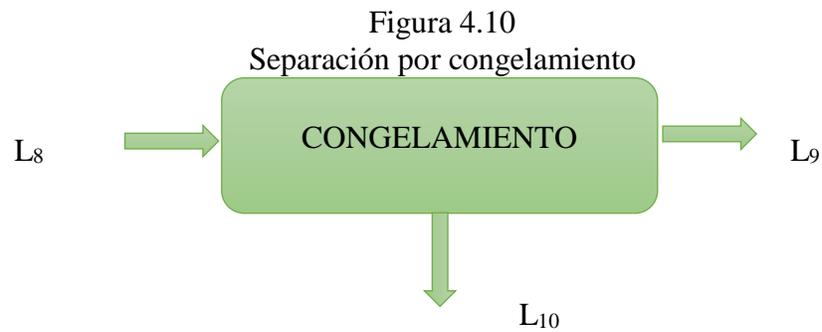
De acuerdo con la investigación realizada en el proceso de separación por congelamiento se obtuvieron los siguientes datos como se muestran en la tabla 4.16.

Tabla 4.16
Datos obtenidos en el proceso de separación por congelamiento

Detalle	Extracción 1	Extracción 2	Extracción 3	Extracción 4
Aceite de cedrón + hidrolato al finalizar la decantación	0,003	0,004	0,005	0,005
Aceite esencial de cedrón	0,001 L	0,0019 L	0,0021 L	0,00245 L

Fuente: Elaboración propia.

El balance de materia que se aplicó en el proceso de congelamiento se muestra en la figura 4.10.



Donde:

L_8 (aceite + hidrolato al finalizar la decantación) = 0,005 L

L_9 (aceite esencial de cedrón) = 0,00245 L

L_{10} (aceite + hidrolato al finalizar la separación) = ?

Balance general de materia en el proceso de separación por congelamiento

$$L_8 = L_9 + L_{10} \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Despejando L_{10} de la ecuación 4.5 se tiene:

$$L_{10} = L_8 - L_9$$

Remplazando los datos en la ecuación tenemos:

$$L_{10} = 0,005 \text{ L} - 0,00245 \text{ L}$$

$$L_{10} = 0,00255 \text{ L}$$

El total de aceite + hidrolato al finalizar la separación es 0,00255 L.

4.6.6 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN

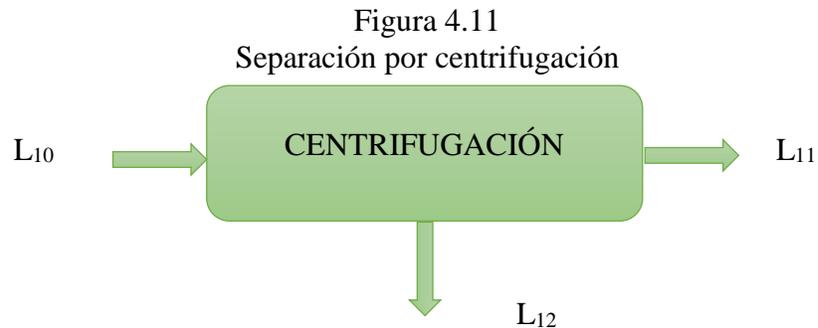
De acuerdo con la investigación realizada en el proceso de separación por centrifugación se obtuvieron los siguientes datos como se muestran en la tabla 4.17.

Tabla 4.17
Datos obtenidos en el proceso de centrifugación

Detalle	Extracción 1	Extracción 2	Extracción 3	Extracción 4
Aceite + hidrolato	0,002L	0,0021	0,0029 L	0,00255 L
Aceite esencial de cedrón	0,0002 L	0,0001 L	0,0001 L	0,00005 L

Fuente: Elaboración propia.

El balance de materia que se aplicó en el proceso de centrifugación se muestra en la figura 4.11.



Donde:

L_{10} (aceite + hidrolato al finalizar la separación) = 0,00255 L

L_{11} (hidrolato separado por la centrifuga) = ¿?

L_{12} (aceite esencial de cedrón) = 0,00005 L

Balance general de materia en el proceso de centrifugación

$$L_{10} = L_{11} + L_{12} \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Despejando L_{11} de la ecuación 4.6 se tiene:

$$L_{11} = L_{10} - L_{12}$$

Remplazando los datos tenemos:

$$L_{11} = 0,00255 \text{ L} - 0,00005 \text{ L}$$

$$L_{11} = 0,0025 \text{ L}$$

El total del hidrolato separado por la centrifuga es 0,0025 L.

4.6.7 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE ENVASADO

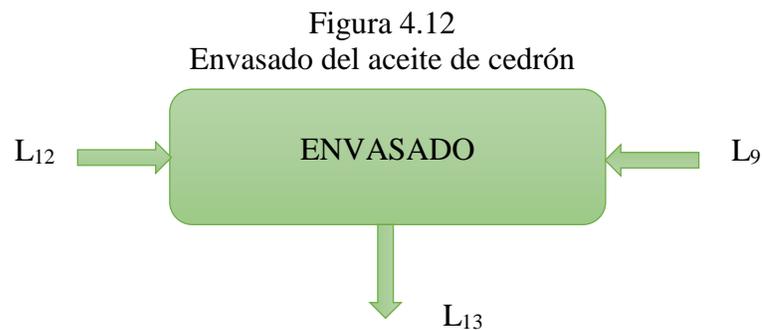
De acuerdo a la investigación realizada en el proceso de envasado se obtuvieron los siguientes volúmenes para cada extracción como se muestra en la tabla 4.18.

Tabla 4.18
Volúmenes obtenidos en cada extracción

Detalle	Extracción 1	Extracción 2	Extracción 3	Extracción 4
Volumen de aceite esencial de cedrón	0,0012 L	0,002 L	0,0022 L	0,0025 L

Fuente: Elaboración propia.

El balance de materia aplicado en el proceso de envasado se muestra en la figura 4.12.



Datos

L_{12} (aceite de cedrón separado en la centrifugación)= 0,00005 L

L_9 (aceite de cedrón separado en el congelamiento)= 0,00245 L

L_{13} (aceite de cedrón obtenido en todo el proceso)= ¿?

Balance general de materia en el proceso de envasado

$$L_{12} + L_9 = L_{13} \quad (\text{Ecuación 4.7})$$

Remplazando datos en la ecuación 4.7 tenemos:

$$L_{13} = 0,00005 \text{ L} + 0,00245 \text{ L}$$

$$L_{13} = 0,0025$$

El total de aceite envasado obtenido en el proceso es 0,0025 L.

4.7 RENDIMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

Para el cálculo de rendimiento del proceso de obtención de aceite esencial de cedrón se aplicó la ecuación 4.8 (Citada por Balderas, 1994):

$$\%R = \frac{\text{Aceite esencial obtenido(g)}}{\text{masa Total de hoja de cedrón(g)}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

Donde:

Aceite esencial obtenido = 10,6 ml ($\rho_{\text{aceite}}=0,9078\text{g/ml}$)

Masa total de hoja de cedrón= 1000 g

Remplazando los datos en la ecuación 4.8 tenemos:

$$\%R = \frac{9,62268 (g)}{1000 (g)} \times 100 = 0,96 \%$$

El rendimiento de extracción del aceite esencial de cedrón es de 0,96% por kilo de hojas de cedrón.

4.8 BALANCE DE ENERGÍA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CEDRÓN

En el proceso de extracción y condensación, ocurren transferencias de energía en forma de calor, para la aplicación del balance total de energía se aplicaron las siguientes ecuaciones citadas por Balderas, 1994.

Ecuación para realizar el balance total de energía:

Calor saliente del sistema-Calor entrante al sistema= Acumulación (Ecuación 4.9)

En la ecuación 4.10 la acumulación es igual a cero (Balderas, 1994) debido a que la energía entrante es igual a la saliente, por lo que se tendría:

$$Q_c = Q_g \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

Donde:

Q_c = Calor cedido

Q_g = Calor ganado

La ecuación para calcular el calor sensible (Balderas, 1994) de una sustancia se expresa en la ecuación 4.11.

$$Q = m \cdot c_p \cdot (T_f - T_o) \quad (\text{Ecuación 4.11})$$

Donde:

Q = Calor sensible (sin cambio de fase)

m = masa de la sustancia

C_p = Capacidad calorífica de la sustancia

T_f = Temperatura final

T_o = Temperatura inicial

La ecuación de calor latente (Balderas, 1994) de una sustancia se expresa en la ecuación 4.12.

$$Q = m \cdot \lambda_{\text{vap}} \quad (\text{Ecuación 4.12})$$

Donde:

Q = Calor latente (con cambio de fase)

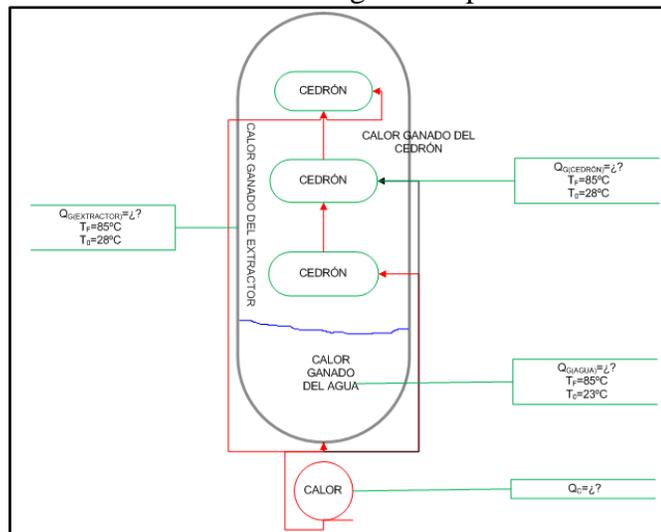
m = masa de la sustancia

λ_{vap} = Lamda de vaporización

4.8.1 BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN

En el balance de energía de extracción sus transferencias de energías se detallan en la figura 4.13.

Figura 4.13
Sistema de transferencia de energía en el proceso de extracción



Fuente: Elaboración propia.

Aplicando la ecuación 4.10 para el proceso de extracción tenemos:

$$Q_c = Q_{gT} + Q_{gA} + Q_{gC} \quad (\text{Ecuación 4.10})$$

Donde:

Q_c = Calor cedido por la llama del mechero bunsen

Q_{gT} = Calor ganado por la torre de destilación

Q_{gA} = Calor ganado por el agua en la torre de destilación

Q_{gC} = Calor ganado por el cedrón en la torre de destilación

Para calcular el calor ganado por la torre de destilación aplicamos la ecuación 4.11:

$$Q_{gT} = m_T * C_{pT} * (T_f - T_o)$$

Donde:

Q_{gT} = Calor ganado por la torre de destilación

m_T (masa de la torre de destilación) = 7,850 kg

C_{pT} (calor específico de la torre de destilación) = 480 J/Kg°K (Incropera, 1990)

T_f (Temperatura de calentamiento) = 85°C

T_o (Temperatura inicial en la torre de destilación) = 28°C

Remplazando en la ecuación 4.21 tenemos:

$$Q_{gT} = 7,850 \text{ Kg} * 480 \text{ J/Kg}^\circ\text{K} * 330 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$Q_{gT} = 1243,44 \text{ KJ}$$

El calor ganado por la torre de destilación de acero inoxidable AISI 347 es 1243,44 KJ

Para calcular el calor ganado del agua en la torre de destilación utilizamos las ecuaciones 4.11 y 4.12.

$$Q_{gA} = m_A * C_{pA} * (T_f - T_o)$$

Donde:

Q_{gA} = Calor ganado por el agua en la torre de destilación

m_A (masa del agua en la torre de destilación) = 4,9785 kg ($\rho_{\text{agua}} = 0.9957 \text{ g/ml}$)

C_{pA} (calor específico del agua en la torre de destilación) = 4180 J/Kg°K

T_f (Temperatura de calentamiento) = 85°C

T_o (Temperatura inicial en la torre de destilación) = 23°C

Remplazando los datos en la ecuación 4.22 tenemos:

$$Q_{gA}=4,9785 \text{ Kg} * 4180 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} * 62^\circ\text{C}$$

$$Q_{gA}=1290,228 \text{ KJ}$$

El calor sensible del agua en el calentamiento es de 1290,228 KJ.

Para calcular el calor latente ganado en el agua hasta ebullición utilizamos la ecuación 4.12 donde:

$$Q_{gA}= m_{gA} * \lambda_{vap}$$

Donde:

Q_{gA} = Calor latente ganado del vapor de agua

m_{gA} (masa del agua evaporada en la extracción)= 2,43947 Kg

λ_{vap} (Lamda de vapor de agua a la temperatura de 85°C)= 2293,93 KJ/Kg

(Hayes,1992)

Remplazando los datos tenemos:

$$Q_{gA}=2,43947 \text{ Kg} * 2293,93 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_{gA}= 5595,98 \text{ KJ}$$

El calor latente del agua en el cambio de fase es de 5595,98 KJ.

Sumando los valores del calor sensible y latente del agua se obtiene el calor ganado del agua en el destilador como se muestra en el siguiente cálculo:

$$Q_{gA}=1290,228 \text{ KJ} + 5595,98 \text{ KJ}$$

$$Q_{gA}=6886,208 \text{ KJ}$$

El calor ganado del agua en la columna de destilación es de 6886,208 KJ.

Para calcular el calor ganado por la hoja de cedrón utilizamos la ecuación 4.11.

$$Q_{gC}= m_C * C_{pC} * (T_f - T_o)$$

Donde

Q_{gC} = (Calor ganado por el cedrón en la torre de destilación)

m_C (masa del cedrón en la torre de destilación) =0,2 Kg

C_{pC} (Capacidad calorífica de la hoja seca del cedrón)= 1,1434 KJ/Kg°C (Siebel, 1982)

T_f (Temperatura de calentamiento)=85°C

T_o (Temperatura inicial en la torre de destilación)=28°C

Remplazando los datos tenemos:

$$Q_{gC} = 0,2 \text{ Kg} * 1,1434 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} * (85-28)^\circ\text{C}$$

$$Q_{gC} = 13,03476 \text{ KJ}$$

El calor ganado de la hoja de cedrón en la torre de destilación es 13,03476 KJ.

Remplazando los valores en la ecuación 4.13 tenemos:

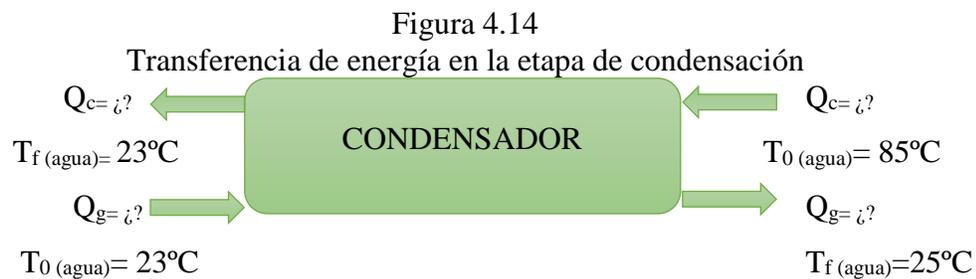
$$Q_C = 1243,44 \text{ KJ} + 6886,208 \text{ KJ} + 13,03476 \text{ KJ}$$

$$Q_C = 8142,682 \text{ KJ}$$

El calor cedido en el proceso de extracción es de 8142,682 KJ.

4.8.2 BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE CONDENSACIÓN

En el balance de energía en la etapa de condensación se representa en la figura 4.14.



Aplicando y desarrollando la ecuación 4.10 en el proceso de condensación se tiene:

$$Q_c = Q_g$$

$$Q_c = m_{AC} * C_{pAC} * (T_o - T_f) + m_{VA} * \lambda_v$$

$$Q_g = m_{Ag} * C_{pAg} * (T_f - T_o)$$

Para el calor cedido se asumirá que la corriente a condensar y a sub enfriar es solo agua por tanto tendremos:

$$m_{AC} * C_{pAC} * (T_o - T_f) + m_{VA} * \lambda_v = m_{Ag} * C_{pAg} * (T_f - T_o)$$

Donde:

$$m_{AC} \text{ (masa de agua que condensa en el condensador)} = 2,240325 \text{ Kg}$$

$$C_{pAC} \text{ (Capacidad calorífica del vapor de agua)} = 4180 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_o \text{ (Temperatura inicial del agua en el condensador)} = 85^\circ\text{C}$$

T_f (Temperatura final en el condensador)=23°C

m_{vA} = masa de agua que se condensa en el condensador)=2,240325 Kg

λ_v (Lamda de vapor de agua a la temperature de 85°C) = 2293,93 KJ/Kg

m_{Ag} (masa del agua de reflujo en el condensador) =?

C_{pAg} (Capacidad calorifica del agua)= 4180 J/Kg°C

T_f (Temperatura final del agua a la salida del condensador)= 25°C

T_o (Temperatura inical del agua al ingreso del condensador)= 23°C

Remplzando los datos en la ecuación tenemos:

$$Q_c = 2,240325 \text{ Kg} * 4180 \text{ J/Kg}^\circ\text{C} * (85-23)^\circ\text{C} + 2,240325 \text{ Kg} * 2293,93 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_c = 580,602627 \text{ KJ} + 5139,149 \text{ KJ}$$

$$Q_c = 5719,751 \text{ KJ}$$

El calor cedido en el proceso de condensación es de 5719,751 KJ, que es el calor total retirado en el condensador para la corriente de enfriamiento a la corriente del proceso.

Para el cálculo de agua requerida despejamos m_{Ag} de la ecuación 4.27

$$m_{Ag} = \frac{Q_{cedido}}{C_{pAg} * (T_f - T_o)} \quad (\text{Ecuación 4.14})$$

Remplazando los datos en la ecuación 4.14 tenemos.

$$m_{Ag} = \frac{5719,751 \text{ KJ}}{\frac{4,18 \text{ KJ}}{\text{kg}}^\circ\text{C} * (25 - 23)^\circ\text{C}}$$

$$m_{Ag} = 684,180 \text{ Kg}$$

Donde la masa necesaria mínima para obtener la transferencia de calor deseado es 684,180 Kg.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Según los datos obtenidos en el análisis de parámetros fisicoquímicos de la hoja de cedrón tiene una densidad de $0,7561 \text{ g/cm}^3$ y una humedad de 9,32%.
- De acuerdo a los lugares Lazareto, Guerra-huaico del valle central de Tarija y huerto de SEDEGES perteneciente a Tarija Cercado, es de dónde provino el cedrón y se obtuvo un rendimiento entre el 50 – 55% en hojas.
- Según el análisis de la variación del contenido de humedad de los tres lotes en la deshidratación efectuada al ambiente, no expuesto al sol, las variaciones de temperatura y humedad varían fluctuosamente mientras van transcurriendo el tiempo de deshidratación de la hoja de cedrón. Concluyendo que el tiempo aplicado al proceso de deshidratación de la hoja de cedrón, su porcentaje final de humedad entre los tres lotes no tienen variaciones altamente significativas en la extracción del aceite esencial de cedrón.
- Según los datos obtenidos en el análisis de parámetros fisicoquímicos del aceite esencial de cedrón tiene una densidad de $0,9078 \text{ g/ml}$ y un índice de refracción de 14,77.
- Según los datos obtenidos en el análisis cromatográfico de gases del aceite esencial de cedrón se obtuvo un porcentaje del 26,40 % de citral el principal principio activo del cedrón y 16,96% de su isómero citral b, 19,45 % de limoneno segundo principio activo principal del cedrón y sus demás principios activos obtenidos con un porcentaje de 20,87% de citronelal, 7,37% de sabineno, 0,67% de eucaliptol, 0,39% de ocimeno, 1,90% de cariofileno, 1,08% de curcumeno, 0,93% de germacreno, 2,45% de elxeno, 1,50% de spatulenol.
- En la aplicación del diseño factorial 2^2 se estableció como resultado que la variable masa y tiempo influyen significativamente en el proceso de extracción de aceite esencial de cedrón sobre todo el tiempo lo cuales son estadísticamente significativas para una probabilidad del 99% de intervalo de confianza para la obtención de mayores rendimientos.

- Durante la separación por congelamiento a temperaturas inferiores de cero grados Centígrados en el aceite esencial de cedrón, se pudo observar una mejor técnica de conservación del aceite y sus propiedades.
- El rendimiento de extracción del aceite esencial de cedrón es de 0,96% por kilo de hojas de cedrón.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda establecer un sistema mejorado de extracción de aceite esencial de cedrón, como por ejemplo un sistema de extracción de aceite esencial por arrastre de vapor, para mejorar la pureza y calidad del aceite.
- Se necesita profundizar más en el estudio de otras condiciones que afectan el rendimiento y producción de aceite esencial de cedrón (*Aloysia triphylla*), como el estado vegetativo y manejo agronómico, de esta forma ofrecer un producto de alta calidad, con buen rendimiento de aceite.
- Para el secado al ambiente, no expuesto al sol, debe ser removido el material vegetal, para evitar la pudrición y disminución de la calidad del aceite esencial a extraer.
- Para mejorar la calidad del aceite esencial de cedrón se recomienda realizar un estudio del secado de la hoja del cedrón, para optimizar el rendimiento de aceite en la hoja de cedrón.