



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja:  
caracterización y estudio de potencial industria en el Ecuador**

**Carla Patricia Bernal Villavicencio**

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero  
Químico

Quito, 27 de Septiembre del 2012

# Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Pregrado

## HOJA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Extracción del aceite esencial de naranja: caracterización y análisis de  
potencial industria en Ecuador

Carla Patricia Bernal Villavicencio

Lourdes Orejuela, Msc.

.....

Director de la Tesis y  
Miembro del Comité de Tesis

Carlos Fabara, Msc.

.....

Miembro del Comité de Tesis

Cesar León, Ing.

.....

Miembro del Comité de Tesis

Santiago Gangotena, PhD.

.....

Decano del Colegio Politécnico

©Derechos de autor  
Carla Patricia Bernal Villavicencio  
2012

## **Dedicatoria**

*A mi hijo Jorge Andrés que ha sido siempre la razón que me impulsa a salir adelante*

*A mi esposo Jorge Luis por estar siempre a mi lado incondicionalmente*

*A mis padres Xavier y Ana por su apoyo total durante todas las etapas de mi vida*

## **Agradecimientos**

A mi esposo Jorge Luis, por todo el apoyo que me dio durante mi vida estudiantil.

A mis padres Xavier y Ana que siempre han estado a mi lado dándome todo el apoyo que he necesitado

A mis hermanos Cristina, Xavier y José que me han enseñado a ver la vida desde sus puntos de vista y con quienes siempre he podido contar.

A mis tíos Eduardo y Lotty que han sido mis segundos padres y en quienes siempre me puedo apoyar

A todos mis queridos profesores les agradezco por su dedicación y entrega total a la enseñanza y su compromiso a la formación de profesionales de bien.

## **Resumen**

Los aceites esenciales son sustancias que están tomando considerable importancia en la actualidad debido a sus diversas propiedades benéficas y al creciente interés en los productos naturales, que los hacen atractivos para diversas industrias, en especial la farmacéutica, alimenticia y de cosméticos, además de la infinidad de usos y aplicaciones que tiene en la fabricación de otros productos terminados. Ecuador es un país virgen en el ámbito de industrias productoras de aceites esenciales, no hay fábricas a ninguna escala dedicadas a esta actividad a pesar de ser un país mega diverso con una cantidad de flora inigualable y con una gran variedad de plantas medicinales y aromáticas. El siguiente trabajo consiste en un proyecto de investigación sobre la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja dulce, la caracterización del mismo y el análisis de una posible implementación de una industria dedicada a esta actividad. Se ha seleccionado la extracción con éter etílico y se utilizó una columna de extracción que forma parte de un equipo de extracción líquido-líquido. Se obtuvo el rendimiento porcentual del proceso de extracción

implementado, las características del producto y se analizó con datos actuales y reales el mercado del producto en cuestión.

### **Abstract**

Essential oils are substances that are taking considerable importance now a days because of its various beneficial properties and the growing interest in natural products, that make them attractive for various industries, especially pharmaceutical, food and cosmetics, as well as countless of uses and applications which have in the manufacture of other end products. Ecuador is a virgin country in the field of industries producing essential oils, there is no scale factories engaged in this activity, despite being a mega diverse country with a unique variety of flora and a variety medicinal and aromatic plants. The next study is a research project on the extraction of essential oil of sweet orange peel, the characterization and analysis of a possible implementation of an industry dedicated to this activity. Ethyl ether was selected for the extraction process and It was used an extraction column that is part of a of liquid-liquid extraction unit. Percentage yield was obtained from the extraction process, characterization test were taken and it was analyzed the market with real and actual data.

## Contenido

Introducción .....	xiv
Capítulo 1. Fundamentos teóricos .....	4
1.1 Aceites esenciales .....	4
1.1.1. Generalidades .....	4
1.1.2. Clasificación .....	8
1.1.3. Propiedades .....	9
1.1.4. Usos y aplicaciones .....	14
1.2 Aceite esencial de la naranja .....	16
1.2.1 Generalidades .....	16
1.2.3 Usos y aplicaciones industriales .....	22
1.2.4 Ventajas y desventajas .....	24
1.3 Proceso de extracción del aceite esencial de naranja .....	25
1.3.1 Extracción sólido-líquido .....	26
1.3.1.1 Criterios de selección de solvente .....	28

1.3.1.2	Éter etílico anhidro .....	29
1.3.1.3	Balance de masa .....	30
1.3.2	Destilación simple .....	32
1.3.2.1	Balance de masa .....	33
1.3.3	Filtración .....	33
1.4	Otros métodos de extracción de aceites esenciales .....	35
1.4.1	Extracción por arrastre de vapor .....	35
1.4.1.1	Ventajas y desventajas .....	36
1.4.2	Extracción por fluidos supercríticos.....	36
1.4.2.1	Ventajas y desventajas .....	38
1.5	Métodos artesanales de extracción.....	38
Capítulo 2. Parte Experimental .....		40
2.1	Extracción del aceite esencial de la naranja en el equipo de extracción líquido-líquido UOP5. ....	40
2.1.1	Descripción del equipo.....	40
2.1.2	Descripción del sistema de control e instrumentación del equipo UOP5.....	44
2.2	Proceso de extracción.....	47
2.2.1	Preparación de la muestra.....	47
2.2.2	Preparación del equipo UOP5 .....	48
2.2.3	Proceso de extracción.....	48
2.2.4	Destilación.....	49
2.2.5	Separación .....	50
2.2.6	Filtración .....	51
2.3	Resultados del balance de masa del proceso de extracción del aceite esencial de naranja <sup>52</sup>	
2.4	Extracción del aceite esencial de naranja .....	57
2.4.1	Descripción de la extracción con éter etílico.....	57
2.4.2	Descripción de la extracción con alcohol potable 96% .....	60
2.4.3	Resultados Extracción .....	63
2.5	Caracterización del aceite esencial de naranja .....	64
2.5.1	Características organolépticas .....	65
2.5.2	Ensayos físicos .....	65

2.5.2.1	Densidad Relativa .....	65
2.5.2.2	Índice de refracción.....	67
2.5.3	Índices químicos.....	68
2.5.3.1	Índice de acidez.....	68
2.5.3.2	Índice de saponificación.....	70
2.5.3.3	Índice de peróxidos .....	72
Capítulo 3. Estudio de mercado .....		74
3.1	Disponibilidad de materia prima .....	74
3.2	Mercado local.....	75
3.3	Mercado Internacional.....	76
3.4	Competencia.....	78
Capítulo 4. Discusión y Conclusión.....		80
4.1	Discusión.....	80
4.2	Conclusión.....	84
Bibliografía: .....		86
Anexos.....		91
A.	Cálculo del balance de masa del proceso .....	91
B.	Cálculo porcentaje de rendimiento.....	95
C.	Cálculo de propiedades físico químicas .....	95
D.	Cálculo de la cantidad de materia prima disponible.....	97

## Índice de figuras

Figura 1. Ejemplos de monoterpenos presentes en plantas y animales .....	6
Figura 2. Ejemplos de sesquiterpenos presentes en plantas y animales .....	7
Figura 3 Naranja común .....	17
Figura 4 Naranjas de ombligo .....	18
Figura 5 Naranja sanguínea .....	18
Figura 6 Partes de la naranja.....	21
Figura 7 Diagrama de flujo del proceso de extracción del aceite esencial de naranja usado en este estudio .....	26
Figura 8 Diagrama de balance de masa de la unidad de extracción .....	31

Figura 9 Unidad de destilación simple en el proceso de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja de este estudio.....	33
Figura 10 Unidad de filtración en el proceso de extracción de aceite esencial de naranja utilizado en este estudio.....	35
Figura 14 Equipo de extracción líquido-líquido UOP5 de Armfield .....	43
Figura 15 Diagrama de control e instrumentación del equipo UOP5.....	46
Figura 16 Foto del equipo de extracción líquido-líquido UOP5 ARMFIELD armado para la extracción.....	49
Figura 17 Columna de destilación del equipo de extracción líquido-líquido UOP5 ARMFIELD.....	50
Figura 18 Equipo de rota-vapor BUCKI usado en la separación de solvente-aceite esencial .....	51
Figura 19 Proceso de filtración del aceite esencial de naranja.....	52
Figura 20 Diagrama de la etapa de preparación de la muestra del proceso de extracción.....	53
Figura 21 Diagrama de la etapa de separación del proceso de extracción .....	56
Figura 22 Diagrama de bloque del proceso de extracción de aceite esencial de naranja con éter etílico.....	58
Figura 23 Foto del extracto obtenido con éter etílico en el equipo de extracción líquido-líquido UOP5 de ARMFIELD.....	60
Figura 24 Diagrama de bloque del proceso de extracción de aceite esencial de naranja con alcohol potable al 96% .....	61
Figura 25. Foto del extracto obtenido con alcohol potable en el equipo de extracción líquido-líquido UOP5 de ARMFIELD .....	62

Figura 26. Principales países exportadores de aceites esenciales.....	76
Figura 27. Principales países importadores de aceites esenciales registrados en el año 2002 .....	77

### **Índice de tablas**

Tabla 1 Compuestos presentes en los aceites esenciales, grupo funcional, ejemplo y propiedades de los mismos. ....	4
Tabla 2 Clasificación de los terpenos .....	5
Tabla 3 Composición del aceite esencial, esencias sintéticas y mezclas presentes a varios productos terminados .....	16
Tabla 4 Composición físico-química de la cáscara de naranja.....	20
Tabla 5 Concentración relativa de los principales componentes en el aceite esencial de naranja.....	22
Tabla 6 Productos farmacéuticos y sus componentes .....	23
Tabla 7 Propiedades físicas y termodinámicas principales del éter etílico anhidro ...	30

Tabla 8 Flujos en la etapa de preparación de la muestra en el proceso de extracción del aceite esencial de naranja.....	53
Tabla 9 Flujos y composición en la etapa de extracción del proceso de extracción del aceite esencial de naranja .....	54
Tabla 10 Flujos y composición en la etapa de extracción del proceso de extracción del aceite esencial de naranja.....	54
Tabla 11 Flujos y composiciones en la etapa de destilación del proceso de extracción del aceite esencial de naranja.....	55
Tabla 12 Flujos y composiciones en la etapa de destilación del proceso de extracción del aceite esencial de naranja.....	55
Tabla 13 Flujos en la etapa de separación del proceso de extracción del aceite esencial de naranja.....	56
Tabla 14 Flujos en la etapa de separación del proceso de extracción del aceite esencial de naranja.....	57
Tabla 15 Flujos en la etapa de filtración del proceso de extracción del aceite esencial de naranja.....	57
Tabla 16 Datos de los procesos de extracción.....	63
Tabla 17 Resultados del proceso de destilación de las extracciones .....	63
Tabla 18 Resultados del proceso de separación por medio del rota vapor.....	63
Tabla 19 Volumen total de solvente recuperado en los procesos de extracción .....	64
Tabla 20 Resultados del rendimiento obtenido en las extracciones .....	64
Tabla 21 Resultado de la densidad relativa del aceite esencial de naranja.....	67
Tabla 22 Resultados del índice de refracción del aceite esencial de naranja .....	68
Tabla 23 Resultados del índice de acidez del aceite esencial de naranja .....	70

Tabla 24 Resultado del índice de Saponificación del aceite esencial de naranja .....	71
Tabla 25 Exportaciones e importaciones de aceite esencial de naranja registradas en el año 2011 en Ecuador .....	75
Tabla 26 Principales países que proveen de aceite esencial de naranja a Ecuador y sus cantidades en toneladas .....	78
Tabla 27 Precios del aceite esencial de naranja de varias empresas fabricantes .....	79

## **Introducción**

Los aceites esenciales son conocidos y utilizados desde la antigüedad. El término “*aceite esencial*” fue utilizado por primera vez en el siglo XVI por Paracelso (médico farmacéutico) quien los uso como medicina y lo consideró como la quintaesencia, y los cuales junto a la tierra, el aire, fuego y agua constituían los elementos fundamentales que formaban todo ser vivo o inanimado. [21]

La demanda del uso de aceites esenciales creció a partir del siglo XIX debido a la necesidad de la industrialización y al empleo masivo de los mismos en perfumes, cosméticos y sabores para la alimentación. En 1850 se dio un fuerte impulso en la química orgánica sintética y el análisis de componentes de algunos aceites esenciales llevó a la producción de aceites aromáticos sintéticos que imitaban a los naturales. [21]

En la actualidad, la tecnología y modernos métodos de análisis dan la posibilidad de hacer una identificación exhaustiva de los componentes presentes en los aceites esenciales, particularmente los que están en cantidades traza, responsables del perfil aromático, sutileza y finura de los productos naturales. [21]

Ecuador es un país mega-diverso, con más de 500 plantas medicinales, muchas de las cuales pueden ser usadas para fines de fabricación de productos beneficiosos de consumo. Actualmente se ha visto la necesidad de implementar en productos de utilización humana los productos naturales. Los aceites esenciales naturales son sustancias líquidas presentes en las plantas que poseen un sin número de propiedades benéficas y que los hacen atractivos para el desarrollo de diversos mercados. [4]

Los aceites esenciales poseen características organolépticas y propiedades terapéuticas imposibles de reproducir de manera artificial, es por esto que el uso y estudio de estos componentes en su forma natural ha tomado fuerza en los últimos años, elevando así el valor de las plantas que poseen estos componentes. Los aceites esenciales son principalmente usados en las industrias de alimentos, cosmética y farmacéutica, que es donde mayormente se aprovechan sus propiedades. [10]

La naranja es una fruta enormemente beneficiosa pues posee propiedades que son buenas para la salud de las personas. Al igual que muchas plantas, el aceite esencial de la naranja se lo obtiene de la cáscara del fruto, materia prima que no es aprovechada a nivel nacional, pues se trata a éste como un desecho o es usado como abono. La extracción del aceite esencial de la naranja y su potencial desarrollo a nivel nacional puede impulsar al Ecuador en nuevos mercados de importancia que lo llevarían sin duda a un crecimiento en todos los niveles.

El presente trabajo tiene como principal objetivo obtener el aceite esencial de la cáscara de naranja producida en Ecuador y sus características, así como analizar el posible potencial de una industria dedicada a esta actividad. Además se logrará dar valor agregado a un desecho pues en Ecuador la naranja sólo es utilizada para hacer jugos y el resto es tratado como basura. Para esto se analizará la extracción con solventes orgánicos, específicamente éter etílico, utilizando una columna de extracción, y se analizará el rendimiento y mejoras del proceso usado.

Para cumplir con el objetivo primero se va a realizar una amplia investigación sobre lo que son los aceites esenciales, principalmente de la naranja. Se va a tratar todas

sus generalidades como usos, la composición, propiedades, características y ventajas y desventajas que estos presentan en cuanto al beneficio humano.

Se va a averiguar sobre los métodos convencionales de extracción con el fin de conocer el desarrollo que hay a nivel industrial sobre la fabricación de este producto. Además del método a evaluar en este trabajo, también se explicará otros métodos utilizados a nivel mundial para la extracción de aceites esenciales.

Se va a realizar una serie de experimentos para la extracción del aceite esencial de naranja natural. Se podrá obtener el rendimiento del proceso de extracción usado y analizar mejoras para la optimización del mismo. Además se va realizar los respectivos ensayos de calidad para la caracterización del aceite esencial obtenido.

Por último, se va a analizar los resultados obtenidos y con ello, realizar un estudio de mercado con el fin de conocer si es o no factible la implementación de una planta industrial dedicada a la extracción del aceite esencial natural de naranja, usando un método más optimizado que provea un mejor rendimiento y un aceite esencial de calidad. Se verá la rentabilidad que promete el negocio en donde se transforma un desecho en un producto terminado y cotizado a nivel industrial tanto nacional como internacionalmente.

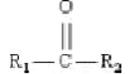
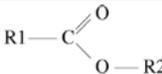
## Capítulo 1. Fundamentos teóricos

### 1.1 Aceites esenciales

#### 1.1.1. Generalidades

Los aceites esenciales son las sustancias líquidas volátiles responsables del aroma de las plantas que tienen principalmente compuestos aromáticos en su estructura. Son mezclas complejas que pueden llegar a estar conformadas por 100 diferentes componentes. Los componentes que pueden estar presentes en los aceites esenciales son: alcanos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres y ácidos; los cuales son los responsables del olor característico de los mismos. A continuación se muestra una tabla en donde se muestra los principales componentes de los aceites esenciales, su grupo funcional, ejemplo de aceites donde están presentes y propiedades [21]

**Tabla 1** Compuestos presentes en los aceites esenciales, grupo funcional, ejemplo y propiedades de los mismos. (De fuente [15])

Compuesto	Grupo funcional	Ejemplo	Propiedades
Alcohol		Mentol, geraniol	Antimicrobiano, antiséptico, tonificante, espasmolítico
Aldehído		Citral, citronelal	Espasmolítico, sedante, antiviral
Cetona		Alcanfor, tuyona	Mucolítico, regenerador celular, neurotóxico
Éster		Metil salicilato	Espasmolítico, sedativo, anti fúngico.
Éteres	<b>-C - O - C -</b>	Cineol, ascaridol	Expectorante, estimulante
Éter fenólico	Anillo - O - C	Safrol, anetol, miristicina	Diurético, carminativo, estomacal, expectorante
Fenol		Timol, eugenol, carcacrol	Antimicrobiano irritante, estimulante, inmunológico
Hidrocarburo	Sólo contiene C y H	Pineno, limoneno	Estimulante descongestionante, antivírico, antitumoral

Los terpenos que son los componentes mayoritarios en los aceites esenciales generalmente son inodoros o contribuyen muy poco con el olor del aceite esencial, estos constituyen la base diluyente y le da las características volátiles, inflamables y las propiedades físicas más fácilmente mensurables. Los terpenos se clasifican de acuerdo al número de átomos de carbonos o también de acuerdo al número de isoprenos que hay en el compuesto. En la siguiente tabla se muestra la clasificación de los terpenos de acuerdo al número de carbonos. [15], [21]

**Tabla 2** Clasificación de los terpenos (De fuente [15])

Nombre	Número de carbonos
Monoterpenos	10
Sesquiterpenos	15
Diterpenos	20
Triterpenos	30
Tetraterpenos	40
Politerpenos	50>>

Los terpenos más conocidos debido a su abundancia en las plantas y animales son los monoterpenos y los sesquiterpenos. Algunos ejemplos de estos componentes presentes en los aceites esenciales naturales se ilustran en la siguiente figura.

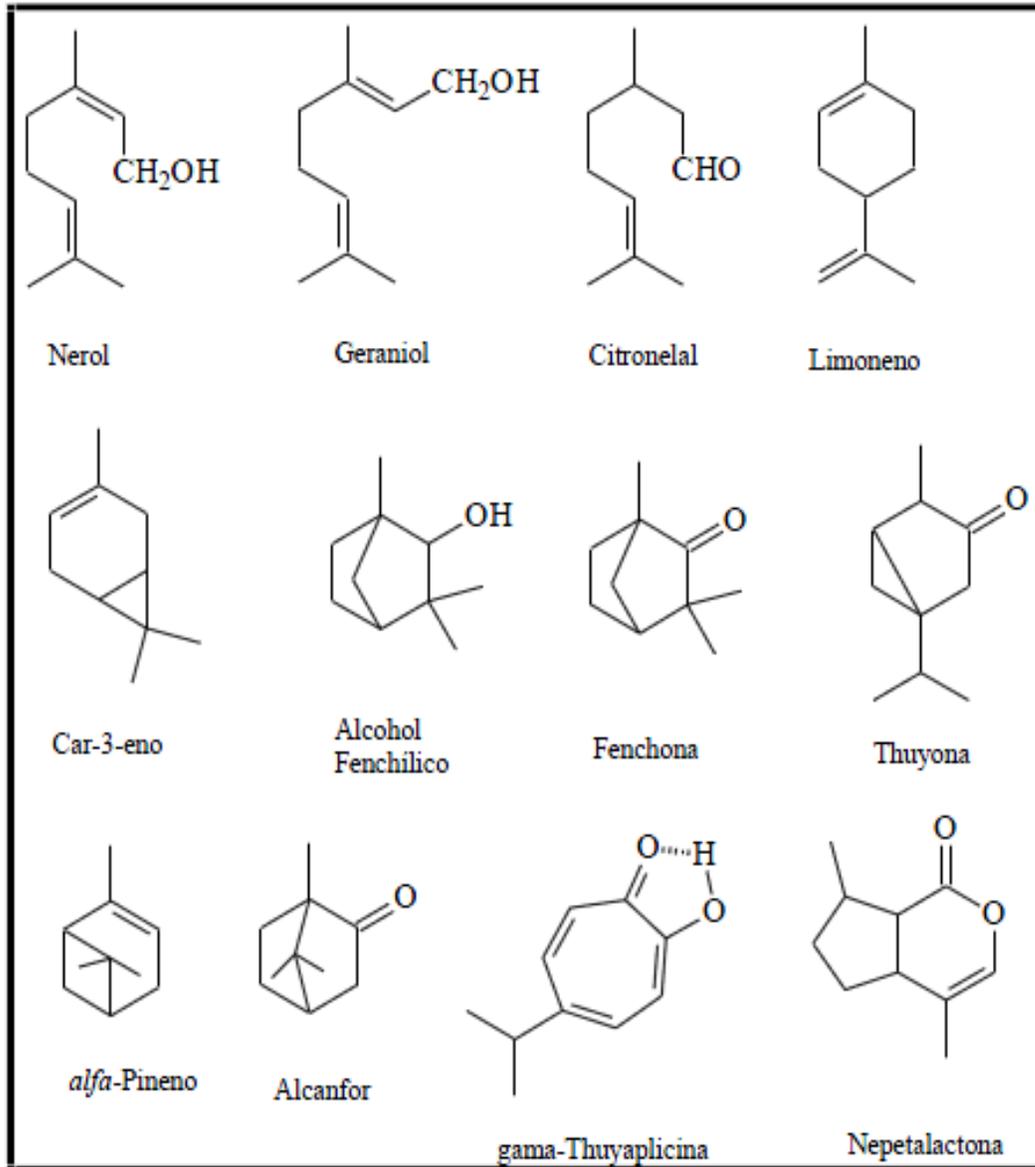
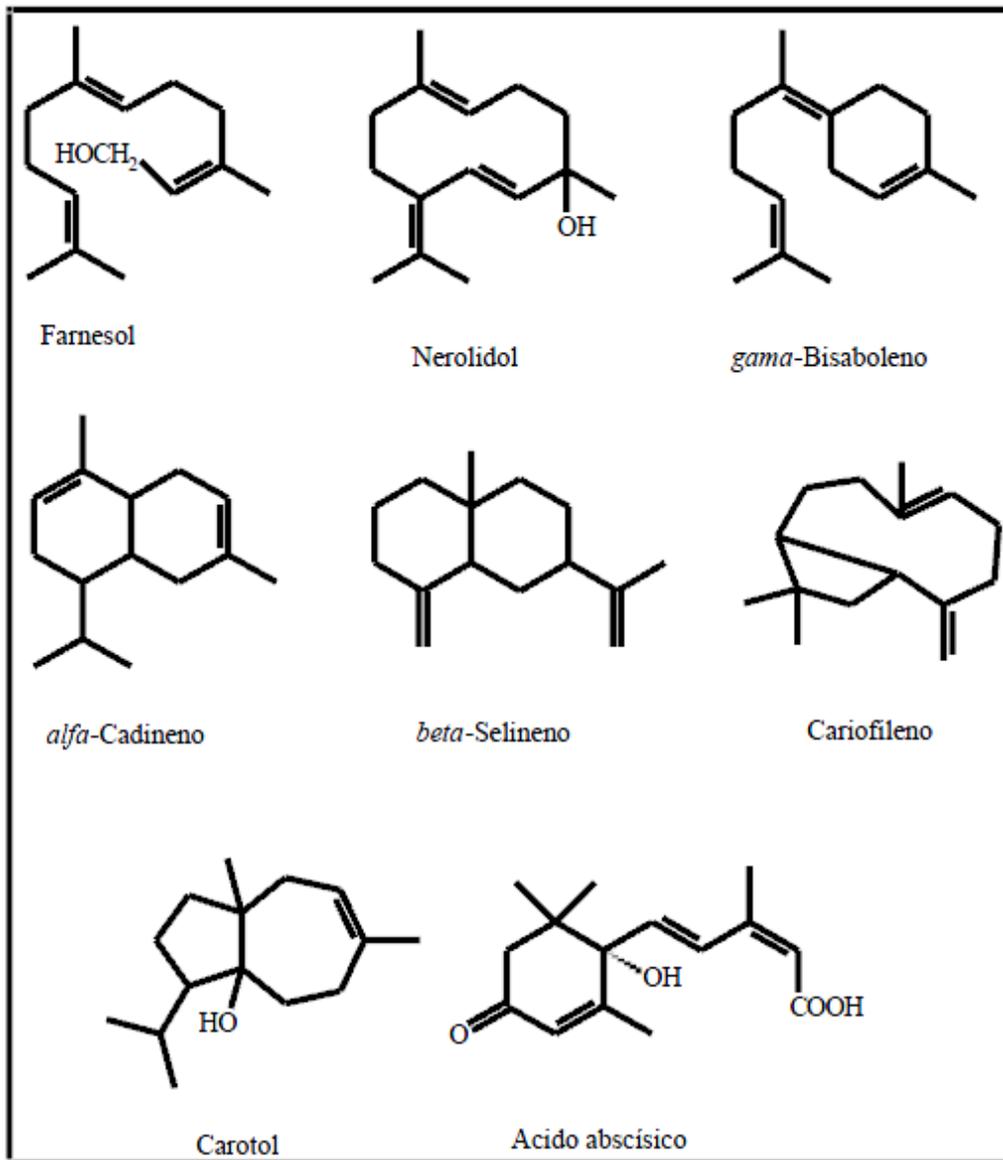


Figura 1. Ejemplos de monoterpenos presentes en plantas y animales (De fuente [15])



**Figura 2.** Ejemplos de sesquiterpenos presentes en plantas y animales (De fuente [15])

La mayor parte de los aceites esenciales son de olor agradable. El olor dependerá de los componentes que contengan el aceite, o la planta de la que se lo extrae. No todas las plantas poseen aceites esenciales, y muchas tienen una cantidad muy pequeña que hace imposible la extracción del mismo. De los millones de plantas existentes en el mundo se conocen aproximadamente 4000 distintos aceites esenciales. [4]

Los aceites esenciales se forman en las partes verdes de las plantas donde hay clorofila y de ahí son transportados a tejidos, principalmente a los brotes de la flor. Son metabolitos secundarios producidos por la planta para combatir contra gérmenes o infecciones, y lo usa como mecanismo de defensa, también se usa para atraer animales para la polinización. [20]

### 1.1.2. Clasificación

Existen tres diferentes tipos de clasificación de los aceites esenciales. La primera clasificación se la hace de acuerdo a su consistencia o características físicas. Para este criterio hay tres grupos: esencias fluidas, bálsamos y oleorresinas. Las **esencias fluidas** son aquellas que presentan volatilidad a temperatura ambiente. Los **bálsamos** son líquidos más espesos, poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización. Ejemplos: bálsamos de copaiba, benjuí, bálsamo de tolú, estoraque, etc. Las **oleorresinas** son líquidos viscosos o sustancias semisólidas que tienen el aroma de la planta muy concentrado. Ejemplo: trementina, colofonia, etc. [15]

Otra clasificación de los aceites esenciales es de acuerdo a su origen. Estos pueden ser naturales, artificiales o sintéticos. Los **naturales** son aquellos que son obtenidos directamente de la planta sin haber sufrido ninguna alteración tanto física como química. La actividad terapéutica que presentan los aceites esenciales naturales se debe a la interacción de muchos de sus componentes en diversos sistemas del organismo. [15]

Los aceites de fuentes **artificiales** son aquellos obtenidos de procesos de enriquecimiento de la misma esencia con uno o varios de sus componentes. La

producción artificial de los aceites esenciales es sumamente complicada debido a la compleja composición de los mismos. Ejemplo: mezcla de esencias de rosa, geranio y jazmín, enriquecida con linalol, esencia de anís enriquecida con anetol. [15]

Los **sintéticos** son aquellos producidos por la combinación de sus componentes los cuales han sido producidos por síntesis química. Los aceites producidos sintéticamente tienen la gran ventaja de ser de menor costo económico, esto se debe a que sólo posee varios componentes del aceite esencial natural y por lo tanto no posee todas sus características benéficas. Ejemplo: esencias de vainilla, fresa, limón, almendra, etc. [15]

Por último, también se clasifica a los aceites esenciales de acuerdo a su composición química, esto es de acuerdo a la composición mayoritaria de las sustancias que los componen. Por ejemplo los aceites que contienen en su estructura mayor cantidad de monoterpenos se los conoce como **monoterpenoides**, por ejemplo: aceites de hierbabuena, albahaca, salvia. Así mismo hay los aceites **sesquiterpenoides** compuesto por sesquiterpenos. Por ejemplo: aceite de copaiba, pino, junípero, etc. o los **fenilpropanoides** compuestos principalmente por fenilpropanos. Por ejemplo: aceite de clavo, canela, anís, etc. [15]

### **1.1.3 Propiedades**

Las propiedades que presentan los aceites esenciales son beneficiosas para el ser humano y por lo tanto son cotizados en el mundo cuando son de origen natural. Dependiendo de la procedencia del aceite, de la forma de extracción y de sus componentes serán las propiedades del mismo, sin embargo todos los aceites

esenciales presentan ciertas propiedades a diferentes niveles, los cuales darán el uso que tendrá el mismo. A continuación se hablará de las diferentes propiedades que tienen los aceites esenciales. [3]

- **Actividad antimicrobiana**

Una gran cantidad de aceites esenciales presentan actividad antimicrobiana la cual se debe a constituyentes activos atribuidos a isoprenos, principalmente monoterpenos, sesquiterpenos, alcoholes y otros hidrocarburos. La acción antimicrobiana de estos componentes se debe a las características lipofílicas de los hidrocarburos y a las hidrofílicas de los grupos funcionales. El rango de actividad antimicrobiana ha sido definida de acuerdo a los componentes de la siguiente manera de mayor a menor: [3]

- Fenoles
- Aldehídos
- Cetonas
- Alcoholes
- Esteres
- Hidrocarburos

Generalmente el mayor componente del aceite esencial es el responsable de la actividad antimicrobiana, sin embargo estudios han demostrado que en algunos casos todos los componentes presentes en aceite esencial presentan mayor actividad antimicrobiana que el principal componente del mismo lo que da a entender que los componente minoritarios también son factores críticos en cuanto a esta actividad específica del aceite. Por otro lado se ha demostrado que la actividad de diferentes

componentes combinados era menor que la actividad de uno solo de ellos. Debido a la larga lista de grupos que forman los aceites esenciales es muy común el no atribuir la actividad antimicrobiana del mismo a un solo compuesto. [3]

- **Actividad antiviral**

Los productos naturales son una fuente que proveen agentes antivirales. Algunos de los aceites esenciales conocidos como el del eucalipto exhiben un alto nivel de actividad antiviral contra el herpes simple tipo 1 (HSV-1) y herpes simple tipo 2 (HSV-2). El aceite esencial de santolina insularis tiene efecto directo sobre ambos virus de herpes e inhibe célula a célula la transmisión de ambos tipos de herpes. Esta gran propiedad tampoco ha sido atribuida a algunos de los componentes del aceite esencial debido a la compleja composición del mismo. [3]

- **Actividad antioxidante**

Los antioxidantes son compuestos en donde se ha encontrado cierto grado de prevención y efectos terapéuticos en las especies reactivas de oxígeno que causan en la personas varias enfermedades. El peróxido de hidrógeno, una de las principales especies reactivas de oxígeno causa la per oxidación de los lípidos y un daño en el ADN. El estudio de la actividad antioxidante en los aceites esenciales se ha convertido muy atrayente en industrias con motivos de mejorar la salud y la preservación de alimentos. [3]

La capacidad antioxidante de los aceites esenciales se la debe a los fenoles presentes en su estructura. Casi todos los fenoles pueden funcionar como antioxidantes de la

per oxidación de los lípidos porque pueden atrapar la cadena transportadora de los radicales de lípidos peróxidos. [3]

Al igual que en los otros casos de propiedades, no hay un estudio que haya demostrado o dado la atribución de la actividad antioxidante a algunos de los componentes del aceite esencial pues hasta el compuesto minoritario puede jugar un papel importante en la propiedad antioxidante. [3]

- **Actividad analgésica**

Algunos aceites muestran propiedades analgésicas. El mentol es un terpeno cíclico alcohol con tres átomos de carbono asimétricos y es un componente presente en varios aceites esenciales, y se ha comprobado que exhibe estas propiedades analgésicas. El mentol causa una sensación de hormigueo y frescor inhibiendo la corriente de  $\text{Ca}^{+2}$  de las membranas neuronales. Se ha descubierto que el mentol tiene propiedad antitusiva. Otro componente presente en los aceites esenciales que ha mostrado una gran actividad analgésica es la lavándula híbrida cuando su administración ha sido vía inhaladora. El aceite de lavanda y sus principales componentes linalool, y linalyl acetato, y 1,8 –cineole antiulcerosa permiten el alivio del dolor. De la misma manera muchos componentes de diversas variedades de aceites esenciales han presentado ser buenos analgésicos para muchas enfermedades y dolores de las personas. [3]

- **Actividad digestiva**

Uno de los principales usos de las plantas aromáticas en medicina ha sido para problemas digestivos. Se ha comprobado que los aceites esenciales forman parte de

esta propiedad de las plantas. Muchos reportes han demostrado que los aceites esenciales regulan el proceso digestivo antes que la comida alcance el estómago. Algunos pueden intervenir en la función gastrointestinal a través de la activación del nervio vago y la secreción gástrica. [3]

Generalmente se utiliza a las plantas aromáticas en infusiones o tés, en donde estas tienen una actuación directa en el sitio de acción. Lo que hacen las plantas aromáticas y sus aceites esenciales es inhibir la movilidad gástrica liberando la bilis desde la vesícula biliar, expulsando gases del estómago e intestino e indirectamente protegiendo la función hepática. [3]

- **Actividad anti-carcinógena**

La formación de tumores es un proceso de múltiples pasos que empieza con la transformación celular, continúa con la hiper-proliferación y termina con la adquisición de un invasor potencial. Los mayores factores que influyen en la formación de tumores en las personas son: el consumo de cigarrillo, emisiones industriales, vapores de combustibles, la nutrición, entre otros. [3]

Los terpenos, componentes no nutritivos en la dieta de las personas, han sido encontrados como inhibidores de la formación de tumores de cáncer. Por ejemplo el limoneno, componente principal de los aceites esenciales de los cítricos (limón, naranja, etc.) ha exhibido efectos quimiopreventivos y terapéuticos contra la formación de tumores mamarios en ratas y metástasis en cáncer gástrico de personas.

[3]

- **Actividad insecticida**

El control de insectos se ha hecho cada vez más difícil debido al desarrollo de cepas resistentes a los insecticidas desarrollados hasta la actualidad. Los repelentes usados son basados en productos químicos, muchos de los cuales son de desagrado de las personas, pues estos tienen fama de ser perjudiciales para la salud. Actualmente se ha encontrado que el compuesto nootkatona, presente en las plantas cítricas., el cual es capaz de repeler ciertas clase de insectos, y se puede obtener de los aceites esenciales de las plantas, de forma natural. [3], [14]

El estudio de la propiedad insecticida de los aceites esenciales es relativamente nuevo, aunque se han encontrado buenos resultados con la nootkatona, que es buena para repeler garrapatas, chinches, pijos, entre otros insectos. (De NPR 2012). Entre las ventajas que presenta este compuesto están que puede ser buen insecticida contra plagas, se volatiliza rápido y no persiste en el medio ambiente y además la nootkatona trabaja de manera distinta que los insecticidas actuales y por lo tanto los insectos no son resistente a él todavía, pues es sabido que los insectos crean resistencia a los insecticidas comunes. [3], [14]

#### **1.1.4 Usos y aplicaciones**

Los aceites esenciales han sido utilizados y conocidos desde la antigüedad, especialmente en el área de la medicina. Son productos con alta actividad terapéutica debido a tener procedencia natural y por lo tanto son usados en la industria farmacéutica. En cosmética se utilizan en la fabricación de perfumes corporales, ambientadores, aromas, etc. En la industria alimenticia también se usa como saborizantes para condimentos, licores, dulces, golosinas, cosméticos, etc. [1], [24]

La utilización del aceite esencial depende de las características que presente el mismo. Algunos de los aceites esenciales usados en productos terminados son: [24]

- En champú, es muy común encontrar aceites de cedro, de manzanilla, de melisa, de romero, de tomillo, etc. [24]
- En pasta de dientes se puede encontrar aceites de clavo, menta, salvia, manzanilla, mirra, etc. [24]
- En aceite para masaje se halla el aceite de enebro, de limón, de manzanilla, de romana, de orégano, etc. [24]
- En condimentos se usa aceites de enebro, de laurel, de mejorana, de clavo, de mostaza, de nuez moscada, de canela, etc. [24]
- En jabón se encuentra aceites de lavanda, de romero, de tomillo, de enelbo, de salvia, de orégano, etc. [24]
- En cremas cosméticas se usan aceites esenciales de manzanilla, de milenrama, de enelbo, etc. [24]
- En repelentes/atrayentes de insectos, insecticidas se encuentran aceites de lavanda, de geranio, de melisa, de hierba limón, de limón, de albahaca, etc. [24]
- En licores se pueden encontrar de estragón, de hierba luisa, de hinojo, de hisopo, de manzanilla, de mejorana, de melisa, de milenrama, de poleo, etc. [24]
- En medicinas se usan aceites de mirtilo, de pimienta, de romero, etc. [24]
- En saborizantes hay productos con aceites de naranja, de limón, de bergamota, de menta, de anís, de canela, etc. [24]

- En conservantes hay aceites de coriandro, de lavanda, de mejorana, de menta, de serpol, etc. [24]
- En perfumes son típicos los aceites florales, cítricos, etc. [24]
- En ambientadores se encuentran aceites de canela, de clavo, de ciprés, de pino, de lavanda, de menta, de incienso, de cedro, de flores, etc. [24]

A continuación se presenta una tabla con las concentraciones típicas de los aceites esenciales, esencias sintéticas o mezclas presentes en varios productos terminados:

**Tabla 3** Composición del aceite esencial, esencias sintéticas y mezclas presentes a varios productos terminados (De fuente [24])

Productos	Concentración total típica de aceites esenciales, esencias sintéticas o mezclas (%)
Colonias y perfumes	3-10
Aceites para masaje	3-6
Sales y aceites para aromatizar agua de baño	1
Jabones	0.6-1.2
Velas perfumadas	1-5

## 1.2 Aceite esencial de la naranja

### 1.2.1 Generalidades

La naranja dulce es la fruta proveniente del naranjo cuyo nombre botánico corresponde a *Citrus sinensis*. Pertenece a la familia de las Rutáceas, especie citrus. Es originario del Sur de China, Birmania y Vietnam. En Europa se lo conoció en el siglo XV cuando portugueses viajeros lo llevaron desde la India. La extensión del árbol se dio desde el Mediterráneo a todas las partes del mundo con clima tropical, subtropical y mediterráneo. [11]

El tamaño de la planta es aproximadamente de 7-10 metros. Si es de semilla es erecto, y si es injerto es copa ancha y redonda. Las hojas son brillosas a la base, puntiagudas en el extremo, peciolo con aletas poco marcadas y espinas en las axilas. La flor es de color blanco, bisexual y auto-fértil en la mayoría de las variedades. El tamaño del fruto puede variar entre 6-10cm de diámetro y de forma redonda. La cáscara puede ser lisa o ligeramente rugosa y su color varía de acuerdo a la especie y lugar donde se cultiva. Crece en climas subtropicales y se adapta en regiones con temperaturas promedio comprendidas entre 13°C y 39°C. Los cítricos son frutos que contienen grandes cantidades de ácido cítrico que le confiere el sabor ácido característico. La naranja es el cítrico más producido a nivel mundial, representando aproximadamente el 68% de la producción total de cítricos. Dentro de la especie se distinguen variedades de naranjas dulces, muchas de ellas características de cada país en el que crecen, en donde se las llama “criollas”. Las variedades de naranjo dulce se dividen en tres grandes grupos: [11]

- **Naranjas comunes:** como su nombre lo indica es la más común de las naranjas y su producción representa el 60% de la producción mundial de la fruta. Esta a su vez presenta diferentes características según el lugar en donde son cultivadas. A continuación se muestra en la figura 3 las naranjas comunes de california[11]



**Figura 3** Naranja común (De <http://atencionatupsique.wordpress.com/2011/04/20/naranja-exotico-naranja-divertido/>)

- **Naranjas de “nebo” o de “ombligo”:** tienen la característica de tener un ombligo en una extremidad del fruto que se forma por otro fruto rudimentario, abortado. Esta fruta no tiene semillas, son fáciles de pelar con sabor y aroma agradables. [11]



**Figura 4** Naranjas de ombligo (De <http://blog.codeconutrilife.com/suplementos-naturales/naranjas-de-ombligo-increibles-beneficios-salud/>)

- **Naranjas sanguíneas:** la característica de esta variedad es que posee una pulpa de color rojizo o rosado. No se desarrolla este color en climas cálidos y son muy raras en trópicos. [11]



**Figura 5** Naranja sanguínea (De <http://www.froitasxeitosina.com/blog/posts/la-naranja-sanguina>)

El uso más importante que tiene el fruto es para fines comestibles. La fruta se la come fresca y también se preparan jugos. Además se prepara productos alimenticios derivados como mermeladas, dulces, en repostería.

La naranja dulce posee mucha vitamina C. La vitamina C se encuentra principalmente en la corteza de la fruta, en el zumo se encuentra tan solo la cuarta parte del total de la vitamina C. Las cantidades de varias de las vitaminas que posee cada 100 g de fruta de naranja son:

- Vitamina C → 30-60mg
- Calcio → 25-50mg
- Fósforo → 19-23mg

Además la naranja es fuente de vitamina B1, B y niacina. El árbol de naranjo también sirve como madera para distintas herramientas y como leña. [11]

La cáscara de naranja posee una variedad de componentes que le dan características beneficiosas para su utilización en la fabricación de productos de consumo humano. Se ha identificado la presencia de carbohidratos, de los cuales el 30-50% son pectinas, azúcares (sacarosa, fructosa, glucosa), hemicelulosa del 10-20% y celulosa del 20-40%. La cantidad de proteína que se puede encontrar en la cáscara de naranja es de aproximadamente del 62.7% según Demain y Solomon. En la siguiente tabla se resume la composición físico-química de la cáscara de naranja. [1]

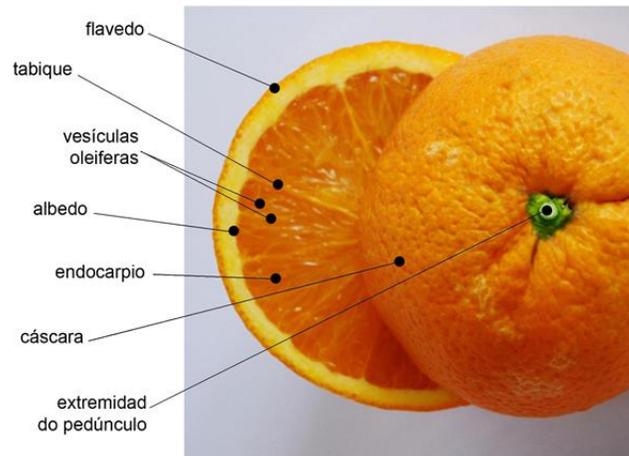
**Tabla 4** Composición físico-química de la cáscara de naranja (De fuente [15])

<b>Componentes principales</b>	<b>Cantidad (%)</b>
Materia seca	90
Proteína	6
Carbohidratos	62,7
Grasas	3,4
Fibra	13
Cenizas	6,9
<b>Minerales</b>	<b>Cantidad (%)</b>
Calcio	2
Magnesio	0,16
Fósforo	0,1
Potasio	0,62
Azufre	0,06
<b>Vitaminas</b>	<b>Cantidad (mg/kg)</b>
Colina	770
Niacina	22
Ac. Pantoténico	14,96
Riboflavina	22,2
<b>Aminoácidos</b>	<b>Cantidad (%)</b>
Arginina	0,28
Cistina	0,11
Lisina	0,2
Metionina	0,11
Triptófano	0,06

Además, la cáscara de naranja posee enzimas como acetil esterasa, peroxidasa y pectinesterasa. Los pigmentos mayoritarios son los carotenoides, el 60% del total de carotenoides de color naranja están en la cáscara. Los carotenoides son producidos en los cromoplastos en los flavedos de las células. La cáscara también posee ácidos, siendo el principal de ellos el ácido cítrico, además de pequeñas cantidades de ácido tartárico, málico y oxálico. La presencia de estos ácidos en la cáscara es la razón por la cual el pH de la cáscara es de 5. De la cáscara, en los flavedos se obtiene el aceite esencial y aromas para la fabricación de perfumes, entre otras cosas. [1]

## 1.2.2 Aceite esencial de naranja

El aceite esencial de la naranja se encuentra en el pericarpio de la fruta, específicamente en los flavedos. A continuación se muestra una figura de la naranja en donde se señala cada una de las partes de la fruta.



**Figura 6** Partes de la naranja (De <http://www.speciale.it/espanol/citricos.html>)

Mediante estudios se ha encontrado que la estructura del aceite está compuesta por extractos de benzaldehído, terpineno, limoneno, linalol, canfor, acetato de benzilo, acetato de linalilo y acetato de geranilo. El aceite de naranja tiene como componente mayoritario el d-limoneno con un porcentaje del 90%, y en menor proporción poseen una gran cantidad de terpenos. El aceite extraído generalmente tiene un color anaranjado pálido. No es completamente transparente pues contiene algo de cera de la piel exterior. Es extraído principalmente por presión o destilación de la corteza de la fruta. Poseen un color característico que se debe a los colorantes disueltos del tipo carotenoide. Su aroma es a naranja y está compuesto principalmente por hidrocarburos terpénicos lo que lo hace propenso a la oxidación a condiciones ambientales pues la fracción terpénica se oxida rápido y genera un aroma rancio. Por

esta razón, muchas veces se encuentra en el mercado al aceite esencial destemperado, en donde se encuentra mucho más concentrado el aroma y por lo tanto tiene un valor económico mucho más elevado. [23]

A continuación se muestra una tabla con los principales componentes del aceite esencial de naranja obtenido a partir de la cáscara hecho en un estudio realizado por Mancilla Lugo en la Universidad de Pamplona, Colombia. [23]

**Tabla 5** Concentración relativa de los principales componentes en el aceite esencial de naranja (De fuente [23])

Componente	Concentración relativa (%)
Isocitroneleno	0,43
Canfeno	1,62
trans-p-Mentano	1,66
p-Menta-1(7),8-dieno	0,69
Limoneno	90,93
Dihidromircenol	0,45
trans-Dihidrocarvona	1,78

### 1.2.3 Usos y aplicaciones industriales

Al igual que todos los aceites esenciales, el aceite esencial de la naranja es ampliamente usado en la fabricación de muchos productos aprovechados para el consumo humano. Los aceites esenciales provenientes de cítricos se utilizan ampliamente en la industria de alimentos como saborizante y aromatizante, y en la de cosméticos y farmacéutica por sus propiedades terapéuticas. Uno de los nuevos usos que se ha encontrado en los aceites esenciales gracias a sus características fungicidas es en la fabricación de repelentes para insectos, como plaguicida, etc. [26], [2]

Es utilizado también para la fabricación de bebidas no alcohólicas, elaboración de jarabes y complejos vitamínicos, perfumes, aguas de colonia, jabones, entre otros. Por ejemplo, en un estudio realizado por José Juárez y colaboradores se extrajo el aceite esencial de la cáscara de naranja y se elaboraron los siguientes productos farmacéuticos con sus composiciones: [13]

**Tabla 6** Productos farmacéuticos y sus componentes (De fuente [13])

<b>1. Gel</b>	
<b>Componente</b>	<b>Cantidad (%)</b>
Carbómero 940	1
Trietanolamina	0,3
Alcohol isopropílico	40
Etanol	40
Aceite esencial de naranja	1
Agua c.s.p.	100ml
<b>2. Loción para piel</b>	
<b>Componente</b>	<b>Cantidad (%)</b>
Etanol 70°	40
Alcohol isopropílico	45
Propilenglicol	14
Aceite esencial de naranja	1
<b>3. Enjuague bucal</b>	
<b>Componente</b>	<b>Cantidad (%)</b>
Etanol 70°	60
Propilenglicol	5
Glicerina	5
Ácido cítrico	2
Mentol	0,2
Aceite esencial de naranja	1
Colorante naranja	0,01
Agua destilada	100ml

### **1.2.4 Ventajas y desventajas**

Los aceites esenciales naturales poseen numerosas ventajas para las personas. Como se mencionó anteriormente, las propiedades que tienen los aceites esenciales los hacen aptos para su uso en la fabricación de productos terminados beneficiosos para las personas. Además, las propiedades terapéuticas y fungicidas han hecho que se retome el uso de este producto en la producción de medicinas naturales y la fabricación de fungicidas para acabar con plagas de bichos que afectan a las personas y sus actividades. [21]

En comparación con los aceites esenciales producidos de manera artificial o sintética, los aceites esenciales naturales poseen varias ventajas. Primero, los aceites artificiales nunca llegan a tener todos los componentes que caracterizan al aceite esencial natural y por lo tanto no cumplen con todos los beneficios de los mismos. Además desarrollar una sustancia compuesta por muchos componentes diferentes es sumamente complicado y requiere de un trabajo extremadamente cuidadoso y laborioso, y por lo tanto económicamente caro. [21]

Los aceites provenientes de fuentes sintéticas son mucho más baratos pues prácticamente solo poseen el olor o sabor del aceite natural más no sus propiedades curativas y benéficas para la salud. Además, muchas veces el aroma es menos sutil y agradable que el aceite natural. Para la fabricación de estos aceites muchas veces se utilizan diluyentes de origen sintético o derivados de petróleo y por lo tanto pueden poseer efectos secundarios. Cabe recalcar que no todas las sustancias sintéticas son malas pues existen numerosas muestras en donde se ha logrado llegar a tener una estructura muy similar a la del aceite natural, sin embargo estos son muy caros

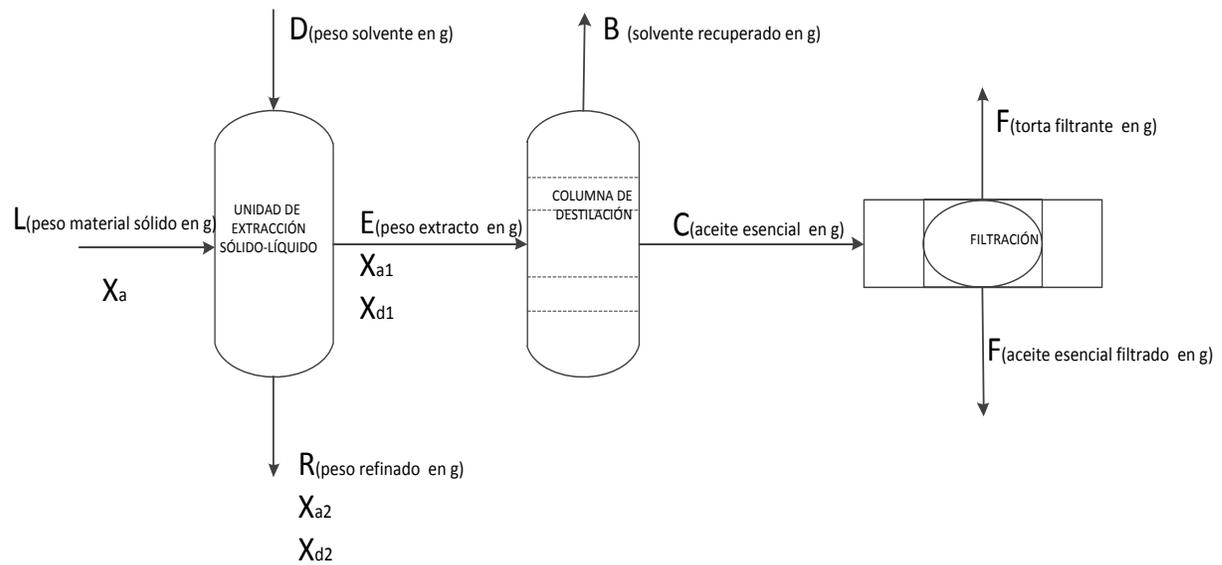
debido al proceso que se debe seguir para poder sintetizar todas las moléculas que posee un aceite esencial natural. [21]

En segundo lugar, como ya se mencionó antes, los aceites esenciales naturales tienen muchas características que son benéficas para la salud de las personas. Se ha comprobado que tienen propiedades terapéuticas, y tienen grandes aplicaciones en la fabricación de productos cosméticos, de algunos alimentos, entre otras. Los aceites esenciales son cotizados, en especial si tienen un origen natural. Tienen un alto valor económico que va a depender de la calidad y composición del mismo. [21]

La desventaja que tiene los aceites esenciales naturales es la cantidad en la que se encuentran en la planta. Muchas veces la cantidad de aceite esencial que posee una planta es tan pequeña que no representa hacer un proceso de extracción del mismo. Incluso en plantas en donde la cantidad si es significativa, igual es muy poca. [21]

### **1.3 Proceso de extracción del aceite esencial de naranja**

El proceso utilizado para la extracción del aceite esencial de naranja conlleva una serie de operaciones unitarias que llevan a obtener dicho aceite. La primera operación consiste en una extracción sólido-líquido, en donde se utiliza un solvente orgánico como agente para extraer el soluto requerido. Luego, el extracto obtenido pasa a un proceso de destilación en donde se refina y recupera el solvente utilizado. Por último, en algunos casos, se requiere de un proceso de filtración para llegar a tener las características necesarias del aceite esencial. A continuación se muestra un diagrama de flujo del proceso de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja utilizado en este estudio.



**Figura 7** Diagrama de flujo del proceso de extracción del aceite esencial de naranja usado en este estudio (De Carla Bernal)

En la figura 7 se muestra el proceso de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja utilizado en este estudio. En el diagrama se encuentra especificado también las corrientes de entrada y salida en cada una de las áreas.

A continuación se explicará a detalle cada una de las operaciones unitarias que se llevan a cabo en el proceso planteado anteriormente.

### 1.3.1 Extracción sólido-líquido

Es una operación unitaria que consiste en disolver un componente o grupo de componentes que forman parte de un material sólido con un solvente, el cual debe ser insoluble para el resto de componentes del material sólido, conocido como inerte. Esta operación requiere del contacto entre el sólido a tratar con el solvente, mientras mayor área de contacto exista, mejor será la extracción. El tamaño de las partículas

del sólido también jugarán un rol muy importante, mientras menor sea su tamaño, se tendrá mayor área superficial, y por lo tanto la velocidad de extracción será mayor.

[27]

En el proceso de extracción, se debe llegar a un estado de equilibrio entre el sólido y el líquido, y para esto se presentan tres fenómenos: [27]

- Cambio de fase del soluto por inmediato contacto del sólido con el solvente. [27]
- Difusión del soluto en el solvente contenido dentro de los poros del sólido por difusión cinética o molecular sin convección. [27]
- Paso del soluto de la superficie del sólido a la masa de la solución, dada por la difusión y convección de la masa líquida. [27]

Se considera que se llega al equilibrio cuando todo el soluto o la cantidad que de él se precisa para saturar la solución han pasado a disolución. [27]

Las consideraciones que se deben tomar en este proceso son:

- No existe reacción química entre el principio activo y el solvente, pues se trata de un fenómeno de disolución. [27]
- La gama de sustancias presentes en el sólido se comportan física y químicamente de idéntica forma en cada partícula del sólido considerando una sola especie química. [27]
- La forma geométrica del sólido se aproxima mediante un único diámetro equivalente medio constante para intervalos de contacto corto. [27]

- Independientemente del nivel de turbulencia del proceso, donde la transferencia de masa se produce por difusión molecular. [27]
- Las velocidades de transferencia de materia son iguales debido al tamaño de las partículas, no afectando el espesor de la película estacionaria formada en el entorno de la masa del sólido. [27]
- El espesor de la película estacionaria es infinitesimalmente más pequeña que el diámetro equivalente medio de partícula. [27]

El solvente escogido debe ser selectivo y con baja viscosidad, pues normalmente en el proceso la concentración del soluto aumenta y el gradiente de concentración disminuye, y aumenta la viscosidad del líquido. [27]

### **1.3.1.1 Criterios de selección de solvente**

La selección del solvente en una extracción sólido-líquido se la hace de acuerdo a varios criterios que dan pautas específicas para llevar a cabo de mejor manera el proceso de extracción. A continuación se describen puntos a evaluar a la hora de seleccionar un solvente: [21]

- De acuerdo a la estructura química del material que se va a extraer. Se debe usar solventes afines al componente que se desea separar. Por ejemplo si se trata de un compuesto polar, se debe usar solventes polares como alcoholes; en el caso de sustancias hidrófobas se emplean lípidos y disolventes inmiscibles en agua, etc. [21]
- De acuerdo a la selectividad del solvente. La selectividad se refiere a la capacidad con la que el solvente puede extraer solamente una sustancia en un

compuesto. El empleo de solventes orgánicos proporciona mayor control de la extracción. La mezcla de solventes puede mejorar la selectividad en una determinada extracción. [21]

- De acuerdo a las propiedades físicas. La baja tensión superficial del solvente de extracción mejora el mojado de los sólidos a extraer. La baja viscosidad aumenta la velocidad de difusión de la(s) sustancia(s) a extraer, logrando disminuir el tiempo de extracción. Una densidad baja es también deseable para reducir la cantidad de disolvente que queda en el sólido extraído. [21]
- De acuerdo a la estabilidad. El solvente elegido debe ser estable a las condiciones de operación que se realiza el proceso, esto con el fin de evitar pérdidas de solvente y contaminación. [21]
- De acuerdo a la toxicidad o inflamabilidad. Se prefiere siempre elegir un solvente que no sea peligroso. En el caso de requerir un solvente peligroso se debe asegurar que los equipos estén adecuados para ello. [21]

### **1.3.1.2 Éter etílico anhidro**

El éter etílico anhidro es un solvente orgánico líquido e incoloro, con olor característico. Su naturaleza es tender a formar peróxidos en presencia de luz y aire, es por esto que se lo estabiliza con limadura de hierro, naftoles, polifenoles, aminas aromáticas y aminofenoles, para disminuir el riesgo de explosiones. La manera de obtención es a través de la producción de etanol por medio de la hidratación en fase de vapor de etileno, utilizando ácido fosfórico como catalizador. También se lo obtiene mediante la deshidratación de etanol con ácido sulfúrico a 140°C. Es muy

utilizado en la extracción de principios activos de tejidos de plantas y animales debido a que es fácilmente eliminado gracias a su bajo punto de ebullición. [29]

Las principales propiedades físicas y termodinámicas son:

**Tabla 7** Propiedades físicas y termodinámicas principales del éter etílico anhidro

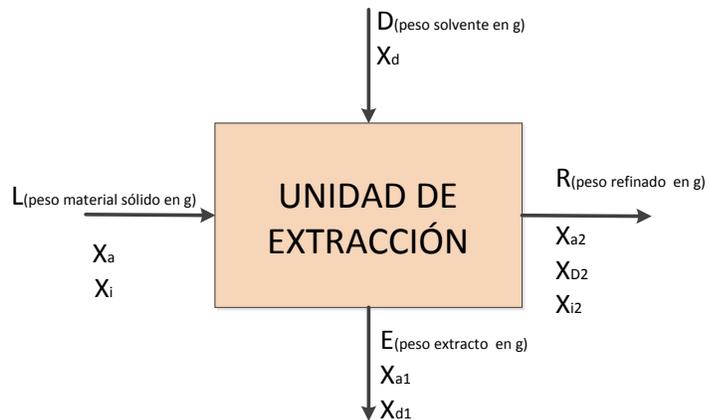
Propiedad	Valor	Unidad
Punto de ebullición	34,6	°C
Punto de fusión	-116,2	°C
Densidad	0,7314	g/ml
Índice de refracción	1,35555	-----
Presión de vapor	442	mmHg
Temperatura de auto-ignición	40	°C
Viscosidad	0,2448	Cp
Solubilidad	6.9	g/ml de agua

En cuanto a las propiedades químicas se dijo que forma peróxidos inestables que explotan espontáneamente, El éter puede reaccionar con: [29]

- Halógenos y derivados. [29]
- Agentes oxidantes. [29]

### 1.3.1.3 Balance de masa

El balance de masa de este procedimiento se basa en la operación unitaria de extracción sólido-liquido. Para una unidad de extracción se tiene:



**Figura 8** Diagrama de balance de masa de la unidad de extracción

Donde:

$X_a$  es la fracción en peso del aceite esencial de naranja en la corriente de alimentación del material sólido

$X_{a1}$  es la fracción en peso del aceite esencial de naranja en la corriente del extracto

$X_{a2}$  es la fracción en peso del aceite esencial de naranja en la corriente del refinado

$X_d$  es la fracción en peso del solvente

$X_{d1}$  es la fracción del solvente en la corriente del extracto

$X_{d2}$  es la fracción del solvente en la corriente del refinado

$X_i$  es la fracción en peso del material sólido inerte en la corriente de entrada de material sólido

$X_{i2}$  es la fracción en peso del material sólido inerte en la corriente de refinado

El balance de masa general de este sistema es:

$$L + D = E + R \quad (1)$$

El balance por especies sería el siguiente:

- **Aceite esencial de naranja:**

$$LX_a = EX_{a1} + RX_{a2} \quad (2)$$

- **Solvente:**

$$DX_d = EX_{d1} + RX_{d2} \quad (3)$$

### 1.3.2 Destilación simple

La destilación es una operación que consiste en separar dos o más componentes de una mezcla líquida en donde todos los componentes son más o menos volátiles. El modo de operación del proceso se basa en la diferencia de volatilidades de los componentes que forman la mezcla. En el proceso se debe seleccionar la temperatura y presión de tal manera, que la fase líquida y vapor que se forman tengan concentraciones relativas diferentes. Cuanto mayor sea la diferencia de volatilidades entre los componentes de la mezcla, mayor será la diferencia entre la composición del líquido y del vapor que se generan. La mezcla líquida a su punto de ebullición desprenderá vapores más ricos en componentes volátiles. Los vapores se condensarán aparte constituyendo el destilado. [28]

La destilación simple se la realiza cuando se desea separar dos componentes que están en una mezcla, con el fin de purificar uno de ellos siguiendo la misma base de cualquier proceso de destilación. En este proceso se cuenta con un calderín que es el lugar donde va a hervir la mezcla líquida. Por diferencia de volatilidad, el componente con el punto de ebullición más pequeño va a ser el que se condense y formará el destilado, quedando el otro componente como el residuo. Realmente no es una operación de transferencia de materia, pues el líquido y el vapor que se generan están en equilibrio. [28]

### 1.3.2.1 Balance de masa

El balance de masa de esta operación se ilustra en la figura 9



**Figura 9** Unidad de destilación simple en el proceso de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja de este estudio

Donde:

$X_{A3}$  es la fracción en masa del aceite esencial de naranja en la corriente de residuo.

El balance de masa general del sistema:

$$E = B + C \quad (4)$$

El balance de componentes:

- Aceite esencial de naranja:

$$EX_{a1} = X_{a3}C \quad (5)$$

- Solvente:

$$EX_{d1} = B \quad (6)$$

### 1.3.3 Filtración

El proceso consiste en separar de una mezcla de sólidos y fluidos. La mezcla debe pasar por un medio filtrante que tiene como función retener la mayor parte de las

partículas sólidas. Esta operación es mecánica y requiere de poca energía. Para que se produzca la filtración se debe vencer la resistencia al flujo, lo que supone el empleo de fuerzas impulsoras que sean capaces de superar esta resistencia. [28]

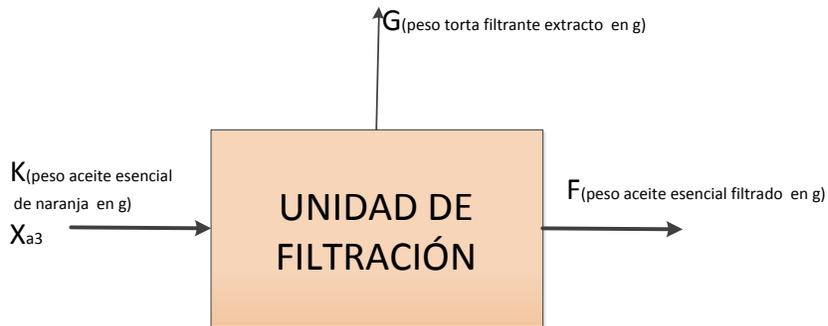
La operación puede realizarse de manera continua o discontinua. En el caso de una operación discontinua, el flujo del líquido debe interrumpirse periódicamente para hacer la descarga de los sólidos acumulados en el medio filtrante. Para el caso de un proceso continuo, mientras se está en operación, ni la descarga de sólidos ni la de líquidos es interrumpida para descarga. [28]

Para la filtración discontinua, la torta filtrante, es decir los residuos que van quedando en el material filtrante, va aumentando su tamaño de manera constante, por lo tanto el caudal del líquido disminuye. [28]

Los principales criterios que se deben considerar en el momento de seleccionar el equipo y condiciones de operación en la filtración son los siguientes:

- Las propiedades del fluido, en especial su viscosidad, densidad y propiedades corrosivas. [28]
- La naturaleza del sólido, esto es, el tamaño y forma. [28]
- La concentración de sólidos en suspensión. [28]
- La cantidad de material a tratar y su valor. [28]
- Tratamiento previo. [28]
- Identificar cual es el producto valioso, el material sólido o líquido. [28]

### 1.3.3.1 Balance de masa



**Figura 10** Unidad de filtración en el proceso de extracción de aceite esencial de naranja utilizado en este estudio

El balance general del sistema:

$$K = G + F \quad (7)$$

Balance de componentes:

- Aceite esencial de naranja:

$$KX_{a3} = F \quad (8)$$

## 1.4 Otros métodos de extracción de aceites esenciales

Existen varios métodos utilizados comúnmente para la extracción de aceites esenciales. El tipo de extracción usado dependerá de la materia prima con la que se trabaje, si son de origen animal o vegetal, y también dará las características y determinará la calidad del aceite esencial. [21] A continuación se explicará cada uno de los métodos conocidos y utilizados de extracción:

### 1.4.1 Extracción por arrastre de vapor

La destilación por arrastre de vapor es una técnica utilizada para obtener sustancias insolubles en agua y volátiles de otras fuentes no volátiles. Se usa generalmente entre líquidos inmiscibles, en donde uno de los líquidos es el agua. La mezcla de estos

líquidos alcanza un punto de ebullición menor al de los componentes individuales lo que proporciona una ventaja cuando se trabaja con sustancias que son sensibles al calor. El vapor logra obtener sustancias purificadas que tienen un punto de ebullición más alto que el agua a presión atmosférica. [25], [26]

#### **1.4.1.1 Ventajas y desventajas**

El proceso de destilación por arrastre de vapor tiene la ventaja de usar vapor de agua como agente extraente el cual es muy económico en comparación con los otros dos métodos. No requiere de equipos sofisticados. Además da un aceite que posee una alta pureza, y que solo requiere una re destilación para eliminar cualquier resto de agua que pueda tener. Es un proceso que brinda un buen rendimiento en aceite extraído. Los aceites obtenidos por esta técnica son usados en tratamientos medicinales, homeopáticos y de aromaterapia. Las desventajas de este proceso es que pueden producirse procesos colaterales como la polimerización y resinificación de terpenos. Debido a la temperatura puede producirse destrucción térmica de algunos componentes, por lo tanto el aceite esencial pierde algunas de sus características y por ende baja su calidad y precio. [9]

#### **1.4.2 Extracción por fluidos supercríticos**

La extracción por fluidos supercríticos es una extracción en donde se logra que las células del material usado estallen y se desprendan del mismo. Como su nombre lo indica, se utiliza fluidos supercríticos, que son aquellos en donde el fluido ha sido llevado a condiciones extremas de presión y temperatura por encima de su punto crítico, en donde no hay distinción entre el gas y el líquido. El fluido supercrítico

más utilizado es el CO<sub>2</sub> debido a su disponibilidad, condiciones supercríticas manejables (31.06 °C y 7,38MPa) y precio. [9], [12]

El proceso de extracción consiste en una transferencia de masa que se da por encima del punto supercrítico del solvente. Este método de extracción puede ser ejecutado de dos formas conocidas como extracción selectiva o separación selectiva. [12]

La extracción selectiva se basa en la capacidad de solvatación del fluido, manipulando las condiciones de temperatura y presión y también modificando la naturaleza química del solvente añadiendo un co-solvente. La separación selectiva consiste en calentar o enfriar el sustrato por medio de una despresurización para obtener un fraccionamiento de los productos controlados. El proceso de extracción por fluidos supercríticos consiste en cuatro etapas claramente identificadas: [12]

- **Presurización:** en esta etapa se debe alcanzar la presión necesaria para llevar al solvente a condiciones supercríticas. Se puede usar una bomba o compresor según el solvente a usar. [12]
- **Ajuste de temperatura:** según se requiera, se calienta o enfría el solvente de manera que alcance las condiciones supercríticas para la extracción. Se lo puede hacer por medio de intercambiadores de calor, baños térmicos, etc. [12]
- **Extracción:** es en donde se lleva a cabo la extracción del compuesto requerido. Se la realiza en un recipiente de alta presión en donde se da el contacto entre el fluido supercrítico y el material con el que se trabaja. El fluido arrastra al soluto que se requiere extraer. [12]

- **Separación:** se separa el soluto requerido del fluido supercrítico. Esto se lo puede hacer con cambios en la temperatura o presión del solvente logrando así que el soluto pierda la solubilidad en el solvente. Otra manera de hacerlo es lavando el solvente logrando así separar el compuesto de interés. [12]

#### **1.4.2.1 Ventajas y desventajas**

El proceso de extracción por fluidos supercríticos posee la ventaja de que no altera la composición ni el aroma del aceite esencial extraído y no deja ningún rastro del solvente. Su rendimiento es alto en comparación con los otros dos métodos. Otra ventaja de este proceso es que, al ser CO<sub>2</sub> el solvente usado, este tiene las características de no generar contaminación con el medio ambiente, las cantidades usadas en el proceso no son tóxicas, produce un proceso limpio que no genera contaminación, no se requiere de procesos posteriores para la purificación del producto, el solvente es fácilmente separado del aceite y es inerte desde el punto de vista químico. Una desventaja de este proceso es que puede disolver pocos compuestos no polares. También extrae ácidos grasos, pigmentos y ceras. La principal desventaja que tiene es que se necesita de equipos sofisticados y de alto coste económico, así mismo tiene un coste de operación elevado y una inversión inicial alta. [9]

### **1.5 Métodos artesanales de extracción**

- **Prensado, estrujado o expresión**

Es un método artesanal empleado en la extracción de aceites esenciales naturales, principalmente de aquellos que se encuentran en el pericarpio del fruto como la naranja, limón, mandarina, etc. Este método utiliza un trabajo manual, usando una

esponja. Se debe usar las manos, coger la cáscara y exprimirla entre los dedos contra una esponja. El proceso de extracción se repite hasta que la esponja está lo suficientemente llena de aceite esencial, de tal manera que puede ser exprimida en un recipiente. La calidad del aceite obtenido por esta técnica es buena. Industrialmente lo que se hace es usar una prensa hidráulica, para luego pasar a un proceso de filtrado y destilado. Con este método se obtiene un aceite de menor calidad. [15], [21]

- **Método de enfleurage**

Es uno de los métodos más antiguos empleados para la extracción de aceites esenciales. Se utilizan grasas de animales o vegetales por su capacidad de absorber aromáticos, que son untadas en bandejas y en donde va extendido la parte de la planta de donde se extraerá el aceite. La parte de la planta usada es cambiada regularmente hasta el momento en que se satura la grasa. Una vez saturada la grasa se la trata con alcohol y se la destila para obtener así el aceite esencial. Esta técnica no tiene un buen rendimiento pero es un método fácil y simple de implementar. Algunas de las plantas usadas para obtener aceite esencial con este método son: la gardenia, jazmín, violeta, entre otras. [15], [21]

## Capítulo 2. Parte Experimental

### 2.1 Extracción del aceite esencial de la naranja en el equipo de extracción líquido- líquido UOP5.

En este proyecto se utilizó el equipo de extracción líquido-líquido de Armfield del Laboratorio de Operaciones Unitarias del Departamento de Química e Ingeniería Química de la Universidad San Francisco de Quito. Se utilizó éste equipo con el fin de llevar a cabo una extracción a un nivel superior de laboratorio, es decir a una escala piloto para estudiar el posible potencial de una industria extractora de aceite esencial de naranja.

#### 2.1.1 Descripción del equipo

Toda la numeración y letras utilizadas para la descripción se encuentran especificadas en el diagrama del equipo en la figura 14 y en el diagrama del sistema de control e instrumentación del equipo en la figura 15. [18]

El equipo de extracción líquido-líquido UOP5 se encuentra empotrado en un armazón de acero soldado (8) con pies ajustables que le proporcionan estabilidad en el piso (12). El armazón también tiene un reforzamiento en la parte inferior del mismo que le da resistencia para sostener todo el equipo (9). [18]

La columna de extracción (19a & 19b) tiene 1.10m de altura y 0.07m de diámetro y es de vidrio reforzado. La columna se divide en cuatro partes, siendo los extremos ensanchados y sujetos al armazón de acero del equipo (14) y (25). La parte inferior de la columna le sirve de apoyo a la misma. Las partes extremas de la columna se encuentran selladas con platos de acero inoxidable (13), (26). Las cuatro partes de la

columna están sujetas por bridas (15). La columna se encuentra llena con anillos Raschig los cuales están soportados por un plato perforado de acero inoxidable ubicado en la parte inferior (16). [18]

El agua que se utiliza se recolecta en el tanque almacenamiento (37) (L2) de donde es bombeada por medio de una bomba centrífuga (4) a través de una válvula de aire (5) (V3), una válvula de control (23) (C1) y un medidor de flujo (24) (F1) hacia un inyector (28) ubicado en la base de la columna de extracción. El agua sale por la parte superior de la columna a través de una tubería y llega al tanque de agua de desecho (40) (L1). [18]

El solvente se almacena en un tanque de acero inoxidable (3) (L5) y es alimentado a la columna a través de una bomba dosificadora (43) (F2), cuya velocidad de bombeo puede ser variada por una perilla de ajuste (1). El solvente entra de la misma manera que el agua, a través de un inyector (28) ubicado en la parte superior de la columna. En la línea de alimentación del solvente se encuentra un grifo (2) (V6) con el fin de tomar muestras o para drenaje. Para la calibración de la bomba dosificadora se dispone de una válvula de tres vías (V8). [18]

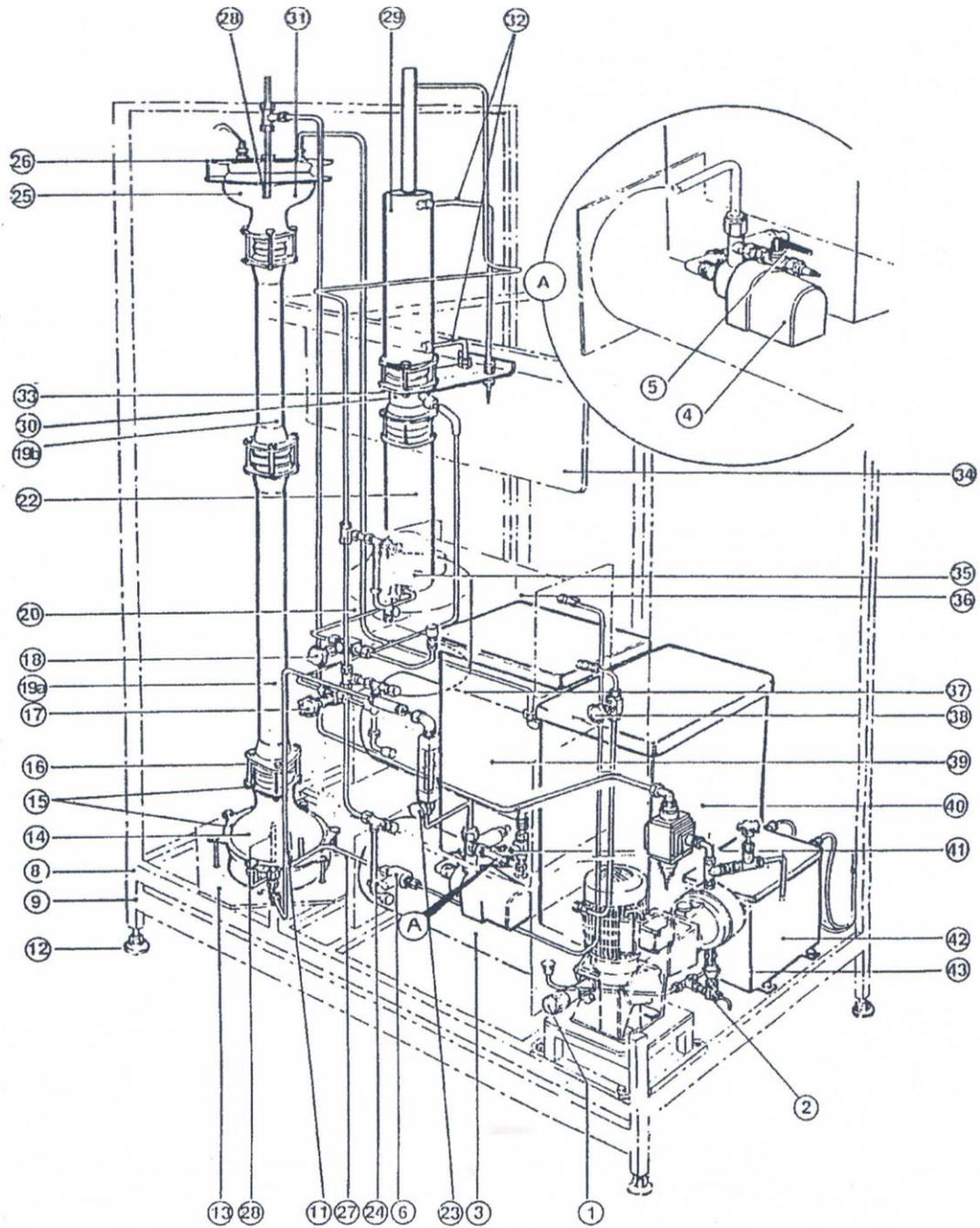
El solvente regresa por gravedad al tanque de recuperación (36) (L3) a través de una tubería (27) la cual está equipada con una válvula solenoide (6) (C3) y un grifo de toma de muestras (V9). El funcionamiento de la válvula solenoide es controlado por electrodos ubicados en el plato superior de la columna (31) y en el plato inferior (11). El interruptor de la válvula (S2) se encuentra en el panel de control del equipo (34). Cada set de electrodos consiste en tres electrodos de acero inoxidable, uno que

mantiene contacto continuo con el agua y los otros dos con diferente longitud aislados en puntos 5mm de su final. El tanque de recuperación (36) (L3) está conectado al tanque del solvente a través de una tubería y válvula (38) (V4). Esta válvula permite una recirculación del solvente, haciendo un circuito cerrado y continuo. [18]

El equipo cuenta con una columna de destilación. El calderín (20) (L6) es de acero inoxidable y se encuentra ubicado detrás de la columna de extracción. El calentamiento se produce gracias a dos cartuchos de 500W ubicados en la base del calderín y la temperatura es indicada por un termómetro ubicado en un lado del mismo. La válvula (18) (V7) controla la entrada de líquido en el calderín de la destilación. El calderín se encuentra unido a una columna de cuatro platos (35) de secciones de vidrio (22). El equipo de destilación cuenta con un reflujo (33) que está entre la columna de platos y el condensador. En el reflujo se encuentra un termómetro (30) (T2) para indicar la temperatura de vapor en el mismo. El condensador hecho en acero inoxidable (29) se encuentra en la parte superior del reflujo y su chaqueta es de agua fría que se suministra del grifo por medio de tuberías de cobre (32) que están en la parte trasera. [18]

El destilado se recoge en el tanque de solvente (39) (L4) a través de una válvula de control (17) (C2) la cual determina la proporción de reflujo. Se puede drenar el contenido del tanque de destilado al tanque de solvente por medio de la válvula (41) (V5) que se encuentra entre ambos tanques. [18]

El sistema de control del equipo se encuentra detallado en la figura 15. El equipo cuenta con un transformador (42) cuando el suministro eléctrico es de 120V, 60Hz A.C. [18]



**Figura 11** Equipo de extracción líquido-líquido UOP5 de Armfield (De fuente [18])

### **2.1.2 Descripción del sistema de control e instrumentación del equipo UOP5.**

A continuación se detalla el sistema de control e instrumentación del equipo de extracción líquido-líquido UOP5. El código de letras usado en esta descripción se encuentra especificado en el diagrama de la figura 15. El equipo de extracción se encuentra equipado con un sistema de válvulas ubicadas en posiciones estratégicas para el óptimo funcionamiento del mismo. El sistema de control del equipo se basa en controles de encendido y apagado y son los siguientes: [18]

**S1** encendido y apagado del equipo UOP5

**S2** cambio de electrodo

**S3** encendido y apagado de la bomba de agua

**S4** encendido y apagado de la bomba del solvente

**S5** calentador del calderín

**R1** regulador de poder del calderín

#### **Tanques de almacenamiento y suministro:**

**L1** tanque de almacenamiento agua de desecho

**L2** tanque de agua de alimentación

**L3** tanque de solvente recuperado

**L4** tanque de destilado

**L5** tanque de solvente de alimentación

**L6** calderín

**Instrumentación:**

**V1** válvula de desfogue del agua de desecho

**V2** válvula de desfogue del agua de alimentación

**V3** válvula de purga de aire

**V4** válvula de conexión del tanque L3 y L5

**V5** válvula de conexión del tanque L5 y L5

**V6** válvula de desfogue del tanque L5

**V7** válvula de control del paso de solvente de L3 a L6

**V8** válvula de tres vías para calibración de bomba y recolección de muestras

**V9** válvula de recolección de muestras del solvente recuperado

**V10** válvula de desfogue del calderín

**V11** válvula de desfogue de la columna de extracción

**V12** válvula de recolección de muestras del destilado

**C1** válvula de control de flujo de agua

**C2** válvula de control de flujo de destilado

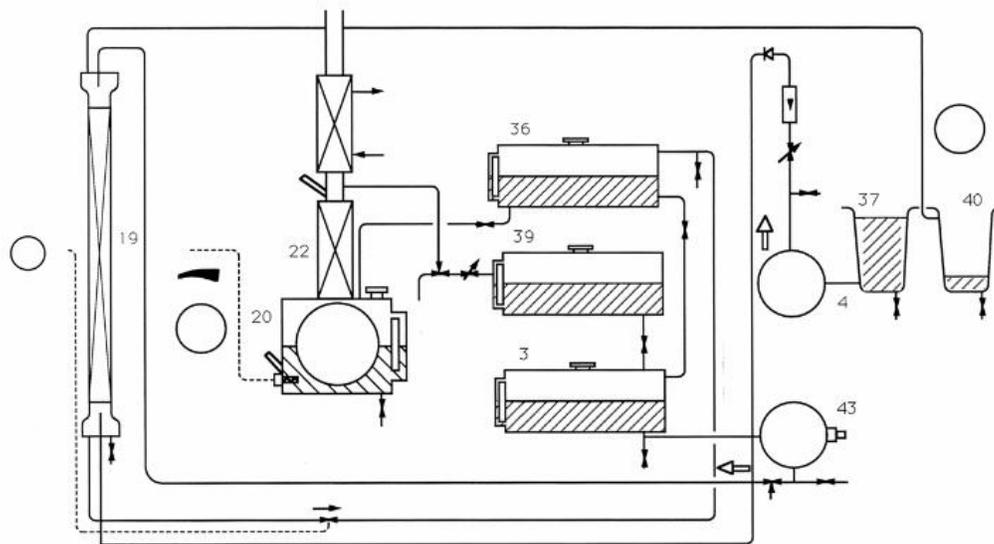
**C3** válvula de control de flujo de solvente recuperado

**F1** medidor de flujo del agua

**F2** medidor de flujo solvente

**T1** termómetro para control de temperatura del calderín

**T2** termómetro para control de temperatura del reflujo



UOP5 SYSTEM DIAGRAM

(COMPONENTS)

**Figura 12** Diagrama de control e instrumentación del equipo UOP5 (De fuente [18])

## **2.2 Proceso de extracción**

El proceso de extracción de aceite esencial utilizado experimentalmente en este trabajo consiste básicamente en una extracción con solventes orgánicos. Los solventes usados fueron el éter etílico y el alcohol potable al 96%. Se eligió el éter etílico debido a sus características fisicoquímicas como el bajo punto de ebullición, su capacidad de extracción y facilidad de separación del aceite esencial. El alcohol potable al 96% se lo eligió por su facilidad de manejo y su bajo costo económico.

El proceso de extracción se lo realizó cuatro veces, cada una con ciertas modificaciones que fueron adaptadas a medida que se encontraban oportunidades de mejora. De las cuatro extracciones tres fueron realizadas con éter etílico que fue el solvente elegido para la extracción y una con alcohol potable que fue el solvente elegido para la comparación del rendimiento. El proceso lleva consigo otros procesos que lo complementan. A continuación se explicará el proceso completo llevado a cabo para la obtención del aceite esencial de naranja a partir de las cáscaras.

### **2.2.1 Preparación de la muestra**

Las naranjas debieron ser lavadas completamente para quitar cualquier suciedad que pueda afectar a la composición del aceite esencial. Para esto se colocó las naranjas en el lavamanos y se las lavó una por una con agua de la llave. Después fueron secadas para evitar que el agua en la cáscara afecte en el proceso de extracción. Luego de secar las naranjas se procedió a pelarlas teniendo cuidado de sacar sólo la parte del flavedo (parte amarilla de la cáscara) que es en donde se encuentra el aceite esencial de naranja. Para este procedimiento se pelaron aproximadamente 50 naranjas para

cada extracción realizada. Una vez obtenida la cantidad necesaria de cáscara de naranja se procedió a pesarla, en promedio se utilizó 570g de materia prima.

### **2.2.2 Preparación del equipo UOP5**

Para la utilización del equipo de extracción líquido-líquido UOP5 primero se tuvo que adecuarlo para el procedimiento a ejecutarse, para esto se tuvo que lavar el equipo completamente, se utilizó agua potable y alcohol potable al 96% que fueron pasados por cada uno de los tanques y tuberías del equipo varias veces. Para el caso del alcohol se utilizó 20 litros de alcohol de los cuales se recuperaron 14 litros usando la columna de destilación del equipo. Los otros seis litros fueron desechados porque estaban totalmente contaminados y fue imposible recuperarlos en esta columna.

Una vez limpio el equipo se procedió a su preparación para el proceso de obtención del aceite esencial de naranja. Para esto se tuvo que desarmar la columna, reemplazar los anillos rasching con cáscaras de naranja y volverla a armar en el equipo. Una vez llenada la columna de cáscaras se llenó el tanque de solvente con éter etílico. Se aseguró que todos los tornillos y bridas de la columna se encuentren bien ubicados y que la columna se encuentre completamente sellada para evitar fugas en el equipo.

### **2.2.3 Proceso de extracción**

El proceso de extracción empieza con el encendido del equipo. Luego se prende la bomba del solvente, que cae desde la parte superior de la columna y empieza su llenado. Desde el momento de contacto entre la materia prima y el solvente comienza el proceso de extracción del aceite esencial. Gracias a la caída del solvente desde

arriba en la materia prima siempre se mantiene una turbulencia dentro de la columna lo cual favorece al proceso de extracción. La extracción se la realizó en un tiempo promedio de 22min. Se trabajo bajo condiciones de presión atmosférica y temperatura ambiente. No hubo necesidad de enfriar al solvente pues el tanque de almacenamiento del equipo lo mantenía frío debido al material del que está hecho. El proceso de extracción fue realizado de manera discontinua, es decir sin recirculación del solvente para evitar mayor manipulación del mismo. A continuación se muestra el equipo de extracción líquido-líquido UOP5 en el proceso de extracción del aceite.



**Figura 13** Foto del equipo de extracción líquido-líquido UOP5 ARMFIELD armado para la extracción

## 2.2.4 Destilación

Una vez obtenido el extracto de aceite esencial-solvente se procedió a separar ambos mediante la operación de destilación. Para esto se utilizó el equipo de destilación incorporado en el UOP5. Dependiendo del solvente fue el tiempo de destilación requerido para la separación del extracto. Se utilizó agua de la llave para el

condensador de la columna de destilación y se recogió el destilado a través de la válvula V12 del equipo. Se controló a través del panel de control y los termómetros instalados en el equipo de destilación la temperatura de esta parte del proceso. A continuación se muestra el equipo de destilación del UOP5 utilizado para este proceso.

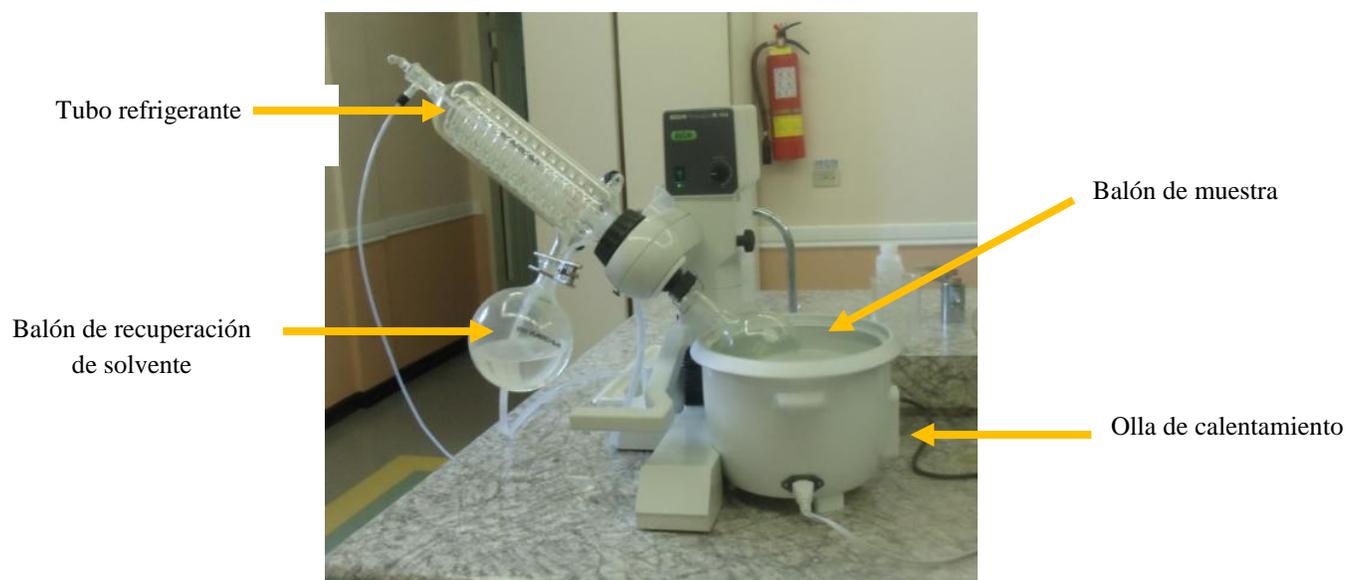


**Figura 14** Columna de destilación del equipo de extracción líquido-líquido UOP5 ARMFIELD

### 2.2.5 Separación

Debido a la capacidad del calderín del equipo de destilación del UOP5, que en el momento que llega a un nivel determinado (2L aproximadamente) se apaga automáticamente, hubo la necesidad de realizar una segunda separación utilizando un equipo de rota-vapor. Este equipo cuenta con recipiente de calentamiento que contiene agua caliente y es donde rota el balón que contiene el extracto de solvente-aceite esencial. El solvente se evapora debido al calor del agua y es condensando gracias al tubo refrigerante del equipo por donde pasa agua fría de la llave. El

solvente condensado es recuperado en un balón lateral del rota-vapor. Debido a la baja capacidad del equipo, sólo se podía separar 400ml por proceso por lo tanto fue necesario repetirlo varias veces. A continuación se muestra el equipo de rota-vapor utilizado.



**Figura 15** Equipo de rota-vapor BUCKI usado en la separación de solvente-aceite esencial

### 2.2.6 Filtración

El proceso de filtración consistió en pasar al aceite esencial obtenido de la extracción con alcohol potable. Tuvo que hacerse este proceso tres veces, que fueron las necesarias para obtener un aceite esencial de naranja cristalino. Para esto se utilizó un embudo y papel filtro. A continuación se muestra la filtración que se llevó a cabo en este proyecto:



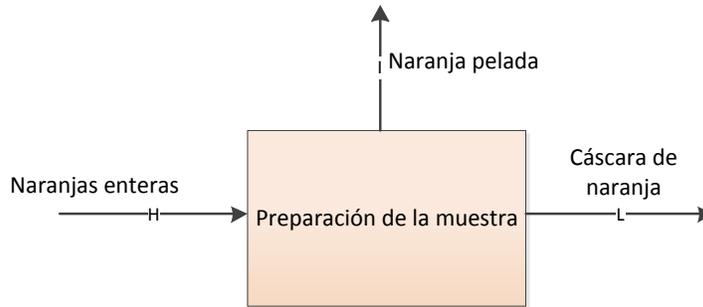
**Figura 16** Proceso de filtración del aceite esencial de naranja

Se puede observar que el proceso de filtración es un proceso sencillo de laboratorio y no requiere de material sofisticado.

### **2.3 Resultados del balance de masa del proceso de extracción del aceite esencial de naranja**

Como se explicó anteriormente, la extracción consiste en aislar un componente para su purificación. En este caso se utilizó éter etílico y alcohol potable al 96%. Para obtener los valores de los flujos de entrada y salida de cada unidad de operación se utiliza el balance de masa realizado anteriormente en cada operación unitaria.

- **Preparación de la materia prima:** se trabajó con 50 naranjas aproximadamente en cada proceso las cuales fueron peladas, la cáscara se usó para la extracción del aceite esencial y las naranjas peladas tuvieron fines comestibles. En esta etapa del proceso tenemos:



**Figura 17** Diagrama de la etapa de preparación de la muestra del proceso de extracción

El balance de masa nos dice que todo lo entra en un proceso es igual a todo lo que sale del mismo, por lo tanto planteamos la primera ecuación de balance de masa general:

$$H = I + L \quad (9)$$

**Tabla 8** Flujos en la etapa de preparación de la muestra en el proceso de extracción del aceite esencial de naranja

Flujo	Significado	Peso (g)
H	Naranja entera	9320
L	Cáscara de naranja	570
I	Naranja pelada	8750

**Extracción:** en la extracción, se utilizó 4 L de solvente. La cantidad de materia prima dentro de la columna fue de 570 g y el tiempo de extracción fue de 22 minutos. De las ecuaciones 1, 2 y 3 de balance de masa general y de componentes tenemos:

$$\rho_{\text{éter etílico}} = 0,714 \frac{g}{ml}$$

$$\rho_{\text{alcohol potable}} = 0,7904 \frac{g}{ml}$$

- **Resultados con éter etílico**

**Tabla 9** Flujos y composición en la etapa de extracción del proceso de extracción del aceite esencial de naranja

Flujo	Significado	Valor (g/min)	Fracción másica	Significado	Valor	Valor (g/min)
D	Solvente	22,43	$X_d$	Fracción de solvente	1	22,43
L	Cáscara de naranja	2,28	$X_a$	Fracción de aceite esencial	0,05	0,1
			$X_i$	Fracción de material inerte	0,95	2,18
E	Extracto (aceite + solvente)	8,52	$X_{a1}$	Fracción de aceite esencial	0,01	0,1
			$X_{d1}$	Fracción de solvente	0,99	8,41
R	Refinado	16,19	$X_{a2}$	Fracción de aceite esencial	0	0
			$X_{d2}$	Fracción de solvente	0,87	14,01
			$X_{i2}$	Fracción de material inerte	0,13	2,176

- **Resultados con alcohol potable**

**Tabla 10** Flujos y composición en la etapa de extracción del proceso de extracción del aceite esencial de naranja

Flujo	Significado	Valor (g/min)	Fracción másica	Significado	Valor	Valor (g/min)
D	Solvente	20,24	$X_d$	Fracción de solvente	1,00	20,24
L	Cáscara de naranja	2,28	$X_a$	Fracción de aceite esencial	0,11	0,25
			$X_i$	Fracción de material inerte	0,89	2,03
E	Extracto (aceite + solvente)	20,49	$X_{a1}$	Fracción de aceite esencial	0,01	0,25
			$X_{d1}$	Fracción de solvente	0,99	20,24
R	Refinado	2,03	$X_{a2}$	Fracción de aceite esencial	0,00	0,00
			$X_{d2}$	Fracción de solvente	0,00	0,00
			$X_{i2}$	Fracción de material inerte	1,00	2,03

**Destilación:** En la destilación entra el flujo E del proceso anterior de extracción. En esta etapa se concentra el aceite esencial y se recupera el éter etílico. Utilizando las ecuaciones 4, 5 y 6 del balance de masa realizado para esta operación unitaria se obtuvieron los siguientes datos de flujo.

- **Resultados con éter etílico**

**Tabla 11** Flujos y composiciones en la etapa de destilación del proceso de extracción del aceite esencial de naranja

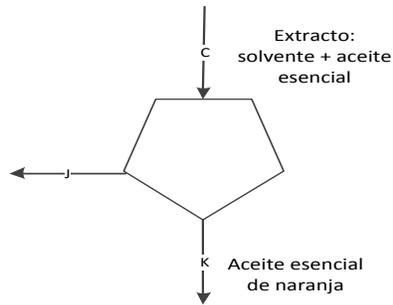
Flujo	Significado	Valor (g/min)	Fracción másica	Significado	Valor	Valor (g/min)
E	Extracto (aceite +solvente)	8,52	X <sub>a1</sub>	Fracción másica del aceite esencial	0,01	0,10
			X <sub>d1</sub>	Fracción másica del solvente	0,99	8,42
B	Solvente recuperado	5,42	X <sub>d4</sub>	Fracción másica del solvente	1,00	5,42
C	Extracto concentrado	3,10	X <sub>a3</sub>	Fracción másica del aceite esencial	0,03	0,10
			X <sub>d3</sub>	Fracción másica del solvente	0,97	3,00

- **Resultados con alcohol potable**

**Tabla 12** Flujos y composiciones en la etapa de destilación del proceso de extracción del aceite esencial de naranja

Flujo	Significado	Valor (g/min)	Fracción másica	Significado	Valor	Valor (g/min)
E	Extracto (aceite +solvente)	20,49	X <sub>a1</sub>	Fracción másica del aceite esencial	0,01	0,25
			X <sub>d1</sub>	Fracción másica del solvente	0,99	20,24
B	Solvente recuperado	5,14	X <sub>d4</sub>	Fracción másica del solvente	1,00	5,14
C	Extracto concentrado	15,36	X <sub>a3</sub>	Fracción másica del aceite esencial	0,02	0,25
			X <sub>d3</sub>	Fracción másica del solvente	0,98	15,11

**Separación:** este proceso se lleva a cabo en un rota-vapor de capacidad de 400 ml máximo. En esta etapa entra el flujo C que sale del proceso de destilación y se recupera el resto del solvente. En este proceso se obtiene el aceite esencial de naranja. El diagrama de este proceso se ilustra en la figura 21.



**Figura 18** Diagrama de la etapa de separación del proceso de extracción

El balance de masa del proceso de separación se resume en la siguiente ecuación:

$$C = J + K \quad (10)$$

Los datos que reemplazan los flujos del balance de masa se exponen en la tabla 10:

- **Resultados con éter etílico**

**Tabla 13** Flujos en la etapa de separación del proceso de extracción del aceite esencial de naranja

Flujo	Significado	Flujo (g/min)
C	Extracto	3,10
K	Aceite esencial de naranja	0,10
J	Solvente recuperado	3,00

- **Resultados con alcohol potable**

**Tabla 14** Flujos en la etapa de separación del proceso de extracción del aceite esencial de naranja

Flujo	Significado	Flujo (g/min)
C	Extracto	15,36
K	Aceite esencial de naranja	0,25
J	Solvente recuperado	15,11

**Filtración:** el proceso de filtración se realizó sólo en la extracción con alcohol potable. Como se explica anteriormente, el proceso de filtración es de laboratorio y se usa papel filtro y un embudo. Utilizando la ecuación 7 y 8 del balance de masa para esta operación unitaria se tiene el siguiente resultado:

**Tabla 15** Flujos en la etapa de filtración del proceso de extracción del aceite esencial de naranja

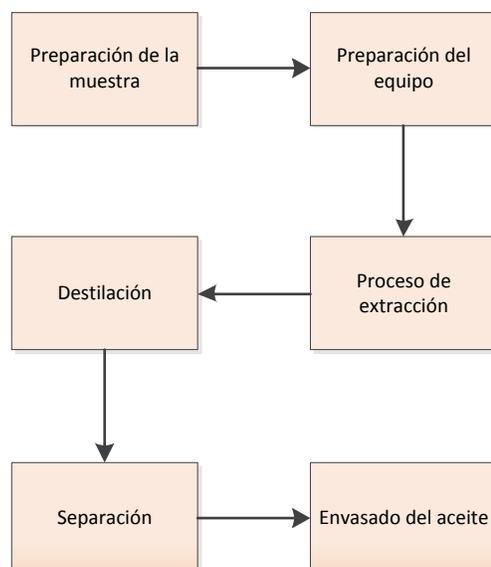
Flujo	Significado	Flujo (g/min)
K	Aceite esencial de naranja	0,25
G	Aceite esencial purificado	0,247
F	Torta filtrante	0,003

## 2.4 Extracción del aceite esencial de naranja

### 2.4.1 Descripción de la extracción con éter etílico

El proceso a seguir para la extracción del aceite esencial de naranja con éter etílico fue el descrito en punto anterior (punto 2.2.3), sin llevar a cabo la filtración pues este solvente dio un aceite esencial cristalino y no hubo necesidad de este proceso. A

continuación se muestra el diagrama de bloque del proceso de extracción del aceite esencial de naranja con éter etílico.



**Figura 19** Diagrama de bloque del proceso de extracción de aceite esencial de naranja con éter etílico

La figura 22 nos da las etapas generales descritas anteriormente del proceso de extracción del aceite esencial de naranja. La extracción con éter etílico se la realizó tres veces, esto fue porque en la primera extracción se encontró con una serie de mejoras que permitieron optimizar el proceso. A continuación se describe cada uno de los tres procesos de extracción con éter etílico realizados en este trabajo:

- **Extracción 1**

En la primera extracción se utilizó 10 L de éter etílico logrando casi llenar hasta el nivel máximo al tanque de alimentación del solvente del equipo UOP5. En este experimento se observó que la cantidad de solvente utilizada fue demasiada pues se comprobó que en la columna sólo se requería de apenas 3 L para la extracción

(cantidad de solvente necesaria para pasar el nivel de materia prima en la columna).

En esta extracción hubo muchas pérdidas de solvente debidas a errores humanos como el mal armado de la columna y al no revisar la posición correcta de las válvulas y por lo tanto se produjeron fugas en donde se desperdició gran cantidad del solvente. Por esta razón no se pudo tener una cuantificación real sobre la cantidad de aceite esencial obtenido.

En esta extracción se trabajó con 629.8 g de cáscara de naranja, a condiciones de presión y temperatura ambiente. Para la destilación se trabajó con una temperatura de 28°C en el calderín y reflujo, y tuvo una duración aproximada de 30min.

- **Extracción 2 y 3**

Las siguientes dos extracciones también siguieron el proceso descrito en el punto 2.2.3 de este capítulo. Estas extracciones se las describe conjuntamente ya que fueron trabajadas bajo las mismas condiciones. Se utilizó un volumen de solvente de 4 L en ambas y una cantidad de materia prima de 515.2 g y 554.02 g para la extracción 2 y 3 respectivamente. En estas extracciones se tomó la precaución de armar bien la columna, es decir ajustar las bridas, tornillos y tuercas correctamente para evitar fugas, y se revisó que las válvulas implicadas en el proceso estén en posición correcta para evitar pérdidas y fugas.

Al igual que en la extracción 1, en estos procesos también se trabajó a condiciones de presión y temperatura ambiente y para la destilación se trabajó

con una temperatura de 28°C en el calderín y reflujo y tuvo una duración de 30min aproximadamente.

En todas las extracciones de aceite esencial de naranja realizadas con éter etílico se observó claramente como desde el momento de contacto entre el solvente y la cáscara de naranja se formaba el extracto de solvente-aceite esencial. El extracto obtenido en estas extracciones tuvo un color amarillo con apariencia cristalina. La siguiente foto muestra el extracto obtenido con éter etílico en el fondo de la columna del UOP5.

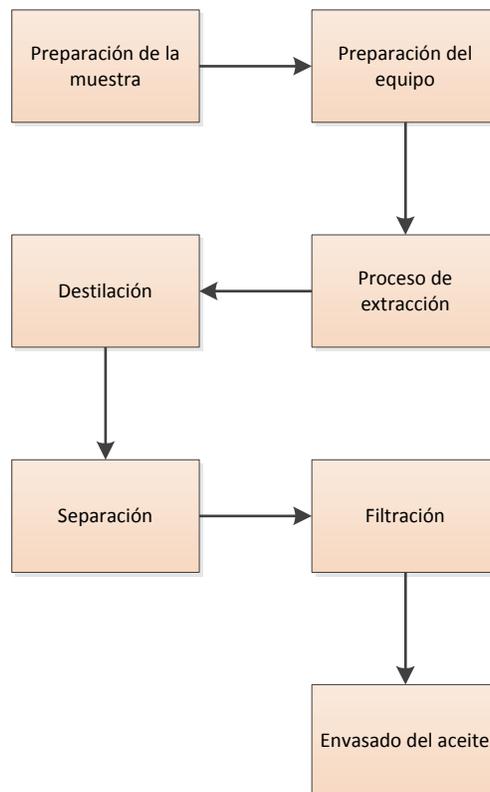


**Figura 20** Foto del extracto obtenido con éter etílico en el equipo de extracción líquido-líquido UOP5 de ARMFIELD

#### **2.4.2 Descripción de la extracción con alcohol potable 96%**

La extracción con alcohol potable 96% se realizó con el único fin de comparar rendimientos entre los dos solventes. Se utilizó 4 L de solvente y 583.9 g de materia prima. En la destilación la temperatura alcanzada fue de 70°C para el calderín y el

reflujo. El tiempo de destilación en este caso fue de 45 minutos. La diferencia de esta extracción fue que hubo la necesidad de un proceso de filtración. A continuación se muestra en la figura 24 el diagrama de bloque del proceso de extracción con alcohol potable.



**Figura 21** Diagrama de bloque del proceso de extracción de aceite esencial de naranja con alcohol potable al 96%

Una de las variantes del proceso es el aumento de la filtración como una operación unitaria. Otra diferencia es el tiempo de destilación de los extractos con los distintos solventes se debe a las diferencias físico-químicas de la naturaleza de los solventes, esto es porque el éter etílico tiene un punto de ebullición teórico de 35°C más rápido para alcanzar que el punto de ebullición teórico del alcohol de 78°C.

El extracto obtenido tuvo un color amarillo al igual que con el éter etílico, sin embargo su apariencia no era cristalina sino turbia. Para ilustrar esto se muestra la foto a continuación:



**Figura 22.** Foto del extracto obtenido con alcohol potable en el equipo de extracción líquido-líquido UOP5 de ARMFIELD

Se observa en la figura 25 que el color amarillo del extracto de alcohol es parecido al extracto obtenido con éter sin embargo ambos se diferencian en la turbidez que tienen pues el extracto con éter es un líquido cristalino mientras que el extracto con alcohol es más oscuro y turbio.

### 2.4.3 Resultados Extracción

Los datos de las extracciones realizadas en este proyecto se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 16 Datos** de los procesos de extracción

Extracción	Cáscara (g)	Solvente	Volumen solvente (L)
1	629.848	éter	10
2	515.175	éter	4
3	554.023	éter	4
4	583.952	alcohol	4
<b>Promedio</b>	<b>570.7495</b>	-----	<b>5.5</b>

A continuación se muestra los resultados del proceso de destilación en las extracciones realizadas:

**Tabla 17 Resultados** del proceso de destilación de las extracciones

Extracción	Solvente	Solvente usado en la extracción (L)	Solvente recuperado (L)
1	éter	10	-----
2	éter	4	1,8
3	éter	4	2
4	alcohol	4	1,8

Para la separación del solvente con el aceite esencial en el rota-vapor se obtuvo los siguiente resultados:

**Tabla 18 Resultados** del proceso de separación por medio del rota vapor

Extracto	Solvente	Solvente usado en la extracción (L)	Solvente total recuperado (L)
1	Éter	10	-----
2	Éter	4	1,3
3	Éter	4	0,8
<b>Promedio</b>	-----		<b>1,05</b>
4	Alcohol	4	2,2

En total, el solvente recuperado en cada extracción se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 19** Volumen total de solvente recuperado en los procesos de extracción

Extracto	Solvente	Solvente usado en la extracción (L)	Total solvente recuperado (L)
1	éter	10	-----
2	éter	4	3,1
3	éter	4	2,8
<b>Promedio</b>	-----		<b>2,95</b>
4	alcohol	4	4

Para el cálculo del rendimiento se utiliza la siguiente ecuación:

$$\%Rendimiento = \%R = \frac{\text{Volumen aceite (ml)}}{\text{peso cáscara (g)}} \times 100 \quad (10)$$

Los rendimientos obtenidos en las extracciones realizadas se encuentran expresados en la siguiente tabla.

**Tabla 20** Resultados del rendimiento obtenido en las extracciones

Extracción	Solvente	Volumen aceite esencial de naranja(ml)	Rendimiento (%)
1	éter	-----	-----
2	éter	33	6,406
3	éter	28	5,054
<b>Promedio</b>	-----	<b>30,5</b>	<b>5,730</b>
4	alcohol	74	12,672

## 2.5 Caracterización del aceite esencial de naranja

La calidad de los aceites esenciales se encuentra definida de acuerdo a varias características de los mismos. Para determinar la calidad del aceite esencial de naranja obtenido en el experimento se realizaron los ensayos normalizados de calidad del aceite esencial.

### 2.5.1 Características organolépticas

- **Olor:** El aceite esencial de naranja obtenido se dejó al aire libre por un día entero para que se evapore cualquier resto de éter etílico en la campana extractora, después de este tiempo apreció un olor muy concentrado, característico de naranja, el aceite tenía el olor a la fruta.
- **Color:** El color obtenido del aceite fue un amarillo oscuro, lo que hace presumir que el éter etílico no solo extrajo el aroma de la fruta sino también los colorantes de la misma.
- **Sabor:** El sabor del aceite esencial es un poco amargo, característico de la naranja. Su textura es suave y un poco viscosa.

### 2.5.2 Ensayos físicos

#### 2.5.2.1 Densidad Relativa

La densidad relativa se la define como la comparación de la densidad de una sustancia con la densidad del agua. Para determinarla se utilizó un ensayo normalizado y proporcionado por el INEN que consiste en lo siguiente: [8]

#### **Materiales:**

- Picnómetro de 25 ml
- Agua Destilada
- Éter etílico
- Alcohol etílico
- Balanza analítica, sensible a 0.1 mg.

#### **Procedimiento:**

**Normalización de la muestra:** por agitación manual se agita el aceite esencial de naranja en el recipiente que lo contiene con el fin de tener una muestra homogénea. En este caso, se obtuvo un aceite cristalino, libre de impurezas y por lo tanto no hubo necesidad de realizar una filtración del mismo. [8]

**Estandarización del picnómetro:** se lava el picnómetro con alcohol etílico y luego con éter etílico. Este procedimiento se lo realiza las veces que sean necesarias hasta que asegure que el picnómetro se encuentra adecuado para su uso. Se deja secar completamente el picnómetro antes de su uso. [8]

**Experimentación:** se debe llenar el picnómetro con agua destilada a 20°C y se lo tapa cuidadosamente evitando la formación de burbujas de aire. Se vacía nuevamente el picnómetro. A continuación se debe sumergir al picnómetro en un baño de agua a 25°C y se lo mantiene durante 30 minutos. Después de este tiempo se debe quitar el agua del picnómetro y pesarlo en la balanza. Una vez registrado el peso con agua destilada, se vacía el picnómetro y se lo enjuaga nuevamente con alcohol etílico y luego con éter etílico, se deja secar completamente y se lo vuelve a pesar vacío. Se registra su peso. Por último se llena nuevamente el picnómetro con la muestra a determinar y se lo tapa cuidadosamente para evitar las burbujas de aire. Se lo sumerge en un baño de agua a temperatura ambiente y se lo mantiene durante 30 minutos. Se remueve el agua excedente y se pesa en la balanza. Para calcular la densidad relativa del aceite se utiliza la siguiente ecuación: [8]

$$\rho = \frac{m_2 - m}{m_1 - m} \quad (11)[8]$$

Donde:

$m$  es el peso del picnómetro vacío en gramos

$m_1$  es el peso del picnómetro con agua destilada en gramos

$m_2$  es el peso del picnómetro con la muestra de aceite en gramos

### Resultados:

**Tabla 21** Resultado de la densidad relativa del aceite esencial de naranja

Muestra	Peso (g)	Densidad relativa	Valor teórico (De fuente [16])	%Error
m	16.104	0.892	0.846	5.44%
m1	25.809			
m2	24.761			

### 2.5.2.2 Índice de refracción

El índice de refracción está definido como la relación que hay entre la velocidad de la luz monocromática en el aire y su velocidad en una sustancia. Nos da la relación entre los senos de los ángulos de incidencia y de refracción, cuando la luz pasa del aire a la sustancia. [8]

### Materiales

- Refractómetro Abbé
- Agua destilada
- Alcohol potable
- Algodón
- Muestra

## Procedimiento

Se debe preparar al equipo de refracción, para esto el prisma inferior debe ser cuidadosamente limpiado con agua destilada utilizando una piceta. Se seca el prisma inferior con algodón evitando que quede algún resto del mismo. Después se limpia nuevamente con alcohol utilizando también una piceta y algodón. Por último se procede a colocar dos o tres gotas de la muestra en el prisma, se cierran los prismas, se ajustan y se enciende el equipo. Se prende la luz del refractómetro, se deja reposar por unos segundos a la muestra, se ajusta el instrumento y la luz para obtener la medida correspondiente. La medición se la realizó por duplicado. [8]

## Resultados

**Tabla 22** Resultados del índice de refracción del aceite esencial de naranja

Muestra	Índice de refracción	Valor teórico (De fuente [16])	%Error
1	1.3675	1.472	7%
2	1.3675		

### 2.5.3 Índices químicos

#### 2.5.3.1 Índice de acidez

El índice de acidez muestra los miligramos de hidróxido de potasio que se necesitan para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en 1 gramo de aceite esencial. [8]

#### Materiales:

##### *Reactivos*

- Mezcla de alcohol-éter (1:1)
- Solución estandarizada 0.1N de hidróxido de potasio
- Solución estandarizada 0.5N de hidróxido de potasio

- Indicador fenolftaleína al 1%

### *Instrumental*

- Bureta graduada de 25 ml
- Erlenmeyers de 250 ml y 500 ml
- Balanza analítica

### **Procedimiento**

Colocar 300 ml de la solución alcohol-éter en el erlenmeyer y añadir 1ml de la solución indicadora de fenolftaleína, y se titula con la solución de 0.1N de hidróxido de potasio hasta que la solución adquiera un color rosado persistente. Esta solución neutralizada será la utilizada para la determinación del índice de acidez del aceite. [8]

En el matraz de 250 ml pesar de 5-10 gramos de la muestra y añadir 100 ml de la solución alcohol-éter neutralizada. Titular esto con la solución de 0.1N de hidróxido de potasio hasta alcanzar nuevamente el viraje de la fenolftaleína que corresponde a un color rosado persistente por lo menos por 30 segundos. La determinación de este ensayo se la realizó por duplicado. El índice de acidez se calcula con la siguiente ecuación: [8]

$$i = \frac{56.1 V \cdot N}{m} \quad (12) [8]$$

Donde

i es el índice de acidez del producto, en mg/g

V es el volumen de titulación de la solución de hidróxido de potasio

N es la normalidad de la solución de hidróxido de potasio

m es la masa de la muestra

## Resultados

**Tabla 23** Resultados del índice de acidez del aceite esencial de naranja

Muestra	Índice de acidez (mg KOH/g aceite)	Valor teórico (De fuente [16])	%Error
1	21.066	2	6.11%
2	2.138		

### 2.5.3.2 Índice de saponificación

El índice de saponificación son los miligramos de hidróxido de potasio que se necesitan para saponificar un gramo de aceite. [8]

#### **Materiales:**

##### *Reactivos*

- Solución de HCl 0.5N
- Solución etanólica de hidróxido de potasio
- Indicador fenolftaleína

##### *Instrumental*

- Balones de 250 ml
- Bureta graduada de 25 ml
- Pipeta volumétrica de 25 ml
- Mantas de calentamiento
- Balanza analítica

#### **Procedimiento**

En el balón de 250 ml pesar la muestra de aceite entre 2 a 3 gramos y agregarle 25 ml de la solución etanólica de hidróxido de potasio. Conectar al balón a un

refrigerante de reflujo y calentar la muestra durante 60 minutos para tener completa la saponificación. Una vez transcurrido el tiempo de saponificación agregar 1 ml de la solución indicadora de fenolftaleína y titularla con ácido clorhídrico hasta el viraje de la fenolftaleína, es decir hasta que la coloración rosada desaparezca por completo. Este ensayo se lo debe realizar por duplicado y con una muestra en blanco. Para hallar el índice de saponificación en el aceite se utiliza la siguiente ecuación: [8]

$$i = \frac{56.1(V_1 - V_2)N}{m} \quad (13) [8]$$

Donde

$i$  es el índice de saponificación de la muestra, en mg/g

$V_1$  es el volumen de ácido clorhídrico usado en la titulación para la muestra en blanco, en ml

$V_2$  es el volumen de ácido clorhídrico usado en la titulación para la muestra de aceite, en ml

$m$  es la masa de la muestra en g

$N$  normalización de la solución de ácido clorhídrico.

## Resultados

**Tabla 24** Resultado del índice de Saponificación del aceite esencial de naranja

Muestra	Aceite esencial (g)	Volumen HCL 0.5N (ml)	Índice de saponificación (mgKOH/g muestra)	Valor Teórico	%Error
Aceite esencial de naranja 1	1,5	20	18,7	----- (no específico)	-----
Aceite esencial de naranja 2	2	19	26,7		
Blanco		21	-----		

### 2.5.3.3 Índice de peróxidos

El índice de peróxidos se lo define como el número miliequivalente de oxígeno por kilogramo de muestra y se puede determinar mediante el siguiente proceso: [8]

#### **Materiales:**

##### *Reactivos*

- Solución ácido acético y cloroformo (3:2)
- Solución saturada de KI
- Solución estandarizada de tiosulfato de sodio 0.1N
- Solución de almidón 1%

##### *Instrumental*

- Pipeta volumétrica de 1ml
- Matraz de 250 ml
- Balanza analítica

#### **Procedimiento**

Primero se debe pesar en el erlenmeyer aproximadamente 5g de la muestra de aceite y luego se le tiene que agregar 30 ml de la solución de ácido acético y cloroformo. Se agita esta solución durante un minuto y se le añade 30 ml de agua destilada. Una vez agregada el agua destilada se titula la muestra con el tiosulfato de sodio 0.1N hasta que el color amarillo casi desaparezca. Después de añade una gotas de la solución del almidón al 1% y se vuele a titular con tiosulfato hasta que el color azul desaparezca

completamente. El ensayo se lo debe realizar por duplicado y con una muestra en blanco. Para calcular el índice de peróxido se utiliza la siguiente ecuación: [8]

$$I = \frac{vN}{m} 1000 \quad (14) [8]$$

Donde

I es el índice de peróxido en mili equivalente de O<sub>2</sub> por kilogramo del producto

V es el volumen de la solución de tiosulfato de sodio utilizado en la titulación de la muestra, en ml

N es la normalidad de la solución de tiosulfato de sodio

m es la masa de la muestra analizada, en g

### **Resultados**

En esta prueba no se obtuvo ningún resultado pues no hubo cambios de color en las titulaciones por lo que se asume que este ensayo no es aplicable para el aceite esencial de naranja.

## **Capítulo 3. Estudio de mercado**

### **3.1 Disponibilidad de materia prima**

El Ecuador, gracias a su ubicación posee una diversidad de ecosistemas que lo hacen privilegiado para la producción de una gran variedad de frutos. La temporada de producción de naranjas en el país se da en los meses de Julio, Agosto y Septiembre. En el 2006 se registró una producción de 150 mil toneladas métricas en las regiones de climas cálidos. El consumo per cápita del fruto es de 4.14 kg, cifra determinada para el mismo año 2006. Aproximadamente, una naranja de tiene en promedio 13 g de cáscara. Considerando la producción de 150 000TM, y que en promedio una naranja tiene un diámetro de 8cm se tendría un número de naranjas de 559529097. Asumiendo a que solo tengamos acceso al 20% del total producido, y conociendo que en promedio una naranja tiene 13 g de cáscara se dispondría de una cantidad de materia prima de 1430.85 ton de cáscara de naranjas. Tomando los datos de rendimiento obtenidos experimentalmente de 5.7% para el éter y 12.67% para el alcohol portable se podría producir una cantidad de 81.55 tm y 181.29 tm de aceite esencial de naranja respectivamente. [4], [17]

### 3.2 Mercado local

El mercado local de aceites esenciales puede ser muy amplio. En Ecuador existen un sin número de industrias alimenticias, cosméticas y farmacéuticas, en donde principalmente es usado el aceite esencial de naranja. En este país no existe una industria a mediana o gran escala que se dedique a la producción de aceites esenciales, por lo tanto todas las fábricas que requieren de este producto importa de otros países. [7]

A continuación se muestra una tabla con datos obtenidos del Banco Central del Ecuador en donde se muestra la cantidad de aceite esencial de naranja importado y exportado en el año 2011. [5]

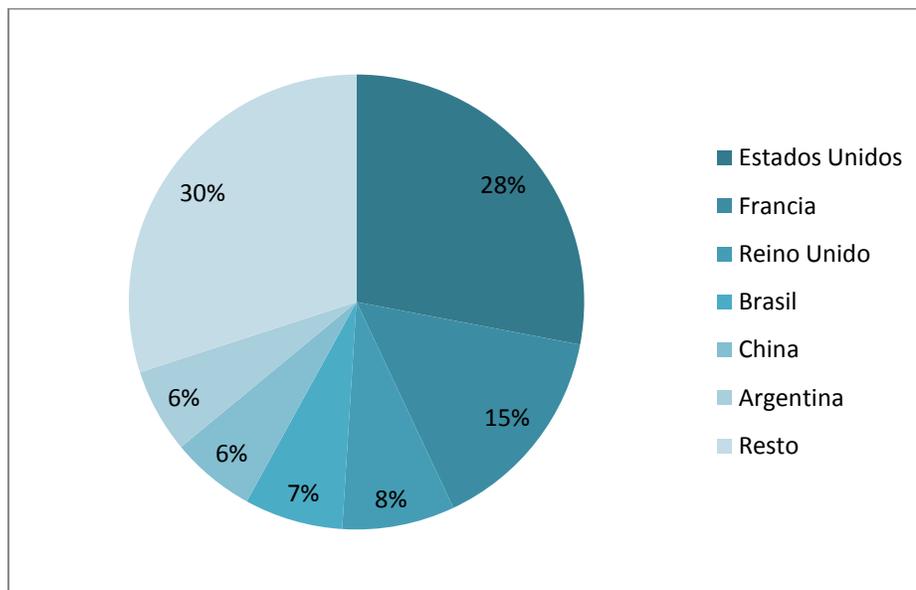
**Tabla 25** Exportaciones e importaciones de aceite esencial de naranja registradas en el año 2011 en Ecuador (De fuente [5])

Rubro	Aceite esencia de naranja (ton)
Exportaciones	0
Importaciones	54.22

Se puede observar que en el país no se produce ninguna exportación del aceite esencial y sin embargo se importan 54.19 tm. Suponiendo que se logre producir la cantidad planteada anteriormente de 81.55 tm y 181.29 tm de aceite esencial de naranja producido con éter etílico o alcohol potable 96% respectivamente, con las condiciones de operación probadas experimentalmente se lograría abastecer el mercado local de este producto y disminuir el total de importaciones, y además se podría impulsar al desarrollo del país mediante la exploración de una industria relativamente nueva.

### 3.3 Mercado Internacional

A nivel mundial, los principales productores de aceites esenciales han creado ganancias y entradas de dinero para sus países de miles de millones de dólares. En Sudamérica, Argentina y Brasil son los principales exportadores de este producto al resto del mundo. A continuación se muestra un gráfico con los principales países exportadores de aceites esenciales a nivel mundial. [10]



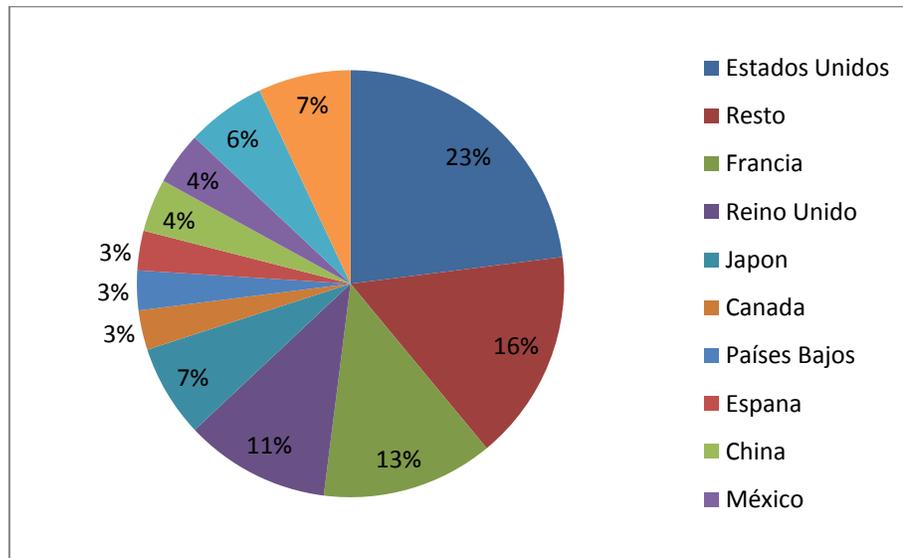
**Figura 23.** Principales países exportadores de aceites esenciales (De fuente [10])

Se observa claramente en el gráfico que el principal país exportador es Estados Unidos, con el 28% de la exportación mundial. En Sudamérica, los países presentes son Brasil y Argentina, en los puestos 4 y 6 con un porcentaje del 7% y 6% respectivamente. [10]

Podemos saber con los datos de exportaciones e importaciones el amplio mercado a nivel internacional que tienen los aceites esenciales. En cuanto a la exportación del aceite esencial de naranja, Estados Unidos exporta el 11% del total de sus

exportaciones de aceite esencial, Francia exporta el 2%, Reino Unido el 8% y Brasil el 49%. [10]

Los países que más importan los aceites esenciales en el año 2002 y su porcentaje se resumen en el siguiente gráfico: [10]



**Figura 24.** Principales países importadores de aceites esenciales registrados en el año 2002 (De fuente 10)

Se observa nuevamente que el país que mayor importación tiene de aceites esenciales es Estados Unidos. Estados Unidos es el principal proveedor de aceites esenciales en el mundo, y así mismo es el país que mayor consumo tiene de los mismos. Francia también es otro de los mayores proveedores y consumidores del producto. [10]

Se puede observar con estos datos que el mercado internacional es sumamente amplio en el ámbito de los aceites esenciales. Los gráficos anteriores solo muestran los principales países que producen y consumen aceites esenciales, sin embargo el consumo del producto se lo hace en casi todos los países del mundo. [10]

El mercado de aceites esenciales va a ser siempre amplio debido a las propiedades benéficas mencionadas anteriormente que los hacen apetecibles para muchas industrias dedicadas a la fabricación de un sin número de productos. [10]

### 3.4 Competencia

Ecuador es un país que no ha incursionado en la extracción de aceites esenciales a pesar de tener un sin número de plantas aromáticas de donde extraerlos. La producción de aceites esenciales se la realiza de manera artesanal y en cantidades insignificantes. En la Superintendencia de Compañías, en el área de industrias Manufacturas no existe ninguna compañía registrada que se dedique a la producción de aceites esenciales de ningún tipo a ninguna escala. El mercado a nivel nacional es un mercado virgen, y no existe competencia a nivel local. [7], [19]

Los datos del Banco Central de Ecuador de la tabla 26 muestran a los principales países proveedores del aceite esencial de naranja en Ecuador en el año 2011. [6]

**Tabla 26** Principales países que proveen de aceite esencial de naranja a Ecuador y sus cantidades en toneladas (De fuente [6])

País	Aceite esencial de naranja (ton)
Estados Unidos	49,38
Colombia	1,85
España	2,11
Brasil	0,05
Alemania	0,53
Argentina	0,23
Guatemala	0,06
Uruguay	0,01
<b>Total</b>	<b>54,22</b>

Se puede ver en la tabla 26 que Estados Unidos es el principal importador del aceite esencial de naranja en Ecuador, representando el 91% del total de importaciones.

Nuevamente se ratifica que Estados Unidos es el país que más participación tiene en este mercado. Los países enlistados en esta tabla serían los principales competidores con los que se tendría que disputar el mercado local.

Los precios en los que se encuentran los aceites esenciales varían de acuerdo a la marca del aceite. En la tabla 27 se muestra un listado de precios del aceite esencial de naranja de varias empresas fabricantes.

**Tabla 27** Precios del aceite esencial de naranja de varias empresas fabricantes (De Carla Bernal, datos de fuente <http://medicina-alternativa.twenga.es/aceite-esencial-de-naranja.html>)

Marca/Empresa	Cantidad (ml)	Precio (dólar)
Florame aromaterapia	10	8,171205588
Eladiet fitoesencias	15	8,76667806
El bosque de los aromas	15	3,3081804
El granero	12	6,94717884
Marnys	15	6,86447433
tu biótica natural	10	6,12013374
Rehab Medic	15	8,270451

En esta tabla se muestra que los precios varían dependiendo de la empresa que las vende. De los datos mostrados en la tabla 27 se puede estimar que el precio por cada mililitro aceite esencial de naranja es de aproximadamente 53 centavos de dólar

## Capítulo 4. Discusión y Conclusión

### 4.1 Discusión

El proceso de extracción se lo realizó en el equipo de extracción líquido-líquido UOP5 que se encuentra en el laboratorio de Operaciones Unitarias del Departamento de Química e Ingeniería Química de la Universidad San Francisco de Quito. El proceso fue realizado en forma discontinua. El solvente escogido fue el éter etílico debido a su gran capacidad extraente y la facilidad de separación del aceite esencial. Se utilizó en promedio 570g de cáscara de naranja, lo cual equivale a 40-50 naranjas aproximadamente, dependiendo este valor del tamaño de la fruta. Se realizaron tres extracciones con éter etílico, la primera usando 10 L de solvente y las dos siguientes 4 L. La reducción significativa del solvente se la hizo al observar que la cantidad usada no era necesaria pues la columna se llenaba hasta las tres cuartas partes con cáscaras de naranja y su capacidad para el solvente fue aproximadamente de 3 L.

En la primera extracción no se pudo cuantificar la cantidad de aceite esencial obtenido debido a fugas en el mal armado y mal manejo del equipo. Una vez corregidos los errores, en las extracciones 2 y 3 se obtuvo una cantidad de aceite de 33 ml y 28 ml respectivamente, dando un rendimiento promedio del proceso del 5.7% el cual se considera aceptable pues es similar a los rendimientos de procesos obtenidos en otros estudios, como el de Juárez y colaboradores en donde se obtuvo un rendimiento del 4%. [13] [21] El tiempo promedio en el que tuvo lugar la extracción fue de 24 minutos. Se decidió hacer un proceso con una duración corta debido a que el éter etílico es un solvente que se volatiliza a temperatura ambiente y es muy

explosivo. Se comprobó que el tanque de almacenamiento del solvente del equipo era lo suficientemente hermético para mantener al solvente y que no se produjeran fugas. Después de la extracción en la columna se llevó el extracto obtenido a un proceso de destilación, seguido por uno de separación para obtener así el producto final deseado, el aceite esencial de naranja. El proceso de destilación tuvo una duración promedio de 25 minutos y en donde se recuperaba aproximadamente 1.7 L del solvente usado para las extracciones 2 y 3.

La extracción con alcohol potable se la realizó con el único fin de poder comparar el rendimiento de obtención del aceite con distintos solventes. Para usar este solvente primero se purificó con permanganato de potasio y carbón activado. Se alimentó el solvente listo en el tanque correspondiente en el UOP5. La cantidad de aceite esencial de naranja obtenido fue de 74ml dando un rendimiento del 12% aproximadamente.

Se obtuvo un rendimiento del doble con el alcohol que con el éter etílico lo cual nos dice que el alcohol tiene mayor capacidad para extraer al aceite esencial y otros componentes de la cáscara de naranja. Por un lado, a pesar de poder extraer en mayor cantidad, el alcohol nos da como resultado un aceite esencial turbio el cual debe ser filtrado tres veces para purificar al aceite esencial obtenido mientras que el éter nos proporciona un aceite completamente cristalino, sin necesidad de un proceso de filtración final. Por otro lado, el éter etílico por ser tan volátil, tanto el proceso de destilación como el proceso de separación en el rota vapor ocurrió de manera más rápida que en el proceso cuando se trató el extracto con alcohol. El tiempo necesario para obtener el aceite esencial con alcohol fue aproximadamente el doble del tiempo

que se requirió para el aceite obtenido con éter etílico. En cuanto a la recuperación del solvente se obtuvo que el alcohol potable fue recuperado en su totalidad mientras que con el éter se pierde aproximadamente un litro de la cantidad inicial.

El aceite obtenido en cada proceso de extracción fue almacenado en frascos de vidrio marrón para evitar la descomposición del aceite por la luz, debidamente etiquetados de acuerdo al solvente usado, el número de extracción y la fecha.

Se realizaron varios ensayos de calidad para caracterizar al aceite esencial obtenido. Primero se analizaron sus propiedades organolépticas. El aceite esencial obtenido presentó un aroma a la fruta de naranja, muy agradable e intenso. El color presentado fue amarillo, con apariencia cristalina. Su sabor fue parecido a la naranja, siendo este más insípido, y mucho menos dulce que la pulpa de la fruta.

El resultado de la densidad relativa del aceite esencial fue de 0.892, el cual se asemeja mucho al valor teórico conocido de 0.846. Se obtuvo un porcentaje de error del 5% aproximadamente que nos dice que el valor obtenido es aceptable.

Para el índice de refracción se realizó el ensayo por duplicado y se obtuvo en ambos casos un resultado de 1.3675. El valor teórico para este caso es de 1.4720, el cual también es muy cercano al obtenido experimentalmente. Este resultado nos da un porcentaje de error del 7% el cual ya es un poco elevado, pero sin embargo se lo considera todavía aceptable.

El índice de acidez obtenido del aceite esencial extraído experimentalmente fue de 2.1233. En la literatura se observa un índice de acidez para el aceite esencial de

naranja es de 2. El porcentaje de error es de 6% aproximadamente, y si se puede observar que el valor numérico es muy parecido, difiriendo en decimales.

El índice de saponificación obtenido experimentalmente fue de 0.0187gKOH/g aceite. Este valor es prácticamente despreciable pues al momento de titular la muestra de aceite se obtuvo un volumen de HCl cercano a la titulación de la muestra en blanco, por lo que se puede decir que el aceite no posee un índice de saponificación considerable.

Por último de los ensayos físico-químicos se realizó el experimento para obtener el índice de peróxido del aceite esencial. En este ensayo de calidad no se obtuvo ningún resultado pues en la titulación nunca se dio el cambio de color respectivo. El ensayo fue realizado dos veces, ambas por duplicado por lo tanto se asume que en el aceite esencial de naranja obtenido no hay la cantidad de oxígeno suficiente para darnos un valor numérico significativo.

Los ensayos de calidad realizados son ensayos normalizados y aceptados por el estado ecuatoriano y fueron proporcionados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Los datos teóricos de caracterización del aceite esencial de naranja fueron obtenidos de normas mexicanas y argentinas, ambas aprobadas por sus respectivos países.

En cuanto al estudio de mercado puede decir que hay la disponibilidad de materia prima suficiente para producir una cantidad representativa de aceite esencial. El mercado local es completamente virgen pues no hay ninguna industria registrada en el país dedicada a esta actividad por lo tanto no se tendría competencia en este nivel.

Ecuador es un país que realiza exportaciones de 54.22 ton de aceite esencial de naranja mientras que su exportación de este producto es de cero.

Se vio que Estados Unidos es el mayor exportador de aceites esenciales en el mundo, con el 28% del total de exportaciones. En cuanto al aceite esencial de naranja, estados unidos exporta el 11% del total de sus exportaciones de aceite esencial, siendo este valor una cantidad muy considerable.

El mayor proveedor de aceite esencial de naranja en Ecuador es Estados Unidos con una cantidad de 49.38 ton. Después sigue España con 2.11el, Colombia con 1.85 ton, Alemania con 0.53 ton, Argentina y Brasil con 0.23 ton y 0.05 ton respectivamente.

Podría pensarse en empezar con una pequeña parte del mercado local de Ecuador, logrando así tener menos importaciones de aceite esencial de naranja y además se podría abrir las puertas en otras industrias para el mayor consumo de este producto. Idealmente se trataría de abrir más el mercado nacional e incluso pensar en un futuro cubrir parte del mercado internacional.

## **4.2 Conclusión**

Se investigó acerca de los aceites esenciales y se determinó sus principales características, propiedades, usos y aplicaciones. Se conoció que los aceites esenciales son mezclas complejas que pueden llegar a estar formadas por más de 100 compuestos diferentes. Se aprendió que los aceites esenciales están compuestos principalmente por terpenos que son los responsables de darles las características físico químicas características, y los alcoholes, alcanos, éteres, fenoles, aldehídos,

ácidos, entre otros, son los que les dan las propiedades organolépticas propias. Se conoció las diferentes propiedades que pueden presentar los aceites esenciales las cuales son enormemente beneficiosas para la salud humana. Los aceites esenciales tienen un amplio campo de aplicación, siendo las industrias alimenticia, farmacéutica y de cosméticos las más importantes.

Se realizó el estudio sobre la extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja usando el equipo de extracción líquido-líquido UOP5 al cual se le hicieron pocas adaptaciones para el beneficio del proceso. Se determinó que el solvente a usar sería el éter etílico. Se eligió este solvente por su capacidad extraente, su bajo punto de ebullición que aseguraba la conservación del aceite y la rapidez con la que se obtenía el producto deseado. Se obtuvo una cantidad total de 61 ml de aceite esencial de naranja, con un rendimiento promedio del 5.7% en dos extracciones. Se consideró aceptable el valor de rendimiento pues fue comparado con lo consultado en la literatura, que nos da un valor teórico entre el 4% y 6%. Se realizó una extracción con alcohol potable en donde se obtuvo 74 ml de aceite esencial de naranja y se obtuvo un rendimiento del 12.62%. Se concluyó que el rendimiento del alcohol potable duplica al rendimiento obtenido con el éter etílico por lo tanto éste tiene una capacidad extraente mayor. La desventaja del éter etílico es su volatilidad e inflamabilidad del solvente, lo cual representó un riesgo de incendio y a la salud de las personas expuestas al mismo. Una de las ventajas que tuvo el uso del solvente fue el corto tiempo que tomó separar el aceite del solvente. Otra ventaja que presentó el éter fue que el aceite obtenido no necesitó de un tratamiento de purificación posterior, lo que si fue necesario con el aceite obtenido con el alcohol potable.

Se obtuvo las características físico-químicas del aceite esencial extraído. Los valores determinados para cada una de estas características fueron similares a los datos consultados en la literatura, dando porcentajes de error que variaron el 5% y 7%, por lo tanto se concluyó que el aceite esencial conseguido es de buena calidad y apto para el uso de otras industrias. Los ensayos realizados fueron proporcionados por el INEN y los valores teóricos fueron consultados en normas mexicanas y argentinas, donde se especificaba estas características para el producto específico.

Por último se realizó una investigación sobre el mercado nacional e internacional del aceite esencial de naranja. Debido a sus propiedades, el mercado de todos los aceites esenciales es sumamente amplio con perspectivas de crecimiento. Se observó que en el Ecuador no existe ni una sola industria que se dedique a la fabricación de este o de ningún aceite esencial, es una actividad desconocida en el país. Se determinó que en el país se dispone de la cantidad de materia prima suficiente para abastecer el mercado local e incluso abarcar parte de otros mercados internacionales. Se vio que Estados Unidos es el país con mayor consumo y el que más provee de aceites esenciales al mundo. Es posible que no sea factible que se pueda competir con esta industria, sin embargo Ecuador tienen buenas probabilidades de implementación de una industria de este tipo pues posee suficiente materia prima, acceso a la tecnología del proceso, mercado local suficiente y ninguna competencia a nivel nacional.

### **Bibliografía:**

- [1] Albán, Diego; Freire, David. “Obtención de bioetanol a partir de residuos de naranja (*Citrus sinensis*) provenientes del proceso agroindustrial en la provincia

- de Bolívar. Ecuador: s.n., 2009. Presentada en la Escuela Politécnica del Ejército para la obtención de título Ingeniero Agropecuario.
- [2] Bagué, Ana; Álvarez, Nestor. “Tecnología Farmacéutica”. Editorial Club Universitario. España, 2012.
- [3] Berger, Ralf. “Flavours and Fragrances. Chemistry, Bioprocessing and Sustainability”. Springer. Germany, 2007.
- [4] Del Pozo Ximena; Naranjo, Blanca. “Extracción, caracterización y determinación de la actividad antibacteriana y antimicótica del aceite esencial de Hierba Luisa (Cymbopogon Citratus (DC) stapf)”. Ecuador: s.n., 2006. Presentada en la Escuela Politécnica del Ejército para la obtención de título Ingeniero en Biotecnología.
- [5] Ecuador. Banco Central del Ecuador. *Consulta Totales por Nandina-País*. <http://www.bce.fin.ec/frame.php?CNT=ARB0000767>. Consultado el 25 de abril del 2012.
- [6] Ecuador. Banco Central del Ecuador. “Consulta Totales por Nandina-País”. <http://www.bce.fin.ec/frame.php?CNT=ARB0000767>. Consultado 25 de abril del 2012.
- [7] Ecuador. Superintendencia de Compañías. “Distribución de Compañías Activas por Actividad Económica”. [http://www.infoempresas.supercias.gov.ec/ibmcognos/cgi-bin/cognosisapi.dll?b\\_action=xts.run&m=portal/cc.xts&m\\_tab=i4F360B08331945A3883AAF5781C1E281](http://www.infoempresas.supercias.gov.ec/ibmcognos/cgi-bin/cognosisapi.dll?b_action=xts.run&m=portal/cc.xts&m_tab=i4F360B08331945A3883AAF5781C1E281). Consultado 27 de abril del 2012.

- [8] Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización. *NT*.  
<http://apps.inen.gob.ec/descarga/index.php/buscar>. Consultado 6 de marzo del 2012.
- [9] Esequiel F., Angélica, Vargas, Pedro. “Uso de aceites esenciales extraídos por medio de fluidos supercríticos para la elaboración de alimentos funcionales”. *Tecnología en marcha*. 20-4 (2007): 41-50.
- [10] Export. Ar. “Análisis de la tendencia del mercado internacional de aceites esenciales”. Informe Producto. [www.exportar.org.ar](http://www.exportar.org.ar). Consultado el 26 de marzo del 2012.
- [11] Geifos, Frans. “El árbol al servicio del agricultor. Manual de agroforestería para el desarrollo rural”. Vol 2. Enda-Caribe. Costa Rica, 1994.
- [12] Jimenes, Consuelo; Soto, Juan; Villaescusa, Luis. “Química Física para ingenieros químicos”. Universidad Politécnica de Valencia. España, 2006.
- [13] Juarez, José; Catro, Américo; otros. “Composición química, actividad antibacteriana del aceite esencial *Citrus sinensis* L. (naranja dulce) y formulación de una forma farmacéutica”. *Ciencia e Investigación*. Vol 13.1. Pag 9-13. N.P, 2010
- [14] Knox, Richard. “Repelling bugs with the essence of grape fruit”. NPR. 12 de junio del 2012. <http://www.npr.org/2011/04/18/135468567/repelling-bugs-with-the-essence-of-grapefruit>. Consultado el 16 de junio del 2012.
- [15] Martínez, Alejandro. “Aceites Esenciales”. Universidad de Antioquia. Colombia, 2003.

- [16] México. Dirección General de Normas. “Aceite esencial de naranja dulce centrifugado”. <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-063-1978.PDF>. Consultado 26 de marzo del 2012.
- [17] N.A. “Naranja: dulce sabor que hace falta”. *El hoy*. 1 de febrero. 2008. <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/naranja-dulce-sabor-que-hace-falta-288036.html>. Consultado 3 de marzo del 2012.
- [18] N.A. “Instruction Manual Liquid-liquid extraction unit UOP5”. Armfield. 13. 2005.
- [19] Oficina Comercial del Ecuador en Nueva York. Instituto de promoción de exportaciones e inversiones. Perfil de aceites esenciales en Estados Unidos. PROECUADOR. <http://www.proecuador.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2011/09/PROEC-PM2011L-ACEITES-ESENCIALES-EEUU.pdf>. Consultado el 26 de marzo del 2012.
- [20] Olaya, Julia; Méndez, Jacobo. “Guía de plantas y productos medicinales”. Upar. Colombia, 2003.
- [21] Ortuño, Manuel. “Manual Práctico de Aceites esenciales, aromas y perfumes.” Ayana Ediciones. España, 2006.
- [22] Orozco. “Operaciones Unitarias”. Editorial Limusa. México, 1998.
- [23] Rueda, Yanez; Mancilla, Lugo; otros. “Estudio del aceite esencial de la cáscara de naranja dulce (*citrus sinensis*, variedad Valenciana) cultivada en Labateca (Norte de Santander, Colombia)”. *Bistua*. Vol 5.1. Pag 3-8. Colombia, 2007.

- [24] Ryman, Daniele. “Aromaterapia. Enciclopedia de las plantas aromáticas y de sus aceites esenciales. Los usos en belleza, cocina y salud”. Kairós S.A. España, 1995.
- [25] Sanchez, Francisco. “Extracción de aceites esenciales. Experiencia Colombia”. *Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira*. Colombia, 2006.
- [26] Sanz, Isidora; Llorens, Juan; otros. “Prácticas de Química Orgánica. Experimentación y Desarrollo”. Universidad Politécnica de Valencia. España, 2002.
- [27] Ullauri, Gabriela. “Transporte de masa en extracción fase sólido-líquido”. Reciteia. Ecuador, 2010
- [28] Richarson, J; Coulson, J; otros. “Ingeniería Química. Operaciones básicas”. Tomo II. Editorial Reverté. España, 2003.
- [29] MSDS. Hoja de seguridad éter etílico anhidro.  
<http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/11eteretilico.pdf>

## Anexos

### A. Cálculo del balance de masa del proceso

- Extracción con éter:

$$L + D = E + R \quad (1)$$

Tiempo total del proceso: 250 minutos

Valores conocidos:

$$L = 570g \text{ de cáscara de naranja} \rightarrow 2.28 \frac{g}{min}$$

$$D = 5606.95g \rightarrow 22.43 \frac{g}{min}$$

$$E = 2130.33g \rightarrow 8.52 \frac{g}{min}$$

$$\text{De la ecuación (1) obtenemos: } R = 4046.62 \rightarrow 16.19 \frac{g}{min}$$

Las composiciones de las corrientes de entrada y salida:

$$LX_a = EX_{a1} + RX_{a2} \quad (2)$$

$$DX_d = EX_{d1} + RX_{d2} \quad (3)$$

$$X_a = \frac{\text{masa aceite esencial obtenido}}{L} = 30.5ml \times \frac{0.864g}{ml} = \frac{25,8g}{570g} = 0.05$$

$$X_i = 1 - X_a = 0.95 \rightarrow 544.2g \rightarrow 2.17 \frac{g}{min}$$

$$X_d = 1$$

$$X_{a1} = \frac{\text{masa aceite esencial obtenido}}{L} = 30.5ml \times \frac{0.864g}{ml} = \frac{25,8}{2130.33} = 0.012$$

$$X_{d1} = 1 - X_{a1} = 0.98 \rightarrow 2104.5g \rightarrow 8.41g/min$$

$$X_{a2} = 0$$

$$X_{d2} = \frac{(\text{Solvente de alimentación} - \text{solvente recuperado})}{R}$$

$$= \frac{(5606.95 - 2104.5)g}{4046.62g} = 0.87 \rightarrow 3502.45g \rightarrow 14g/min$$

$$X_{i2} = 0.13 \rightarrow 544.17g \rightarrow 2.17g/min$$

- **Extracción con alcohol:**

$$L + D = E + R \quad (1)$$

Tiempo total del proceso: 250 minutos

Valores conocidos:

$$L = 570g \text{ de cáscara de naranja} \rightarrow 2,28 \frac{g}{min}$$

$$D = 5060,73g \rightarrow 20,24 \frac{g}{min}$$

$$E = 5123,33g \rightarrow 20,49 \frac{g}{min}$$

$$\text{De la ecuación (1) obtenemos: } R = 544,19 \rightarrow 2,18 \frac{g}{min}$$

Las composiciones de las corrientes de entrada y salida:

$$LX_a = EX_{a1} + RX_{a2} \quad (2)$$

$$DX_d = EX_{d1} + RX_{d2} \quad (3)$$

$$X_a = \frac{\text{masa aceite esencial obtenido}}{L} = 74ml \times \frac{0.864g}{ml} = \frac{62,6g}{570g} = 0.11$$

$$X_i = 1 - X_a = 0.89 \rightarrow 507.3g \rightarrow 2.03 \frac{g}{min}$$

$$X_d = 1$$

$$X_{a1} = \frac{\text{masa aceite esencial obtenido}}{L} = 74ml \times \frac{0,864g}{ml} = \frac{62,6}{2130.33} = 0.01$$

$$X_{d1} = 1 - X_{a1} = 0.98 \rightarrow 2088.4.5g \rightarrow 20.24g/min$$

$$X_{a2} = 0$$

$$X_{d2} = \frac{(\text{Solvente de alimentación} - \text{solvente recuperado})}{R} = \frac{0g}{4046,62g} = 0$$

$$X_{i2} = 1 \rightarrow 2,03g/min$$

- **Destilación con éter etílico**

Datos:

*Solvente recuperado en la destilación: 5,42g/min*

$$E = B + C$$

$$E = 8,52g/min$$

$$B = 5,42g/min$$

$$C = 3,10g/min$$

$$X_{d4} = \frac{\text{flujo solvente}}{B} = 1 \rightarrow 5,42g/min$$

$$X_{a3} = \frac{\text{flujo aceite esencial}}{C} = 0,03 \rightarrow 0,1g/min$$

$$X_{d3} = \frac{\text{flujo solvente}}{C} = 0,97 \rightarrow 3,00g/min$$

- **Destilación con alcohol potable**

Datos:

*Solvente recuperado en la destilación: 5,42g/min*

$$E = B + C$$

$$E = 20,49g/min$$

$$B = 5,14g/min$$

$$C = 15,36g/min$$

$$X_{d4} = \frac{\text{flujo solvente}}{B} = 1 \rightarrow 5,14g/min$$

$$X_{a3} = \frac{\text{flujo aceite esencial}}{C} = 0,02 \rightarrow 0,25g/min$$

$$X_{d3} = \frac{\text{flujo solvente}}{C} = 0,98 \rightarrow 15,11g/min$$

- **Separación con éter etílico**

$$C = K + J$$

$$C = 3,10g/min$$

$$K = 0,1g/min$$

$$J = 3,00g/min$$

- **Separación con éter alcohol potable**

$$C = K + J$$

$$C = 15,36g/min$$

$$K = 0,25g/min$$

$$J = 15,11g/min$$

- **Filtración con alcohol potable**

$$K = G + F$$

$$K = 0,25g/min$$

$$G = 0,247g/min$$

$$F = 0,003g/min$$

## B. Cálculo porcentaje de rendimiento

$$\%Rendimiento = \%R = \frac{\text{Volumen aceite (ml)}}{\text{peso cáscara (g)}} \times 100$$

Extracción con éter etílico:

$$\%R = \frac{33}{515.175} \times 100 = 6.406\%$$

$$\%R = \frac{28}{554.023} \times 100 = 5.054\%$$

Extracción con alcohol potable:

$$\%R = \frac{74}{583.952} \times 100 = 12.672$$

## C. Cálculo de propiedades físico químicas

$$\rho = \frac{m_2 - m}{m_1 - m}$$

$$\rho = \frac{24.761 - 16.104}{25.809 - 16.104} = 0.892$$

$$\%Error = \frac{\text{Teórico} - \text{Experimental}}{\text{Teórico}} \times 100$$

$$\%Error = \frac{0.846 - 0.892}{0.892} \times 100 = 5.44\%$$

Índice de refracción

$$\%Error = \frac{1.472 - 1.3675}{1.472} \times 100 = 7\%$$

Índice de acidez

El índice de acidez se calcula con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{56.1 V \cdot N}{m}$$

Donde

*i* es el índice de acidez del producto, en mg/g

*V* es el volumen de titulación de la solución de hidróxido de potasio

*N* es la normalidad de la solución de hidróxido de potasio

*m* es la masa de la muestra

Para la muestra 1:

$$i = \frac{56.1 \times 2ml \times 0.1N}{5.42g} = 2.1066 \frac{mgKOH}{g \text{ aceite}}$$

Para la muestra 2:

$$i = \frac{56.1 \times 2ml \times 0.1N}{5.247g} = 2.138 \frac{mgKOH}{g \text{ aceite}}$$

$$i_{promedio} = \frac{2.1066 + 2.138}{2} = 2.1223 \frac{mgKOH}{g \text{ aceite}}$$

$$\%Error = \frac{2 - 2.1223}{2} \times 100 = 6.11\%$$

Índice de saponificación

$$i = \frac{56.1(V_1 - V_2)N}{m}$$

Donde

$i$  es el índice de saponificación de la muestra, en mg/g

$V_1$  es el volumen de ácido clorhídrico usado en la titulación para la muestra en blanco, en ml

$V_2$  es el volumen de ácido clorhídrico usado en la titulación para la muestra de aceite, en ml

$M$  es la masa de la muestra en g

$N$  normalización de la solución de ácido clorhídrico.

$$i = \frac{56.1(21 - 20)0.5N}{1.5g \text{ aceite}} = 0.0187 \frac{mgKOH}{g \text{ aceite}}$$

#### **D. Cálculo de la cantidad de materia prima disponible**

Datos:

Cantidad de naranjas producidas: 150000 TM

Diámetro naranja: 8cm

Peso cáscara/naranja=13g

Para calcular el volumen de una naranja recurrimos a la fórmula del cálculo del volumen de una esfera:

$$V_{naranja} = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi(4cm^3) = 268.08cm^3 \rightarrow 0.000268TM$$

Teniendo una producción anual de 1500000, tendríamos un número de naranjas totales de:

$$\begin{aligned} \#naranjas &= 150000TM \times \frac{1 \text{ naranja}}{0.000268TM} = 559529096.8 \\ &= 559529097 \text{ naranjas} \end{aligned}$$

Asumiendo que sólo se tenga acceso al 20% de las naranjas y que el promedio de cáscaras que hay en una naranja es de 13g, tendríamos una cantidad de materia prima de:

$$\begin{aligned} \text{materia prima} &= (559529097 \text{ naranjas} * 0.2) \times \frac{13g \text{ cáscara}}{1 \text{ naranja}} \times \frac{1ton}{10^6g} \\ &= 7154.27ton \text{ cáscara} \end{aligned}$$

Para saber la cantidad de aceite esencial de naranja que puede ser producido de esta cantidad de materia prima:

$$\%Rendimiento = \frac{\text{Volumen aceite esencial}(ml)}{\text{peso cáscara de naranja}(g)} \times 100$$

El rendimiento obtenido experimentalmente:

5.7% → éter etílico

12.67% → alcohol potable

Por lo tanto, usando éter etílico como solvente extraente:

$$\begin{aligned} \text{Volumen aceite esencial} &= \frac{5.7 * 7154.27 \text{ton cáscara}}{100} \times \frac{10^6 \text{g}}{1 \text{ton}} \times \frac{1 \text{TM}}{10^6 \text{ml}} \\ &= 81,55 \text{TMde aceite esencial} \end{aligned}$$

Usando alcohol potable como solvente extraente:

$$\begin{aligned} \text{Volumen aceite esencial} &= \frac{12.67 * 7154.27 \text{ton cáscara}}{100} \times \frac{10^6 \text{g}}{1 \text{ton}} \times \frac{1 \text{TM}}{10^6 \text{ml}} \\ &= 181.29 \text{TMde aceite esencial} \end{aligned}$$