



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y  
NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**Determinación de la composición química del aceite  
esencial de *Annona muricata***

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**Autora:** Armijos Ortiz, Adriana Lizbeth

**Director:** Valarezo Valdez, Benito Eduardo

LOJA

2022



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2022

## **Aprobación del director del Trabajo de Titulación**

Loja, 18 de abril de 2022

Magister

Natali Elizabeth Solano Cueva

**Directora de carrera**

Ciudad. -

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: Determinación de la composición química del aceite esencial de *Annona muricata*, realizado por Adriana Lizbeth Armijos Ortiz ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

---

Ph.D. Benito Eduardo Valarezo Valdez

C.I.: 1103906473

Correo electrónico: bevalarezo@utpl.edu.ec

### **Declaración de autoría y cesión de derechos**

Yo, Adriana Lizbeth Armijos Ortiz, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autora del Trabajo de Titulación denominado: Determinación de la composición química del aceite esencial de *Annona muricata*, de la carrera de Ingeniería Química, específicamente de los contenidos comprendidos en: Introducción, Capítulo 1. Marco teórico, Capítulo 2. Metodología, Capítulo 3. Resultados, Conclusiones y Recomendaciones, siendo PhD. Benito Eduardo Valarezo Valdez, director del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad", en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para

su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Autor: Adriana Lizbeth Armijos Ortiz

C.I.: 1106090416

Correo electrónico: [alarmijos7@utpl.edu.ec](mailto:alarmijos7@utpl.edu.ec)

## Dedicatoria

El presente trabajo de titulación lo dedicó principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Eduardo y Tatiana quienes con su amor, paciencia y esfuerzo que me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades.

A mis hermanos por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mi pareja, Jefferson, tu ayuda a sido fundamental, has estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos. Por tu motivación y ayuda hasta donde tus alcances lo permitieron.

¡Gracias a todos ustedes!

*Adriana Lizbeth Armijos Ortiz*

## **Agradecimiento**

Gracias a mis padres, hermanos y novio, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me han concedido. Sin su apoyo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo también es el suyo.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, por abrirme las puertas y permitirme formarme en tan prestigiosa institución, de manera profesional tanto como espiritual.

A mi director de trabajo de titulación por guiarme y brindarme además de su amistad, sus conocimientos para el desarrollo de este trabajo. A todos los docentes que han sido parte de mi formación como profesional.

A toda mi familia y a mis amigos más cercanos, que han estado desde el primer día de clases y me han permitido compartir momentos gratificantes a lo largo de estos años.

## Índice de contenido

<b>Carátula .....</b>	<b>I</b>
<b>Aprobación del director del Trabajo de Titulación.....</b>	<b>II</b>
<b>Declaración de autoría y cesión de derechos.....</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria .....</b>	<b>V</b>
<b>Agradecimiento.....</b>	<b>VI</b>
<b>Índice de Contenido .....</b>	<b>VII</b>
<b>Índice de Tablas.....</b>	<b>X</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>X</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>1</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>2</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo Uno .....</b>	<b>4</b>
<b>Marco Teórico .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Aceites esenciales .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1 Clasificación .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1.1 Según su composición.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1.2 Según su origen. ....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.1.3 Según su naturaleza química.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Métodos de extracción .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1 Destilación por arrastre de vapor.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Caracterización.....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1 Cromatografía de gases .....</b>	<b>7</b>

1.3.2	<i>Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas</i> .....	8
1.3.3	<i>Cromatografía de gases por ionización de la llama</i> .....	8
1.4	<b>Propiedades de los Aceites Esenciales</b> .....	9
1.4.1	<i>Usos y aplicaciones</i> .....	10
1.5	<b>Plantas medicinales</b> .....	11
1.5.1	<i>Flora Ecuatoriana</i> .....	11
1.5.2	<i>Flora aromática del Ecuador</i> .....	12
1.6	<b>La Familia Annonaceae</b> .....	13
1.6.1	<i>Annona muricata</i> .....	13
	<b>Capitulo Dos</b> .....	15
	<b>Materiales y Métodos</b> .....	15
2.1	<b>Metodología</b> .....	15
2.1.1	<i>Recolección de la materia vegetal</i> .....	15
2.1.2	<i>Tratamiento postcosecha del material vegetal</i> .....	16
2.1.3	<i>Extracción del aceite esencial</i> .....	16
2.1.4	<i>Determinación del rendimiento</i> .....	18
2.1.5	<i>Determinación de la composición química del aceite esencial</i> .....	18
2.1.6	<i>Cromatografía de gases (GC)</i> .....	18
2.1.7	<i>Preparación de la muestra</i> .....	19
2.1.7.1	<b>Corrida cromatografía en la columna DB-5MS acoplada a espectrometría de masas.</b> .....	20
2.1.7.2	<b>Corrida cromatográfica en la columna HP-INNOWAX acoplada a espectrometría de masas</b> .....	21

<b>2.1.7.3</b>	<b>Corrida cromatográfica en la columna DB-5MS acoplada al detector de ionización de la llama (FID).....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.7.4</b>	<b>Corrida cromatográfica en la columna HP-INNOWAX acoplada al detector de ionización en la llama (FID). ....</b>	<b>23</b>
<b>2.1.8</b>	<b>Identificación de los compuestos químicos del aceite esencial de <i>Annona Muricata</i>.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.8.1</b>	<b>Cuantificación de los compuestos identificados mediante cromatografía de gases acoplada al detector de ionización de llama (FID), en ambas columnas polar y no polar.....</b>	<b>26</b>
	<b>Capitulo Tres.....</b>	<b>27</b>
	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1</b>	<b>Recolección de la materia vegetal.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2</b>	<b>Rendimiento del aceite esencial .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Composición Química del aceite esencial <i>Annona muricata</i> .....</b>	<b>28</b>
<b>1.3.1</b>	<b>Análisis cuantitativo y cualitativo.....</b>	<b>28</b>
<b>3.4</b>	<b>Análisis enantiomérico del aceite esencial .....</b>	<b>38</b>
	<b>Conclusiones .....</b>	<b>40</b>
	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>41</b>
	<b>Referencias .....</b>	<b>42</b>
	<b>Apéndice.....</b>	<b>44</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<b><i>Muestra recolectada (Kilogramos)</i></b>	<b>26</b>
<b>Tabla 2</b>	<b><i>Cálculo del Rendimiento de la extracción</i></b>	<b>26</b>
<b>Tabla 3</b>	<b><i>Composición química del aceite esencial de <i>Annona muricata</i></i></b>	<b>30</b>
<b>Tabla 4</b>	<b><i>Compuestos mayoritarios obtenidos en GC-FID con Columna DB5-MS y columna HP INNOWAX</i></b>	<b>35</b>
<b>Tabla 5</b>	<b><i>Enantiómeros del aceite esencial de <i>Annona muricata</i></i></b>	<b>37</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	<b><i>Diagrama de Equipo de Destilación por Arrastre de Vapor</i></b>	<b>7</b>
<b>Figura 2</b>	<b><i>Detector por Ionización de la Llama (FID)</i></b>	<b>10</b>
<b>Figura 3</b>	<b><i><i>Annona muricata</i> o Guanábana</i></b>	<b>14</b>
<b>Figura 4</b>	<b><i>Esquema de la metodología de la investigación</i></b>	<b>15</b>
<b>Figura 5 y 6</b>	<b><i>Recolección de la especie <i>Annona muricata</i></i></b>	<b>16</b>
<b>Figura 7</b>	<b><i>Destilación por arrastre de vapor</i></b>	<b>18</b>
<b>Figura 8</b>	<b><i>Cromatógrafo de Gases Empleado en Análisis de Muestra</i></b>	<b>19</b>
<b>Figura 9</b>	<b><i>Disoluciones de <i>Annona muricata</i></i></b>	<b>20</b>
<b>Figura 10</b>	<b><i>Condiciones para Operar la Corrida Cromatográfica con Columna DB-5MS en GC-MS</i></b>	<b>20</b>

<b>Figura 11 Condiciones de operación de la corrida cromatográfica con Columna polar HP-INNOWAX acoplada a espectrometría de masas .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 12 Condiciones para Operar la corrida Cromatográfica en Columna DB-5MS en GC-FID .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 13 Condiciones para Operar la corrida Cromatográfica en Columna HP-INNOWAX acoplada al detector de ionización en la llama (FID) .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 14 Cromatograma de la columna DB-5MS del aceite esencial Annona muricata.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 15 Cromatograma de la columna HP INNOWA .....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 16 Compuestos mayoritarios del aceite esencial en la columna DB5-MS.....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 17 Compuestos mayoritarios del aceite esencial en la columna HP INNOWAX.....</b>	<b>33</b>

## Resumen

El presente estudio se determinó la composición química del aceite esencial de *Annona muricata*. La recolección del material vegetal para la extracción del aceite esencial se localizó en la parroquia Malacatos del cantón Loja. El rendimiento del aceite esencial fue de 0.05 mL/kg. Para la extracción del aceite esencial se utilizó el método de destilación por arrastre de vapor. La composición química fue determinada mediante cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS) y el detector de ionización de llama (GC-FID). Se identificaron 37 compuestos que corresponden a un 96,48% del aceite esencial. Los compuestos que se encontraron con mayor proporción fueron: trans-Cariofileno (50,55%),  $\alpha$ -Pinene (7,59), Elemene  $\langle\delta\rangle$  (4,31%),  $\beta$ -Pineno (2,84%), Germacrene D (2,61%), Humulene  $\langle a\rangle$  (2,21%),  $\alpha$ -Selineno (2,08%), Phellandrene  $\langle\beta\rangle$  (1,81%). También, se determinó el exceso enantiomérico y distribución de 5 pares de enantiómeros dando como resultado:  $\beta$ -pinene,  $\alpha$ -Pinene, Limonene, muurolene y  $\delta$ -cadinene.

**Palabras claves:** *Annona muricata*, aceite esencial, composición química, destilación por arrastre de vapor, enantiómeros.

### Abstract

The present study determined the chemical composition of the essential oil *Annona muricata*. The collection of the plant material for the extraction of the essential oil was located in the Malacatos parish of the Loja canton. The yield of the essential oil was 0.05 ml/kg. For the extraction of the essential oil, the steam distillation method was used. The chemical composition was determined by gas chromatography coupled to a mass spectrometer (GC-MS) and flame ionization detector (GC-FID). Thirty-seven compounds were identified, corresponding to 96.48% of the essential oil. The compounds found with the highest proportion were: trans-Caryophyllene (50.55%),  $\alpha$ -Pinene (7.59%), Elemene < $\delta$ -> (4.31%),  $\beta$ -Pinene (2.84%), Germacrene D (2.61%), Humulene <a-> (2.21%),  $\alpha$ -Selinene (2.08%), Phellandrene < $\beta$ -> (1.81%).

Also, the enantiomeric excess and distribution of 5 pairs of enantiomers were determined resulting in:  $\beta$ -pinene,  $\alpha$ -Pinene, Limonene, muurolene and  $\delta$ -cadinene.

**Keywords:** *Annona muricata*, essential oil, chemical composition, steam distillation, enantiomers.

## Introducción

En la actualidad existen una gran variedad de plantas medicinales que crecen y son recolectadas en Ecuador, las mismas contienen metabolitos que presentan actividad biológica, además a la mayoría de las plantas que crecen en nuestro país, no se les ha realizado un estudio profundo para conocer las grandes propiedades curativas que poseen, algunas de estas plantas son consumidas por las personas, sin embargo existen otras que lastimosamente no son consumidas por no ser reconocidas por la población (Azüero, 2015).

Las propiedades antibacteriales y antimicóticas de algunos aceites esenciales actúan en forma de mecanismo de defensa contra patógenos de la planta, e incluso ahuyentan insectos o animales destructores. Presentan una gran variedad de aplicaciones: desde agentes saborizantes a esencias de productos cosméticos (Sánchez Llambí, 2016).

El objetivo general es desarrollar el estudio de aceites esenciales provenientes de especies vegetales, y determinar los componentes químicos del aceite esencial de *Annona Muricata*, el mismo que inició con la recolección del material vegetal, al cual luego de un tratamiento post cosecha se le extrajo el aceite esencial mediante destilación por arrastre con vapor, posterior al aceite obtenido se le determinó la composición química mediante la técnica de cromatografía de gases acoplada a Espectrometría de masas CG/MS y un detector de Ionización de llama CG/FID.

Esta investigación contribuye al estudio de la flora aromática y medicinal de la Región Sur del Ecuador. Con este estudio se expande el conocimiento sobre la existencia de los aceites esenciales, sus propiedades y usos para aplicaciones en las diferentes industrias tales como: Farmacéutica, Cosmética y Alimenticia.

Se desarrolla en tres capítulos, el primer capítulo titulado Marco Teórico trata sobre el estado del arte, el segundo capítulo presenta las técnicas y los materiales utilizados para llevar a cabo la investigación, finalmente en el tercer y último capítulo se analizan y discuten los resultados.

## Capítulo Uno

### Marco Teórico

#### 1.1 Aceites esenciales

Los aceites esenciales son compuestos aromáticos volátiles y altamente concentrados destilados de la corteza, raíces, semillas, flores u hojas de las plantas.

Se obtienen mediante la extracción de agua o vapor de las hojas, pétalos, madera, agujas, brotes o raíces de la planta aromáticas. Aunque muchos aceites esenciales son agua destilada (Wilson, 2018).

Muchos aromaterapeutas y legos consideran que los aceites esenciales naturales son completamente seguros. Esto se basa en la creencia errónea de que todas las plantas son seguras porque son naturales. Además, la toxicidad de los aceites esenciales puede ser completamente distinta a la de la planta, no solo por su mayor concentración, sino también por sus propiedades fisicoquímicas.

Los aceites esenciales, como productos de destilación, son mezclas de sustancias químicas que en su mayoría tienen un bajo peso molecular lo que, en combinación con su lipofilicidad, les permite atravesar las membranas de una manera muy eficiente (aemps, 2018).

##### 1.1.1 Clasificación

Los aceites esenciales generalmente se encuentran en tallos, hojas, raíces, semillas, flores y fruto (Wilson, 2018). Los aceites esenciales se clasifican con base en diferentes criterios: consistencia, origen y naturaleza química de los componentes mayoritarios. (Martínez, 2003).

###### 1.1.1.1 Según su composición.

**Esencias Fluidas**, estas son muy volátiles manejadas a temperatura ambiente.

**Bálsamos**, más consistentes, menos volátiles y con facilidad a reaccionar entre sí en procesos de polimerización. Y por último las

**Oleorresinas**, de aroma muy concentrado y textura viscosa e incluso en algunos casos semisólida.

#### **1.1.1.2 Según su origen.**

**Aceites Esenciales Naturales**, estos evidentemente se obtienen directamente de la planta y además no sufren modificación posterior de ningún tipo, ni físico ni químico, lógicamente son los mejores, pero también los más caros.

**Aceites Esenciales Artificiales**, o reconstituidos, estos se producen enriqueciendo el propio Aceite Esencial con uno o algunos de sus componentes principales, y en ocasiones de plantas diferentes, está compuesto por numerosos componentes químicos naturales, que pueden compartirse entre varias plantas.

#### **1.1.1.3 Según su naturaleza química.**

**Compuestos alifáticos de bajo peso molecular**, alcanos, alcohol, cetonas, ésteres ácidos.

**Mono-terpenoides**, son los aceites esenciales ricos en enmono-terpenos.

**Sesquiterpenoides**, son los aceites esenciales ricos en sesquiterpenos.

**Fenilpropanoides**, son los aceites esenciales ricos en fenil-propano.

(Dufort, 2017).

## **1.2 Métodos de extracción**

Los aceites esenciales se pueden obtener por distintos métodos. El más frecuente es la extracción en corriente de vapor (destilación). Otros métodos aplicables en casos concretos son la expresión en frío del pericarpio de los cítricos, el denominado enflorado con grasas a temperatura ambiente para extraer algunos aromas florales delicados (jazmín, azahar, rosa) y la extracción con disolventes orgánicos a temperatura ambiente (Lopez, 2004).

### **1.2.1 Destilación por arrastre de vapor**

La destilación por arrastre de vapor de agua es el método más común para obtención de aceites esenciales. Se trata de un proceso de separación por el cual, mediante el uso de vapor de agua se vaporizan los componentes volátiles de la materia vegetal (Villaverde, 2018).

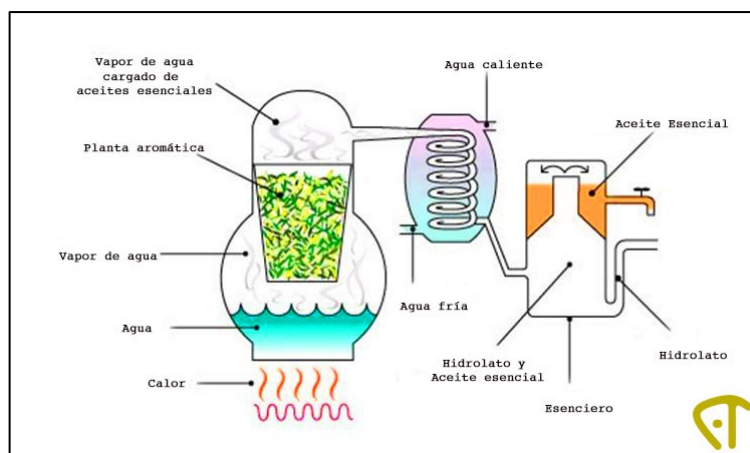
La destilación por arrastre con vapor es una técnica usada para separar sustancias orgánicas insolubles en agua y ligeramente volátiles, de otras no volátiles que se encuentran en la mezcla, como resinas o sales inorgánicas, u otros compuestos orgánicos no arrastrables.

El procedimiento consiste en hacer pasar un flujo de vapor a través de la materia prima, de modo que arrastra consigo los aceites esenciales. Posteriormente, estos vapores se enfrían y se condensan, dando lugar al destilado líquido formado por dos fases inmiscibles, la acuosa y la orgánica, que es el aceite esencial. Estas se pueden separar por decantación gracias a la diferencia de densidad existente entre ambas (Villaverde, 2018).

Se distinguen tres tipos de destilación: hidrodestilación o destilación con agua, destilación con agua y vapor y destilación en corrientes de vapor. Son iguales desde el punto de vista puramente teórico; sin embargo, existen ciertas variaciones en la práctica y en los resultados obtenidos, debido a algunas reacciones que ocurren durante la destilación. A continuación, la Figura 1, presenta el Proceso de destilación por arrastre de vapor.

**Figura 1**

*Diagrama de Equipo de Destilación por Arrastre de Vapor*



*Nota. Adoptado al diagrama de destilación (Martinez, 2019)*

### 1.3 Caracterización

Dentro de los análisis cromatográficos se encuentra la cromatografía de gases con detector de llama (GC-FID) el cual nos permite conocer la cantidad de compuestos que constituyen la parte volátil. Por otra parte, la cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS) se emplea para conocer e identificar los compuestos que conforman la muestra inyectada (Pino, 2015).

Existen varias formas de analizar el aceite esencial pero el tipo de análisis que más destaca es el cualitativo, perteneciente a los ensayos fisicoquímicos en donde se encuentran los análisis cromatográficos, ya que estos, son necesarios para conocer su composición o modificaciones que se han producido (Bandoni, 2003).

#### 1.3.1 Cromatografía de gases

La caracterización de los aceites esenciales como metabolito secundario vegetal tiene por objeto conocer su composición química además de evaluar el rendimiento de la extracción y la calidad del aceite esencial (características organolépticas, densidad e índice de refracción). Los aceites esenciales están constituidos por una mezcla de

diferentes sustancias orgánicas siendo estos: hidrocarburos alicíclicos y aromáticos, sus derivados oxigenados alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, sustancias azufradas y nitrogenadas (Abalco, 2020).

La cromatografía de gases (GC) es una de las técnicas más aplicadas y aceptadas para la determinación de compuestos orgánicos de volatilidad alta o media en mezclas complejas por su elevada capacidad de resolución. Sin embargo, a medida que aumenta la complejidad de las muestras y disminuye el nivel de concentración de los analitos, la posibilidad de coalición aumenta y la necesidad de aumentar la selectividad y sensibilidad del proceso de separación- detección también se incrementa (Arnanz, 2019).

### **1.3.2 Cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas**

La cromatografía de gases-masas es una técnica que combina la capacidad de separación que presenta la cromatografía de gases con la sensibilidad y capacidad selectiva del detector de masas. Esta combinación permite analizar y cuantificar compuestos trazas en mezclas complejas con un alto grado de efectividad. Esta técnica está indicada para la separación de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles. Hidrocarburos Poliaromáticos (PAHs), Pesticidas clorados y VOCs son separados de forma adecuada mediante esta técnica (Villa, 2017).

### **1.3.3 Cromatografía de gases por ionización de la llama**

El detector de ionización de llama (FID) es el detector más extensamente utilizado, y por lo general, uno de los más aplicables en cromatografía de gases. En un quemador el efluente de la columna se mezcla con H<sub>2</sub> y aire para luego encenderse eléctricamente. La mayoría de los compuestos orgánicos, cuando se pirolizan a la temperatura de una llama de H<sub>2</sub>/aire, producen iones y electrones que pueden conducir la electricidad a través de la llama.

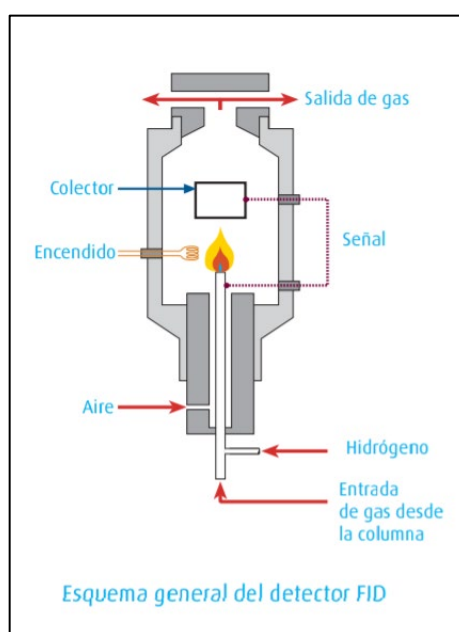
La ionización de la llama de compuestos que contienen carbono no es un

proceso bien establecido, aunque se observa que el número de iones que se producen es relativamente proporcional al número de átomos de carbono reducidos en la llama.

El detector de ionización de llama responde al número de átomos de carbono que entra en el detector por unidad de tiempo, por ello, es más un detector sensible a la masa, que un sistema sensible a la concentración (Linde, 2007). En la Figura 2 se observa el proceso de ionización de la llama.

**Figura 2**

*Detector por Ionización de la Llama (FID).*



*Nota.* Adoptado de (Linde, 2007).

#### 1.4 Propiedades de los Aceites Esenciales

Los aceites esenciales tienen numerosas propiedades medicinales que les son comunes. Son eficaces frente a numerosos gérmenes y virus distintos, así como frente a los hongos. Cada aceite esencial tiene su propia propiedad terapéutica específica, para determinarla, es preciso seguir los consejos de la ficha técnica del fabricante o leer bibliografía muy especializada, preferentemente redactada por médicos o farmacéuticos (Pino, 2015).

Las propiedades de los aceites esenciales son muy variables debido a la

heterogeneidad de sus componentes, desde el punto de vista farmacológico. Algunas de las moléculas presentes en los aceites esenciales de ciertas plantas poseen gran interés terapéutico, lo que ha dado origen a la aromaterapia. Estas acciones, por sus efectos sobre la piel, han encontrado también su aplicación en cosmética (Lopez, 2004).

#### **1.4.1 Usos y aplicaciones**

Los aceites esenciales suelen tener aplicaciones en diferentes rubros de la industria y la ciencia, tales como:

**Industria cosmética, de perfumería, del jabón y de los ambientadores:** Los aceites esenciales son utilizados para dar olor a los perfumes o para fijar los olores.

**Industria alimenticia:** La conservación de algunos alimentos, principalmente cárnicos, se facilita con la ayuda de aceites esenciales.

**Botánica:** La presencia de aceites esenciales permite clasificar plantas, árboles y flores por familias.

**Medicina:** Algunos aceites esenciales, como el de lavanda, se utilizan en el tratamiento de heridas y quemaduras.

#### **Aromaterapia**

**Productos de uso veterinario:** Alimento para animales, aerosoles y desodorantes, medicamentos y preparaciones antiparásitos (QuimiNet, 2012).

Además, los Aceites Esenciales se usan en la elaboración de adhesivos, pastas, colas, vendajes quirúrgicos, artículos quirúrgicos, guantes, compuestos a prueba de agua, artículos de goma para uso general, papelería especial, tintas, materiales de envoltura, materiales de embalaje, cintas adhesivas y utensilios de cocina.

En la industria de pulimentos, limpiadores, pinturas, quemadores; en la del petróleo en solventes de la nafta, aceites lubricantes, destilados especiales del petróleo y ceras. En la elaboración de polímeros, pinturas (caseras y diluidas) y barnices. En la industria del cuero, materiales de tapicería, preparaciones de tintes y pigmentos en la industria textil (Gildardo, 2010).

## **1.5 Plantas medicinales**

El Ecuador es considerado uno de los países más megadiversos de vida silvestre del mundo; sin embargo, sus recursos naturales se ven amenazados por la explotación indiscriminada que los seres humanos realizamos en ella. Además, el aumento de la población genera una importante ampliación de la zona urbana y de la frontera agrícola, ya que se requieren más alimentos para mantener esta población, teniendo como consecuencias la destrucción de los ecosistemas como el páramo, bosques nativos tropicales y andinos (Henry, 2019).

Se pueden encontrar gran variedad de plantas con usos medicinales que se expenden en mercados de Costa, Sierra y Amazonia (Azüero, 2015).

Las plantas medicinales, son aquellos vegetales que elaboran unos productos llamados principios activos, que son sustancias que ejercen una acción farmacológica, beneficiosa o perjudicial, sobre el organismo vivo. La medicina tradicional se utiliza globalmente y tiene una importancia económica que está creciendo rápidamente. En los países en vías de desarrollo la medicina tradicional a menudo es el único modo de tratamiento accesible y económicamente factible (Henry, 2019).

### **1.5.1 Flora Ecuatoriana**

En la actualidad, la diversidad de plantas ecuatorianas es amplia; se estima que existen 20 000 especies, incluyendo helechos y planta con semillas. De acuerdo con el Catálogo de Plantas Vasculares del Ecuador (1999), preparado por más de 200 científicos, hasta el momento se han descrito 15 306 especies de plantas, las cuales se encuentran depositados en los herbarios de todo el mundo. La diversidad en el Ecuador resulta extremadamente alta cuando la comparamos con la de otros países (Azüero, 2015).

Ecuador posee alrededor del 10% de todas las especies de plantas que hay en el planeta. De este porcentaje, la mayor cantidad crece en la cordillera de los Andes, en la zona noroccidental, donde se calcula que hay aproximadamente 10 mil especies. En la

región amazónica existe también un alto número de especies vegetales, alrededor de 8.200, por ejemplo, de las orquídeas se han identificado 2.725 especies. En las Galápagos, en cambio, hay cerca de 600 especies nativas y otras 250 introducidas por el hombre, aproximadamente. De las doce zonas claves de biodiversidad identificadas por el naturalista Norman Myers, tres se encuentran en el Ecuador continental. La diversidad climática ha dado lugar a más de 25 mil especies de árboles.

La rica vegetación ofrece ejemplares de gran utilidad como la chinchona, balsa, alcanfor, ceiba, tagua o marfil vegetal, productores de caucho, canela, vainilla, zarzaparrilla, verbasco e ipecacuana, y árboles productores de madera, como el cedro y el nogal (Aguirre, y otros, 2013).

### **1.5.2 *Flora aromática del Ecuador***

En la actualidad, las hierbas aromáticas, su uso y la exportación es un tema de actualidad en el Ecuador, aunque el tema no es nuevo, hay muchas razones para este auge, actuales sistemas de atención de salud, incluida la medicina moderna y sus terapias que se basan en plantas y sus componentes, otro factor importante para este auge en las exportaciones es que la mayor parte de la población mundial depende de la medicina tradicional para cubrir sus necesidades diarias de salud, especialmente en los países en desarrollo.

Las plantas medicinales son un gran aliado para la salud humana, para contrarrestar un sin número de enfermedades. Ecuador es una zona rica en recursos naturales y de abundante producción de plantas aromáticas, lo que da la oportunidad de crear variedad de productos a base de plantas aromáticas, aprovechar los recursos naturales e impulsar la agroindustria. La tendencia mundial por el consumo de productos de origen natural ha sido la pauta para el inicio de este proyecto, dando como resultado una excelente bebida aromática, caliente y endulzada. El producto es de preparación instantánea, cien por ciento de origen natural, de exquisito sabor y aroma, y totalmente innovador; representa una potencial alternativa para el consumidor de bebidas calientes,

naturales y saludables (Vargas Corrales, 2013).

El consumo de hierbas aromáticas en el Ecuador es tradicional y generalizado, es una costumbre que llega de los indígenas, que tuvieron una noción amplia del uso y las propiedades de las plantas nativas e hicieron de ello una aplicación adecuada para la prevención y el tratamiento de varias enfermedades que afectan al hombre (Balladeras, 2015).

Las plantas aromáticas constituyen cultivos que están al alcance de pequeños productores agrícolas en el Ecuador, pues solo con la utilización de materiales y semillas disponibles en las propiedades de los campesinos y la utilización de la mano de obra que se dispone, sea de mujeres, jóvenes y hombres sin necesidad de tecnificación se pueden llevar a cabo, tanto para la producción como para el procesamiento (Balladeras, 2015).

## 1.6 La Familia Annonaceae

La familia Annonaceae abarca a un grupo de plantas que producen frutos de sabor exquisito, además, de su importancia económica en algunas regiones del mundo. Está compuesta principalmente por plantas tropicales, siendo muchas de ellas nativas de Ecuador, Perú y Brasil.

Comprende cerca de 2 500 especies agrupadas taxonómicamente entre 130 y 140 géneros. Es la familia más amplia dentro del suborden Magnoliales, el más primitivo de las angiospermas. Las plantas pertenecientes a esta familia están distribuidas a través de áreas subtropicales y tropicales; en América 900 especies (González, 2013).

Annonaceae contribuye a la diversidad de árboles en los bosques neotropicales y con lianas y árboles a los bosques lluviosos del Viejo Mundo, sus estrategias fenológicas permiten a su vez dar cabida a otras especies que sincrónicamente conviven con ellas.

### 1.6.1 *Annona muricata*

*Annona muricata* es más conocida como guanábana. El fruto de la planta se denomina guanábano. Graviola es uno de los nombres populares. Pero hay muchos

otros, entre ellos: catuche, catoche, masasamba, corosol, chachiman, «huana huana», «chirimoya brasileña», cohosol, araticú, zapote, penhe, «anona de México» y «anona de la India».

Guanábana (*Annona muricata* Linneo) es un árbol frutal originario de Perú, donde tiene gran envergadura, alcanzando alturas de hasta 8 o 10 metros. Este árbol frutal se ha aclimatado en numerosos países de clima subtropical (donde no se produzcas heladas), tales como Filipinas, norte de Australia, y otros. Las hojas son grandes, brillantes, de un intenso color verde, muy olorosas.

Los principios activos de estas plantas se denominan genéricamente acetogeninas. De hecho, las acetogeninas se hallan también en otras especies de la familia botánica Annoniaceae (annoniáceas).

Los usos médicos de la guanábana son tan numerosos como poco estudiados. En la cultura popular de las regiones donde crece este árbol, se prepara una infusión de las hojas para su aplicación como cataplasmas (emplastos) con el fin de aliviar la inflamación de los ganglios durante la parotiditis (paperas).

### **Figura 3**

*Annona muricata* o Guanábana



*Nota. Especie en estado natural*

## Capítulo Dos

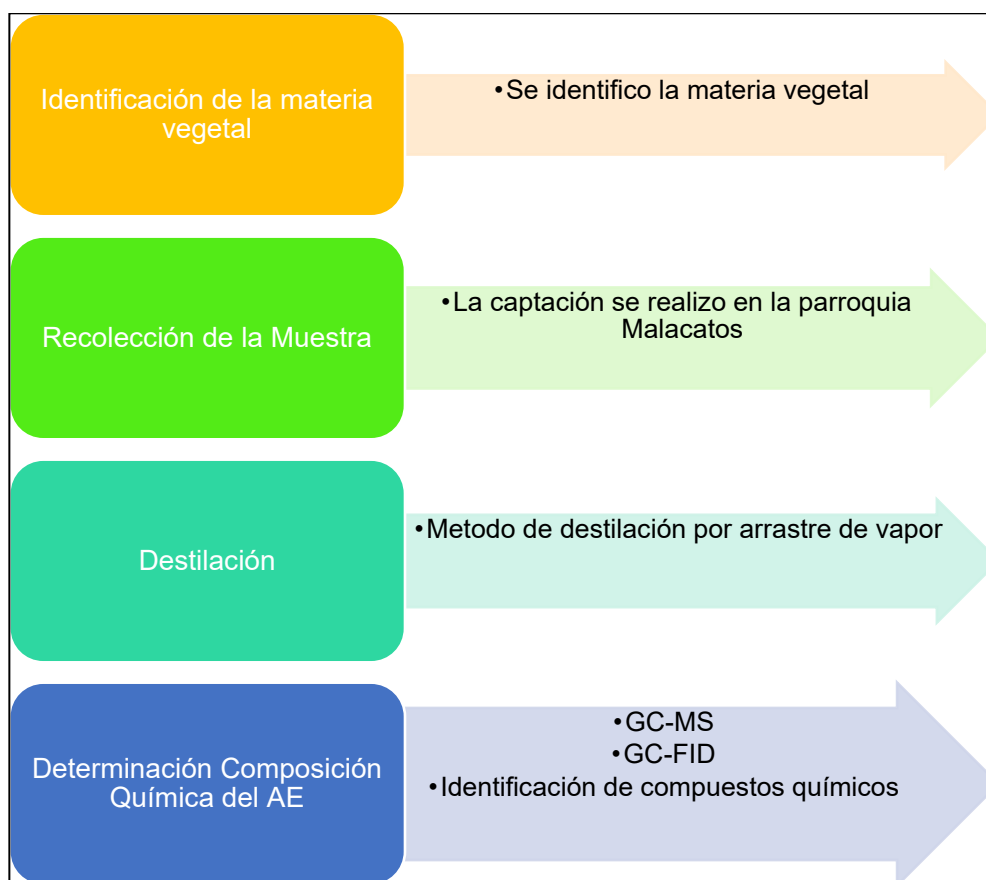
### Materiales y Métodos

#### 2.1 Metodología

El proceso metodológico aplicado en la presente investigación se encuentra descrito en la Figura 4.

**Figura 4**

*Esquema de la metodología de la investigación*



*Nota.* Se detalla el desarrollo del procedimiento del aceite esencial de *Annona muricata*.

##### 2.1.1 Recolección de la materia vegetal

La materia prima que se aplicó en esta investigación fue recolectada en el Sector *El Porvenir* ubicado a 24Km desde la ciudad de *Loja*, perteneciente a la parroquia *Malacatos*.

Para mayor facilidad la materia vegetal se transportó en bolsas de plástico color negro, se mantuvo en un lugar seco y aislado de la luz, posteriormente se procedió a separar y seleccionar la materia vegetal para proceder a destilar.

Se realizaron tres recolecciones del material vegetal, dos de las primeras recolecciones en estado de floración, y la tercera se encontró en estado de fructificación.

A continuación, la Figura 5 y 6 presenta el proceso de recolección.

### **Figura 5 y 6**

#### *Recolección de la especie *Annona muricata**



#### **2.1.2 Tratamiento postcosecha del material vegetal**

Este tratamiento de selección, se efectuó con la finalidad de eliminar las partes en mal estado, como ramas secas, en descomposición con el propósito de conservar las características físicas, organolépticas y farmacológicas del material.

Se utilizan las hojas adecuadas para lograr un adecuado contacto con el vapor generado durante la destilación para que se atravesase con mayor facilidad, y de esa manera no perturbe los resultados.

#### **2.1.3 Extracción del aceite esencial**

La materia vegetal una vez sometida al tratamiento postcosecha se encuentra lista para continuar con el proceso de obtención del aceite esencial por el método de destilación por arrastre con vapor, que tiene como finalidad separar los compuestos volátiles de los insolubles y otros no volátiles presentes en la muestra cómo se puede observar en la Figura 7.

### **Figura 7**

#### *Destilación por arrastre de vapor*



*Nota.* Proceso de obtención del aceite esencial de *Annona muricata*

La muestra fue obtenida por la destilación de arrastre de vapor en el laboratorio de la Sección de Ingeniería de Procesos del Departamento de Química y Ciencias Exactas de la Universidad Técnica de Loja. En donde se obtuvieron 3 muestras mediante 3 destilaciones.

Primeramente, se procedió a llenar el destilador con agua en la parte inferior, posteriormente se añadió el material vegetal sobre la rejilla dentro del destilador, para luego cerrar el destilador y colocar las mangueras de entrada y salida del agua de enfriamiento, el procedimiento se llevó a cabo por un lapso de tres horas. Al finalizar la destilación se recolectó el aceite esencial en un florentino en el cual se produce la

separación del agua-aceite, posteriormente se dispone el volumen de aceite en una probeta.

Finalmente, el aceite es envasado en un frasco color ámbar, que le permite conservarse en buen estado, evitando la degradación por el efecto de la luz.

Este aceite luego para su conservación se mantiene en refrigeración.

#### **2.1.4 Determinación del rendimiento**

El rendimiento del aceite esencial depende de varios factores y condiciones de la materia vegetal, una vez realizadas las tres destilaciones se procede a determinar el rendimiento de cada muestra, relacionando el volumen obtenido como se puede mostrar en la figura 7 empleada en la destilación, los cálculos de rendimiento se presentan en el Apéndice I.

#### **2.1.5 Determinación de la composición química del aceite esencial**

El aceite esencial de la especie de *Annona Muricata* es llevado a análisis al cromatógrafo de gases acoplado a espectroscopia de masas (GC-MS) para realizar el análisis cualitativo, y a un detector de ionización de llama (GC-FID) para análisis cuantitativo, para aplicar las corridas cromatografías se empleó una columna capilar de 30 metros, así como dos columnas una no-polar DB5-MS y otra polar HP-INNOWAX.

#### **2.1.6 Cromatografía de gases (GC)**

Para la identificación de los compuestos químicos del aceite esencial de *Annona Muricata* por Cromatografía de Gases acoplado a la Espectrometría de Masas (CG-EM) se desarrolló con la aplicación de un Cromatógrafo de Gases Agilent y la obtención de los espectros de cada compuesto individual. Y las inyecciones son realizadas en las columnas capilares DB5-MS y HP-INNOWAX.

El equipo empleado para hacer los respectivos análisis es un Cromatógrafo de Gases, acoplado a un espectrómetro de masas; en donde el equipo dispone de un sistema de datos “MSD-Chemstation D.01.00 SP1”, cuenta con un inyector automático Split/splitless y un detector de ionización de llama (FID) (ver Figura 8), provisto de un generador de hidrogeno Gas Generator.

**Figura 8**

*Cromatógrafo de Gases Empleado en Análisis de Muestra*



Nota. Equipo de cromatografía de gases Agilent serie 6890N  
acoplado a espectrómetro de masas

### **2.1.7 Preparación de la muestra**

Previo a ser colocada la muestra en el equipo de cromatografía, se verifica que la misma no contenga trazas de agua que se pudieron haber quedado al momento de ser puesta luego de la destilación en frascos ámbar previamente homogenizado, esto con la finalidad de evitar posibles daños del equipo al momento de realizar la inyección.

Las muestras son preparadas en viales debidamente etiquetados en referencia a la muestra que se toma, luego en cada uno de los viales se coloca 10  $\mu\text{L}$  de aceite esencial *Annona muricata*, y 990  $\mu\text{L}$  de diclorometano, dando una disolución al 1% (v/v). Seguidamente se realiza la inyección de hidrocarburos (Cdecano a C25-pentacosano), más conocidos con el nombre de TPH-6RPM de CHEM SERVICE, esto para la determinación de índices de retención e identificación de cada compuesto, los cuales son inyectados en las mismas condiciones que los viales con muestras del aceite esencial.

**Figura 9**

*Disoluciones de Annona muricata*



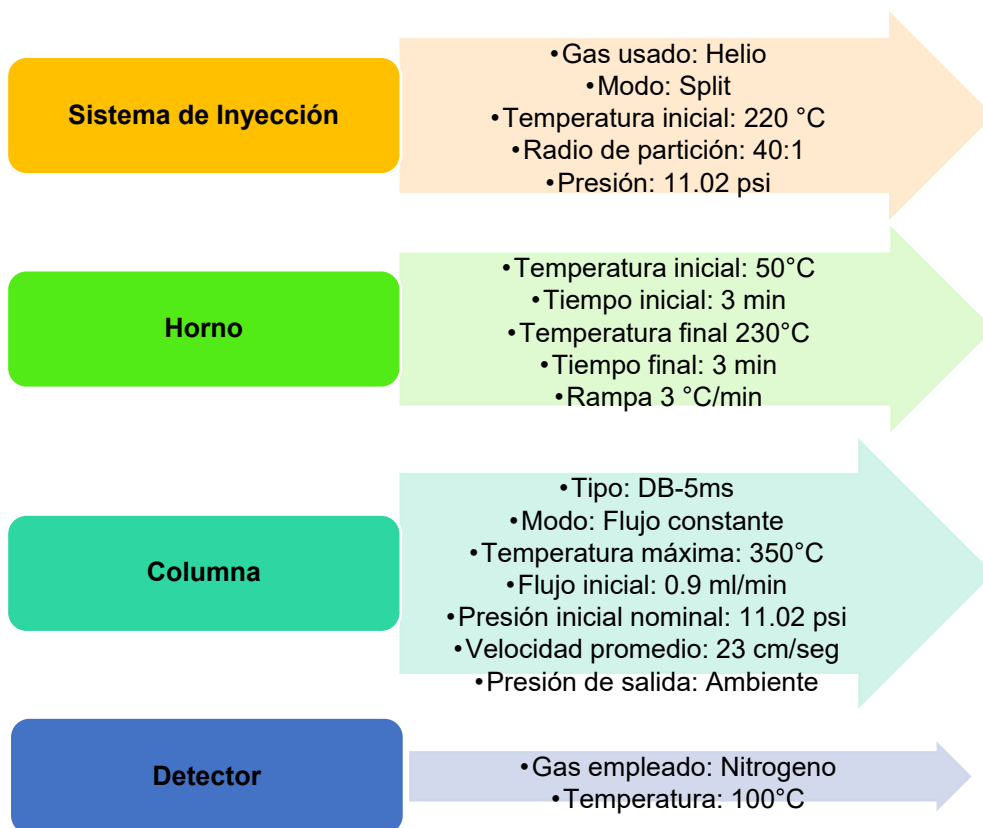
*Nota.* Preparación de la muestra para las respectivas inyecciones del AE de *Annona muricata*

**2.1.7.1 Corrida cromatografía en la columna DB-5MS acoplada a espectrometría de masas.** Para la inyección cromatográfica de las muestras del aceite esencial y los hidrocarburos se emplea una columna no polar DB5-MS.

Las condiciones empleadas en esta corrida cromatográfica se describen en la Figura 10.

**Figura 10**

*Condiciones para Operar la Corrida Cromatográfica con Columna DB-5MS en GC-MS*

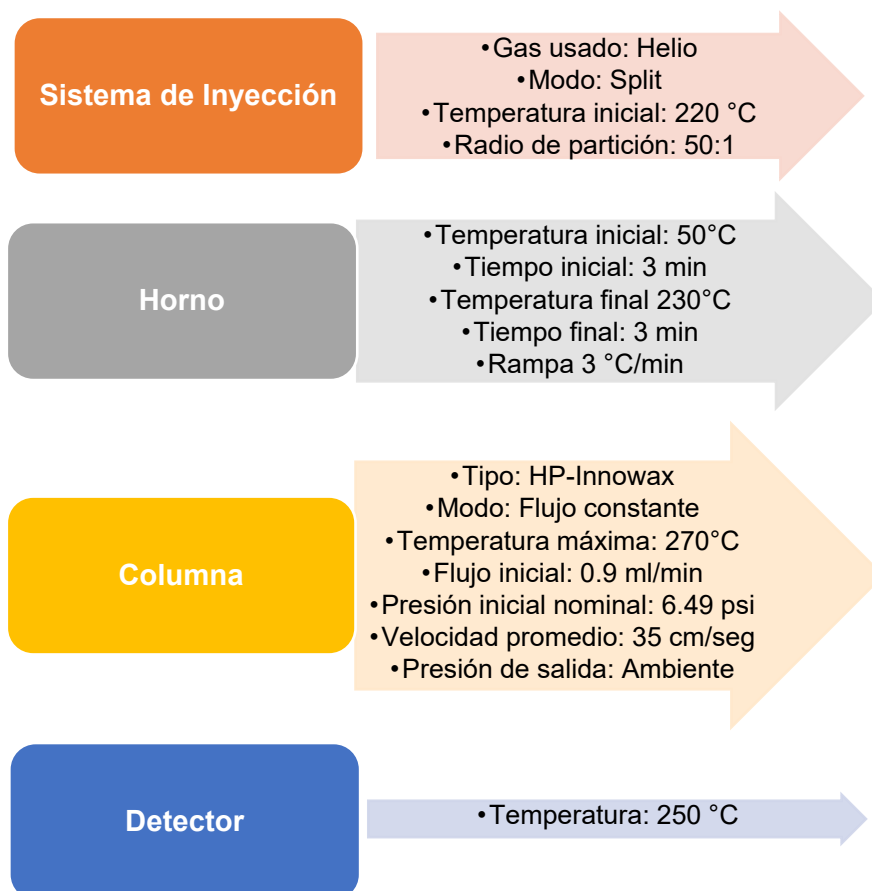


#### **2.1.7.2 Corrida cromatográfica en la columna HP-INNOWAX**

**acoplada a espectrometría de masas.** Para la inyección cromatográfica de las muestras del aceite esencial y los hidrocarburos se emplea una columna HP-INNOWAX.

Figura 11

Condiciones de operación de la corrida cromatográfica con Columna polar HP-INNOWAX acoplada a espectrometría de masas.

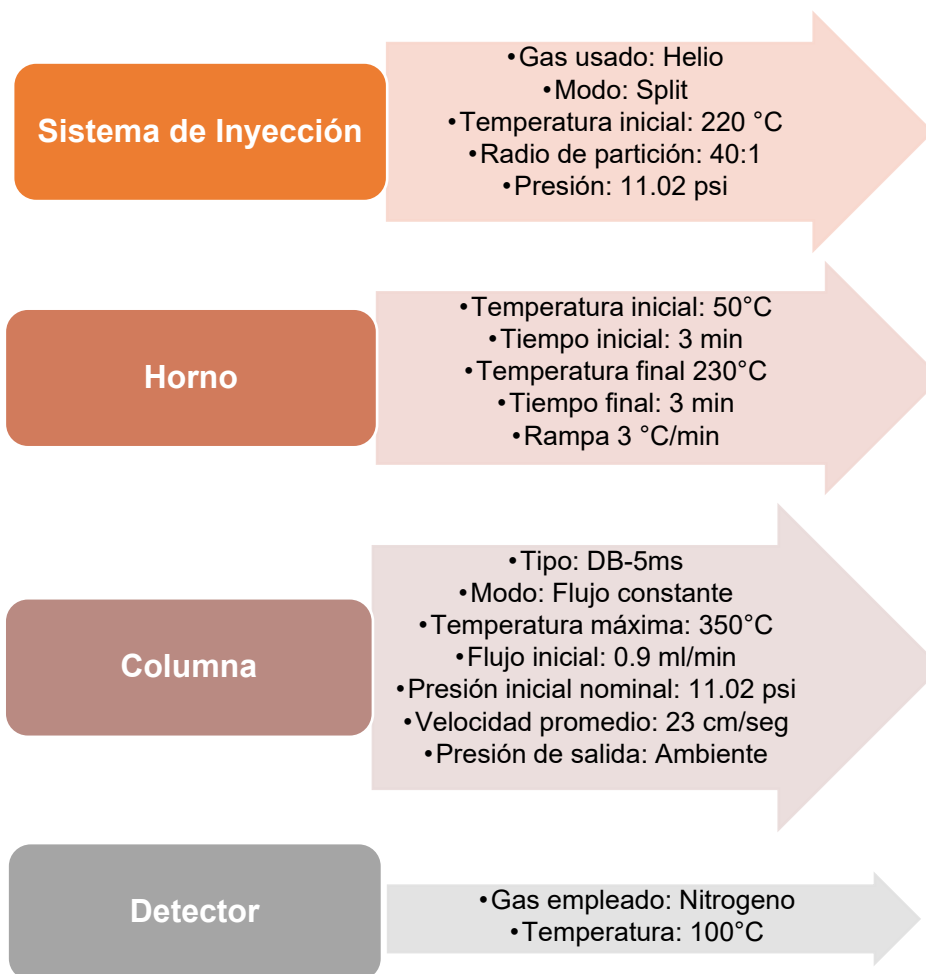


**2.1.7.3 Corrida cromatográfica en la columna DB-5MS acoplada al detector de ionización de la llama (FID).** Para la inyección cromatográfica se utilizó la columna DB-5MS, y se cambió las condiciones de operación las cuales se visualizan en la Figura 12.

Para ser inyectadas en el detector de ionización de la llama (FID), se utilizó un proceso ya mencionado en la Figura 11, al mismo que se adiciona la inyección de hidrocarburos TPH-6RPM de CHEM SERVICE que son utilizados como modelos para la corrida.

**Figura 12**

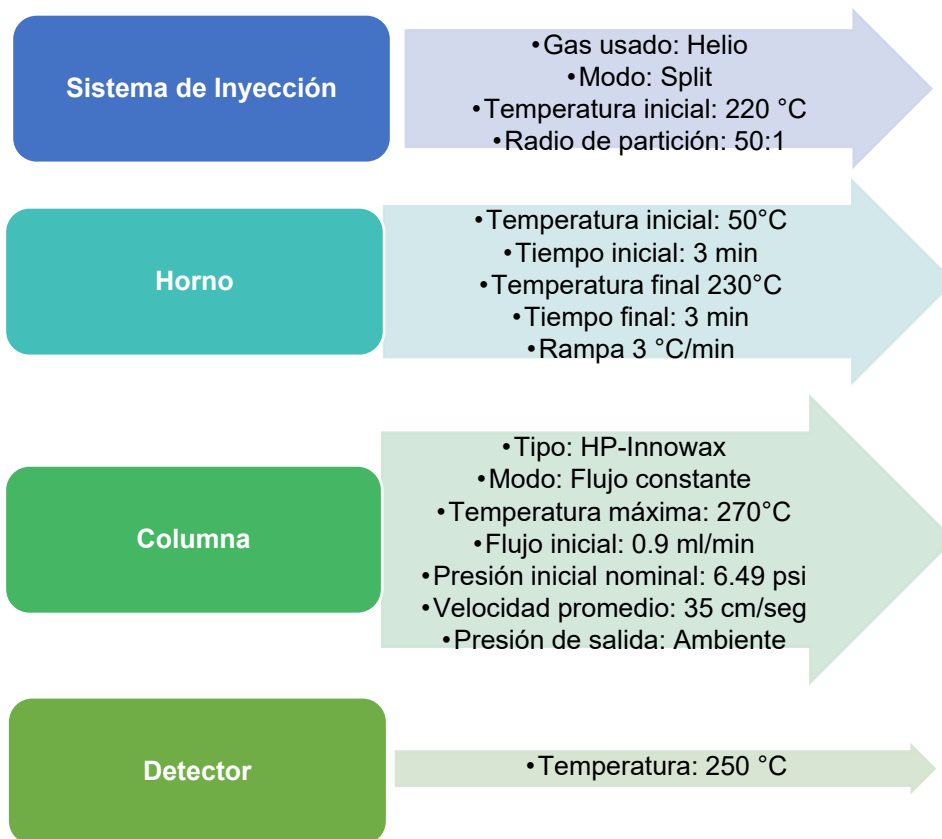
*Condiciones para Operar la corrida Cromatográfica en Columna DB-5MS en GC-FID*



**2.1.7.4 Corrida cromatográfica en la columna HP-INNOWAX acoplada al detector de ionización en la llama (FID).** La preparación de muestras se aplica el proceso indicado en la Figura 12 con la inyección de hidrocarburos, de tal manera se llevó a cabo en la columna polar. La descripción de tal proceso se visualizará posteriormente en la Figura 13.

**Figura 13**

*Condiciones para Operar la corrida Cromatográfica en Columna HP-INNOWAX acoplada al detector de ionización en la llama (FID).*



### **2.1.8 Identificación de los compuestos químicos del aceite esencial de *Annona Muricata***

El cromatograma es una representación gráfica donde se pueden visualizar los compuestos. Para eso se procede a integrar a los compuestos mediante un sistema de integración Chemstation integratorautoin1, obteniendo así los picos, que nos permite el análisis cuantitativo mediante la concentración del compuesto.

Después de obtener los cromatogramas se procede a calcular los índices de Retención (IR) de los picos integrados, los cuales se calculan por comparación de los tiempos de retención de los hidrocarburos (C10-C25) con relación al tiempo de retención de los componentes del aceite esencial aplicando la siguiente ecuación.

$$IR = 100n + 100 * \frac{t_{RX} - t_{Rn}}{t_{RN} - t_{Rn}}$$

**Dónde:**

**IR:** Índice de Retención de Kovats

**n:** Número de átomos de carbono en el n-alcano

**t<sub>RX</sub>:** Tiempo de retención del compuesto analizado, que eluye en el centro de n-alcanos

**t<sub>Rn</sub>:** Tiempo de retención n-alcano que eluye antes del compuesto analizado.

**t<sub>RN</sub>:** Tiempo de retención del n-alcano que eluye después del compuesto analizado.

La identificación de los compuestos se realiza a partir de los índices de Retención (IR) determinados experimentalmente en las corridas cromatográficas tanto en la columna polar como en la apolar, estos valores son debidamente comparados con los reportados por (Adams, 2007). La diferencia entre el IR calculado y el leído debe ser menor a 20 unidades. También se toma en cuenta parámetros como el número de CAS que presenta cada compuesto de tal modo que facilite la búsqueda y la identificación de los IR de los constituyentes químicos del aceite esencial.

**2.1.8.1 Cuantificación de los compuestos identificados mediante cromatografía de gases acoplada al detector de ionización de llama (FID), en ambas columnas polar y no polar.** Para la elución de los compuestos, se procede a la cuantificación de estos. Los datos de hidrocarburos obtenidos en masas y en FID son utilizados para calcular una ecuación de la recta con la cual se obtiene los tiempos de retención de cada compuesto.

Estos tiempos de retención calculados se comparan con los tiempos de retención detectados de cada muestra; los tiempos de retención se van ajustando a los compuestos encontrados en cada columna, polar y no polar.

## Capítulo Tres Resultados

### 3.1 Recolección de la materia vegetal

Se realizaron tres salidas de campo para recolectar la materia vegetal. En la siguiente Tabla 1 se observa la cantidad recolectada.

**Tabla 1**

*Muestra recolectada (Kilogramos)*

<b>Recolecciones</b>	<b>Kilogramos</b>
<b>1</b>	3,750
<b>2</b>	4,165
<b>3</b>	3,520

*Nota.* Para cada recolección se trató de tomar de 3 y 5 kg de muestra. **3.2**

### Rendimiento del aceite esencial

Los resultados de los rendimientos obtenidos del AE de *Annona muricata* se observa en la Tabla 2, donde se calculó el rendimiento, el promedio y la desviación estándar de los valores. Las muestras se etiquetaron de la siguiente manera AM1, AM2 y AM3.

**Tabla 2**

*Cálculo del Rendimiento de la extracción.*

<b>Muestras</b>	<b>Rendimiento calculado (%)</b>	$\bar{X}$	$\delta$
<b>AM1</b>	0,053	0,05	0,007
<b>AM2</b>	0,055		
<b>AM3</b>	0,042		

$\bar{X}$ : media aritmética

$\delta$ : desviación estándar

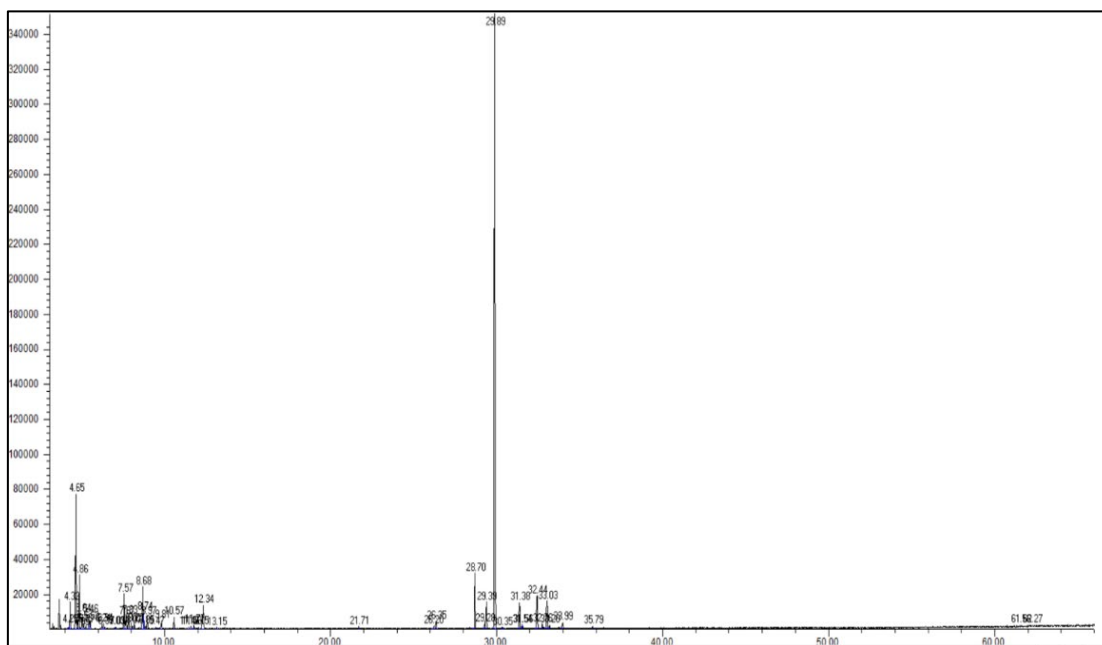
### 3.3 Composición Química del aceite esencial *Annona muricata*

#### 1.3.1 Análisis cuantitativo y cualitativo

La determinación de la composición química de *Annona muricata* se logró mediante la inyección en la columna DB-5MS (no polar), acoplado a la espectrometría de masas (GC-MS) y a un detector de ionización de la llama (GC-FID); el análisis de la muestra que arroja el cromatograma se observa en la Figura 14 y 15.

#### Figura 14

Cromatograma de la columna DB5-MS del aceite esencial *Annona muricata*



Nota. Resultados experimentales

**Figura 15**

*Cromatograma de la columna HP INNOWAX*



*Nota.* Resultados experimentales

En las figuras 14 y 15 expuestas anteriormente del cromatograma los picos que se observan indican los compuestos obtenidos del aceite esencial, en el eje de las abscisas presenta el índice de retención mientras que, el eje de las ordenadas representa la abundancia de la composición presente de *Annona muricata*, de tal manera que los compuestos mayoritarios que se observan en el perfil cromatográfico son aquellos que tienen una mayor altitud con relación a los demás.

En el análisis cualitativo de los componentes, es necesario utilizar los índices de retención calculados para que puedan ser comparados con aquellos que han sido obtenidos mediante la experimentación con la finalidad de que se pueda comparar cada uno de los espectros con la bibliografía del programa "MSD-Chemstation D.01.00.SP1" y del libro denominado "Identification of essential oil components by gas Chromatography/Mass spectrometry" (Adams, 2007).

En la tabla 3, se muestran los resultados de la columna DB5-MS y HP INNOWAX, también se detalla la composición química del aceite esencial de *Annona muricata*; los

mismos que están dispuestos de acuerdo con el orden de elución en la columna DB5-MS

Se resaltan también los IK calculados y los reportados en la literatura, el porcentaje promedio relativo para cada muestra, la media relativa y la desviación estándar de las tres muestras inyectadas en el GC.

Tabla 3

Composición química del aceite esencial de *Annona muricata* en la Columba DB5-MS y HP INNOWAX

DB-5MS									HP-INNOWAX						
Pico	Compuestos	IK Cal	IK Ref.	% de cantidad Relativa			Media	$\sigma$	IK Cal	IK Ref.	% de cantidad Relativa			Media	$\sigma$
				AM1	AM2	AM3					AM1	AM2	AM3		
1	$\beta$ -tricloroetano	853		1,44	1,98	1,65	1,69	0,27	1065	1058	0,44	0,98	0,65	0,69	0,27
2	Ácido isovalérico	855		0,33	0,36	0,38	0,35	0,02	1071	1078	0,23	1,26	0,28	0,59	0,58
3	$\alpha$ -gurjeneno	865		1,81	2,27	0,20	1,43	1,09	1523	1529	2,14	1,15	2,78	2,02	0,82
4	$\alpha$ -Pinene	867	862	6,95	8,51	7,32	7,59	0,81	1087	1082	4,42	4,37	4,41	4,40	0,03
5	$\beta$ -Pinene	873	877	2,98	3,73	1,81	2,84	0,97	1148	1150	2,69	2,67	2,71	2,69	0,02
6	Ethyl 4-pentenoate	877		0,77	0,97	3,07	1,60	1,28	1145	1149	0,08	0,09	0,09	0,09	0,00
7	Propilciclohexano	879		0,27	0,36	0,09	0,24	0,14	1250	1253	0,25	0,33	0,29	0,29	0,04
8	$\alpha$ -Terpinene	881		0,20	1,18	0,82	0,73	0,50	1157	1183	0,82	0,82	0,18	0,61	0,37
9	$\gamma$ -Terpinene	882		0,85	0,55	0,32	0,57	0,27	1209	1231	0,17	0,17	0,19	0,18	0,01
10	D-Limonene	889		0,43	0,06	0,98	0,49	0,46	1170	1203	1,47	1,46	1,49	1,47	0,02
11	Hexadienol	904		0,26	0,38	0,29	0,31	0,06	1689	1684	0,38	0,29	0,26	0,31	0,06
12	$\beta$ -Selineno	921		2,26	0,11	0,11	0,83	1,24	1740	1743	2,52	2,44	2,45	2,47	0,05
13	$\alpha$ -Selineno	931	936	0,89	2,95	2,41	2,08	1,07	1747	1744	3,09	3,01	3,02	3,04	0,05
14	m-Menthane	933		0,79	1,14	0,97	0,96	0,18	1792	1790	0,47	0,46	0,41	0,45	0,03
15	Ácido alilacético	936		0,47	1,05	0,86	0,79	0,29	1562	1557	0,45	0,39	1,47	0,77	0,61
16	Elemene	943		2,83	0,14	0,33	1,10	1,50	1675	1660	2,20	3,19	3,19	2,86	0,57
17	$\beta$ -copaeno	953		0,15	3,71	2,97	2,28	1,87	1732	1725	4,75	4,61	4,62	4,66	0,08
18	Estragole	954		0,79	1,29	1,19	1,09	0,27	1706	1701	1,69	1,67	1,69	1,69	0,01
19	Terpinen-4-ol	959		0,55	0,99	0,85	0,80	0,22	629	635	0,39	0,39	0,40	0,39	0,01
20	$\alpha$ -sabineno	975	975	0,11	0,20	0,47	0,26	0,19	1747	1744	2,42	2,42	2,45	2,43	0,02
21	Myrcene	991	990	0,19	0,34	0,53	0,35	0,17	1526	1534	0,15	0,15	0,14	0,15	0,01

22	Caryophyllene oxide	1022		0,10	0,18	0,19	0,16	0,05	1992	1999	0,38	0,37	0,31	0,36	0,04
23	β-Phellandrene	1028	1029	2,33	1,14	1,96	1,81	0,61	1123	1118	1,22	1,21	2,31	1,58	0,63
24	Ledol	1331		0,50	0,15	0,17	0,27	0,20	2016	2030	0,11	0,10	0,09	0,10	0,01
25	Elemene <d->	1334	1338	0,28	0,42	0,45	0,39	0,09	1796	1790	0,20	0,19	0,19	0,19	0,01
26	α-Cadinol	1381		0,074	0,09	0,07	0,08	0,01	2143	2124	0,12	0,11	0,11	0,11	0,00
27	δ-Elmeno	1389	1390	4,28	4,19	4,48	4,31	0,15	1845	1839	3,60	3,47	3,56	3,55	0,07
28	Phytol	1402		1,90	0,25	0,07	0,74	1,01	2285	2281	1,53	0,51	0,52	0,85	0,58
29	Gurjunene <a->	1405	1409	2,03	1,81	0,21	1,35	0,99	1523	1529	2,31	2,22	2,20	2,25	0,06
30	Trans-Cariofileno	1417	1419	53,19	47,73	50,73	50,55	2,73	1608	1612	45,67	45,74	45,50	45,64	0,12
31	Humulene <a->	1454	1454	2,66	2,00	1,98	2,21	0,39	1711	1705	2,18	2,11	2,12	2,14	0,04
32	Valencene 2	1458	1460	0,25	0,30	2,07	0,88	1,04	-	-	0,32	0,32	0,31	0,31	0,01
33	Germacrene D	1479	1481	2,16	2,79	2,87	2,61	1,26	2042	2053	2,11	2,78	2,20	2,36	0,36
34	Muurolene <a->	1487	1490	0,28	0,39	0,36	0,34	1,47	1715	1704	0,40	0,41	0,41	0,41	0,01
35	Germacrene B	1494	1500	0,18	2,36	0,37	0,97	1,21	1581	1584	2,89	2,81	2,75	2,82	0,07
36	Bicyclogermacrene	1498	1500	0,45	0,20	2,46	1,04	1,24	2151	2148	0,23	2,21	0,12	0,85	1,18
37	Cadinene <d->	1518	1523	0,12	0,55	0,19	0,29	0,23	2143	2124	1,12	0,11	0,11	0,44	0,58
Total Identificado							96,38				96,17				

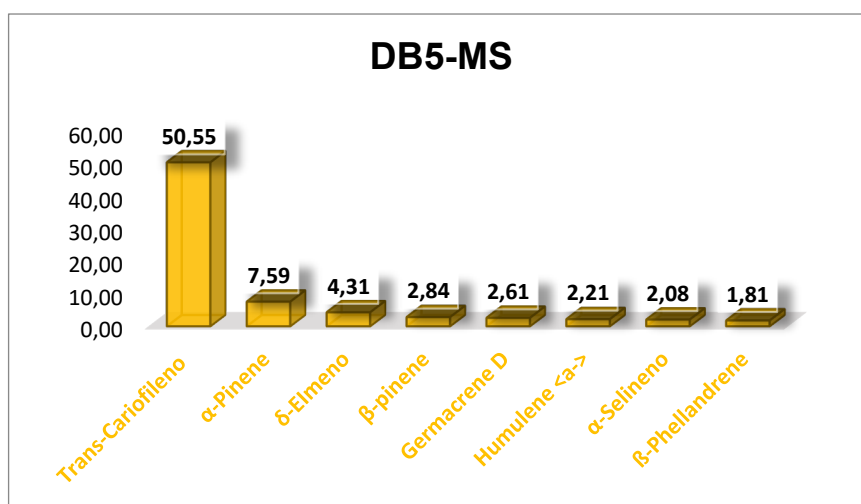
*Nota.* En esta tabla se exponen todos los compuestos obtenidos por medio de la columna no polar DB5MS donde; \*= Sumatoria del porcentaje relativo de los compuestos identificados en la columna DB5- MS; += Porcentajes promedio con relación al % área de los picos reportados en la columna DB-5MS; σ= Desviación estándar; IKCal= Índice de Kovats calculado; IKRef= Índice de Kovats descrito en bibliografía: a. (Adams, 2007)

Los picos observados en el aceite de *Annona muricata* corresponden a un total de 37 compuestos identificados, obtenidos mediante la corrida cromatográfica en la columna DB5-MS resultando de esto un porcentaje de identificación del 96,38%.

Los compuestos mayoritarios del aceite esencial *Annona muricata* en la columna DB5-MS, se pueden observar la figura 16, entre los cuales tenemos: trans-Cariofileno (50,55%),  $\alpha$ -Pinene (7,59), Elemene  $\langle\delta\rangle$  (4,31%),  $\beta$ -Pineno (2,84%), Germacrene D (2,61%), Humulene  $\langle a\rangle$  (2,21%),  $\alpha$ -Selineno (2,08%), Phellandrene  $\langle\beta\rangle$  (1,81%).

**Figura 16**

*Compuestos mayoritarios del aceite esenciales en la Columna DB5-MS.*

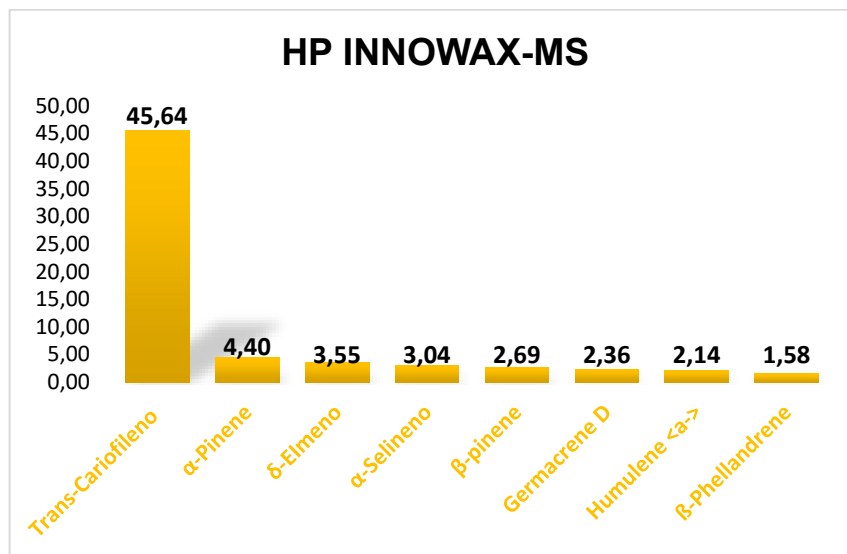


*Nota.* El eje "y" simboliza la cantidad de compuestos en porcentaje presente en el aceite esencial de *Annona muricata*.

Los compuestos mayoritarios del aceite esencial *Annona muricata* en la columna HP INNOWAX, se pueden observar la figura 17, entre los cuales tenemos: Trans-Cariofileno (45,64%),  $\alpha$ -Pineno (4,40%),  $\delta$ -Elemene (3,55%),  $\alpha$ -Selineno (3,04%),  $\beta$ -Pineno (2,69%), Germacrene D (2,36%), Humulene  $\langle a\rangle$  (2,14),  $\beta$ -Phellandrene (1,58%).

Figura 17

Compuestos mayoritarios del aceite esencial en la Columna HP INNOWAX



*Nota.* El eje "y" simboliza la cantidad de compuestos en porcentaje presente en el aceite esencial de *Annona muricata*.

Los compuestos mayoritarios presentados anteriormente concuerdan casi en su totalidad con lo expuesto por (Gina, y otros, 2016) en donde, su identificación de compuestos mayoritarios corresponde a: trans-cariofileno (21,3%), germacreno A (14,2%), Germacreno D (8,8%) y  $\alpha$ -E-bergamoteno (7,9%). Observando que los compuestos en efecto, comparten los dos metabolitos mayoritarios con una relación de porcentaje mayor entre los tomados de bibliografía y los experimentales; la composición del resto de compuestos mayoritarios se pudo ver afectada por la fluctuación en el método de destilación y la volatilización de algunos de los compuestos del aceite esencial.

La especie de la familia Annonaceae han demostrado propiedades como insecticidas y antibacterianas, y se han utilizado para los tratamientos médicos (Gabriel, 2018).

Las hojas de *Annona muricata*. Contienen alcaloides a los cuales se les atribuye propiedades antitumorales y antioxidantes, entre los tipos de alcaloides como reticulina, coreximine, coclarine, anomurina, annomuricin E, annomuricin C, muricatocin C,

gigantetroneina y muricapentocin. Los aceites esenciales de las hojas contienen - caryophyllene,  $\delta$ -cadinene, epi- $\alpha$ -cadinol y  $\alpha$ -cadinol (Pascuala, 2020).

En lo que respecta al análisis cuantitativo, se lo realizó acoplado el detector de ionización de la llama al cromatógrafo de gases en la columna no polar DB-5MS y la columna polar HP-INNOWAX.

En la tabla 4, se muestran los resultados obtenidos de las corridas cromatográficas con el detector de ionización de la llama FID, comparados con los porcentajes obtenidos en masas, con los cuales se puede realizar el análisis cuantitativo de los compuestos que conforman el aceite esencial.

Se resaltan también los IK calculados y los reportados en la literatura, el porcentaje promedio relativo para cada muestra, la media relativa y la desviación estándar de las tres muestras inyectadas en el GC.

Tabla 4

Compuestos mayoritarios obtenidos en GC-FID con Columna DB5-MS y la Columna HP INNOWAX FID

PICO	Compuestos	DB5-MS										HP-INNOWAX									
		% de Cantidad Relativa						Media		$\sigma$		% de Cantidad Relativa						Media		$\sigma$	
		AM1		AM2		AM3		MS	FID	MS	FID	MS	FID	AM1		AM2		AM3		MS	FID
1	$\beta$ -tricloroetano	1,44	1,75	1,98	1,65	1,65	1,55	1,69	1,65	0,27	0,10	0,44	1,13	0,98	0,05	0,65	0,05	0,69	0,41	0,27	0,63
2	Ácido isovalérico	0,33	0,18	0,36	0,12	0,38	0,11	0,35	0,14	0,02	0,04	0,23	0,23	1,26	1,16	0,28	1,18	0,59	0,86	0,58	0,55
3	$\alpha$ -gurjeneno	1,81	-	2,27	-	0,20	-	1,43	-	1,09	-	2,14	0,20	1,15	0,25	2,78	0,27	2,02	0,24	0,82	0,04
4	$\alpha$ -Pinene	6,95	2,76	8,51	2,76	7,32	2,75	7,59	2,76	0,81	0,01	4,42	2,96	4,37	2,24	4,41	3,21	4,40	2,80	0,03	0,50
5	$\beta$ -pinene	2,98	0,77	3,73	0,77	1,81	0,73	2,84	0,76	0,97	0,02	2,69	2,84	2,67	2,86	2,71	2,45	2,69	2,72	0,02	0,23
6	Ethyl 4-pentenoate	0,77	-	0,97	0,48	3,07	0,66	1,60	0,38	1,28	0,13	0,08	-	0,09	-	0,09	-	0,09	-	0,00	-
7	Propilciclohexano	0,27	-	0,36	0,83	0,09	0,78	0,24	0,54	0,14	0,04	0,25	-	0,33	-	0,29	-	0,29	-	0,04	-
8	$\alpha$ -Terpineno	0,20	0,35	1,18	0,43	0,82	0,46	0,73	0,41	0,50	0,06	0,82	1,08	0,82	1,09	0,18	1,07	0,61	1,08	0,37	0,01
9	$\gamma$ -Terpinene	0,85	0,48	0,55	0,11	0,32	0,77	0,57	0,45	0,27	0,33	0,17	1,01	0,17	1,34	0,19	1,17	0,18	1,18	0,01	0,17
10	D-Limonene	0,43	-	0,06	-	0,98	-	0,49	-	0,46	-	1,47	3,19	1,46	3,41	1,49	3,81	1,47	3,47	0,02	0,31
11	Hexadienol	0,26	-	0,38	0,16	0,29	0,45	0,31	0,20	0,06	0,21	0,38	-	0,29	-	0,26	-	0,31	-	0,06	-
12	$\beta$ -Selineno	2,26	1,05	0,11	1,06	0,11	0,35	0,83	0,82	1,24	0,41	2,52	3,08	2,44	3,26	2,45	3,91	2,47	3,42	0,05	0,44
13	$\alpha$ -Selineno	0,89	0,15	2,95	1,57	2,41	1,53	2,08	1,08	1,07	0,81	3,09	3,89	3,01	3,55	3,02	3,84	3,04	3,76	0,05	0,18
14	m-Menthane	0,79	-	1,14	-	0,97	-	0,96	-	0,18	-	0,47	-	0,46	-	0,41	-	0,45	-	0,03	-
15	Ácido alilacético	0,47	0,53	1,05	0,43	0,86	0,47	0,79	0,48	0,29	0,05	0,45	-	0,39	-	1,47	-	0,77	-	0,61	-
16	Elemene	2,83	0,73	0,14	0,76	0,33	0,79	1,10	0,76	1,50	0,03	2,20	0,19	3,19	0,21	3,19	0,18	2,86	0,19	0,57	0,02
17	$\beta$ -copaeno	0,15	-	3,71	-	2,97	-	2,28	-	1,87	-	4,75	3,19	4,61	3,91	4,62	3,22	4,66	3,44	0,08	0,41
18	Estragole	0,79	0,11	1,29	0,14	1,19	0,15	1,09	0,13	0,27	0,02	1,69	0,33	1,67	0,36	1,69	0,28	1,69	0,32	0,01	0,04
19	Terpinen-4-ol	0,55	0,12	0,99	0,11	0,85	0,11	0,80	0,11	0,22	0,01	0,39	0,94	0,39	0,90	0,40	0,93	0,39	0,92	0,01	0,02

20	$\alpha$ -sabineno	0,11	0,11	0,20	0,12	0,47	0,12	0,26	0,12	0,19	0,01	2,42	3,20	2,42	3,55	2,45	3,33	2,43	3,36	0,02	0,18				
21	Myrcene	0,19	0,08	0,34	0,01	0,53	0,09	0,35	0,06	0,17	0,05	0,15	-	0,15	-	0,14	-	0,15	-	0,01	-				
22	Caryophyllene oxide	0,10	-	0,18	-	0,19	-	0,16	-	0,05	-	0,38	0,28	0,37	0,46	0,31	0,25	0,36	0,33	0,04	0,12				
23	$\beta$ -Phellandrene	2,33	1,57	1,14	0,56	1,96	0,76	1,81	0,96	0,61	0,54	1,22	2,47	1,21	2,87	2,31	3,21	1,58	2,85	0,63	0,37				
24	Ledol	0,50	0,76	0,15	0,75	0,17	0,71	0,27	0,74	0,20	0,03	0,11	0,12	0,10	0,11	0,09	0,25	0,10	0,16	0,01	0,08				
25	Elemene <d->	0,28	-	0,42	-	0,45	-	0,39	-	0,09	-	0,20	0,18	0,19	0,18	0,19	0,14	0,19	0,17	0,01	0,02				
26	$\alpha$ -Cadinol	0,074	0,26	0,09	0,43	0,07	0,42	0,08	0,37	0,01	0,10	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,14	0,11	0,12	0,00	0,01				
27	$\delta$ -Elemeno	4,28	6,71	4,19	5,80	4,48	6,71	4,31	6,41	0,15	0,53	3,60	1,20	3,47	1,34	3,56	1,20	3,55	1,25	0,07	0,08				
28	Phytol	1,90	-	0,25	-	0,07	-	0,74	-	1,01	-	1,53	0,73	0,51	0,74	0,52	0,76	0,85	0,74	0,58	0,02				
29	Gurjunene <a->	2,03	4,35	1,81	4,45	0,21	4,37	1,35	4,39	0,99	0,05	2,31	0,20	2,22	0,12	2,20	0,21	2,25	0,18	0,06	0,05				
30	Trans-Cariofileno	53,19	45,10	47,73	44,10	50,73	47,10	50,55	45,43	2,73	1,53	45,67	49,53	45,74	53,66	45,50	52,54	45,64	51,91	0,12	2,14				
31	Humulene <a->	2,66	4,45	2,00	4,55	1,98	4,44	2,21	4,48	0,39	0,06	2,18	3,99	2,11	3,19	2,12	3,21	2,14	3,46	0,04	0,46				
32	Valencene 2	0,25	-	0,30	-	2,07	-	0,88	-	1,04	-	0,32	-	0,32	-	0,31	-	0,31	-	0,01	-				
33	Germacrene D	2,16	7,44	2,79	7,49	2,87	7,83	2,61	7,59	0,39	0,21	2,11	2,11	2,78	2,60	2,20	2,57	0,70	2,65	0,36	0,28				
34	Muurolene <a->	0,28	2,36	0,39	6,71	0,36	2,32	0,34	3,80	0,06	2,52	0,40	0,27	0,41	0,24	0,41	0,20	0,41	0,24	0,01	0,03				
35	Germacrene B	0,18	-	2,36	-	0,37	-	0,97	-	1,21	-	2,89	-	2,81	-	2,75	-	2,82	-	0,07	-				
36	Bicyclogermacrene	0,45	15,44	0,20	15,35	2,46		1,04	10,26	1,24	0,06	0,23	-	2,21	-	0,12	-	0,85	-	1,18	-				
37	Cadinene <d->	0,12	-	0,55	-	0,19	-	0,29	-	0,23	-	1,12	1,12	0,11	1,10	0,11	1,11	0,44	0,74	0,58	0,01				
<b>Total identificado</b>												96,38	95,28											94,51	92,95

**Nota.** AM1= Primera muestra de aceite; AM2= Segunda muestra de aceite; AM3= Tercera muestra de aceite; MS= Espectrometría de masas; FID= Ionización de la llama

Para la identificación de los compuestos pertenecientes a DB5-MS FID y a HP INNOWAX FID, se efectuó una comparación con los resultados de espectrometría de masas, estableciendo los siguientes compuestos mayoritarios: trans-cariofileno (51,91%),  $\alpha$ -Selineno (3,76%), Humulene  $\langle\alpha\rangle$  (3,46%), phellandrene  $\langle\beta\rangle$  (2,85%),  $\alpha$ -Pineno (2,80%),  $\beta$ -Pineno (2,72%), Germacrene D (2,65%), Elemene  $\langle\delta\rangle$  (1,25%).

### 3.4 Análisis enantiomérico del aceite esencial

La identificación y aislamiento de los diferentes componentes de los aceites esenciales ha constituido siempre un desafío para los químicos por su complejidad y variabilidad de composición. El análisis enantiomérico es un ejemplo de técnica analítica cuyo desarrollo se ha visto acelerado por la importancia de la aplicación de sus resultados a la caracterización de mezclas volátiles como los aceites esenciales (Eduardo, 2018).

Para el aceite esencial de *Annona muricata* se identificó cinco pares de enantiómeros con su respectiva distribución y exceso enantiomérico. Donde, tres de ellos son monoterpenos y los dos últimos pertenecen al grupo de los sesquiterpenos.

Los compuestos que presentan un mayor exceso enantiomérico son: (-) y (+)  $\alpha$ -pinene, y (-) y (+) Limonene como se observa en la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Enantiómeros del Aceite Esencial de Annona muricata*

RT	Compuesto	IK	Área	Distribución Enantiomérica (%)	Exceso Enantiomérico (%)
5,75	(-)- $\beta$ -pinene	997	1576065	0,05	99,85
6,60	(+)- $\beta$ -pinene	1015	2228303	58,57	
3,03	(-)- $\alpha$ -pinene	936	1230701	0,07	

3,36	(+)- $\alpha$ - pinene	944	1363482	52,56	99,74
8,48	(+)- limonene	1057	420548	0,02	99,95
8,65	(-)-limonene	1061	5043328	92,30	
36,63	(+)- muurolene	1710	7554037	99,73	82,33
36,80	(-)- muurolene	1715	808109	9,66	
37,28	(+)- $\delta$ - cadinene	1728	18652293	67,28	34,56
37,44	(-)- $\delta$ - cadinene	1732	9071983	32,72	

## Conclusiones

El aceite esencial de *Annona muricata* presento un rendimiento del 0,05%.

En la composición química del aceite esencia de *Annona muricata* se identificaron 37 compuestos de los cuales se logró una identificación de 96,38% en la columna DB-5MS, a diferencia de la columna HP INNOWAX, representa un 96,17%.

Se identificaron 8 compuestos mayoritarios en la columna DB5-MS son: trans-Cariofileno (50,55%),  $\alpha$ -Pinene (7,59), Elemene  $\langle\delta\rangle$  (4,31%),  $\beta$ -Pineno (2,84%), Germacrene D (2,61%), Humulene  $\langle\alpha\rangle$  (2,21%),  $\alpha$ -Selineno (2,08%), Phellandrene  $\langle\beta\rangle$  (1,81%).

Se identificaron 8 compuestos mayoritarios en la columna HP INNOWAX son: trans-Cariofileno (45,64%),  $\alpha$ -Pinene (4,40), Elemene  $\langle\delta\rangle$  (3,55%),  $\alpha$ -Selineno (3,04%),  $\beta$ -Pineno (2,69%), Germacrene D (2,36%), Humulene  $\langle\alpha\rangle$  (2,14%), Phellandrene  $\langle\beta\rangle$  (1,58%).

En el análisis de distribución enantiomérica se determinó cinco pares de enantiómeros los cuales fueron:  $\beta$ -pinene,  $\alpha$ -pinene, limonene, muurolene y  $\delta$ -cadinene. El exceso enantiomérico mostro que el (+)-limonene y el (+)- $\beta$ -pinene se encuentran prácticamente puros.

### **Recomendaciones**

Realizar un estudio previo del sector en el cual se va a llevar a cabo el estudio, con el fin de garantizar la existencia de la especie.

Realizar un procedimiento adecuado para la selección de la materia vegetal, ya que, durante el proceso puede arrastrar impurezas dando como resultado un aceite esencial en pésimas condiciones.

Desarrollar investigaciones sobre la actividad biológica, antioxidante y en forma farmacéutica por lo que las hojas de *Annona muricata* contienen alcaloides a los cuales se les atribuye propiedades antitumorales y antioxidantes.

## Referencias

- Abalco, T. A. (Enero de 2020). *Dspace*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20545/1/T-UCE-0008-CQU-217.pdf>
- Adams, R. (2007). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass (Vol. 4). Allured publishing .
- aemps*. (Octubre de 2018). Obtenido de [https://www.aemps.gob.es/publicaciones/publica/docs/Guia\\_Aceites\\_Esenciales.pdf](https://www.aemps.gob.es/publicaciones/publica/docs/Guia_Aceites_Esenciales.pdf)
- Aguirre, P., Clavijo, A., Guadamud, J., Navarrete, K., Quinquigano, J., Valverde, K., . . . J, Z. (Enero de 2013). *Blogspot*. Obtenido de <http://florayfaunaecu.blogspot.com/p/blog-page.html>
- Arnanz, J. E. (2019). Avances en cromatografía de gases para el análisis de microcontaminantes orgánicos persistentes en mezclas complejas. *Dialnet*, 9-10.
- Azuero, A. (2015). *ANÁLISIS DEL EFECTO ANTIMICROBIANO DE DOCE PLANTAS*. Ecuador.
- Balladeras, M. (11 de Diciembre de 2015). *dspace*. Obtenido de dspace: <https://dspace.ups.edu.ec>
- Bandoni, A. (2003). Los recursos vegetales aromáticos en Latinoamérica . Buenos Aires, Argentina : CYTED.
- Dufort, J. (2 de Agosto de 2017). *Aceites Esenciales*. Robinbook. Obtenido de <https://aceitesesencialesyperfumes.jimdofree.com/aceites-esenciales/clasificaci%C3%B3n-de-los-aceites/seg%C3%BA-su-naturaleza-qu%C3%ADmica/>
- Eduardo, D. (21 de Febrero de 2018). Caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales. *Cátedra de Farmacognosia, Facultad de Química*, 1.
- Gabriel, J. (24 de Enero de 2018). *UAEM*. Obtenido de UAEM: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/68182>
- Gildardo, M. (Junio de 2010). Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/50956/7/9588280264.pdf>
- Gina, M., Patricia, V., Luis, R., Juan, C., Bertha, S., & Alfredo, U. (2016). Composición química del aceite esencial de hojas frescas de *Annona muricata* L. *Facultad de Farmacia*, 3-4.
- González, M. E. (2013). La familia Annonaceae . *Scielo* , 3.
- Guala, M. S., Pérez, G. A., Barducco, L. P., Marsó, A. R., & Elder, H. V. (2012). OBTENCIÓN DE FRACCIONES ENRIQUECIDAS DURANTE LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES CRUDOS. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(1), 151-157. Recuperado el 26 de 1 de 2022, de <https://biblat.unam.mx/es/revista/avances-en-ciencias-e->

ingenieria/articulo/obtencion-de-fracciones-enriquecidas-durante-la-extraccion-de-aceites-esenciales-crudos

Henry, D. (2019). *Inventario y capacidad de producción de plantas medicinales*.

Linde, A. (5 de Febrero de 2007). *Gases Industriales*. Obtenido de [https://www.linde-gas.es/es/images/Cromatograf%C3%ADa%20de%20Gases%20Ionizaci%C3%B3n%20y%20Termoi%C3%B3nico%2019007-01\\_tcm316-120153.pdf](https://www.linde-gas.es/es/images/Cromatograf%C3%ADa%20de%20Gases%20Ionizaci%C3%B3n%20y%20Termoi%C3%B3nico%2019007-01_tcm316-120153.pdf)

Lopez, M. (2004). Los aceites esenciales. *elsevier*, 88-91.

Martínez, A. (13 de Octubre de 2003). Aceites Esenciales. *Facultad de Química Farmacéutica*, 1. Obtenido de <https://estiloartesano.wordpress.com/2018/10/31/clasificacion-de-los-aceites-esenciales/>

Martinez, Y. (12 de Octubre de 2019). *WordPress*. Obtenido de <https://yurinamartinezg.wordpress.com/2019/10/12/que-es-un-aceite-esencial/>

Pascuala, H. R. (Marzo de 2020). *Rinacional Tecnm*. Obtenido de <https://rinacional.tecnm.mx>

Pino, J. (23 de Julio de 2015). Aceites Esenciales. Química, Bioquímica, Producción y Usos. La Habana, Cuba: EdUniv. Obtenido de [http://es.labo-hevea.com/downloads/HE\\_es.pdf](http://es.labo-hevea.com/downloads/HE_es.pdf)

*QuimiNet*. (6 de Febrero de 2012). Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/aceites-esenciales-obtencion-y-aplicaciones-2676632.htm>

Sánchez Llambí, M. (2016). *Los Aceites Esenciales: La Perfecta Medicina De La Naturaleza*. Balboa Press.

Vargas Corrales, V. (15 de Mayo de 2013). *Universidad Tecnica de Cotopaxi*. Obtenido de <http://181.112.224.103/bitstream/27000/720/1/T-UTC-0563.pdf>

Villa, R. S. (Octubre de 2017). *Researchgate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/324558249\\_CROMATOGRAFIA\\_DE\\_GASES\\_ACOPLADO\\_A\\_ESPECTROMETRIA\\_DE\\_MASAS](https://www.researchgate.net/publication/324558249_CROMATOGRAFIA_DE_GASES_ACOPLADO_A_ESPECTROMETRIA_DE_MASAS)

Villaverde, I. C. (Febrero de 2018). *upm*. Obtenido de upm: [http://oa.upm.es/49669/1/TFG\\_IRENE\\_CASADO\\_VILLAVERDE.pdf](http://oa.upm.es/49669/1/TFG_IRENE_CASADO_VILLAVERDE.pdf)

*Viviendo en la tierra*. (3 de Abril de 2010). Obtenido de <https://viviendoenlatierra.com/2010/04/03/la-flora-en-el-ecuador/>

Wilson, A. (2018). *La alquimia de los aceites esenciales*. Balbelcube Inc.

## Apéndice

### Apéndice uno

#### Determinación del porcentaje de rendimiento

Para él %R de los aceites esenciales se relacionó el volumen del aceite esencial obtenido por cada destilación, con la cantidad de materia vegetal usado para cada destilación.

$$\%R = \frac{\text{volumen (ml)}}{(\text{peso /gr})} * 100$$

Donde:

**%R:** porcentaje de rendimiento

**V:** volumen del aceite esencial extraído de cada destilación (ml)

**P:** peso del material vegetal usado para cada destilación (gr)

## Apéndice dos

### Índice de Kovats

Obtenido los cromatogramas se procedió a calcular mediante la ecuación los índices de Kovats ( $I_k$ ) de los picos integrados, comparando el tiempo de retención de los hidrocarburos con el tiempo de retención de los componentes del aceite esencial aplicando la siguiente fórmula.

$$I_k = 100n + 100 * \frac{t_{RX} - t_{RN}}{t_{RN} - t_{RN}}$$

Donde:

$I_k$ : Índice de retención de Kovats.

$n$ : Número de átomos de carbono en n-alcano.

$t_{RX}$ : Tiempo de retención del compuesto analizado, que eluye en el centro de n- alcano

$t_{Rn}$ : Tiempo de retención n-alcano que eluye antes del compuesto analizado.

$T_{RN}$ : Tiempo de retención de n-alcano que eluye después del compuesto analizado.

La identificación de los compuestos se realizó en base a los índices de retención (IR) determinados experimentalmente en las corridas cromatográficas tanto en la columna polar como en la no polar, valores que fueron comparados con los reportados por (Adams, 2009), bases de datos como Nist (National Institute of Standards and Technology) y en los artículos de revistas como Flavour and Fragrance: de modo que la diferencia entre IR calculado y el leído debe ser menos a 20 unidades.

## Apéndice tres

### Exceso enantiomérico

Para este cálculo se relaciona la distribución enantiomérica que resulto con anterioridad aplicando la siguiente formula.

$$ee(\%) = \frac{[R - S]}{[R + S]} * 100$$

Donde:

**ee(%):** exceso enantiomérico

**R:** enantiómero (+)

**S:** enantiómero (-)