



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL ACEITE ESENCIAL DE RUDA (*Ruta graveolens*)  
PROVENIENTES DE 3 SECTORES DE LA PROVINCIA DE EL ORO**

**MACAS ESPINOZA HEIDY LISBETH  
INGENIERA QUIMICA**

**PEREZ NIEBLA NESTOR DAVID  
INGENIERO QUIMICO**

**MACHALA  
2022**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL ACEITE ESENCIAL DE RUDA  
(Ruta graveolens) PROVENIENTES DE 3 SECTORES DE LA  
PROVINCIA DE EL ORO**

**MACAS ESPINOZA HEIDY LISBETH  
INGENIERA QUIMICA**

**PEREZ NIEBLA NESTOR DAVID  
INGENIERO QUIMICO**

**MACHALA  
2022**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD**

**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL ACEITE ESENCIAL DE RUDA  
(Ruta graveolens) PROVENIENTES DE 3 SECTORES DE LA  
PROVINCIA DE EL ORO**

**MACAS ESPINOZA HEIDY LISBETH  
INGENIERA QUIMICA**

**PEREZ NIEBLA NESTOR DAVID  
INGENIERO QUIMICO**

**BLACIO TORO SUSANA ELIZABETH**

**MACHALA  
2022**

# Estudio comparativo del aceite esencial de Ruda (*Ruta graveolens*) provenientes de 3 sectores de la Provincia de El Oro

*por* Heidy Lisbeth Macas Espinoza

---

**Fecha de entrega:** 13-mar-2023 08:41a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2036159535

**Nombre del archivo:** TESIS\_FINAL\_Macas\_Heidy\_Perez\_Nestor.docx (636.23K)

**Total de palabras:** 9195

**Total de caracteres:** 52213

# Estudio comparativo del aceite esencial de Ruda (*Ruta graveolens*) provenientes de 3 sectores de la Provincia de El Oro

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

0%

INDICE DE SIMILITUD

0%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 5%

Excluir bibliografía

Activo

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, MACAS ESPINOZA HEIDY LISBETH y PEREZ NIEBLA NESTOR DAVID, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado ESTUDIO COMPARATIVO DEL ACEITE ESENCIAL DE RUDA (*Ruta graveolens*) PROVENIENTES DE 3 SECTORES DE LA PROVINCIA DE EL ORO, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

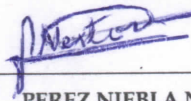
Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



MACAS ESPINOZA HEIDY LISBETH

0707012274



PEREZ NIEBLA NESTOR DAVID

0706648060

## DEDICATORIA

A mi madre, Fanny Espinoza, quien ha sido el pilar fundamental para la realización de este trabajo de investigación, por su motivación constante en todo momento, y sobre todo por su amor incondicional.

A mi hermana, Jaquelin Macas, quien estuvo a mi lado siempre brindándome su inmenso amor.

A mi novio, Psic. Clin. Alex Mendoza, por su infinito amor y paciencia, por creer en mí y sus palabras de aliento.

Heidy Lisbeth Macas Espinoza

A Dios, quien me ha guiado siempre por el buen camino, por haberme dado fuerza, salud y valor para no desmayar en los momentos difíciles y lograr culminar mi carrera.

A mis padres Teodoro y Jacinta, por su apoyo incondicional en el transcurso de mi vida, por su confianza, sus consejos, su comprensión y su amor infinito en todo momento.

A Ericka Ordoñez, quien siempre estuvo a mi lado con un gesto de apoyo y de felicitación siendo fuente de inspiración para no declinar y continuar.

A los docentes, quienes estuvieron presentes durante todo este camino de preparación universitaria.

Nestor David Perez Niebla

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la salud y vida que me ha dado, además de otorgarme una gran familia, los mismos que siempre han creído en mí.

A la Universidad Técnica de Machala, por ofrecer excelentes maestros, quienes han sido guía en este maravilloso templo del saber.

A Ing. James Calva, por la realización de los análisis, sin su ayuda no habría sido posible la realización de esta investigación.

A mi tutora, Dra. Susana Blacio, por orientarme con sus conocimientos para la realización de este trabajo de investigación, sin su enseñanza y comprensión no habría sido posible la culminación de este trabajo.

Heidy Lisbeth Macas Espinoza

Mi infinito agradecimiento a Dios, por haber estado conmigo a cada paso que doy, por llenarme de bendiciones y oportunidades para que no deje de luchar por mis sueños y lograr culminar mi carrera universitaria.

Agradezco a la Universidad Técnica de Machala quien me abrió las puertas para poder superarme y crecer profesionalmente.

A mi tutora Dr. Susana Blacio, por haberme transmitido todos sus conocimientos profesionales, por su paciencia y comprensión en el transcurso de mi formación académica.

Nestor David Perez Niebla



## RESUMEN

La ruda (*Ruta graveolens*) es una planta aromática originaria de Europa, crece entre 1500 a 3000 m.s.n.m., pero con el transcurso del tiempo se ha introducido en Ecuador, y es considerada una de las familias más reconocidas por su gran variedad de propiedades medicinales. Esta especie se encuentra en zonas templadas y subtropicales, por ende, puede ser localizada en las provincias de Azuay, Bolívar, El Oro, Pichincha y Tungurahua. Las muestras fueron recolectadas en 3 sectores de la Provincia de El Oro siendo estas Chilla, Piñas y Arenillas. El aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) fue obtenido por el método de destilación por arrastre de vapor a escala piloto, mientras que la caracterización química se determinó en el cromatógrafo de gases de la serie Agilent 6890N acoplado a un espectrómetro de masas Agilent de la serie 5973 inert; el cual dispone de un sistema de datos "software MSD-Chemstation D.01.00 SP1". De las muestras provenientes de Chilla, Piñas y Arenillas, se obtuvieron 18, 13 y 12 componentes, respectivamente; de los cuales se identificaron 5 compuestos que representan aproximadamente el 87,25 % del aceite. Los componentes mayoritarios fueron 2-Undecanone, 2-Nonanone, Cis-Verbenol, 2-Decanone, Hexyl (2E)-butanoate. El rendimiento promedio corresponde al 0,0760 %, mientras que la densidad relativa promedio fue de 0,8386 g/mL y un índice de refracción promedio de 1,4897, los mismos que establecen la calidad y pureza del aceite esencial. Se concluye que, la composición química del aceite esencial varía tanto en los compuestos químicos como en la concentración de los mismos.

**PALABRAS CLAVES:** *Ruta graveolens*, aceite esencial, composición química, rendimiento, densidad relativa e índice de refracción.

## ABSTRACT

Ruda (*Ruta graveolens*) is an aromatic plant native to Europe, grows between 1500 and 3000 m.s.n.m., over time has been introduced in Ecuador, and is considered one of the most recognized families for its wide variety of medicinal properties. This species is found in temperate and subtropical zones, therefore, it can be located in the provinces of Azuay, Bolívar, El Oro, Pichincha and Tungurahua. The samples were collected in 3 sectors of the Province of El Oro being these Chilla, Piñas and Arenillas. Ruda essential oil (*Ruta graveolens*) was obtained by the pilot scale steam distillation method, while the chemical characterization was determined in the gas chromatograph of the Agilent 6890N series coupled to an inert 5973 series Agilent mass spectrometer; which has a data system "software MSD-Chemstation D.01.00 SP1". Of the samples from Chilla, Piñas and Arenillas, 18, 13 and 12 components were obtained, respectively; of which 5 compounds representing approximately 87.25% of the oil were identified. The major components were 2-Undecanone, 2-Nonanone, Cis-Verbenol, 2-Decanone, Hexyl (2E)-butanoate. The average yield corresponds to 0.0760 %, while the average relative density was 0.8386 g/mL and an average refractive index of 1.4897, which establish the quality and purity of the essential oil. It is concluded that the chemical composition of the essential oil varies both in the chemical compounds and in their concentration.

**KEY WORDS:** *Ruta graveolens*, essential oil, chemical composition, yield, relative density and refractive index.

## CONTENIDO

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>DEDICATORIA</b> .....                               | 2    |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....                           | 3    |
| <b>RESUMEN</b> .....                                   | 4    |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                  | 5    |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                              | 14   |
| <b>OBJETIVOS</b> .....                                 | 16   |
| <b>Objetivo General</b> .....                          | 16   |
| <b>Objetivos Específicos</b> .....                     | 16   |
| <br>   |      |
| <b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....                          | 17   |
| <b>1.1 Antecedentes</b> .....                          | 17   |
| <b>1.2 Aceite esencial</b> .....                       | 18   |
| <i>1.2.1 Características del aceite esencial</i> ..... | 19   |
| <b>1.3 Ruda (<i>Ruta graveolens</i>)</b> .....         | 19   |

|   |           |
|---|-----------|
| 1.3.1 Taxonomía.....  | 21        |
| 1.3.2 Descripción Botánica.....   | 22        |
| 1.3.3 Usos de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ).....                                    | 22        |
| 1.3.4 Toxicidad de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ).....                               | 23        |
| <b>1.4 Aceite esencial de ruda (<i>Ruta graveolens</i>).....</b>                      | <b>24</b> |
| 1.4.1 Composición química del aceite esencial de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> )..... | 24        |
| 1.4.2 Propiedades del aceite esencial de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ).....         | 25        |
| 1.4.2.1 Actividad antimicrobiana .....  | 26        |
| 1.4.2.2 Actividad antibacterial.....  | 26        |
| 1.4.2.3 Actividad antifúngica.....  | 27        |
| 1.4.2.4 Actividad antioxidante.....   | 27        |
| 1.4.2.5 Actividad antiinflamatoria .....  | 27        |
| 1.4.2.6 Actividad antiparasitaria .....   | 28        |
| 1.4.2.7 Actividad citotóxica .....  | 28        |
| 1.4.2.8 Actividad herbicida .....   | 28        |
| 1.4.2.9 Actividad insecticida .....   | 29        |
| 1.4.2.10 Actividad repelente de insectos .....  | 29        |
| 1.4.2.11 Actividad larvicida.....   | 29        |
| 1.4.2.12 Actividad nematocida y antihelmíntica.....                                   | 29        |
| <b>1.5 Método de extracción de aceites esenciales .....</b>                           | <b>30</b> |
| 1.5.1 Hidrodestilación o Destilación por arrastre de vapor.....                       | 30        |
| 1.5.2 Extracción con fluidos supercríticos (EFS).....                                 | 31        |
| 1.5.3 Radiación por microondas.....   | 31        |
| <b>1.6 Cromatografía de Gases .....</b>   | <b>31</b> |
| 1.6.1 Cromatografía de gases – espectrometría de masas (GC-MS).....                   | 32        |
| 1.6.2 Cromatografía de gases – detección de ionización de llama (GC-FID).....         | 32        |
| 1.6.3 Columnas.....   | 32        |
| 1.6.3.1 Columnas tubulares abiertas.....  | 33        |
| 1.6.3.2 Columnas empacadas.....   | 33        |

|   |           |
|---|-----------|
| 1.6.3.3 Columna DB-5.....   | 33        |
| <b>1.7 Rendimiento .....</b>  | <b>33</b> |
| <b>1.8 Propiedades físicas del aceite esencial.....</b>   | <b>34</b> |
| 1.8.1 Densidad Relativa.....  | 34        |
| 1.8.2 Índice de refracción .....  | 34        |
| <br>  |           |
| <b>2. METODOLOGÍA.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>2.1 Sujetos de análisis .....</b>  | <b>35</b> |
| 2.1.1 Ubicación de estudio .....  | 35        |
| 2.1.2 Materia Prima o Muestra .....   | 36        |
| <b>2.2 Materiales y métodos .....</b>   | <b>36</b> |
| 2.2.1 Reactivos, materiales y equipos.....  | 36        |
| 2.2.2 Métodos .....   | 37        |
| 2.2.2.1 Extracción del aceite esencial de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ) .....                               | 37        |
| 2.2.2.2 Determinación del rendimiento.....  | 38        |
| 2.2.2.3 Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.....  | 38        |
| 2.2.2.4 Determinación de las propiedades físicas .....  | 41        |
| <b>2.3 Técnicas de procesamiento de datos .....</b>   | <b>41</b> |
| <br>  |           |
| <b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>  | <b>42</b> |
| <b>3.1 Recolección de material vegetal.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>3.2 Determinación del Rendimiento .....</b>  | <b>42</b> |
| <b>3.3 Composición química del aceite esencial de Ruda (<i>Ruta graveolens</i>).....</b>                      | <b>43</b> |
| 3.3.1 Comparación de los componentes mayoritarios.....  | 47        |
| <b>3.4 Determinación de las propiedades físicas del aceite esencial de ruda (<i>Ruta graveolens</i>).....</b> | <b>49</b> |
| 3.3.1 Densidad Relativa.....  | 50        |
| 3.3.2 Índice de Refracción.....   | 50        |

|  |    |
|--|----|
| <b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> ..... | 52 |
| <b>4.1 Conclusiones</b> .....                  | 52 |
| <b>4.2 Recomendaciones</b> .....               | 53 |
| <br>   |    |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....                      | 54 |
| <br>   |    |
| <b>ANEXOS</b> .....                            | 62 |

## LISTA DE TABLAS

Pág.

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Composición química de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ).....  | 21 |
| <b>Tabla 2.</b> Clasificación Taxonómica de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ).....   | 22 |
| <b>Tabla 3.</b> Cantidad de materia vegetal y aceite esencial extraído.....  | 42 |
| <b>Tabla 4.</b> Rendimiento de los aceites esenciales de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ).....  | 42 |
| <b>Tabla 5.</b> Composición química del aceite esencial de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ), Muestra A.....                                     | 44 |
| <b>Tabla 6.</b> Composición química del aceite esencial de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ), Muestra B.....                                     | 45 |
| <b>Tabla 7.</b> Composición química del aceite esencial de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ), Muestra C.....                                     | 46 |
| <b>Tabla 8.</b> Datos agrupados de acuerdo al análisis de componentes principales del aceite esencial de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ) ..... | 48 |
| <b>Tabla 9.</b> Densidad relativa del aceite esencial de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ).....  | 50 |
| <b>Tabla 10.</b> Índice de refracción del aceite esencial de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ).....  | 51 |

## LISTA DE CUADROS

Pág.

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Cuadro 1. Materiales y Equipo de Laboratorio.....</b> | <b>36</b> |
|--|-----------|



## LISTA DE FIGURAS

Pág.

- Figura 1.** Análisis de componentes principales (PCA) que involucra las composiciones relativas (%) de los aceites esenciales de ruda (*Ruta graveolens*) obtenidas por cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) de diferentes regiones de la provincia de El Oro ..... 47
- Figura 2.** Relación de la concentración de los componentes principales de las muestras de aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*)..... 48

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Pág.

|  |    |
|--|----|
| <b>Ilustración 1.</b> Ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ).....   | 20 |
| <b>Ilustración 2.</b> Principales cetonas alifáticas de cadena larga en el aceite esencial de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> )..... | 25 |
| <b>Ilustración 3.</b> Área de recolección de la especie de ruda ( <i>Ruta graveolens</i> ).....                                    | 35 |

## INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo las plantas han sido muy útiles para el hombre, aparte de ser una fuente de alimento también han sido empleadas en la medicina tradicional para tratar algunas enfermedades y obtener productos de gran beneficio, de tal manera que el desarrollo tecnológico ha favorecido la utilización de estos recursos al permitir el aprovechamiento de las propiedades medicinales.<sup>1</sup> En la actualidad el uso de estos productos naturales se ha convertido en tendencia, razón por la cual ha sido factible implementar tecnologías más específicas que permitan su desarrollo, tanto en las industrias alimenticias, como en las farmacológicas, en la perfumería y otras.

Dentro de la flora que contiene la provincia de El Oro ya sea en la parte alta como en la parte baja, se encuentran gran cantidad de plantas aromáticas como ruda (*Ruta graveolens*) que es muy utilizada en la medicina tradicional desde tiempos remotos. La importancia de esta planta se debe a sus propiedades aromáticas, agroquímicas y medicinales, ya que está constituida aproximadamente por más de 120 compuestos químicos, principalmente por alcaloides, cumarinas, aceites esenciales, flavonoides y las fluoroquinolonas, por ello ha sido ampliamente utilizada para el tratamiento de trastornos que incluyen procesos infecciosos e inflamatorios como el dolor de oído, la faringitis, la rinitis, las neuralgias; y por su uso para la hipertensión, patologías digestivas, musculares (dolores reumáticos), abortivo e incluso contra tumoral.<sup>2,3</sup>

Sin embargo, su aceite esencial tiene gran aplicación por lo que en muchas ocasiones suele ser empleado por la variedad de propiedades que posee, las cuales son antifúngicas, antiinflamatorias, antioxidante, antimicrobiana, antiparasitaria, fitotóxicas, herbicida, larvicida, entre otras.<sup>4</sup> Por lo tanto, según estudios el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) ha sido investigado para dar soluciones a problemas relacionados a la resistencia de varios microorganismos que ocasionan afecciones a la salud.<sup>5</sup>

Dado lo mencionado, se pretende estudiar la variación de la composición química del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) extraído de tres sectores de la provincia de El Oro, ya que según investigaciones realizadas se ha demostrado que existen variaciones significativas en su composición por factores externos como las condiciones de cultivo y las condiciones ambientales (suelo, clima, luz, temperatura, enzimas, y la modificación de los componentes de las plantas).<sup>6</sup>

Para su extracción se recurrirá al método de destilación por arrastre de vapor, mientras que para su caracterización a la cromatografía de gases acoplado a masas; de tal manera que sea posible la extracción del aceite esencial para llevar a cabo el análisis de su composición química.

El estudio del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) permitirá obtener información sobre su perfil químico cualitativo y cuantitativo, y de la misma manera comprobar la influencia que tienen los factores externos (como la ubicación geográfica y la época de recolección, el método de cultivo, las condiciones geobotánicas, la genética de la especie, el manejo y el almacenamiento de la materia vegetal, el nivel de estrés, los métodos de procesamiento y los protocolos de extracción <sup>7-9</sup>) en el rendimiento y en sus propiedades físicas como la densidad relativa y el índice de refracción.

## OBJETIVOS

### Objetivo General

Extraer el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) de 3 sectores de la provincia de El Oro empleando el método de destilación por arrastre de vapor y caracterizar su composición química mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC.MS) con la finalidad de analizar su variación.

### Objetivos Específicos

- Extraer el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) empleando el método de destilación por arrastre de vapor.
- Caracterizar el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC.MS).
- Comparar la composición química del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) obtenido de los 3 sectores de la Provincia de El Oro.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes

A lo largo del tiempo las plantas han sido muy útiles para el hombre, aparte de ser una fuente de alimento también han sido empleadas en la medicina tradicional por su uso contra varias enfermedades. Se cree que existen aproximadamente 35000 especies vegetales, de las cuales la población mundial utiliza el 80% como medicina alternativa en la cura de dolencias.<sup>10</sup> Razón por la cual los conocimientos ancestrales con el pasar del tiempo han convertido esta medicina en una opción para tratamientos que se han mantenido hasta la actualidad.<sup>10</sup>

Las plantas aromáticas han sido de gran interés en los distintos ámbitos desde su uso medicinal hasta sus aplicaciones a nivel industrial, esto se debe a las características y propiedades que poseen estas especies. Su amplia variedad en la industria homeopática, de fitoterapia y/o de fitofármacos.<sup>11,12</sup>

No obstante, Ecuador es un país mega diverso en flora y fauna por lo que se estima que hay aproximadamente 500 especies de gran interés, de modo que 228 son las de mayor frecuencia, mientras que 125 son empleadas para la comercialización, distribuyéndose como producto en estado fresco y seco, como extracto pulverizado o como aceites esenciales, siendo los principales países de aplicación Alemania, Estados Unidos, Holanda, Italia y Francia.<sup>12</sup> Su importancia radica en que las plantas aromáticas desempeñan un papel fundamental en la mayoría de los países de América Latina, por su valor folclórico, gastronómico y curativo, por ende, sus aportaciones en la medicina tradicional.<sup>11</sup>

La ruda (*Ruta graveolens*) es una planta aromática originaria de Europa, que se ha adaptado a diferentes ecosistemas y a diversas partes del mundo, por lo que es considerada una de las plantas aromáticas más utilizada por sus propiedades medicinales y por sus propiedades antifúngicas, antiinflamatorias, antioxidante, antiparasitarias, antirreumáticas, antimicrobiana, fitotóxicas, herbicida, larvicida, entre otras.<sup>13</sup>

Por ello, es de gran importancia estudiar el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) ya que se ha observado variaciones significativas tanto en el rendimiento del aceite esencial como en su perfil químico cuantitativo y cualitativo, debido a las diferencias por los orígenes geográficos, los tiempos de recolección (etapas de floración y posfloración), las condiciones climáticas, las variaciones estacionales, los métodos de procesamiento, el nivel de estrés y los protocolos de extracción.<sup>4</sup>

## 1.2 Aceite esencial

Los aceites esenciales son sustancias volátiles de origen vegetal que poseen una combinación compleja de compuestos orgánicos tanto de carácter volátil como aromático de más de 100 componentes químicos.<sup>14</sup>

Se caracterizan por dos o tres constituyentes principales que pueden ser desde 20 hasta el 70% de la cantidad total de los componentes, mientras que el resto de compuestos pueden estar presentes como elementos traza.<sup>15</sup> Generalmente son producidos por los órganos de las plantas como el fruto, la raíz, las flores, las hojas y la cáscara de los frutos.<sup>16</sup>

Son mezclas complejas que están constituidas principalmente por hidrocarburos de la serie polimetilénica, correspondientes al grupo mono y sesquiterpenos, unido a otros compuestos oxigenados.<sup>17</sup> Básicamente están formadas en mayor cantidad por terpenos, terpenoides y otras moléculas con anillo aromático como cetonas, alcoholes, éteres, aldehídos, ésteres, fenilpropanoides y compuestos fenólicos, entre otros; los cuales tienen un papel fundamental en el efecto biológico de los aceites esenciales.<sup>13,16</sup>

La composición química de los aceites esenciales puede verse afectada por ciertos factores como las variaciones fisiológicas, las condiciones ambientales, variaciones geográficas, factores genéticos y de evolución.<sup>18</sup> Por ello, es importante considerar que las características químicas que son específicas de los aceites esenciales tienden a variar de acuerdo a la zona de cultivo (condiciones de cultivo) y las condiciones ambientales (suelo, clima, luz, temperatura, contenido de enzimas, y la modificación de componentes de las plantas).<sup>13,19</sup>

Estas sustancias son utilizadas frecuentemente como digestivos, expectorantes, diuréticos y antiinflamatorios. Sin embargo, también son empleados en la industria de la perfumería y en la preparación de determinados tipos de alimentos y bebidas.<sup>17</sup>

Entre las posibles aplicaciones de los aceites esenciales estudiados está su uso en alimentos como preservantes y aromatizantes, como fuente de colorantes (para alimentos, cosméticos, textiles), en productos de limpieza, en el área de cosméticos, en el área de aromaterapia como recurso terapéutico, en productos farmacéuticos por su efecto antimicrobiano para el tratamiento de diversas enfermedades que pueden ser infecciosas.<sup>16,19</sup>

Otras aplicaciones de los aceites esenciales incluyen ciertas actividades antiinflamatorias, antimicrobianas, antioxidantes, citotóxicas, insecticidas, repelentes de insectos, herbicidas, larvicidas, antihelmínticas, antitumoral, fitotóxicas y poseen actividad in vitro anticancerígena y efectos ovicidas.<sup>20</sup>

*1.2.1 Características del aceite esencial.* Los aceites esenciales se distinguen por ser sustancias volátiles que tienen elevados puntos de ebullición, son líquidos a temperatura ambiente y tienden a ser insolubles en agua, pero solubles en alcohol y disolventes orgánicos. También presentan actividad óptica e índice de refracción alto por lo que desvían la luz polarizada.<sup>21</sup>

No obstante, son sustancias de baja masa molecular y lipofílicas, que son termolábiles y se oxidan e hidrolizan fácilmente en dependencia de su estructura.<sup>22</sup>

Además son altamente sensibles a la degradación física y química, de tal manera que pueden descomponerse fácilmente por la exposición directa al calor, el oxígeno, la humedad y la luz, limitando su aplicación biológica.<sup>15</sup>

### **1.3 Ruda (*Ruta graveolens*)**

La ruda (*Ruta graveolens*) es una planta aromática originaria de Europa. En la actualidad, esta planta se ha adaptado a distintos ecosistemas y a diferentes partes del mundo; como es el caso del continente americano, en donde se ha encontrado esta especie en países como Canadá, Estados Unidos, Bolivia, Ecuador, Perú, Colombia, México.<sup>13</sup>



Cabe mencionar que es una especie que ha logrado introducirse en Ecuador, y es considerada una de las familias más importantes en la región sierra, localizándose con una altura de 1500 a 3000 m.s.n.m.; por ende, puede ser localizada en las provincias de El Oro, Bolívar, Pichincha, Azuay y Tungurahua.<sup>13</sup>

En la Ilustración 1, se muestra la planta aromática de ruda (*Ruta graveolens*).

### **Ilustración 1. Ruda (*Ruta graveolens*)**



Fuente: Zayas-Pinedo et al, 2014.<sup>23</sup>

Esta especie puede ser cultivada en diferentes condiciones agronómicas como en huertos, macetas o en jardines familiares. Por ello, es considerada de amplia trayectoria y credenciales como planta medicinal siendo muy utilizada en la medicina tradicional, pero en algunos lugares es empleada como planta ornamental que ayuda a repeler insectos que perjudican a los cultivos, entre otros usos.<sup>13</sup>

Además, esta planta puede ser sembrada y propagada en amplia gama, tanto en áreas abiertas como en sistemas agroforestales, y por su estructura vegetal es posible cosecharla de manera continua sin afectar su cultivo, por ello se garantiza su disponibilidad.<sup>24</sup>

Dentro de la composición varios autores coinciden que la especie de ruda (*Ruta graveolens*) posee diversos principios activos, como: aceite esencial, alcaloides, taninos, flavonoides, vitamina C, gomas, quinolonas, esteroides y furoquinolonas.<sup>25</sup> En la Tabla 1, se muestra la composición química de esta especie.

**Tabla 1. Composición química de ruda (*Ruta graveolens*)**

| Composición   | Compuestos químicos  |
|---|--|
| <b>Aceite esencial (0,1-0,6%):</b>                      | Lo componen esteres (acetatos de 2.nonilo y 2.undeiclo,etc); metilononil, metilheptilcetona; monoterpenos ( $\alpha$ y $\beta$ -pineno, limoneno), cetonas alifáticas (metilnonilcetona en una proporción del 90%), alcoholes (2-undecanol), cumarinas y furanocumarinas (0,15-0,70%).   |
| <b>Alcaloides (0,4-1,4) y compuesto furoquinolicos:</b> | Arborinina, arborotina, rutamina, graveolina, graveolinina, 6-metoxidictamina, furoquinolina, $\tau$ -fagarina, gammafagarina, kokusaginina, skimianina, cocusaginina, rutacridona, metilacridona, dictamnina, isogravacridonclorina (furanocridona)   |
| <b>Flavonoides:</b>                                     | Rutina (1-2%), quercetina  |
| <b>Alcoholes:</b>                                       | Metil-etil-carbinol  |
| <b>Hidrocarburos:</b>                                   | Pinene y limeneno  |
| <b>Otros:</b>   | Resina, goma, ácido ascórbico, ácido málico, taninos, lignanos (raíz), sustancias amargas, glucósidos solubles en agua (-sinapoil-6-feruloilsucrosa, metilcnidiósido, metilpicraquasiósido A, 3', 6'-disinapoilsucrosa, cnidiósido A, picraquasiósido A, etc), naftoherniarina, suberona e isorutarina, xantoxina, rutamarina e isopimpenelina |

Fuente: Ramón Alvarado, 2020.<sup>13</sup>

**1.3.1 Taxonomía.** Según Aranibar <sup>25</sup>, la ruda (*Ruta graveolens*) es parte de la familia de las Rutaceae, la misma que abarca aproximadamente 160 géneros que han sido descubiertos a lo largo de la historia y más de 1600 especies. La familia Rutaceae se encuentra en regiones templadas y subtropicales, facilitando sus formas de reproducción y diseminación.

A continuación, en la Tabla 2. se presenta la clasificación taxonómica de ruda (*Ruta graveolens*).

**Tabla 2. Clasificación Taxonómica de ruda (*Ruta graveolens*)**

| <b>Ruda (<i>Ruta graveolens</i>)</b>  |                    |
|---------------------------------------|--------------------|
| Reino                                 | Plantae            |
| División                              | Magnoliophyta      |
| Clase                                 | Magnoliopsida      |
| Subclase                              | Rosidae            |
| Orden                                 | Sapindales         |
| Familia                               | Rutaceae           |
| Subfamilia                            | Rutoideae          |
| Género                                | Ruta               |
| Especie                               | R. graveolens      |
| Nombre binomial                       | Ruta graveolens L. |
| Fuente: Aranibar, 2015. <sup>25</sup> |                    |

La planta comúnmente se la conoce como: ruda armaga, ruda de jardín, ruda de olor pesado, ruda de gallinazo, entre otros.

*1.3.2 Descripción Botánica.* La ruda (*Ruta graveolens*) es por naturaleza un arbusto perenne que puede ser de 0,50 m a 1 m de altura, de tallos poco ramificados, pero de consistencia dura y permanente.<sup>13</sup> El color de las hojas suele ser verde azulado, pero depende de las condiciones climáticas y de cultivo, así como de la zona en la que se encuentre.<sup>13</sup>

En etapa de floración, las flores presentan un tono amarillo intenso, que indica la formación de un fruto en forma de capsula redonda. Además, esta especie es conocida por su aroma fuerte y sabor amargo.<sup>13</sup>

*1.3.3 Usos de ruda (*Ruta graveolens*).* La ruda (*Ruta graveolens*) tiene muchos beneficios medicinales como analgésico para dolores ocasionados por el periodo y la fiebre, así como para inflamaciones, luxaciones y amenorrea, entre otras.<sup>10</sup>

Según Aranibar <sup>25</sup>, la importancia de esta especie se debe a las propiedades que presenta, por ello es utilizada para calmar los nervios, ciertas molestias digestivas, los dolores de cabeza, para el tratamiento de varices y problemas de circulación, incluso para eliminar lombrices. Como uso externo, es utilizada para tratar el vitíligo, el reumatismo, el dolor de oído, los calambres, la ciática, los golpes, la gota y la vista cansada.

En el ámbito agrícola, el extracto de ruda (*Ruta graveolens*) es aprovechado como insecticida natural para el manejo de plagas que involucren insectos tronzadores, hormigas, saltamontes y pulgones.<sup>25</sup>

La especie de ruda (*Ruta graveolens*) tiene algunas aplicaciones para el desarrollo de distintas clases de productos naturales que cumplen con ciertas funciones biológicas como actividades depresivas, antioxidantes, fitotóxicas, antifúngicas, estomacales, digestivas, vermífugas, emenagogas. Sin embargo, entre sus principales usos está la infusión de esta especie que ayuda en el alivio de cólicos menstruales por su efecto antiespasmódico.<sup>10</sup>

Otro de sus usos es como recubrimiento comestible de quitosano con agregados de aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) para obtener emulsiones estables, de baja viscosidad y de fácil aplicación sobre la superficie de las guayabas, permitiendo una reducción en el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* en la fruta.<sup>26</sup>

Cabe recalcar que, la especie de ruda (*Ruta graveolens*) posee la mayor actividad antibacteriana y antifúngica en contra *S. áureos* y *P. ochrochloron*, así como la actividad antiproliferativas y necróticas más altas contra Hela MCF-7 Y Jurkat y la actividad anticancerígena. Estos estudios se confirmaron mediante el aumento de las actividades de las enzimas caspasa-3 y -7 en las células cancerosas tratadas aplicadas con mezcla de algas marinas.<sup>27</sup>

**1.3.4 Toxicidad de ruda (*Ruta graveolens*).** La ruda (*Ruta graveolens*) tiene efectos tóxicos sobre embriones, ya que genera anomalías y disminuye la vitalidad de los mismos, esto se debe a que en su composición presenta un grupo de alcaloides y cumarinas.<sup>10</sup>

En algunos estudios se menciona que la planta aromática de ruda (*Ruta graveolens*) tiene efectos tóxicos en organismos invertebrados acuáticos y los vertebrados, y afectar a la salud humana. Como es el caso del pez cebra, donde la ruda (*Ruta graveolens*) afecta negativamente los niveles de hormonas claves involucrados en la reproducción, interrumpiendo la producción de huevos y la fertilización.<sup>28</sup>

También se menciona que la especie de ruda (*Ruta graveolens*) produce alteraciones durante el desarrollo embrionario de la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*) provocando malformaciones, por tal motivo se establece que existe alta probabilidad de ocasionar efectos teratogénicos en otras especies como el ser humano.<sup>10</sup>

#### **1.4 Aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*)**

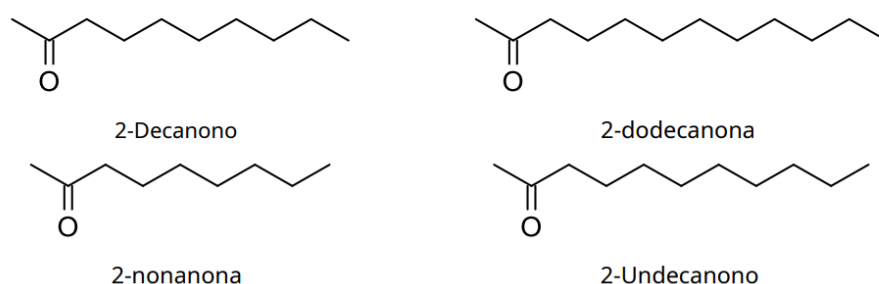
El aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) es de vital importancia, dado que posee una amplia gama de propiedades como antifúngicas, antiinflamatorias, antioxidante, antimicrobiana, antiparasitaria, fitotóxicas, herbicida, larvicida, entre otras.<sup>4</sup>

De acuerdo a estudios realizados, su importancia radica en que el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) posee potencial farmacológico contra microorganismos patógenos, por lo que puede ser aprovechado para obtener compuestos bioactivos de gran interés para la población.<sup>29</sup>

*1.4.1 Composición química del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*).* Según Nahar et al <sup>4</sup>, el aceite esencial de la especie de ruda (*Ruta graveolens*) en su composición química contiene mayoritariamente las cetonas alifáticas de cadena larga, por ejemplo 2-undecanona, 2-nonanona, 2-dodecanona y 2-decanona.

A continuación, en la Ilustración 2, se presentan las principales cetonas alifáticas del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*).

**Ilustración 2. Principales cetonas alifáticas de cadena larga en el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*)**



Fuente: Nahar et al, 2021.<sup>4</sup>

Sin embargo, las investigaciones realizadas referente al análisis de la composición del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) sostienen que esto puede variar significativamente por el estrés producido por la sequía, afectando directamente en la acumulación de isoprenoides en las plantas al estar en condiciones no estresadas y estresadas.<sup>30,31</sup>

La actividad antibacteriana de ruda (*Ruta graveolens*) se debe a los terpenos, los cuales han sido identificados como pineno, limoneno, 1,8-cineole presentes en el aceite esencial, de modo que tienen un efecto inhibitor contra *E. coli*.<sup>30</sup>

Otra de las propiedades que posee la especie de ruda (*Ruta graveolens*) es su actividad antifúngica frente a *Colletotrichum gloeosporioides*, *Alternaria solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Aspergillus sp*, *Cercospora kikuchii*, *Fusarium solani*, *Phomopsis sp.*, *Colletotrichum acutatum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, debido a la presencia de ciertos metabolitos secundarios que pueden ser flavonoides, alcaloides, cumarinas y furanocumarinas que están presentes en el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*).<sup>32</sup>

1.4.2 *Propiedades del aceite esencial de ruda (Ruta graveolens)*. El aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) posee una amplia gama de propiedades que son de gran interés.

Las propiedades del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) se presentan a continuación:

1.4.2.1 *Actividad antimicrobiana.* La actividad antimicrobiana de ruda (*Ruta graveolens*) surge por la presencia de las cetonas alifáticas como 2-undecanona, 2-undecanol y sus derivados, que están contenidas en su aceite esencial. Estas cetonas poseen niveles débiles a moderados de propiedades antibacterianas y antifúngicas en comparación a los antibióticos estándares, siendo de interés para la prevención de la descomposición de frutas y verduras.<sup>4</sup>

Según Nahar et al <sup>4</sup>, se han realizado estudios in vitro donde se ha demostrado que las cetonas alifáticas le confieren propiedades antimicrobianas al aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) contra especies bacterianas como *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, y contra hongos como *Aspergillus niger* y *Candida micoderma*.

El mismo autor también menciona que al aislar el 2-isopropil-5-metilfenol del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) ha presentado potencial antibacteriano frente a bacterias Gram-positivas como *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, y *Staphylococcus*, y Gram-negativas como *Salmonella enterica*, *Salmonella typhimurium*, y *Shigella sonnei*.

1.4.2.2 *Actividad antibacterial.* El aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) posee niveles bajos y moderados de actividad antibacteriana contra bacterias patógenas humanas como *Acinetobacter baumannii*, *Bacillus cereus*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae*, *Enterococo faecalis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Listeria monocytogenes*, *Micrococcus flavus*, *Micrococcus luteus*, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, y *Stafilococo*.<sup>4</sup>

Nahar et al <sup>4</sup> también menciona que existe actividad contra especies bacterianas fitopatógenas como *Dickeya solani*, *Pectobacterium atrosepticum*, y *Pectobacterium carotovorum subesp. Carotovorum*, las mismas que producen enfermedades características en las plantas como la pudrición blanda, la marchitez y el ennegrecimiento en los cultivos y en plantas ornamentales.<sup>33</sup>

**1.4.2.3 Actividad antifúngica.** El aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) es activo contra varias especies de hongos comunes como *Alternaria alternata*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*, *Candida albicans*, y *Fusarium oxysporum*. Dentro de la especie *Candida* se presentó un alto potencial antifúngico contra *C. albicans*, *C. parapsilopsis*, *C. glabrata*, y *C. tropicalis*, y para los hongos fitopatógenos como *Bipolaris oryzae*, *Gerlachia oryzae* y *Esclerotinia sclerotiorum* que causan el moho blanco en las plantas.<sup>4,34</sup>

Cabe recalcar que el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) también mostro actividad antifúngica contra *Melassezia furfur*, que es la responsable de enfermedades en la piel y afecciones dermatológicas.<sup>4</sup>

**1.4.2.4 Actividad antioxidante.** Los antioxidantes son compuestos sintéticos (p. ej., BHT (hidroxitolueno butilado), BHA (hidroxianisol butilado) y galato de propilo) o naturales (p. ej., caroteno, ácido ascórbico, quercetina y resveratrol), que pueden mitigar el estrés oxidativo en virtud de su efecto de radicales libres, por lo que pueden ser utilizados para tratar varias enfermedades crónicas y graves como la diabetes, el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y otras.<sup>4</sup>

Es importante considerar que el mismo autor menciona que no se ha evaluado cuales son los componentes del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) que podrían ser responsables de la actividad antioxidante. Por lo tanto, se asume que la actividad de eliminación de radicales es uno de los varios mecanismos (ensayos de antioxidantes como ensayo de capacidad reductora, ensayo de blanqueo, eliminación de otros radicales, ensayos enzimáticos, etc.), que puede ser empleado para determinar su capacidad antioxidante, así mismo se estima que las altas concentraciones de acetato de linalilo presentes en los aceites esenciales podría conferir esta propiedad.

**1.4.2.5 Actividad antiinflamatoria.** La actividad antiinflamatoria del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) no se ha estudiado adecuadamente hasta la fecha, pero se asume que la actividad antiinflamatoria de este aceite esencial podría estar determinada por la inhibición de mediadores de la inflamación como la serotonina, la prostaglandina y la histamina. Por lo que pueden ser aplicados en el manejo de enfermedades inflamatorias e inflamación en general.<sup>4</sup>



1.4.2.6 *Actividad antiparasitaria.* Los parásitos son organismos que viven y se alimentan de otro ser vivo y con mayor frecuencia causan daño al organismo huésped. Según estudios realizados se ha demostrado que el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) es un agente antiparasitario como medicamento antihelmíntico.<sup>4</sup>

El aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) fue eficaz para el control de *Varroa* (acaros) infestación en abeja. De tal manera que se determinó que el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) podría afectar significativamente los niveles de mortalidad de los ácaros y la tasa de infestación de ácaros, y podría reducir la tasa de mortalidad de las crías de abejas en un 83,3 %.<sup>4</sup>

Además, se determinó que existe actividad antiprotozoaria al aislar la furanocumarina 3-prenilada del extracto metanólico contra el parásito *Entamoeba histolytica*, que es la principal causa de amebiasis en humanos.<sup>4</sup> Del mismo modo el aceite esencial rico en 2-undecanona es efectivo contra *L. infantumi* y *L. mayor*.

1.4.2.7 *Actividad citotóxica.* Existen informes sobre estudios que analizan el potencial de los aceites esenciales de ruda (*Ruta graveolens*) como agentes citotóxicos contra las células cancerosas, ya que el cáncer es una de las principales causas de mortalidad y morbilidad humana.<sup>4</sup>

Su actividad citotóxica se debe a la presencia de cetonas alifáticas como 2-undecanona, 2-nonanona que son componentes mayoritarios del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*); los mismos que actúan frente a varias líneas celulares humanas, por ejemplo, MCF-7, HeLa (cáncer de cuello uterino Henrietta Lacks), Jurkat (linfocito T), T24 (carcinoma de células de transición), HF-19 (fibroblastos de pulmón fetal humano) y HEK-293 (riñón embrionario humano).<sup>4</sup>

1.4.2.8 *Actividad herbicida.* Los herbicidas son compuestos o extractos que pueden matar hierbas (plantas) o impedir su crecimiento. Es así como, el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) inhibe el crecimiento de las raíces peludas de *Solanum tuberosum*, y la germinación y crecimiento radicular de *Raphanus sativas*, también inhibe la germinación y el desarrollo primario de *Eragrostis plana*, que es conocida como una planta invasora (plaga).<sup>4</sup>

De la misma manera, afecta las germinaciones de semillas y crecimiento de tres especies de malas hierbas bien conocidas en tierras cultivadas como *Amaranthus retroflexus* L., *Convolvulus arvensis* L., y *Rumex crispus* L.<sup>4</sup>

**1.4.2.9 Actividad insecticida.** La actividad insecticida del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) surge por la presencia de la cetona alifática (2-undecanona) y al compuesto aislado 2-isopropil-5-metilfenol. Los mismos que determinaron su toxicidad frente a los fumigantes; así como la toxicidad por contacto contra las plagas de alimentos almacenados (*Coleoptera insectos*), por ejemplo, *Lasioderma serricorne*, *Sitophilus zeamais*, y *S. oryzae*; y contra *Ectomyelois ceratoniae* y *E. kuehniella*.<sup>4</sup>

**1.4.2.10 Actividad repelente de insectos.** El aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) determinó su capacidad repelente contra especies de mosquitos como *Aedes aegypti*.<sup>4</sup>

En otros estudios se examinó la actividad repelente de insectos del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) contra la garrapata Cayena *Amblyomma cajennense* (Acari: Ixodidae) ninfas.<sup>4</sup>

**1.4.2.11 Actividad larvicida.** Los principales compuestos del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*), como 2-undecanona y 2-nonanona le confieren cierta actividad larvaria contra las larvas neonatas de la carpocapsa (*Lepidoptera: Tortricidae*).<sup>35</sup>

Por lo tanto, existe una alta propiedad repelente contra larvas de polilla de la manzana, larvas de tercer estadio de *Aedes aegypti* y larvas de tercer estadio de *Culex quinquefasciatus*.<sup>4</sup>

**1.4.2.12 Actividad nematocida y antihelmíntica.** Los nematodos son gusanos parásitos de diferentes tipos que viven en animales, humanos, insectos y plantas. Ante esto, el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) ha sido empleado a modo de agentes nematocidas y antihelmínticos, debido a la presencia de cetonas alifáticas como 2-undecanona, 2-dodecanona, 2-decanona y 2-nonanona que son los principales compuestos de este aceite esencial.<sup>4,36</sup>

El mismo autor sostiene que la actividad nematocida del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) es alta contra nematodos juveniles de *Meloidogyne incógnita* y *Meloidogyne chitwoodi* (nematodo agallador) reduciendo significativamente la multiplicación de nematodos y la formación de agallas en las raíces, ya que son los responsables de daños en los cultivos de papa y tomate.

El aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) también fue activo contra la especie *Bursaphelenchus xylophilus*, que es el nematodo causante del marchitamiento del pino que es común en los bosques.<sup>4</sup>

### **1.5 Método de extracción de aceites esenciales**

Los aceites esenciales son extraídos por medio de varios métodos convencionales como la destilación por arrastre de vapor o la hidrodestilación (HD); sin embargo, existen otros métodos como la radiación por microondas y la extracción con fluidos supercríticos (EFS) que utiliza el dióxido de carbono.<sup>10</sup> Cabe mencionar que, el costo de estos procesos de extracción es económico y ventajoso en términos de tiempo y energía, por lo tanto, son considerados los métodos más utilizados para realizar la extracción de aceites esenciales a partir de plantas, debido a su eficiencia y por evitar el uso de solventes orgánicos que sean nocivos.<sup>10</sup>

Cabe recalcar que el uso de estas técnicas permite la obtención de información cualitativa y cuantitativa requerida para el perfil químico y el control de calidad de los aceites esenciales.<sup>4</sup>

*1.5.1 Hidrodestilación o Destilación por arrastre de vapor.* La destilación por arrastre de vapor de agua es el método más utilizado para obtener aceites esenciales a partir de la vaporización de los compuestos volátiles de la materia vegetal.<sup>21</sup>

El proceso consiste en pasar un flujo de vapor a través de la materia prima arrastrando los aceites esenciales. De modo que, los vapores se enfrían y se condensan dejando el destilado líquido formado por dos fases inmiscibles, una acuosa y otra orgánica, que es el aceite esencial. Posteriormente, se tiende a separar el destilado por decantación, gracias a la diferencia de las densidades existentes entre ambas fases.<sup>21</sup>

De acuerdo a estudios existen tres tipos de destilación: hidrodestilación, destilación con agua y vapor, y destilación en corriente de vapor. Los mismos se diferencian por la distribución de la materia vegetal y la zona de producción del vapor de agua.<sup>21</sup>

*1.5.2 Extracción con fluidos supercríticos (EFS).* Es uno de los métodos más reciente, en donde la materia prima se coloca en la cámara de acero inoxidable, haciéndose circular una muestra de un fluido supercrítico (bióxido de carbono líquido). Las sustancias son solubilizadas y arrastradas, por lo que el líquido supercrítico (solvente extractor) tiende a eliminarse por la descompresión progresiva que se genera hasta obtener la presión y temperatura ambiente, para conseguir una esencia de gran pureza.<sup>25</sup>

*1.5.3 Radiación por microondas.* A diferencia de los otros métodos, la radiación por microondas presenta una extracción rápida y completa, dado que los microondas entran en contacto con las moléculas de agua de la materia prima, formando vapor para arrastrar el aceite contenido en la epidermis. Cabe recalcar que el tamaño de las hojas de la materia prima no es un factor limitante puesto que hay mayor contacto de vapor en la superficie de la hoja.<sup>37</sup>

Se caracteriza por ser una técnica rápida de bajo consumo energético, y de montaje de equipo fácil. Sin embargo, puede ser un método deficiente cuando los componentes son no polares o muy volátiles.<sup>37</sup>

## **1.6 Cromatografía de Gases**

La cromatografía de gases es una de las técnicas más recomendables que permite llevar a cabo el análisis cuantitativo y cualitativo de las sustancias. En este proceso los compuestos de una muestra vaporizada se separan para ser distribuidos por una fase móvil gaseosa y una fase estacionaria que puede ser líquida o sólida, y es retenida en una columna.<sup>13</sup>

En general, se emplean algunas técnicas analíticas como la cromatografía de gases – espectrometría de masas (GC-MS) y la cromatografía de gases – detección de ionización de llama (GC-FID), para la separación e identificación de componentes presentes en los aceites esenciales, de tal manera que proporcionan información cualitativa y cuantitativa que es esencial para el perfil químico y el control de calidad de los mismos.<sup>4</sup>

*1.6.1 Cromatografía de gases – espectrometría de masas (GC-MS).* La cromatografía de gases-masas relaciona la capacidad de separación de la cromatografía de gases con la sensibilidad y la capacidad selectiva del detector de masas con alta efectividad, de esta manera es posible analizar y cuantificar los elementos trazas presentes en las mezclas complejas. Es decir, se caracteriza básicamente por su capacidad para separar mezclas complejas, cuantificar e identificar analitos y determinar niveles de trazas de contaminación orgánica.

*1.6.2 Cromatografía de gases – detección de ionización de llama (GC-FID).* Para realizar el proceso que involucra el detector de ionización de llama, la muestra es combustionada para producir iones y electrones que pueden conducir corriente eléctrica, para permitir la interpretación de resultados.<sup>38</sup>

*1.6.3 Columnas.* Para la cromatografía de gases se emplean dos tipos de columnas, las empacadas y las tubulares que pueden ser abiertas o capilares. En la antigüedad, el cromatograma de columnas se ejecutaba en columnas empacadas, pero en la actualidad se usan las columnas capilares, por ser más eficientes y rápidas.<sup>39</sup>

Dentro de las columnas cromatográficas empleadas la longitud varía de 1 m a 5 m, mientras que las columnas capilares son hasta 100 m. Generalmente están fabricadas con sílice fundido o acero inoxidable, y vidrio o teflón.<sup>39</sup>

La temperatura de la columna es parámetro importante que debe regularse hasta unas décimas de grados para realizar un trabajo con mayor precisión. La temperatura óptima de la columna depende tanto del punto de ebullición de la muestra como del grado de separación requerido.<sup>39</sup>

*1.6.3.1 Columnas tubulares abiertas.* Dentro de este tipo de columna se encuentran dos tipos básicos que son las columnas tubulares abiertas de pared revestida (WCOT) y columnas tubulares abiertas revertidas con soporte (SCOT).<sup>39</sup>

La columna WCOT se fabrica con acero inoxidable, aluminio, cobre o plástico, en la actualidad también se emplea vidrio. Sin embargo, las más utilizadas son las tubulares abiertas con pared revestida de sílice fundida (FSWC), debido a que son columnas bastantes flexibles que pueden doblarse en forma helicoidal con diámetros de varios centímetros.<sup>39</sup>

*1.6.3.2 Columnas empacadas.* Las columnas empacadas son elaboradas con tubos de vidrio o de metal, su longitud es de 2 a 3 m y su diámetro interior es de 2 a 4 mm. Los tubos se rellenan con un material fino y homogéneo (soporte sólido), cubierto con una capa delgada de 0,05 a 1  $\mu\text{m}$  de fase estacionaria líquida.<sup>39</sup>

*1.6.3.3 Columna DB-5.* Es una columna no polar, en su composición contiene fenilo al 5%, dimetil arileno siloxano al 95%. Esta columna es ideal para compuestos semivolátiles, compuestos halogenados, pesticidas, herbicidas, drogas, aminas, identificación sistemática de muestras desconocidas.<sup>40</sup>

## **1.7 Rendimiento**

El rendimiento (%v/w) relaciona la máxima cantidad de aceite que puede obtenerse a partir de una especie de interés, esto va a depender del método o de la técnica de extracción.<sup>14,41</sup>

Entre algunos de los factores que afectan el rendimiento del aceite esencial están: las condiciones de cultivo y geobotánicas, época de recolección, lugar geográfico, genética de la planta (parte, edad y estado fenológico), manejo y almacenamiento del material vegetal, el método de obtención del aceite y por la cantidad del aceite esencial de la planta.<sup>7,8,42,43</sup>

## 1.8 Propiedades físicas del aceite esencial

Las propiedades físicas permiten evaluar la calidad de los aceites esenciales, entre ellas se encuentran la densidad relativa y el índice de refracción.<sup>8</sup>

*1.8.1 Densidad Relativa.* Es la relación entre la densidad de un líquido y la densidad del agua a una determinada temperatura. Se obtiene a partir de un picnómetro, el cual mantiene el volumen de los líquidos y por ello es muy utilizado para determinar la densidad de líquidos biológicos, la salinidad, entre otros.<sup>44</sup>

*1.8.2 Índice de refracción.* Representa la relación aire-sustancia, entre la velocidad de un rayo de luz en el vacío y la velocidad de la luz a través de la sustancia. Es un método ampliamente utilizado, ya que guarda relación directa con la pureza del aceite esencial.<sup>44</sup>

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Sujetos de análisis

A continuación, se describen la ubicación del estudio y la materia prima empleada para el desarrollo experimental.

*2.1.1 Ubicación de estudio.* Las muestras fueron recolectadas en tres sectores de la provincia de El Oro: Chilla, Piñas y Arenillas (Ilustración 3). La extracción y caracterización del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) fue realizada en la Planta de Bioproductos de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Cabe mencionar que cada sector se encuentra a diferentes altitudes y temperaturas, ya que al aumentar la altitud la temperatura disminuye. Por consiguiente, Chilla posee una altitud de 3906 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 10 a 28 °C, mientras que Piñas tiene una altitud de 1014 m.s.n.m. con una temperatura promedio de 16 a 22 °C, y Arenillas posee una altitud de 227 m.s.n.m. con una temperatura de 18 a 30 °C.<sup>45-47</sup>

**Ilustración 3. Puntos de recolección de la especie de ruda (*Ruta graveolens*)**



Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro, 2015.<sup>48</sup>



2.1.2 *Materia Prima o Muestra.* La muestra empleada para el proceso de extracción y caracterización del aceite esencial fue de ruda (*Ruta graveolens*), una planta aromática de gran interés por sus propiedades medicinales y por su efecto contra microorganismos. Para realizar el estudio experimental las muestras fueron recolectadas de tres sectores de la provincia de El Oro: Chilla, Piñas y Arenillas. El peso de las muestras fue de 3,45 Kg; 3,85 Kg y 4,15 Kg, respectivamente.

Por consiguiente, las muestras fueron depositadas en un saco y enviadas inmediatamente para su extracción, esto con el propósito de evitar algún daño por factores externos como la humedad o el calor.

## 2.2 Materiales y métodos

En el siguiente apartado se presentan los materiales y equipos de laboratorio requeridos para la experimentación, así como los métodos para su desarrollo.

2.2.1 *Reactivos, materiales y equipos.* A continuación, se presentan los reactivos, materiales y equipos empleados para la extracción y caracterización del aceite esencial de *Ruta graveolens*:

**Cuadro 1. Materiales y Equipo de Laboratorio.**

| Insumos                    | Materiales                      | Equipos                                      |
|----------------------------|---------------------------------|--|
| Agua                       | Materiales de vidrio            | Destilador Arrastre de Vapor (Escala piloto) |
| Diclorometano              | Micropipetas y puntas           | Balanza Analítica                            |
| Sulfato de sodio anhidro   | Frascos ámbar pequeños y viales | Cromatógrafo acoplado a masas                |
| Dimetilsulfoxido anhidro   | Marcador                        | Refractómetro                                |
|                            | Cinta                           |  |
| Fuente: Elaboración Propia |                                 |  |

2.2.2 *Métodos*. En el desarrollo del trabajo de investigación se emplearon los siguientes métodos:

2.2.2.1 *Extracción del aceite esencial de ruda (Ruta graveolens)*. La obtención del aceite esencial fue realizada por medio del método de destilación por arrastre de vapor a escala piloto en la Planta de Bioproductos de la Universidad Técnica Particular de Loja.

El procedimiento fue el siguiente:

1. La muestra fue colocada en la segunda rejilla que posee el equipo, considerando que el espacio de la muestra debe llenar solo el 75% de la capacidad del tanque.
2. La tapa del tanque se cerró manualmente, por consiguiente, se instalaron las mangueras de entrada y salida de agua del refrigerante en la parte del condensador para que fluya continuamente.
3. La cantidad de agua a usar depende del límite permitido por el medidor de agua. El agua cubre en su totalidad la primera rejilla o platos de campanas de barboteo que se encuentran en la parte inferior del tanque. Más arriba, se encuentra la segunda rejilla donde fue depositada la materia vegetal troceada previamente.
4. El equipo se expone a una fuente de calor en la parte inferior. El cual se calienta por un tiempo de 45 minutos, después de esperar el tiempo establecido se produce la extracción del aceite.
5. El vapor generado pasa por medio de la materia vegetal, pero al salir del cuello del cisne se enfría en el condensador, pasando a estado líquido para ser receptado por un florentino.
6. Al finalizar el proceso, es recogido el aceite por una pipeta de Pasteur, para medir su volumen y ser envasado en un vial (frasco de color ámbar para evitar la luz), al cual se le asigna una rotulación.
7. Para la conservación de las condiciones del aceite, las muestras se almacenaron en refrigeración entre 4 - 12°C.

- **Recolección del aceite esencial**

Después de realizar la extracción del aceite esencial se recoge el mismo en una pipeta de Pasteur para su medición (Volumen), luego se procede a envasar en un frasco ámbar y se rotula.

2.2.2.2 *Determinación del rendimiento.* El rendimiento del aceite esencial se realizó por medio de la relación entre el volumen obtenido del aceite y el peso de la muestra. Dicho esto, se plantea la siguiente fórmula para la obtención del rendimiento del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*):

$$\% R = \frac{\text{Volumen (mL)}}{\text{Peso (g)}} * 100 \quad (1)$$

Donde,

**R:** Rendimiento (%)

**V:** Volumen del aceite esencial extraído (mL)

**P:** Peso de la materia vegetal (g)

2.2.2.3 *Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.* Para la caracterización del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) se utilizó el cromatógrafo de gases de la serie Agilent 6890N acoplado a un espectrómetro de masas Agilent serie 5973 inert; que dispone de un sistema de datos “software MSD-Chemstation D.01.00 SP1”. Para esta caracterización se utilizó una columna capilar no polar DB-5MS.

- **Preparación de muestra**

Después de la obtención del aceite esencial se realizó un tratamiento previo a las muestras obtenidas para eliminar el contenido de agua que quedo al recolectar el aceite, para ello se empleó una solución de sulfato de sodio anhidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) que por sus propiedades higroscópicas elimina el agua, la cual actuó por 30 minutos y luego se trasvasó a otros recipientes rotulados; esto con la finalidad de evitar problemas en el análisis cromatógrafo.

La muestra se preparó en viales etiquetados, en estos se colocaron 990  $\mu\text{l}$  de diclorometano y 10  $\mu\text{l}$  de aceite esencial para obtener una concentración de 1% (v/v).

Se realizó una inyección de hidrocarburos (C10-decano a C25-pentacosano), los cuales sirven de patrón para la determinación de los índices de retención de Kovats y la identificación de los componentes.

- **Corrida cromatográfica en la columna capilar DB-5MS acoplada a espectrometría de masas.**

Los parámetros operacionales para la corrida de las muestras se encuentran a continuación:

#### **Horno: Programación de temperatura**

- Temperatura inicial: 50 °C
- Temperatura final: 230 °C
- Tiempo inicial: 3 minutos
- Rampa: 3 °C/min

#### **Inyector:**

- Modo: Split
- Temperatura inicial: 250 °C
- Volumen de inyección: 1  $\mu$ L
- Radio de partición: 50:1
- Gas: Helio

#### **Columna: DB-5MS**

- Modo: Flujo constante
- Flujo inicial: 0.9 mL/min
- Temperatura máxima: 350 °C
- Velocidad Promedio: 35 cm/seg
- Presión inicial nominal: 6.49 psi
- Presión de salida: vacío

## Detector

- Temperatura: 250 °C
- Gas: Nitrógeno

- **Identificación cualitativa y cuantitativa de los compuestos químicos del aceite esencial.**

Se integraron los compuestos por medio del software del equipo para obtener los cromatogramas y utilizar los picos integrados para la identificación de los compuestos.

Con los picos detectados fue posible determinar los índices de retención de Kovats por medio de la relación entre los tiempos de retención de los hidrocarburos (C10 – C25) y el tiempo de retención de los componentes. Para ello se empleó la siguiente ecuación:

$$IR = 100 n + 100 * \frac{tRX - tRn}{tRN - tRn} \quad (2)$$

Donde:

**IR:** Índice de retención de Kovats

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

**tRX:** Tiempo de retención del compuesto analizado que eluye en el centro de n-alcanos

**tRn:** Tiempo de retención n-alcano que eluye antes del compuesto analizado

**tRN:** Tiempo de retención del n-alcano que eluye después del compuesto analizado

Es importante considerar, que para la identificación de los componentes se compararon los índices de retención de Kovats (IR) obtenidos mediante las corridas cromatográficas de la columna DB-5MS con los reportados por Adams <sup>49</sup> y con la base de datos NIST (National Institute of Standards and Technology), considerando que debe existir entre ellos una diferencia inferior a 20 unidades.

2.2.2.4 *Determinación de las propiedades físicas.* Las propiedades físicas que se determinarán son: la densidad relativa y el índice de refracción.

- **Determinación de la densidad relativa.**

Este parámetro se lo realizara mediante el uso de la norma AFNOR NF T75-111 (ISO 279:1998). Cabe mencionar que se debe considerar que la determinación de la densidad se realiza a una temperatura constante, de preferencia a temperatura ambiente entre 20 y 25 °C (Anexo A).

- **Determinación del índice de refracción.**

Se calculará empleando la norma AFNOR NF 75-112 (ISO 280:1998), mediante la utilización de un refractómetro, este dispositivo permite medir la velocidad de una propagación de luz en el aceite esencial a una temperatura determinada de 20 °C (Anexo B).

### **2.3 Técnicas de procesamiento de datos**

Para la investigación es óptimo realizar la técnica de estadística descriptiva, la cual permitirá recoger, almacenar, ordenar y realizar tablas o gráficos con los datos obtenidos.<sup>50</sup>

De esta manera será posible realizar la comparación entre los resultados obtenidos del aceite esencial de las tres muestras y compararlos con los estudios de otros autores.

Los datos obtenidos de los componentes principales del aceite esencial se analizarán con el programa estadístico SPSS versión 25. Para ello se realizará un análisis de componentes principales (PCA).

Los datos de la densidad y el índice de refracción se analizarán con el programa estadístico STATGRAPHICS 19, esto con la finalidad de realizar un análisis de varianza.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Recolección de material vegetal

En la Tabla 3 se muestra el peso de las muestras recolectadas y la cantidad del aceite esencial extraído de Chilla (Muestra A), Piñas (Muestra B) y Arenillas (Muestra C), respectivamente.

**Tabla 3. Cantidad de materia vegetal y aceite esencial extraído**

| Muestra | Peso (g) | Aceite extraído (g) |
|---------|----------|---------------------|
| A       | 3450     | 1,4173              |
| B       | 3850     | 2,7281              |
| C       | 4150     | 3,3304              |

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.2 Determinación del Rendimiento

A continuación, en la Tabla 4 se muestra el rendimiento de las diferentes muestras del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*).

**Tabla 4. Rendimiento de los aceites esenciales de ruda (*Ruta graveolens*)**

| Muestra | Rendimiento (%) | X      |
|---------|-----------------|--------|
| A       | 0,0495          |        |
| B       | 0,0844          | 0,0760 |
| C       | 0,0942          |        |

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la Tabla 4, se podría decir que no existe gran diferencia entre los porcentajes de rendimiento de los aceites esenciales, siendo así que los resultados obtenidos de la Muestra C (Arenillas, 227 m.s.n.m.) presenta un mayor rendimiento correspondiente al 0,0941 % en comparación a la Muestra A (Chilla, 3906 m.s.n.m.) y Muestra B (Piñas, 1014 m.s.n.m.), esto puede atribuirse a diversos factores como la ubicación geográfica, la altitud, la temperatura, el suelo, el nivel de estrés, y las condiciones climáticas.

Según investigaciones realizadas en Ecuador (Guayaquil, 4 m.s.n.m.) por Ramón <sup>13</sup>, el rendimiento del aceite esencial oscila entre 0,164 y 0,23 %, comparando con los rendimientos obtenidos de la experimentación existe una gran diferencia, de la misma manera en dos estudios realizados en la ciudad de Latacunga (2860 m.s.n.m.) por Montero y Fernández <sup>10,51</sup>, obtuvieron un rendimiento del 0,007 y 0,13 %, respectivamente.

Sin embargo, estudios realizados en Venezuela (Merida, 1630 m.n.s.m.) por Meccia <sup>3</sup>, sostienen que el rendimiento del aceite esencial es 0,1 %, mientras que en Perú (Lima, 2240 m.s.n.m.), Ruiz et al <sup>52</sup> menciona que el rendimiento es 0,27 %. Y en Iran (Lahijan, 4 m.s.n.m.), Soleimani <sup>53</sup> determino un rendimiento de 0,4 %.

El rendimiento es muy variado y podemos observar que las muestras analizadas por nosotros son las que menor rendimiento han generado al compararlas con el resto de investigaciones nacionales e internacionales.<sup>3,10,51-53</sup>

### **3.3 Composición química del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*)**

Se llevó a cabo el análisis cuantitativo y cualitativo para realizar la identificación de los componentes de los aceites obtenidos, de los cuales se identificaron 5 compuestos mayoritarios como se muestran en los Anexos C, D y E, en donde se pueden visualizar los cromatogramas, de modo que cada pico integrado hace referencia al compuesto conforme el área proporcional a su concentración.

La Tabla 5, 6 y 7, representan la composición química de las muestras de Chilla, Piñas y Arenillas, correspondientes a las Muestras A, B y C, respectivamente.



**Tabla 5. Composición química del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*), Muestra A**

| <b>Compuestos</b>                      | <b>Tiempo de Retención (min)</b> | <b>Área Relativa (%)</b> | <b>LRlc</b> | <b>LRlr</b> |
|--|----------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|
| 2-Nonanona                             | 18,785                           | 26,06                    | 1099        | 1087        |
| Nonanal <n->                           | 19,734                           | 0,28                     | 1113        | 1100        |
| Myroxide <(Z)->                        | 21,206                           | 0,45                     | 1135        | 1131        |
| Verbenol <cis->                        | 21,900                           | 3,65                     | 1145        | 1137        |
| Decanona <2->                          | 25,577                           | 2,69                     | 1199        | 1190        |
| Hexyl (2E)-butanoate                   | 28,049                           | 2,58                     | 1241        | 1242        |
| Undecanona <2->                        | 31,603                           | 46,75                    | 1300        | 1293        |
| Nonanyl acetate <n->                   | 32,484                           | 0,42                     | 1317        | 1311        |
| Undecanal <2-methyl->                  | 35,280                           | 1,50                     | 1372        | 1365        |
| Methyl decyl ketone<br>(=2-dodecanona) | 36,749                           | 1,91                     | 1401        | 1388        |
| Caryophyllene <(E)->                   | 37,810                           | 0,17                     | 1425        | 1419        |
| Acoradiene <10-epi-β->                 | 40,399                           | 0,69                     | 1482        | 1474        |
| Germacrene D                           | 40,650                           | 0,56                     | 1488        | 1480        |
| Zingiberene <α->                       | 41,201                           | 0,65                     | 1500        | 1493        |
| Tridecanone <2->                       | 41,307                           | 2,15                     | 1503        | 1495        |
| Cuprenene <α->                         | 41,820                           | 0,30                     | 1516        | 1505        |
| Germacrene B                           | 43,558                           | 0,25                     | 1562        | 1559        |
| Nerolidol <(E)->                       | 43,875                           | 0,53                     | 1570        | 1561        |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 6. Composición química del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*), Muestra B**

| <b>Compuestos</b>                      | <b>Tiempo de Retención (min)</b> | <b>Área Relativa (%)</b> | <b>LRlc</b> | <b>LRlr</b> |
|--|----------------------------------|--------------------------|-------------|-------------|
| 2-Nonanona                             | 18,720                           | 39,06                    | 1098        | 1088        |
| Myroxide <(Z)->                        | 21,332                           | 0,42                     | 1137        | 1131        |
| Verbenol <cis->                        | 21,900                           | 3,67                     | 1145        | 1137        |
| Decanona <2->                          | 25,573                           | 2,09                     | 1199        | 1190        |
| Hexyl (2E)-butanoate                   | 28,043                           | 1,32                     | 1240        | 1242        |
| Undecanona <2->                        | 31,624                           | 43,99                    | 1300        | 1293        |
| Nonanyl acetate <n->                   | 32,484                           | 0,27                     | 1317        | 1311        |
| Undecanal <2-methyl->                  | 35,284                           | 1,27                     | 1372        | 1365        |
| Methyl decyl ketone<br>(=2-dodecanona) | 36,749                           | 1,16                     | 1401        | 1388        |
| Tridecanone <2->                       | 41,307                           | 1,29                     | 1503        | 1495        |
| Pinene < $\beta$ ->                    | 12,092                           | 0,23                     | 992         | 974         |
| Octanone <2->                          | 12,384                           | 0,41                     | 997         | 988         |
| Rosefuran epoxide                      | 22,730                           | 0,23                     | 1157        | 1173        |

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 7. Composición química del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*), Muestra C**

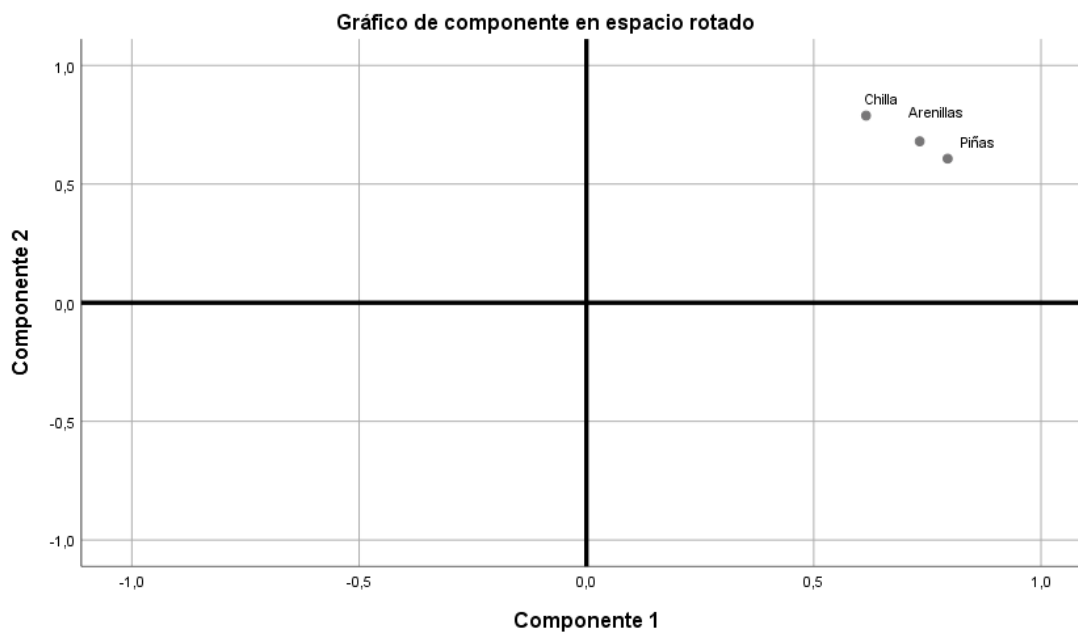
| Compuestos                             | Tiempo de Retención (min) | Área Relativa (%) | LRlc | LRlr |
|--|---------------------------|-------------------|------|------|
| 2-Nonanona                             | 18,741                    | 35,30             | 1099 | 1087 |
| Myroxide <(Z)->                        | 21,342                    | 0,46              | 1137 | 1131 |
| Verbenol <cis->                        | 21,907                    | 3,92              | 1145 | 1137 |
| Decanona <2->                          | 25,584                    | 2,11              | 1199 | 1190 |
| Hexyl (2E)-butanoate                   | 28,053                    | 1,56              | 1241 | 1242 |
| Undecanone <2->                        | 31,624                    | 47,09             | 1300 | 1293 |
| Nonanyl acetate <n->                   | 32,491                    | 0,30              | 1317 | 1311 |
| Undecanal <2-methyl->                  | 35,294                    | 1,33              | 1373 | 1365 |
| Methyl decyl ketone<br>(=2-dodecanona) | 36,760                    | 1,15              | 1402 | 1388 |
| Germacrene B                           | 43,575                    | 0,20              | 1562 | 1559 |
| Tridecanone <2->                       | 41,317                    | 1,34              | 1503 | 1495 |
| Octanone <2->                          | 12,401                    | 0,21              | 998  | 988  |

Fuente: Elaboración Propia

Al obtener el perfil químico cualitativo y cuantitativo se determinó que existe una variación, puesto que en la Muestra A se obtuvieron 18 compuestos, mientras que en las Muestras B y C se encontraron 13 y 12 compuestos, respectivamente.

Por otro lado, el análisis de componentes principales en donde se realizó la comparación entre sí de la composición de las tres muestras en estudio, nos permite observar que se encuentran ubicadas en un mismo cuadrante y la distancia entre ellas no es pronunciada, es decir tienen un comportamiento considerablemente semejante. Los resultados del análisis multivariado se muestran en la Figura 1.

**Figura 1. Análisis de componentes principales (PCA) que involucra las composiciones relativas (%) de los aceites esenciales de ruda (*Ruta graveolens*) obtenidas por cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) de diferentes regiones de la provincia de El Oro.**



Fuente: Elaboración Propia

Para verificar la viabilidad del PCA, se utilizó el índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de Bartlett. El cálculo del índice KMO dio como resultado un valor de 0,5 y la prueba de Bartlett ha obtenido una  $p < 0,001$ , lo que significa que la prueba es significativa.

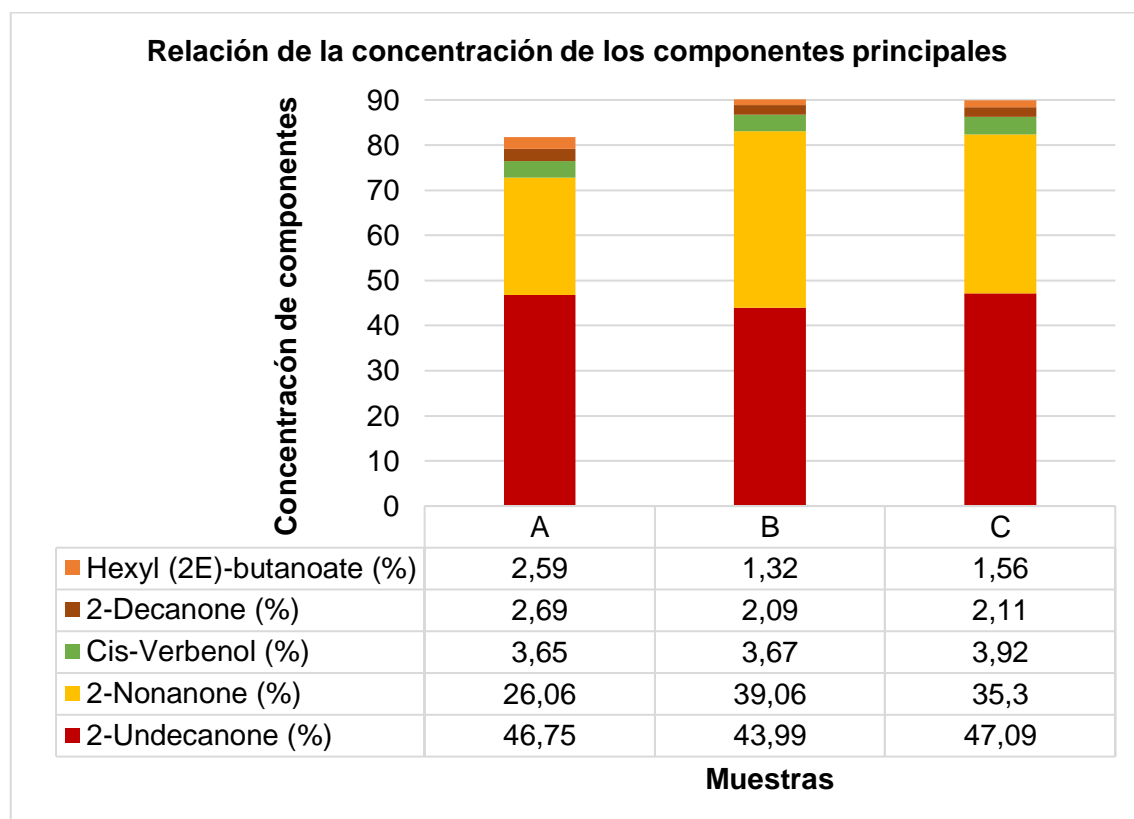
**3.3.1 Comparación de los componentes mayoritarios.** En la Tabla 8 y en la Figura 2 se presentan el análisis del perfil químico de los componentes principales de ruda (*Ruta graveolens*) se realizó en función de los compuestos mayoritarios de los cuales se identificaron 5 componentes comunes, siendo estos los siguientes: 2-Undecanone, 2-Nonanone, Cis-Verbenol, 2-Decanone, Hexyl (2E)-butanoate.

**Tabla 8. Datos agrupados de acuerdo al análisis de componentes principales del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*)**

| Muestra  | 2-Undecanone (%) | 2-Nonanone (%) | Cis-Verbenol (%) | 2-Decanone (%) | Hexyl (2E)-butanoate (%) |
|----------|------------------|----------------|------------------|----------------|--------------------------|
| <b>A</b> | 46,75            | 26,06          | 3,65             | 2,69           | 2,59                     |
| <b>B</b> | 43,99            | 39,06          | 3,67             | 2,09           | 1,32                     |
| <b>C</b> | 47,09            | 35,30          | 3,92             | 2,11           | 1,56                     |

Fuente: Elaboración Propia

**Figura 2. Relación de la concentración de los componentes principales de las muestras de aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*)**



Fuente: Elaboración Propia

En este caso observamos que los compuestos mayoritarios en nuestras tres muestras son comunes y semejantes en cuanto a su concentración.

Por lo tanto, se podría decir que dentro de nuestro país, la planta presenta diferencias notables en su composición como es el caso del estudio realizado en Guayaquil por Ramón <sup>13</sup>, en el cual se registraron los siguientes compuestos mayoritarios: 2-undecanona (39,97 %), 2-nonanona (38,05 %), pregeijerene (3,12 %), hexadecanoic acid (2,45 %) y 2-decanona (1,99 %); mientras que en Latacunga por Fernández et al <sup>51</sup> como mayoritarios se encontraron: 2-undecanona (46,74 %), 2-nonanona (28,14 %), isomatumin (5,17 %), geireno (5,02 %) y 2-decanona (2,04 %).

Sin embargo, referente a estudios internacionales se ha demostrado que la composición química del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) tiende a variar según su ubicación geográfica, como es el caso de Venezuela <sup>3</sup> que entre sus componentes mayoritarios están 2-undecanona (43,0 %), 2-nonanona (33,5 %), pregeijereno (6 %), trans-anetol (3,5 %) y 2-decanona (3,3 %). Y en otros países como Brasil <sup>29</sup> los mayoritarios son 2-undecanona (47,21 %), 2-nonanona (39,17 %), Acetato de Etilo (7,31 %), 2-decanona (2,03 %), diethyl phthalate (1,73 %); en Perú <sup>52</sup> 2-undecanona (40,88 %), 2 nonanona (28,96 %), 5,6-dietenil-1-metil-ciclohexeno (4,22 %),  $\beta$ -cariofileno (3,40 %), 2-decanona (1,19 %); y en Irán <sup>53</sup> 2-undecanona (33,9 %), 2-nonanona (8,8 %), 2-heptanol acetate (17,5 %), 1 dodecanol (11 %) y 2-decanona (1,9 %).

Una vez analizados los resultados proporcionados por las investigaciones antes mencionadas podemos observar que 2-undecanona, 2-nonanona y 2-decanona resultaron ser compuestos comunes entre las investigaciones antes mencionadas con los obtenidos en la presente investigación. Es importante mencionar que las diferencias en la composición química del aceite esencial surgen por agentes físicos como la ubicación geográfica, condiciones climáticas, variaciones estacionales, calidad del suelo, inclusive por el método de procesamiento, los protocolos de extracción, entre otras.

### **3.4 Determinación de las propiedades físicas del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*)**

Las propiedades físicas que se analizaron del aceite esencial fueron la densidad relativa y el índice de refracción, ya que un valor menor del índice de refracción y densidad dependen de la cantidad de fenoles por lo que afectarían a la calidad y pureza del aceite.

3.3.1 *Densidad Relativa*. En la Tabla 9, se muestra el valor promedio obtenido de la densidad relativa de ruda (*Ruta graveolens*) que permitirá analizar su calidad.

**Tabla 9. Densidad relativa del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*)**

| Muestra | Densidad (g/mL) |       |      | $\bar{x}$ |
|---------|-----------------|-------|------|-----------|
|         | R1              | R2    | R3   |           |
| A       | 0,83            | 0,83  | 0,84 | 0,8386    |
| B       | 0,84            | 0,845 | 0,83 |           |
| C       | 0,852           | 0,84  | 0,84 |           |

Fuente: Elaboración Propia

La densidad relativa obtenida del promedio de las muestras fue de 0,8386 g/mL, este valor se encuentra dentro de 0,80 – 1,18 g/mL de acuerdo al parámetro establecido por la literatura para aceites esenciales<sup>54</sup>, la misma que indica la calidad y pureza de dicho aceite.

La Tabla ANOVA (Anexo F), descompone la varianza de densidad en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1,83532 es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que, el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05 no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de densidad con un nivel de ubicación y otro, con un nivel de confianza del 95,0%.

3.3.2 *Índice de Refracción*. En la Tabla 10 se presentan los resultados obtenidas de la muestra del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*).

**Tabla 10. Índice de refracción del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*)**

| Índice de Refracción |        |        |        |           |
|----------------------|--------|--------|--------|-----------|
| Muestra              | R1     | R2     | R3     | $\bar{x}$ |
| A                    | 1,4899 | 1,4888 | 1,492  |           |
| B                    | 1,4908 | 1,4897 | 1,4889 | 1,4897    |
| C                    | 1,4889 | 1,4892 | 1,4895 |           |

Fuente: Elaboración Propia

El índice de refracción promedio de las muestras fue de 1,4897, valor que se encuentra entre 1,40 – 1,61 acorde a los parámetros reportados en la literatura para aceites esenciales.<sup>54</sup> Cabe mencionar que esta propiedad física indica la calidad y la pureza del aceite esencial. Dicha propiedad cambia si se diluye o se mezcla con otras sustancias.

La Tabla ANOVA (Anexo G), descompone la varianza de IR en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0,665142, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que, el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0,05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de IR con un nivel de ubicación y otro, con un nivel de confianza del 95,0%.



## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se obtuvo el aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) de las diferentes muestras, de las cuales el rendimiento promedio fue de 0,0760 %, un valor bajo al reportado por la literatura, ya que debe estar alrededor de 0,3 % para ser viable para la extracción del aceite. Cabe mencionar que no existe diferencia considerable entre los porcentajes de rendimiento de las muestras tratadas.
- La densidad relativa promedio fue de 0,8386 g/mL y el índice de refracción promedio de 1,4897; valores que se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la literatura, de modo que se obtuvo un aceite puro y de calidad. El análisis estadístico demostró que no existe una variación significativa entre las 3 muestras obtenidas.
- El análisis de la composición química de los aceites estudiados demostró que no existe una gran diferencia entre ellos, pero se puede identificar una mayor semejanza entre las muestras provenientes de Arenillas y Piñas. La caracterización de los aceites de Chilla, Piñas y Arenillas, presentaron 18, 13 y 12 compuestos, respectivamente; de los cuales se identificaron 5 compuestos comunes y mayoritarios, siendo estos los siguientes: 2-Undecanona, 2-Nonanona, Cis-Verbenol, 2-Decanona, Hexyl (2E)-butanoate. Sin embargo, al comparar con investigaciones relacionadas y realizadas a nivel nacional e internacional, se observa que, de los 5 metabolitos antes mencionados, 3 de ellos coinciden con la información señalada en estos estudios, los cuales son las cetonas alifáticas de cadena larga como 2-Undecanona, 2-Nonanona y 2-Decanona, pero difieren cuantitativamente en su composición.

- Las muestras procesadas se tomaron en tres sectores de la provincia que tienen diferentes altitudes geográficas, en etapa de floración, en temporada seca en un rango de tiempo de 15 días y posteriormente procesadas con un mismo método. Las variaciones en sus composiciones según la bibliografía señalan que pueden verse afectadas según sus orígenes geográficos, las variaciones estacionales, condiciones geobotánicas (composición del suelo y fertilización mineral), el nivel de estrés, los métodos de procesamiento y los protocolos de extracción, entre otros factores reportados, que de una u otra manera modifican el perfil químico cualitativo y cuantitativo. En el presente estudio el factor de mayor relevancia es la altura.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Realizar una recolección y selección adecuada de la materia vegetal silvestre para no afectar la obtención de resultados.
- Realizar estudios de la especie de ruda (*Ruta graveolens*) en etapas de floración y post-floración, para obtener más información sobre sus perfiles químicos y la variación de estos.
- Desarrollar otros estudios sobre la caracterización del aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) para conocer sus propiedades bioactivas para su aprovechamiento en el tratamiento de microorganismos patógenos.
- Evaluar los polifenoles totales del aceite esencial para determinar cómo afecta en la calidad y pureza del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Bandoni, A. L.; Retta, D.; Di Leo Lira, P. M.; Baren, C. M. ¿Son Realmente Útiles Los Aceites Esenciales? *Boletín Latinoam y del Caribe Plantas Med.y Aromáticas* **2009**, *8*, 317–322. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85611977001> (12/10/2022).
- (2) Mena-Huertas, S. J.; García-López, J. P.; Nicola-Benavides, S. N.; Yépez-Chamorro, M. C. Inocuidad Citotóxica y Mutagénica de Los Aceites Esenciales de *Rosmarinus Officinalis* L. y *Ruta Graveolens* L. Promisorios Para El Tratamiento Complementario de La Infección Por *Helicobacter Pylori*. *Actual. Biológicas* **2016**, *38* (104), 37–44. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v38n104a04>
- (3) Meccia, G.; Rojas, L. B.; Usubillaga, A. Estudio Del Aceite Esencial de *Ruta Graveolens* L. Que Crece En El Estado Mérida , Venezuela. *Rev la Fac Farm* **2009**, *50*, 7–9. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/27894> (12/10/2022).
- (4) Nahar, L.; El-Seedi, H. R.; Khalifa, S. A. M.; Mohammadhosseini, M.; Sarker, S. D. *Ruta Essential Oils: Composition and Bioactivities* **2021**; Vol. 26. <https://doi.org/10.3390/molecules26164766>
- (5) Pino-Pérez, O.; Rojas-Fernández, M. M.; Sánchez-Pérez, Y.; Espinosa-Castaño, I. Antibacterial Activity of Essential Oils Obtained from Plants of Cuban Origin against *Streptococcus Suis*. *Rev Salud Anim* **2018**, *40* (3), 2224–4700. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-570X2018000300008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2018000300008) (15/10/2022).
- (6) Aparicio zambrano, R.; Velasco Carrillo, J.; Paredes Uzcategui, R.; Rojas Fermín, L. Caracterización Química y Actividad Antibacteriana Del Aceite Esencial de *Mangifera Indica* L. de Tres Regiones de Venezuela. *Rev Colomb Química* **2019**, *48* (3), 13–18. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n3.79292>

- (7) Yañez Rueda, X.; Parada Parada, D. Y.; Lugo Mancilla, L. L. Variabilidad Del Rendimiento Del Aceite Esencial de *Calycolpus Moritzianus* Nativo de Norte de Santander (Colombia) de Acuerdo Con El Tratamiento de La Hoja Xiomara Yañez Rueda, Diana Yamile Parada Parada, Luis Leonardo Lugo Mancilla. *Bistua Rev la Fac Ciencias Básicas ISSN 0120-4211 Univ Pamplona Colomb* **2011**, Vol 9 (1): (0120–4211), 48–54. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90322640007> (15/10/2022).
- (8) Sánchez, O.; Manuel, S.; Bonilla, C.; Carmen, R.; Vanegas, M. Efecto de La Altura y Frecuencia de Corte y Secado En El Rendimiento y Calidad Del Aceite Esencial de Pronto Alivio. *Sci. Tech.* **2007**, XIII (33), 235–255. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903367> (15/10/2022).
- (9) Abdellaoui, M.; Bouhlali, E. dine T.; Derouich, M.; El-Rhaffari, L. Essential Oil and Chemical Composition of Wild and Cultivated Fennel (*Foeniculum Vulgare* Mill.): A Comparative Study. *South African J Bot* **2020**, 135, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.09.004>
- (10) Montero Recalde, M. A. Eficacia Antimicrobiana Del Aceite Esencial de Ruta Graveolens (Ruda) Sobre *Staphylococcus Aureus* Subesp Aureus ATCC 25904, **2018**, Vol. 1. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7623> (15/10/2022).
- (11) Leos-Malagon, A. S.; Saavedra-Cruz, R. D.; Viveros-Valdez, E. Plantas Aromáticas Posiblemente Útiles Contra El SARS-CoV-2 ( Covid-19 ). *Arch Venez Farmacol y Ter* **2020**, 39 (0798–0264), 744–756. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4406779>
- (12) Jiménez-Romero, E. M.; Moreno-Vera, A. N.; Villacis-Calderon, A. C.; Rosado-Sabando, J. K.; Morales-Moreira, D. M.; Bravo-Bravo, A. D. Estudio Etnobotánico y Comercialización de Plantas Medicinales Del Bosque Protector Murocomba y Su Área de Influencia Del Cantón Valencia, Ecuador. *Cienc Tecnol Agropecu* **2019**, 20 (3). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol20\\_num3\\_art:1597](https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num3_art:1597)
- (13) Ramón Alvarado, J. A. *Extracción y Caracterización de Aceites Esenciales de La Ruda Ruta Graveolens L. y El Marco Ambrosia Chamissonis Para Su Potencial Uso Como Plaguicida*; **2020**. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50266> (16/10/2022).

- (14) Meyer Torres, G.; Sarmiento, O. I.; Ramírez, R. I.; Guevara, O. Evaluación Del Rendimiento Del Aceite Esencial de Caléndula (*Calendula Officinalis* L) Obtenido Por OAH D *Rev ION* **2018**, 31 (1), 13–19. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018002>
- (15) Silva-Flores, P. G.; Galindo-Rodríguez, S. A.; Pérez-López, L. A.; Alvarez-Román, R. Aceites Esenciales Libres y Encapsulados Como Potenciales Antioxidantes En Piel. *Rev Mex Ciencias Farm* **2017**, 48 (2), 7–15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57956615002> (16/10/2022).
- (16) Bermúdez-Vásquez, M. J.; Granados-Chinchilla, F.; Molina, A. Composición Química y Actividad Antimicrobiana Del Aceite Esencial de *Psidium Guajava* y *Cymbopogon Citratus*. *Agron Mesoam* **2019**, 147–163. <https://doi.org/10.15517/am.v30i1.33758>
- (17) Labrada-Hechavarría, Y.; Cordoví-Velázquez, J. M.; Ledea-Rodríguez, J. L.; Rapado-Paneque, M.; Rosabal-Cordoví, U. M. Caracterización Física y Química de Aceite Esencial de *Azadirachta Indica* A Juss Expuesto a Radiación Gamma. *Rev Cuba Química* **2018**, 30 (3), 454–469. <https://www.redalyc.org/journal/4435/443557797007/html/> (16/10/2022).
- (18) Enriquez, M.; Orrabalís, C. Caracterización Química Del Aceite Esencial Obtenido de La Madera de *Bulnesia Sarmientoi* Lorenz Ex Griseb (Palo Santo) Recolectado Del Departamento Matacos de La Provincia de Formosa, Argentina = Chemical Characterization of the Essential Oil Obtained Fro. *Multequina Lat Am J Nat Resour* **2019**, 28, 59–66. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-73292019000200001](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73292019000200001) (16/10/2022).
- (19) Arias-Cedeño, Q.; Leyva-Silva, M.; Avila-Bornot, E.; Feist, H.; Langer, P. Caracterización Del Aceite Esencial de *Curcuma Longa* L. Y Actividad Insecticida Frente *Aedes Aegypti*. *Rev Cuba Química* **2020**, 32 (3), 378–389. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443565548002> (18/10/2022).
- (20) Velandia, S. A.; Quintero, E.; Stashenko, E. E.; Ocazonez, R. E. Actividad Antiproliferativa de Aceites Esenciales de Plantas Cultivadas En Colombia. *Acta Biológica Colomb* **2018**, 23 (2), 189–198. <https://doi.org/10.15446/abc.v23n2.67394>

- (21) Casado Villaverde, I. Optimización de La Extracción de Aceites Esenciales Por Destilación En Corriente de Vapor. *Univ Politécnica Madrid* **2018**, 1, 84. <https://oa.upm.es/49669/> (18/10/2022).
- (22) Pino, J. A.; Aragüez, Y. Conocimientos Actuales Acerca de La Encapsulación de Aceites Esenciales. *Rev CENIC Ciencias Químicas* **2021**, 52 (1), 010–025. <https://www.redalyc.org/journal/1816/181669387003/html/> (18/10/2022).
- (23) Zayas-Pinedo, P.; Gabilondo-Zubizarreta, F. J.; Torrero-López, V. Fototoxicidad Tras Exposición a Ruta Graveolens. *Cir Plast Ibero-Latinoamericana* **2014**, 40 (4), 455–458. <https://doi.org/10.4321/S0376-78922014000400013>
- (24) Barboza, J.; Hilje, L.; Durón, J.; Cartín, V.; Calvo, M. Actividad Fagodisuasiva y Sistémica de Una Formulación Derivada de Un Extracto de Ruda (Ruta Chalepensis, Rutaceae) Sobre Larvas de Hypsipyla Grandella (Lepidoptera: Pyralidae). *Rev Biol Trop* **2009**, 58 (1), 15–29. <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i1.5191>
- (25) Aranibar, E. R. Extracción de Aceite Esencial de Ruda. *Univ Mayor San Simón* **2015**. <https://es.scribd.com/doc/251536735/Extraccion-de-Aceite-Esencial-de-Ruda> (18/10/2022).
- (26) Tovar, C. D. G.; Delgado-Ospina, J.; Porras, D. P. N.; Peralta-Ruiz, Y.; Cordero, A. P.; Castro, J. I.; Valencia, M. N. C.; Mina, J. H.; López, C. C. Colletotrichum Gloesporioides Inhibition in Situ by Chitosan-Ruta Graveolens Essential Oil Coatings: Effect on Microbiological, Physicochemical, and Organoleptic Properties of Guava (Psidium Guajava L.) during Room Temperature Storage. *Biomolecules* **2019**, 9 (9). <https://doi.org/10.3390/biom9090399>
- (27) Mahmoud, E. A.; Elansary, H. O.; El-Ansary, D. O.; Al-Mana, F. A. Elevated Bioactivity of Ruta Graveolens against Cancer Cells and Microbes Using Seaweeds. *Processes* **2020**, 8 (1). <https://doi.org/10.3390/pr8010075>
- (28) Forsatkar, M. N.; Hedayatirad, M.; Luchiari, A. C. “Not Tonight Zebrafish”: The Effects of Ruta Graveolens on Reproduction. *Pharm Biol* **2018**, 56 (1), 60–66. <https://doi.org/10.1080/13880209.2017.1421234>

- (29) França Orlanda, J. F.; Nascimento, A. R. Chemical Composition and Antibacterial Activity of *Ruta Graveolens* L. (Rutaceae) Volatile Oils, from São Luís, Maranhão, Brazil. *South African J Bot* **2015**, *99*, 103–106. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.03.198>
- (30) Delgadillo Ruiz, L.; Bañuelos Valenzuela, R.; Delgadillo Ruiz, O.; Silva Vega, M.; Gallegos Flores, P. Composición Química y Efecto Antibacteriano in Vitro de Extractos de *Larrea Tridentata*, *Origanum Vulgare*, *Artemisa Ludoviciana* y *Ruta Graveolens*. *Nov Sci* **2017**, *9* (19), 273. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.1019>
- (31) Hazrati, S.; Khurizadeh, S.; Sadeghi, A. R. Application of Zeolite Improves Water and Nitrogen Use Efficiency While Increasing Essential Oil Yield and Quality of *Salvia Officinalis* under Water-Deficit Stress. *Saudi J Biol Sci* **2022**, *29* (3), 1707–1716. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.10.059>
- (32) Reis, K. B.; Carvalho Barros Cortes, M. V.; Severino Martins, F.; Corsi de Filippi, M. C.; Realino de Paula, J.; Cardoso da Conceição, E. Characterization of Rue Extract and Its Potential for Controlling Rice Blast. *Pesqui Agropecu Bras* **2015**, *50* (12), 1121–1130. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200001>
- (33) Attia, E. Z.; Abd El-Baky, R. M.; Desoukey, S. Y.; El Hakeem Mohamed, M. A.; Bishr, M. M.; Kamel, M. S. Chemical Composition and Antimicrobial Activities of Essential Oils of *Ruta Graveolens* Plants Treated with Salicylic Acid under Drought Stress Conditions. *Futur J Pharm Sci* **2018**, *4* (2), 254–264. <https://doi.org/10.1016/j.fjps.2018.09.001>
- (34) Indira, T. I.; Burhan, K. H.; Manurung, R.; Widiana, A. Enhancement of Essential Oil Yield from *Melaleuca Leucadendra* L. Leaves by Lignocellulose Degradation Pre-Treatment Using Filamentous Fungi. *J Bioresour Bioprod* **2021**, *6* (4), 379–386. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.02.010>
- (35) Orlanda, J. F. F.; Mouchrek, A. N. Efeito Larvicida Do Óleo Essencial Das Folhas de *Ruta Graveolens* LINNEAU No Controle de *Aedes Aegypti* (LINNAEU, 1762) (Diptera: Culicidae). *Res Soc Dev* **2021**, *10* (12), e115101220028. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20028>

- (36) Hammad, E. A.; El-Sagheer, A. M. Comparative Efficacy of Essential Oil Nanoemulsions and Bioproducts as Alternative Strategies against Root-Knot Nematode, and Its Impact on the Growth and Yield of Capsicum Annuum L. *J Saudi Soc Agric Sci* **2023**, *22* (1), 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2022.06.002>
- (37) Lipa Huamaní, F. G. Estudio comparativo en el proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalipto glóbulus labill*) mediante el método de destilación por arrastre de vapor y el método de hidrodestilación asistido por radiación microondas. **2014**, 19–80. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3986> (20/10/2022).
- (38) Altamirano Meza, C. Determinación de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos (BTEX) En Aire Ambiente Del Distrito Metropolitano de Quito Mediante Cromatografía de Gases Con Detector de Ionización de Llama Disertación. *Pontif. Univ. Católica del Ecuador, Esc. Ciencias Químicas* **2017**, No. 1, 43. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- (39) Skoog, D. A.; Holler, F. J.; Grouch, S. R. *Principios de Análisis Instrumental*; **2008**. [https://www.academia.edu/43268766/Principios\\_de\\_an%C3%A1lisis\\_instrumental\\_Skoog\\_Douglas\\_A\\_Holler\\_F\\_James\\_Crouch\\_St Stanley\\_R\\_Sexta\\_Edici%C3%B3n\\_Cengage\\_Learning\\_Editores\\_2008\\_M%C3%A9xico](https://www.academia.edu/43268766/Principios_de_an%C3%A1lisis_instrumental_Skoog_Douglas_A_Holler_F_James_Crouch_St Stanley_R_Sexta_Edici%C3%B3n_Cengage_Learning_Editores_2008_M%C3%A9xico) (20/10/2022).
- (40) Agilent Technologies. Guía de Selección de Columnas Agilent J & W Para GC. **2010**, 157. <https://www.agilent.com/cs/library/selectionguide/Public/5990-5488ES.pdf> (20/10/2022).
- (41) Wang, J.; Li, Y.; Lu, Q.; Hu, Q.; Liu, P.; Yang, Y.; Li, G.; Xie, H.; Tang, H. Drying Temperature Affects Essential Oil Yield and Composition of Black Cardamom (*Amomum Tsao-Ko*). *Ind Crops Prod* **2021**, *168*, 113580. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113580>
- (42) Jayasundara, N. D. B.; Arampath, P. Effect of Variety, Location & Maturity Stage at Harvesting, on Essential Oil Chemical Composition, and Weight Yield of Zingiber Officinale Roscoe Grown in Sri Lanka. *Heliyon* **2021**, *7* (3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06560>



- (43) Abdellaoui, M.; Bouhlali, E. dine T.; Kasrati, A.; El Rhaffari, L. The Effect of Domestication on Seed Yield, Essential Oil Yield and Antioxidant Activities of Fennel Seed ( *Foeniculum Vulgare Mill* ) Grown in Moroccan Oasis. *J Assoc Arab Univ Basic Appl Sci* **2017**, *24* (1), 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.jaubas.2017.06.005>
- (44) Coronel Cazares, I. A.; Piedra Santana, J. S. Estudio de Las Propiedades Físicas y Composición Química de Los Aceites Esenciales de Las Hojas de *Peperomia Inaequalifolia* Ruiz & Pav. Y *Piper Pubinervulum* c. Dc., y Del Rizoma de *Renealmia Thyrsoides* Subsp. *Thyrsoides*. *Univ Politécnica Sales* **2014**, 1–118. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6632> (20/10/2022).
- (45) Toledo, J. P. E.; Merino, W. V.; Cueva, K. M.; Aguilar, A. R.; Valencia, J. C. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Piñas. *Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro*. **2015**, p 451. [https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000180001\\_PDYOT-PROVINCIA%20EL%20ORO-14-08-2015\\_14-08-2015\\_18-31-46.pdf](https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000180001_PDYOT-PROVINCIA%20EL%20ORO-14-08-2015_14-08-2015_18-31-46.pdf) (20/10/2022).
- (46) Yupangui Tenesaca, H. R. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Chilla. *Gob Autónomo Decentralizado del Cantón Chilla* **2015**, 1–90. [https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0160002210001\\_PD%20y%20OT%20DEFINITIVO%20SENPLADES\\_14-03-2015\\_15-57-29.pdf](https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0160002210001_PD%20y%20OT%20DEFINITIVO%20SENPLADES_14-03-2015_15-57-29.pdf) (22/10/2022)
- (47) Segarra Gomez, F. Plan De Ordenacion Territorial Del Canton Arenillas. *Gob Autónomo Decentralizado del Cantón Arenillas* **2013**, 371. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/540> (10/10/2022).
- (48) Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de El Oro. *Plan Desarrollo Ordenamiento Territorial*. **2015**, 1–230. [https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000180001\\_PDYOT-PROVINCIA%20EL%20ORO-14-08-2015\\_14-08-2015\\_18-31-46.pdf](https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000180001_PDYOT-PROVINCIA%20EL%20ORO-14-08-2015_14-08-2015_18-31-46.pdf) (20/10/2022).

- (49) Adams, R. P. *Identificación de Esenciales Oil Compoment s by Chromatography / MS Spectometry*. **1995**.  
[https://dama.umh.es/discovery/fulldisplay?docid=alma991000636379706331&context=U&vid=34CVA\\_UMH:VU1&lang=es](https://dama.umh.es/discovery/fulldisplay?docid=alma991000636379706331&context=U&vid=34CVA_UMH:VU1&lang=es) (06/01/2023).
- (50) Sánchez Molina, A. A.; Murillo Garza, A. *Enfoques Metodológicos En La Investigación Histórica: Cuantitativa, Cualitativa y Comparativa* **2021**; Vol. 9.  
<https://doi.org/10.54167/debates-por-la-historia.v9i2.792>
- (51) Fernández Romero, L. T.; Reascos Flores, L. C. Extracción de aceite esencial de ruda (*Ruta graveolens*) mediante la metodología de arrastre de vapor. *Univ Técnica Cotopaxi Fac* **2022**. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8638> (08/02/2023)
- (52) Ruiz, C.; Díaz, C.; Rojas, R. Composición Química de Aceites Esenciales de 10 Plantas Aromáticas Peruanas. *Rev la Soc Química del Perú* **2015**, 81, 81–94.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371942316002> (10/02/2023)
- (53) Soleimani, M.; Azar, P. A.; Saber-Tehrani, M.; Rustaiyan, A. Volatile Composition of Ruta Graveolens L. of North of Iran. *World Appl Sci J* **2009**, 7 (1), 124–126.  
[https://www.idosi.org/wasj/wasj7\(1\)/17.pdf](https://www.idosi.org/wasj/wasj7(1)/17.pdf) (20/02/2023)
- (54) González Dávila, A. Extracción, Caracterización Física y Química, y Evaluación de La Actividad Biológica Del Aceite Esencial de La Especie Conocida Como Chilchi Tagetes Terniflora de La Provincia de Loja. *Univ Técnica Loja* **2018**, 89.  
<https://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/22165> (25/02/2023)

## **ANEXOS**

### **ANEXO A. Determinación de la densidad relativa a 20 °C**

#### **DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD RELATIVA A 20°C**

##### **(Método de Referencia)**

**Según la AFNOR NF T 75 – 111 JUNIO 1982**

#### **PROPUESTA:**

El presente método está basado en la norma ISO 279-1981 publicada por la Organización Internacional de Normalización.

#### **OBJETIVO DE APLICACIÓN:**

La presente norma especifica el método referido a la determinación de la densidad relativa a 20 °C de los aceites esenciales.

#### **REFERENCIAS:**

- NF T 75 – 003 Aceites esenciales – reglas generales para la preparación.
- NF T 75 – 110 Aceites esenciales – preparación de la muestra previa al análisis.

**PRINCIPIO:**

La densidad relativa a 20 °C de un aceite esencial se define como la masa de un determinado volumen de aceite a 20 °C sobre la masa de un volumen igual de agua destilada a 20 °C.

**NOTA:**

- Si es necesario operar a una temperatura diferente debido a la naturaleza del aceite para indicar la norma referente al aceite esencial. La corrección para 20 °C es de 0.0007 a 0.0008 por grado centígrado.
- La masa volumétrica a 20 °C de un aceite esencial se reporta como la masa de un cierto volumen del aceite esencial a 20 °C.

**APARATOS:**

- Picnómetro de vidrio
- Baño termostático, mantenido a una temperatura de 20 °C ±0.2 °C.
- Termómetro de precisión graduado de 10 a 30 °C, con una variación de 0.2 °C a 0.1 °C.
- °C.
- Balanza analítica.

**PROCEDIMIENTO:**

- Preparación del picnómetro: limpiar rigurosamente y luego enjuagar el picnómetro, lavar con etanol y luego con acetona, pasarlo por una corriente de aire seco. Si es necesario limpiar el picnómetro con un trapo seco o con papel filtro. Cuando se equilibre la temperatura en el cuarto de balanza, pesar el picnómetro, con el tapón en su sitio con un mg de precisión.
- Peso del agua destilada: llenar el picnómetro con agua recién destilada, que esté a una temperatura de 20 °C. Coloque el picnómetro en el baño termostático. Durante 30 minutos ajustar el nivel del agua hasta la marca, poner el tapón del picnómetro en su sitio.

- Secar el exterior del picnómetro con un trapo seco o papel filtro. Cuando se equilibre la temperatura con el cuarto de balanza, pesar el picnómetro lleno con el tapón en su sitio con 1 mg. De precisión lleno igual que en el caso anterior.
- Peso del aceite esencial: vaciar el picnómetro, luego enjuagar y secar como en el inicio. Efectuar las mismas operaciones solo que esta vez será con aceite esencial en lugar de agua.

### EXPRESIÓN DE RESULTADOS:

La densidad relativa se expresa con la siguiente formula.

$$d_{20}^{20} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \quad (3)$$

Donde:

$d_{20}^{20}$ : Densidad relativa a 20 °C, referido al agua a 20 °C

$m_0$ : Masa en gramo del picnómetro vacío

$m_1$ : Masa en gramo del picnómetro con agua

$m_2$ : Masa en gramos del picnómetro con aceite esencial

## **ANEXO B. Determinación del Índice de Refracción**

### **DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN**

#### **(Método de Referencia)**

**Según la AFNOR NF T 75 – 112 /1988**

#### **PRINCIPIO:**

Según el tipo de aparato que utilicen, la medida directa del ángulo de refracción o la observación del límite de refracción total. El aceite se mantendrá dentro de las condiciones de iso-tropismo y de transparencia.

#### **DEFINICIÓN:**

El índice de refracción de un aceite esencial es el producto entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción de un rayo luminoso de longitud de onda determinada, que pasa desde el aire a través del aceite esencial, manteniendo la temperatura constante.

La longitud de onda específica es  $(589.3 \pm 0.3)$  nm, correspondiente a la radiación D1 y D2 del espectro de sodio.

La temperatura de referencia es de 20 °C, salvo para los aceites esenciales que no son líquidos a esa temperatura. En este caso se deben adoptar las temperaturas de 25 y 30 °C según el punto de fusión del aceite considerado.

## **APARATOS:**

**Refractómetro:** utilice un refractómetro clásico que permita la lectura de los índices de refracción entre: 1.300 y 1.700 o con una precisión de  $\pm 0.0002$ .

Ajuste el aparato de manera que, a una temperatura de 20 °C, se tenga los siguientes índices de refracción según:

1.3330 para agua destilada.

1.4906 para el p-cimeno.

1.5685 para el benzoato de bencilo.

1.6585 para el 1-bromo naftaleno.

Los productos patrón deben ser puros, de calidad para la refractometría, deben también ajustarse con una lámina de índice de refracción conocida, según las indicaciones de fábrica del equipo.

## **MODO DE OPERACIÓN:**

### **Determinación:**

Pasar una corriente de agua en el refractómetro, a fin de mantener el aparato a la temperatura de referencia de 20 °C salvo para los aceites esenciales que no son líquidos a esa temperatura. En este caso deben adoptarse las temperaturas de 20 °C y 30 °C, según el punto de fusión del aceite esencial considerado. Esta temperatura no debe diferir de la temperatura de referencia más de  $\pm 0.2$  °C y debe mantenerse a  $\pm 0.2$  °C.

Antes de poner la muestra en el instrumento, llevarla a una temperatura igual a la que se realizará la medida. Para efectuar la lectura esperar que la temperatura sea estable.

**Resultados:**

Cálculos: el índice de refracción a la temperatura de referencia está dado por la siguiente formula:

$$n_D^{t'} = n_D^t + 0.0004 (t' - T) \quad (4)$$

Donde:

**n<sub>D</sub><sup>t</sup>**: valor de la lectura, obtenida a la temperatura t, o aquella a la que se ha efectuado la determinación.

**F**: factor de corrección (0.0004).

**t'**: temperatura a la que se efectuó la lectura.70

**T**: temperatura a 20 °C.

**Nota:**

Expresar los resultados con cuatro cifras decimales.

La precisión de la determinación es de ±0.0002.



**ANEXO C.** Perfil cromatográfico del aceite esencial de Ruda (*Ruta graveolens*) obtenido de la muestra de Chilla



**ANEXO D.** Perfil cromatográfico del aceite esencial de Ruda (*Ruta graveolens*) obtenido de la muestra de Piñas



**ANEXO E.** Perfil cromatográfico del aceite esencial de Ruda (*Ruta graveolens*) obtenido de la muestra de Arenillas



**ANEXO F.** Tabla ANOVA para densidad por Ubicación

| <b>Fuente</b> | <b>Suma de Cuadrados</b> | <b>Gl</b> | <b>Cuadrado Medio</b> | <b>Razón-F</b> | <b>Valor-P</b> |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Entre grupos  | 0,000170889              | 2         | 0,0000854444          | 1,84           | 0,2388         |
| Intra grupos  | 0,000279333              | 6         | 0,0000465556          |                |                |
| Total (Corr.) | 0,000450222              | 8         |                       |                |                |

**ANEXO G.** Tabla ANOVA para IR por Ubicación

| <b>Fuente</b> | <b>Suma de Cuadrados</b> | <b>Gl</b> | <b>Cuadrado Medio</b> | <b>Razón-F</b> | <b>Valor-P</b> |
|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------|----------------|----------------|
| Entre grupos  | 0,00000161556            | 2         | 8,07778E-7            | 0,67           | 0,5484         |
| Intra grupos  | 0,00000728667            | 6         | 0,00000121444         |                |                |
| Total (Corr.) | 0,00000890222            | 8         |                       |                |                |