

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA

Escuela de Ciencias

Departamento Ciencias Químico-Biológicas

UDLAP®

Evaluación antimicrobiana de extractos de la especie *Eryngium heterophyllum*

Tesis que, para completar los requisitos del Programa de Honores presenta la estudiante

Janah Andrea Inostroza Escobar

166245

Nanotecnología e Ingeniería Molecular

Director de Tesis

Dr. Luis Ricardo Hernández

San Andrés Cholula, Puebla.

Primavera 2024

Hoja de firmas

Tesis que, para completar los requisitos del Programa de Honores presenta el estudiante

Janah Andrea Inostroza Escobar 166245

Director de Tesis

Dr. Luis Ricardo Hernández

Presidente de Tesis

Dr. Eugenio Sánchez Arreola

Secretario de Tesis

Dr. José Luis Sánchez Salas

Índice

Agradecimientos	4
Introducción	5
Justificación	6
Objetivos generales.....	7
Objetivos específicos	7
Marco Teórico.....	7
Plantas Medicinales y Medicina Tradicional.....	7
Fitoquímica.....	9
Metabolitos secundarios	10
Actividad Biológica.....	13
Género <i>Eryngium</i>	19
<i>Eryngium heterophyllum</i>	24
Metodología.....	26
Resultados y Discusión.....	31
Ingrediente aromatizante	74
Referencias	83
Anexos.....	96
Anexo 1. Abreviaturas	96
Anexo 2. Tabla de compuestos (Estructuras)	99

Agradecimientos

Quiero dedicar unas palabras de profundo agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental de este viaje académico y personal. Agradezco de corazón a mis padres y mi hermano por el apoyo, comprensión y aliento durante esta etapa académica. También quiero expresar mi más sincera gratitud a mi director de tesis, el Dr. Luis Ricardo Hernández por su paciencia, guía y contribución continua a lo largo del proceso de investigación. No puedo dejar de mencionar a mis amigos, Daniela, Mariela, Omar, Joaco, Luis Enrique, Luis, Rulo, Erick, Francisco, Miranda, Andy, Pao, Marco, Roberto, Lenka, Jaz, que estuvieron siempre al pendiente, que compartieron conmigo risas, preocupaciones, logros y me recordaron en todo momento lo importante de vivir el proceso. Agradezco a Anell y mis compañeras de tesis que me apoyaron mucho. Por último, quiero agradecer a todas aquellas personas cuyo nombre no figura aquí pero siempre me apoyaron. Este logro no es solo mío, sino de todos los que me han acompañado en este camino, desde lo más profundo de mi corazón, gracias.

Introducción

Las plantas constituyen un recurso natural que tiene gran importancia en la investigación y en el desarrollo de nuevos principios activos y medicinales (1). En este proceso, disciplinas como la etnobotánica y la etnomedicina, junto con el saber ancestral, han servido como fuentes iniciales de información para la investigación fitoquímica y el análisis de la actividad biológica de las especies vegetales, lo que ha conducido a la formulación de fitofármacos (2). La fitoquímica se dedica principalmente al análisis de los componentes químicos presentes en las plantas, las cuales poseen una gran cantidad de metabolitos primarios y secundarios que le permiten crecer, propagarse, defenderse y sobrevivir. Los metabolitos secundarios o productos naturales tienen gran importancia ecológica porque participan en los procesos de adaptación de las plantas a su ambiente (3). A partir de los metabolitos secundarios, se ha evidenciado que las plantas tienen propiedades biológicas como antibacterianas, antifúngicas, anticancerígenas, antiinflamatorias, antioxidantes, antivirales, entre otras, lo que las convierte en una importante fuente para la creación de nuevos fármacos a partir de sus compuestos químicos aislados (4).

El potencial farmacológico del género *Eryngium* está ganando reconocimiento a nivel mundial, ya que recientemente, se han comenzado a recopilar datos clínicos sobre los diversos usos etnomedicinales asociados con este género. Sin embargo, un mayor estudio de su composición química y de las actividades biológicas podría conducir al desarrollo de nuevos tratamientos e incluso transformar ciertas áreas de la medicina(5). La especie *Eryngium heterophyllum* es muy conocida empíricamente, y se le atribuyen diversos usos, entre los que destacan, propiedades terapéuticas en el tratamiento de diferentes enfermedades, sin embargo, hace falta comprobar mediante investigación científica para poder ser utilizadas en el tratamiento de dichas enfermedades (6).

La presente tesis tiene como propósito estudiar la evaluación antimicrobiana de la especie *Eryngium heterophyllum* a partir de los extractos hexánico, clorofórmico, metanólico, obtenidos en laboratorio, y el extracto acuoso obtenido a partir del método de decocción, el cual se realizó a partir del procedimiento de la medicina tradicional mexicana. Para complementar este estudio, se realiza una revisión bibliográfica detallada del género *Eryngium*, haciendo una relación entre compuestos aislados del género y aquellos aprobados por la FDA (Food and Drug Administration) para su uso medicinal. Además, se abordan conceptos fundamentales de la fitoquímica y la medicina tradicional mexicana.

Justificación

Diversos autores describen una amplia variedad de especies del género *Eryngium* utilizadas en la medicina tradicional de diferentes culturas, una de ellas la mexicana (2). Entre todas las especies de este género que se originan en México, se menciona a *E. heterophyllum* que se reproduce naturalmente en el ambiente de Chapingo (7). Esta especie ha demostrado experimentalmente algunas propiedades biológicas positivas gracias a la medicina tradicional del país y también es identificada como poseedora de actividad anticancerígena (8), sin embargo, no existen estudios que confirmen esto, por lo que, estudiar la actividad antimicrobiana frente a un panel de bacterias y hongos, junto a una revisión bibliográfica del género *Eryngium*, los consideramos como los pasos preliminares indispensables para encaminar una investigación hacia la demostración de la actividad biológica de esta especie y el potencial de *E. heterophyllum* como agente terapéutico.

Objetivos generales

Evaluar la actividad antimicrobiana *in vitro* de la especie *Eryngium heterophyllum* frente a microorganismos de importancia clínica, utilizando diferentes extractos obtenidos por métodos de laboratorio y por el método usado tradicionalmente de decocción.

Objetivos específicos

Obtener los extractos hexánico, clorofórmico, metanólico y acuosos de *Eryngium heterophyllum* utilizando métodos de extracción estándar y siguiendo los protocolos de la medicina tradicional mexicana para la decocción del extracto acuoso.

Utilizar los extractos hexánico, clorofórmico, metanólico, y los sub-extractos hexánico y clorofórmico del extracto acuoso, para evaluar la actividad antimicrobiana *in vitro* frente a diferentes cepas bacterianas y fúngicas de importancia médica utilizando métodos de difusión en disco.

Complementar la información realizando una revisión bibliográfica del género *Eryngium*, incluyendo su taxonomía, distribución geográfica, usos tradicionales, composición fitoquímica y actividades biológicas reportadas.

Marco Teórico

Plantas Medicinales y Medicina Tradicional

A lo largo de la historia, uno de los factores de gran importancia para la supervivencia y perpetuación de la humanidad ha sido el conocimiento y el uso de plantas medicinales para el desarrollo de medicamentos herbarios (2). Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) se define como planta medicinal a cualquier especie vegetal que contenga sustancias que puedan utilizarse con fines terapéuticos o cuyos principios activos puedan servir como precursores para la síntesis de fármacos (9). En México, las plantas medicinales han

desempeñado un papel crucial en la historia. El conocimiento sobre su uso y aplicación ha sido transmitido de generación en generación como parte de las tradiciones heredadas y este legado ha sido fundamental para el inicio de los estudios en la farmacología (10). Existe una gran evidencia científica que reconoce la importancia de algunas plantas para usos medicinales donde México ocupa el cuarto lugar a nivel mundial entre los países con mayor riqueza de plantas medicinales y este patrimonio prehispánico sigue siendo empleado por muchas comunidades indígenas en este país (11). Sin embargo, el uso masivo de plantas medicinales está limitado por procedimientos como la clasificación, identificación y caracterización de éstas y sus principios activos, por lo tanto, la generación de conocimiento sobre plantas medicinales en diferentes latitudes es altamente relevante (9).

Los remedios empíricos, que se basaban en el método de ensayo y error, son el origen de muchos medicamentos utilizados en la medicina alópata en la actualidad. Esta práctica ha sido fundamental en el desarrollo de la medicina moderna, demostrando la importancia y la efectividad de las plantas medicinales en el tratamiento de diversas afecciones. A pesar de que en México contamos con la Ley General de Salud, que clasifica todos los remedios herbolarios como medicamentos y establece que su eficacia terapéutica y seguridad deben ser comprobados científicamente, todavía se consumen medicamentos herbolarios sin las pruebas suficientes para demostrar su utilidad ni sus posibles efectos secundarios. Esto indica una brecha entre la regulación establecida y la práctica real, lo que puede plantear riesgos para la salud pública a la falta de garantías en la calidad y seguridad de estos productos (10).

Existen diferentes formas para utilizar las plantas medicinales, las más comunes son tinturas, que consisten en dejar en contacto la planta o parte de ella con una mezcla de alcohol y agua durante una semana, el emplasto, que consiste en aplicar una o varias hierbas sobre la parte externa del cuerpo con fines medicinales, las compresas, que básicamente son paños

remojados con los extractos de hierbas. También están las infusiones y decocciones, que son de los principales y más simples métodos de usar en las plantas. La infusión se elabora con hierbas frescas o secas usando solamente partes blandas de la planta, el agua debe estar a punto de ebullición, pues ésta dispersa valiosos aceites volátiles en vapor, pero sin llegar a hervir, mientras que la decocción se realiza hirviendo la mezcla de agua y planta durante un tiempo determinado, siendo un método más efectivo para extraer principios activos de partes duras de la planta, mientras que la infusión es un método más suave. Se suelen hacer infusiones de una sola hierba o de una combinación y pueden consumirse tanto calientes como frías (12,13).

Para realizar una extracción con disolventes, consiste en colocar en contacto la planta con un disolvente que solubiliza los principios activos. Estos deben pasar de la planta al disolvente de manera que se obtenga un extracto líquido, y después el extracto se puede concentrar eliminando la mayor cantidad del disolvente. En este tipo de investigaciones se buscan disolventes con diferentes polaridades para extraer los componentes de la planta, empezando con los de menor polaridad y terminando con los de mayor polaridad. La ventaja de este método consiste en que no utiliza demasiado calor, por lo que minimiza la degradación de los componentes termolábiles del extracto. El empleo de los disolventes en secuencia según su polaridad creciente permite la división de los productos naturales según su solubilidad en los disolventes de extracción (10).

Fitoquímica

La investigación fitoquímica es la encargada de estudiar la capacidad de las plantas medicinales para tratar numerosos problemas de salud humana (2). También podemos definir a la fitoquímica como una rama de la química orgánica que comprende el aislamiento, la separación, la identificación y la determinación de metabolitos secundarios. En este contexto,

esta rama trata el tema de la biosíntesis de los metabolitos secundarios en las plantas y los avances en su comprensión están ligados al uso efectivo de técnicas conocidas y al continuo desarrollo de nuevas metodologías. La investigación fitoquímica de una planta implica varias etapas, su identificación y extracción del material vegetal, la separación y el aislamiento de los componentes de interés, la caracterización de los compuestos aislados y evaluaciones cuantitativas, además, puede involucrar la evaluación farmacológica de los componentes separados donde estos procesos permiten entender mejor la composición química de las plantas medicinales y su potencial terapéutico (10). La caracterización fitoquímica es una herramienta valiosa que nos permite revelar la presencia e identidad de metabolitos secundarios en una planta, y es útil para buscar compuestos bioactivos que pueden servir para la síntesis de nuevos fármacos y otro tipo de productos. Se utilizan técnicas más precisas como RMN (Resonancia Magnética Nuclear) y HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Resolución) para detectar, cuantificar e identificar metabolitos en extractos vegetales (9).

Metabolitos secundarios

Se estima que aproximadamente un millón de productos naturales han sido aislados y muchos de ellos han sido objeto de pruebas experimentales para evaluar sus actividades biológicas de forma cuantitativa (14). Las plantas no solo se enfocan en procesos básicos como la fotosíntesis, la respiración o la síntesis de proteínas, también dedican una parte importante del carbono y la energía que absorben a la producción de moléculas especiales, estas son los metabolitos secundarios que no parecen tener una función directa en los procesos básicos de la vida vegetal, pero les brindan otras ventajas y les permiten interactuar con su entorno de diversas maneras, como funciones ecológicas específicas como atrayentes o repelentes de animales, muchos también son pigmentos que proporcionan color a flores y frutos, jugando un papel esencial en la reproducción atrayendo insectos polinizadores o

animales que toman los frutos y terminan esparciendo las semillas. No todas las clases de metabolitos secundarios se encuentran en todos los grupos de plantas; sino que un grupo de planta biosintetiza un número reducido de clases de metabolitos secundarios que los caracteriza. Los productos naturales se sintetizan en pequeñas cantidades, generalmente con una producción restringida a un determinado género de plantas, una familia o incluso a algunas especies; las rutas biosintéticas de productos naturales derivan del metabolismo primario (15). Estos productos naturales se conocen también como principios activos y son responsables entre otras actividades, de la actividad antimicrobiana de la planta; gracias a esto, ciertos compuestos presentes en las plantas han sido de gran interés en el campo de la farmacología con fines medicinales, aunque son necesarias investigaciones adicionales para poder explorar el potencial terapéutico de un mayor número de especies vegetales y compuestos fitoquímicos, que conduzcan al desarrollo de nuevos medicamentos y tratamientos para diversas enfermedades y trastornos (2).

Las especies de diversas plantas contienen metabolitos secundarios como terpenoides, esteroides, flavonoides, saponinas, ácido rosmarínico, triterpenos, cumarinas, poliacetilenos y aceites esenciales que les otorgan sus propiedades medicinales, pero la mayoría de las especies no han sido ampliamente investigadas en cuanto a sus componentes químicos y aun menos en cuanto a sus actividades biológicas.

Terpenoides: Constituyen el grupo más numeroso de metabolitos secundarios con más de 40,000 moléculas diferentes, tienen importancia medicinal por sus propiedades anticancerígenas, antiulcerosas, antimaláricas y antimicrobianas (15).

- Aceites esenciales: Proporcionan el olor y el sabor característico de las plantas, muchas plantas producen mezclas de alcoholes, aldehídos, cetonas y terpenoides que denominamos aceites esenciales (15).

- Triterpenos: Suelen ser insolubles en agua y derivan de la unión de unidades de isopreno, en este caso tienen 6 unidades de isopreno y se representan como 30 C. Entre los triterpenos se encuentran esteroides y esterolés derivados del escualeno, una molécula de cadena lineal de 30 C de la cual derivan todos los triterpenos cíclicos, los más abundantes en plantas son estigmasterol y sitosterol (15).

Compuestos fenólicos: Las plantas sintetizan una gran variedad de productos secundarios que contienen un grupo fenol. La mayoría de los compuestos fenólicos derivan de la fenilalanina, esta ruta está presente en plantas, hongos y bacterias, pero no en animales. La enzima PAL (Fenilalanina Amino Liasa) cataliza la formación de ácido cinámico por eliminación de una molécula de amonio de la fenilalanina, las reacciones posteriores a la catalizada por PAL son adiciones de más grupos hidroxilo y otros sustituyentes. Los ácidos trans-cinámico y p-cumárico se metabolizan para formar ácido ferúlico y ácido caféico cuya función es ser precursores de otros derivados más complejos que son cumarinas, lignina, taninos, flavonoides e isoflavonoides (15).

- Flavonoides: Su estructura contiene 15 carbonos ordenados en dos anillos aromáticos unidos por un puente de tres carbonos. Entre sus funciones se encuentran la defensa y la pigmentación (15).
- Cumarinas: Se han identificado más de 1500 en más de 800 especies de plantas, que actúan como agentes microbianos y como inhibidores de germinación (15).
- RA (Ácido Rosmarínico): Es un éster del ácido caféico y del ácido (R)- (+)-3 (3,4-dihidroxifenil) láctico, derivados de los aminoácidos L-fenilalanina y L-tirosina respectivamente; se ha demostrado que actúa como anticancerígeno, antidiabético, antimicrobiano y antioxidante. También se utiliza como ingrediente

bioactivo en suplementos y en su forma aislada o semipurificada, no ha mostrado toxicidad en humanos (15).

Glicósidos: Son metabolitos vegetales de gran importancia y su nombre hace referencia al enlace glicosídico que se forma cuando una molécula de azúcar se condensa con otra que contiene un grupo hidroxilo (15).

- **Saponinas**: Son triterpenoides o esteroides que contienen una o más moléculas de azúcar en su estructura. La adición de un grupo hidrofílico (azúcar) a un terpenoide hidrofóbico da lugar a las propiedades surfactantes o detergentes similares al jabón que presentan las saponinas (15).

Alcaloides: Son una familia de más de 15,000 metabolitos secundarios que tienen tres características en común, son solubles en agua, contienen al menos un átomo de nitrógeno en la molécula y exhiben actividad biológica. A dosis bajas tienen un alto valor terapéutico como relajantes musculares, tranquilizantes o analgésicos (15).

Actividad Biológica

Algunos estudios han demostrado que las plantas, incluidas las de uso popular, producen metabolitos activos, que presentan actividades antibacterianas, antiinflamatorias, antioxidantes, anticancerígenas, antipirética entre otros descubrimientos que han hecho de las plantas una de las fuentes para el desarrollo de nuevos fármacos (4).

La resistencia antimicrobiana es la capacidad de las bacterias u otro tipo de microorganismos para contrarrestar el efecto de algún antibiótico, esta resistencia surge cuando la bacteria muta o cambia de alguna manera, esto reduce o elimina la eficacia del antibiótico, por lo que la actividad antimicrobiana se va a referir a la capacidad de una sustancia o compuesto para inhibir el crecimiento o matar a los microorganismos (16). La actividad antimicrobiana de las plantas es generalmente atribuida a los compuestos fenólicos

presentes en sus extractos o aceites esenciales (17). El CLSI (Instituto de Normas Clínicas y de Laboratorio) publica muchos estándares aceptados y aprobados para los ensayos con bacterias y levaduras; los métodos más conocidos y básicos son los métodos de difusión de discos y el de dilución de caldo o agar. Donde el ensayo de difusión de disco ofrece diversas ventajas sobre otros métodos debido a su simplicidad, su bajo costo, su capacidad para probar grandes cantidades de microorganismos y agentes antimicrobianos, y la facilidad de interpretar los resultados. El método de difusión de discos es un procedimiento que consiste en colocar en placas de agar discos de papel filtro que contienen el compuesto de prueba a una concentración deseada sobre la superficie del agar, donde normalmente el agente antimicrobiano se difunde a través del agar e inhibe el crecimiento del microorganismo de prueba, y luego se miden los diámetros de las zonas de crecimiento de inhibición (18).

- Propiedad antibacteriana: La búsqueda de sustancias con actividad antibacteriana en fuentes como las plantas, es importante porque existe la posibilidad de encontrar metabolitos secundarios con buena actividad antimicrobiana frente a bacterias resistentes a antibióticos y con otras propiedades que permitan su utilización como agentes quimioterapéuticos, desinfectantes o como preservativos antimicrobianos en productos farmacéuticos o en alimentos (19). La proyección de generar nuevas opciones para contrarrestar las infecciones producidas por bacterias multirresistentes conlleva a pensar en la posibilidad de utilizar medicina alternativa para poder atacar diferentes microorganismos (20).
- Propiedad antimicótica: Las infecciones por hongos superficiales son las micosis más comunes en el mundo, son un problema de salud pública y una causa frecuente de consulta médica. La resistencia de los hongos a los fármacos antimicrobianos y su alto costo, han producido una búsqueda de moléculas nuevas

obtenidas por síntesis o bien desde fuentes naturales, como las plantas, de las cuales se han encontrado efectos antimicóticos en muchos de sus extractos vegetales (21).

- Propiedad anticancerígena: El cáncer se origina por el crecimiento de las células anormales en diversos tejidos del organismo, volviéndose muy difícil su diagnóstico y prevención (22). Hasta el 2017, se conocían al menos 3000 especies de plantas con esta propiedad, pues las plantas son una fuente importante de sustancias anticancerosas, de los medicamentos que se utilizan contra el cáncer que existen en el mercado de Estados Unidos, aproximadamente el 67% son de origen vegetal y seguramente después del 2023 se ha aumentado este porcentaje (23). Actualmente, el desarrollo de productos naturales se lleva a cabo para crear diferentes tipos de medicamentos eficaces en la mejora de las actividades anticancerígenas, esto para definir una estrategia para atacar las células malignas sin dañar las células normales del cuerpo (24).
- Propiedad antitumoral: A diferencia de la propiedad anticancerígena, esta propiedad se centra en la eliminación o reducción de los tumores; entre las plantas medicinales, se han utilizado muchas en diferentes culturas para tratar diversas enfermedades, incluido el cáncer (25).
- Propiedad antiinflamatoria: El proceso inflamatorio involucra una serie de eventos inespecíficos que pueden ser provocados por numerosos estímulos o agresiones del medio como agentes biológicos, traumatismos, lesiones térmicas, entre otras. Mientras que la propiedad antiinflamatoria será la capacidad de una sustancia o de un compuesto de reducir dicha inflamación, dentro del contexto de

los productos naturales antiinflamatorios, la medicina tradicional se ha utilizado para tratar y cuidar pacientes con enfermedades que conllevan a procesos antiinflamatorios (26). Existe un vínculo reconocido entre las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, que son causantes del estrés oxidativo y las enfermedades inflamatorias, por lo que los extractos de plantas que presentan sustancias como flavonoides, polifenoles y alfa-tocoferol con capacidad antioxidante, en muchas ocasiones a su vez suelen presentar efecto antiinflamatorio (27).

- Propiedad Antioxidante: Los radicales libres son subproductos del metabolismo celular que pueden dañar las células y causar enfermedades, los antioxidantes son sustancias que pueden neutralizar los radicales libres y proteger las células del daño. Se puede definir como antioxidante a toda sustancia hallándose presente a bajas concentraciones respecto a las de una molécula oxidable, retarda o previene la oxidación de este sustrato (28). La función de los antioxidantes es frenar las reacciones de oxidación en las células a partir de las cuales se originan los nocivos radicales libres, por lo tanto, su papel es clave en la reducción de enfermedades cardiovasculares, de tumores y de enfermedades neurodegenerativas (29).
- Propiedad antidiabética: La diabetes mellitus es un síndrome metabólico que se caracteriza por hiperglucemia, que es causada por defectos en la secreción o acción de la insulina. La hiperglucemia crónica está asociada con el daño, disfunción y falla de varios órganos. Las plantas medicinales pueden optimizar el metabolismo de la glucosa y la condición integral de los diabéticos, no solo por sus efectos hipoglucemiantes, sino también al mejorar el perfil lipídico, el estado antioxidante y la función capilar (30)

- Propiedad antipirética: Los antipiréticos son agentes útiles para descender la temperatura corporal en caso de fiebre y no suelen disminuir más la temperatura corporal normal (31). Las plantas antipiréticas son capaces de disminuir la temperatura corporal en los estados febriles, disminuyen el umbral de detección térmica del centro termorregulador del hipotálamo. Tienen acción específica en los centros de regulación térmica. Es el tratamiento de la fiebre que se centra en la utilización de aquellas plantas cuya función consiste no solo en disminuir la fiebre, también eliminar los síntomas desagradables que la acompañan y construir una alternativa natural al uso de antitérmicos convencionales (12).
- Propiedad antidiurética: La arginina-vasopresina también conocida como hormona antidiurética es esencial para mantener el equilibrio hídrico y la estabilidad cardiovascular. En los últimos años su aplicación clínica se ha centrado en el manejo de la diabetes insípida y de la hemorragia por várices esofágicas (32). Debido al escaso desarrollo económico y la disponibilidad del material vegetal, es muy común ver a las personas utilizando y recomendando una gran cantidad de hierbas para curar diferentes males. A través de las infusiones se puede obtener bebidas como emoliente diurético (33).

El estudio farmacológico de los componentes de las plantas tiene diferentes objetivos, uno de ellos es la búsqueda de la determinación de la actividad de estos componentes en organismos vivos, incluyendo su efectividad terapéutica y sus posibles efectos secundarios; también identificar los principios activos de las plantas, qué componentes son los responsables de su actividad medicinal, por lo que se deben llevar a cabo estudios para evaluar los posibles efectos nocivos de los componentes de las plantas a estudiar (10).

Las plantas con potencial medicinal, junto con sus extractos, son una fuente natural de compuestos biológicamente activos con diferentes propiedades terapéuticas que han sido utilizados a lo largo del tiempo por la humanidad para tratar diferentes tipos de enfermedades (34). Las especies del género *Eryngium* ha atraído mucho a la atención de la comunidad científica debido a su rica diversidad química y las potenciales propiedades bioactivas presentes en los compuestos. Se han realizado investigaciones fitoquímicas sobre la composición química de este género, donde se han analizado las hojas y las raíces de diferentes especies donde la gran mayoría ha demostrado la presencia de metabolitos secundarios. Los metabolitos secundarios que se encuentran presentes en estas plantas han demostrado una amplia gama de actividades biológicas (11). Se han aislado e identificado más de 127 compuestos a partir de diferentes especies del género *Eryngium*, principalmente compuestos fenólicos y terpenoides (5). Los principales componentes de las hojas de este género son los ácidos cafeico, clorogénico y rosmarínico; estos ácidos fenólicos tienen efectos benéficos que ya han sido documentados (11).

Género *Eryngium*

El género *Eryngium* es uno de los géneros más grandes y complejos taxonómicamente de la familia Apiaceae Lindley y pertenece a la subfamilia Saniculoideae Drude (35). En México, a este género se le conoce popularmente como “hierba del sapo”, aunque sin diferenciar las distintas especies debido que todas comparten características muy similares (11). Este género agrupa más de 250 especies descritas actualmente, aunque el número de nombres aceptados según “The International Plant Index Name” es mucho más elevado y representa aproximadamente las tres cuartas partes de la diversidad de especies dentro de Saniculoideae Drude, su subfamilia (36). En México se han registrado al menos 60 especies, colectándose en diversos estados de la república mexicana (6). Este género se distribuye en

regiones templadas de todos los continentes, pero la riqueza de las especies se distribuye de manera desigual entre los hemisferios oriental y occidental, y dentro de ellos. También aproximadamente dos tercios de las especies de *Eryngium* se distribuyen en América del Norte, Central y Sur (37).

El género *Eryngium* es muy variable morfológicamente, se puede distinguir de otros miembros de Apiaceae por sus inflorescencias capitadas y una única bracteóla por flor. Algunas plantas son postradas o de solo unos pocos centímetros de alto, mientras que hay unas que son erectas y con una altura de hasta 3 metros. Generalmente su polinización es entomófila lo que quiere decir que es realizada por insectos en busca de néctar o polen para su alimentación (35). La mayoría de las especies son herbáceas perennes, pero también se pueden encontrar especies anuales e incluso algunas son leñosas. La morfología y la venación de las hojas también varían ya que pueden ser hojas largas, pecioladas o sésiles, con láminas enteras a partidas, márgenes enteros, setosos o espinosos, y venación de primer orden ya sea pinnada, palmeada o de nervadura paralela. Las brácteas florales en la base del capítulo llegan a ser llamativas o pueden ser indistinguibles de otras brácteas florales. Los frutos presentan escamas y/o vesículas dispuestas dorsal y/o lateralmente o pueden estar desnudos. Todos estos caracteres se muestran en muchas combinaciones, lo que dificulta una identificación y delimitación de especies o la interpretación de relaciones filogenéticas. Citológicamente es un género muy diverso, pues el número cromosómico básico más común es $x=8$, pero también existen números más bajos ($x=5-7$) y la variación en los niveles de ploidía está muy extendida, por lo que dentro de una misma especie puede haber diferentes números de cromosomas básicos o niveles de ploidía (37).

Eryngium es un género que se confirma como monofilético, esto quiere decir que todos los organismos incluidos han evolucionado a partir de una población ancestral común,

se divide en dos subgéneros redefinidos: *Eryngium* subgénero *Eryngium* y *Eryngium* subgénero *Monocotyloidea*. Donde el primer subgénero incluye a todas las especies examinadas de lo que se le conoce como el Viejo Mundo (África, Europa y Asia), excepto *Eryngium tenue*, *E. viviparum*, *E. galioides* y *E. corniculatum*. Mientras que el segundo subgénero incluye a todas las especies examinadas en el Nuevo Mundo (América del Norte, Central y del Sur, y Australia) junto con las que se excluyeron en el Viejo Mundo mencionadas anteriormente, es importante mencionar que solo hasta hace poco tiempo se ha iniciado el estudio de las especies americanas. *Eryngium*, junto con sus dos subgéneros se originan a partir de ancestros del Mediterráneo Occidental y que la distribución actual de este género se puede explicar por eventos de dispersión como la transatlántica. Se confirma la monofilia de *Eryngium* por análisis filogenéticos de secuencias de exones 5'trnQ-trnQ del ADN del cloroplasto de accesiones que representan todos los géneros de la subfamilia Saniculoideae (37). Asimismo, el análisis del ADN de cloroplasto apoya la idea de que las especies que se encuentran en México provienen de antecesores del oriente de los Estados Unidos. En América, el género *Eryngium* se desarrolla en varios hábitats, entre ellos destacan lugares pantanosos, bosques, pero también zonas abiertas con pastizal. Las especies crecen en el oeste, centro y sureste de Estados Unidos y hacia el sur a través de México, las Antillas, América Central y norte de Sudamérica (Perú, Ecuador y Venezuela), a lo largo de los Andes y Bolivia hasta Brasil, Paraguay, Uruguay y el norte y centro de Argentina. (35).

Solamente en México existen alrededor de 50 especies, de las cuales 27 se encuentran en la región centro-occidente del país, lo que comprende los estados de Michoacán y Jalisco, pero también estados como Guanajuato, Nayarit y el Estado de México. Hasta ahora se han reportado diversas propiedades para ocho taxones, ya que se utilizan tradicionalmente como

auxiliar o complemento para la salud de la familia. En la tabla 1 se encuentran las especies reportadas en la región centro-occidente de México (9).

Tabla 1. Especies de *Eryngium* reportadas en la región centro-occidente de México (9)

Especie	Distribución
<i>E. alternatum</i>	Estado de México, Jalisco y Michoacán
<i>E. beecheyanum</i>	Estado de México, Jalisco, Michoacán y Guanajuato
<i>E. bonplandii</i>	Estado de México, Jalisco, Michoacán y Guanajuato
<i>E. carlinae</i>	Estado de México, Jalisco, Michoacán y Guanajuato
<i>E. cervantesii</i>	Estado de México, Jalisco, Michoacán y Guanajuato
<i>E. columnare</i>	Estado de México, Jalisco y Michoacán
<i>E. comosum</i>	Estado de México y Michoacán
<i>E. cymosum</i>	Estado de México, Jalisco y Michoacán
<i>E. ferrisiae</i>	Jalisco y Nayarit
<i>E. fluitans (E. mexicanum)</i>	Estado de México y Michoacán
<i>E. ghiesbreghtii</i>	Estado de México, Jalisco y Michoacán
<i>E. gracile</i>	Estado de México, Jalisco y Michoacán
<i>E. haenkei (E. spiculosum)</i>	Estado de México, Michoacán y Guerrero
<i>E. heterophyllum</i>	Estado de México, Jalisco y Michoacán
<i>E. jaliscience</i>	Jalisco

<i>E. longifolium</i>	Estado de México, Jalisco y Michoacán
<i>E. mexiae</i>	Estado de México, Jalisco y Michoacán
<i>E. nasturtiifolium</i>	Estado de México, Jalisco y Michoacán
<i>E. monocephalum</i>	Michoacán y Guanajuato
<i>E. palmeri</i> (<i>E. globosum</i>)	Jalisco y Nayarit
<i>E. pectinatum</i>	Estado de México y Michoacán
<i>E. phyteumae</i>	Estado de México y Michoacán
<i>E. proteaeflorum</i>	Estado de México y Michoacán
<i>E. pugae</i>	Jalisco y Aguascalientes
<i>E. serratum</i>	Estado de México, Michoacán y Guanajuato
<i>E. sparganophyllum</i>	Jalisco y Michoacán
<i>E. subacaule</i> (<i>E. ranunculoides</i>)	Estado de México y Michoacán
<i>E. yuccifolium</i>	Michoacán (exótico)

Pero también se han encontrado algunas de estas especies en otros estados de la república mexicana, unas en regiones más específicas que otras. La distribución altitudinal varía entre 1000 y 3500 metros sobre el nivel del mar y en cuanto al hábitat, las especies se encuentran en diversos ecosistemas como praderas, bosques de robles, bosques mixtos de pino-encino, pastizales, tierras bajas húmedas y claros de matorrales. La floración ocurre principalmente entre julio y agosto, mientras que la fructificación sucede entre septiembre y enero, pero algunas especies tienen floraciones tempranas (febrero-mayo) o tardías (abril-mayo) (9).

Según la OMS, el 80% de las personas que viven en áreas rurales confían en las plantas medicinales como su sistema básico de atención médica (24). México tiene una rica tradición en el uso de plantas medicinales, que se remonta a la época prehispánica, se estima que la flora medicinal mexicana alberga entre 3,000 y 5,000 especies con potencial terapéutico, de las cuales un porcentaje muy bajo ha sido estudiado en profundidad en cuanto a sus propiedades medicinales. Actualmente se tiene conocimiento de muchos compuestos derivados de plantas, cuya actividad farmacológica es importante, tales como estimulantes, calmantes o terapéuticos en diversos campos (30).

El género *Eryngium* es conocido por sus atractivas flores azules y normalmente se cultiva con fines ornamentales, gastronómicos y medicinales. Sin embargo, de las 250 especies existentes, la fitoquímica y las propiedades farmacológicas de la mayoría permanecen sin explorar (5). En los primeros trabajos donde se habla de este género, se mencionan especies de *Eryngium* como plantas que hospedan insectos como larvas, lepidópteros, ortópteros, etc., que por su particular morfología foliar les permite retener grandes cantidades de agua en sus hojas basales (7). Varias de las especies de *Eryngium* son comestibles o son cultivadas como ornato, las raíces se pueden aprovechar en confitería y las hojas son una fuente de fibra (35).

Muchos autores describen el género *Eryngium* como poseedor de valor medicinal (7). En México, el uso de varias especies de este género, en la medicina tradicional desempeña un papel fundamental (9). También ha sido objeto de estudio debido a su diversa actividad biológica, ya que abarca una amplia gama de propiedades medicinales y farmacológicas. Se destacan algunas de las actividades biológicas asociadas con el género *Eryngium* según la literatura (5), principalmente se usan las plantas de este género para tratar intoxicaciones,

problemas de vejiga y riñón, enfermedades cardiovasculares, problemas digestivos, dolores corporales y diabetes, utilizando las partes aéreas de la planta en forma de infusión (11).

Eryngium heterophyllum

E. heterophyllum o también conocida como “hierba del sapo” (38), se encuentra comúnmente a una altitud de entre 1800 y 2000 metros a nivel del mar, su hábitat más común son praderas, vegetación secundaria, en bosques tropicales deciduos y bosques de robles. En cuanto a su fenología, florece de julio a agosto y fructifica de septiembre a octubre. En México se distribuye principalmente en climas secos, semisecos y templados, entre 1900 y 2750 metros a nivel del mar (6). Los estados de la república donde se puede encontrar son Chihuahua, Durango, San Luis Potosí, Jalisco, Michoacán, Estado de México y Oaxaca; pero también puede encontrarse en Estados Unidos, en los estados de Louisiana, Texas y Arizona. Y es una especie de interés para la conservación debido a su distribución restringida y la fragmentación de su hábitat (9).

La especie *E. heterophyllum* se describe como una planta con hojas basales y caulinares, por lo que se encuentran en la base de la planta y en el tallo (39), profundamente espinoso-serrados a bipinnatisectas o pinnatífidas, las flores se destacan por tener de 7 a 15 mm de largo y cabezuelas ovoides, finalmente sus brácteas generalmente tienen de 12 a 25 mm de largo (35). Son hierbas que alcanzan un tamaño de 40 cm a 1 metro de altura, las hojas son ásperas, rígidas, espinosas y con los bordes y nervios de color blanco. Las flores son unas esterillas verdes (6).

Clasificación taxonómica (10)

- Reino: Plantae
- Superdivisión: Spermatophyta
- Subreino: Traqueobionta
- División: Magnoliophyta

- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Rosidae
- Orden: Apiales
- Familia: Apiaceae
- Género: *Eryngium*
- Especie: *Eryngium heterophyllum*

La especie *E. heterophyllum* se relaciona morfológicamente con las especies, *E. beecheyanum*, *E. carlinae* y *E. spiculosum*, y pueden llegar a confundirse (35).

Se han realizado algunos estudios a la especie *E. heterophyllum* para confirmar algunas de las propiedades terapéuticas en el tratamiento de enfermedades o padecimientos como “mal de orín” y tos, hipertensión, trombosis, embolias, infartos cerebrales, migrañas, varices, diabetes, triglicéridos, asma, cálculos biliares y renales, cólicos de mujer, bronquitis, diarrea, dolor de estómago, fiebre, padecimientos pulmonares, colesterol, entre otras enfermedades crónico-degenerativas. Lo más recomendable es consumir esta especie en su estado natural, la parte aérea de la planta se pulveriza y se hierve en agua, esta infusión se suministra de acuerdo al padecimiento, pero todavía faltan muchos estudios experimentales que validen las atribuidas propiedades terapéuticas de esta planta (6).

Metodología

La obtención del material vegetal, específicamente las partes aéreas de la planta (hojas, tallos, flores y raíces) se obtuvieron en el Jardín Etnobotánico Francisco Peláez Roldán, en San Andrés Cholula, Puebla. Donde se compraron 10 kg de la especie *E. heterophyllum* para analizar.

En el laboratorio de Fitoquímica de la Universidad de las Américas Puebla, se realizó la mayor parte de la experimentación.

Obtención de los extractos

Extracto acuoso

Se obtuvo por el método de decocción, el cual es el que se usa en medicina tradicional. Para ello, se pesaron 500 g de planta seca y se dividieron en dos bolsas, cada una conteniendo 250 g de planta. El contenido de la primera bolsa se colocó en un matraz Erlenmeyer de 2000 mL y se le agregaron 1.7 L de agua destilada. Posteriormente se colocó el matraz en una parrilla de calentamiento, hasta que el agua comenzó a hervir. Luego de cinco minutos de ebullición, se retiró el matraz de la parrilla. Este mismo procedimiento se repitió con la segunda bolsa de planta seca.

Para recuperar el extracto, se montó un sistema de filtración con un matraz Erlenmeyer para vacío de 2000 mL y un embudo buchner con un filtro de papel. El líquido resultante de la decocción se vertió en el embudo, procurando evitar la planta para prevenir obstrucciones. Solo se recuperó el extracto acuoso, desechando la planta hervida.

Posteriormente, se evaporó el agua en un rotavapor para obtener el extracto acuoso seco.

Sub-extractos acuosos

A partir del extracto acuoso obtenido, se llevó a cabo un procedimiento para obtener los sub-extractos hexánico, clorofórmico y acuoso. Se utilizó un embudo de separación, donde se colocó el extracto (12.1 g) diluido en 30 mL de agua y 30 mL de hexano. Tras cerrar la llave de salida, se agita la mezcla para facilitar la separación de fases, liberando aire constantemente. Después, se dejó reposar la mezcla en una base para permitir la separación de los dos líquidos, extrayendo posteriormente el hexano, este procedimiento se repite una segunda vez. Una vez finalizada la extracción con hexano, se repitió el mismo procedimiento

con cloroformo. Luego de quitada la fase clorofórmica, la solución que quedó se denominó sub-extracto acuoso.

Los sub-extractos de hexano y cloroformo obtenidos se introdujeron en el rotavapor para evaporar el solvente y obtener los sub-extractos secos correspondientes.

Extracto hexánico, clorofórmico y metanólico

Se inició el procedimiento trabajando con el solvente menos polar, el hexano. Se pesaron 904 g de planta seca y se le adicionaron 4.565 L de hexano, que se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 6000 mL. Se dejó macerar durante 48 horas, agitando ocasionalmente. Tras este periodo, se filtró el hexano y se procedió a recuperar el solvente utilizando el rotavapor. El extracto obtenido se guardó en refrigeración, mientras que el hexano recuperado se volvió a colocar en el matraz Erlenmeyer junto con la planta para repetir el proceso de maceración. Una vez transcurridas las 48 horas, se repitió el procedimiento, recuperando el hexano y refrigerando el extracto hexánico de *E. heterophyllum* obtenido. Posteriormente la planta se retiró del matraz Erlenmeyer y se dejó secar en la campana de extracción para iniciar la maceración con cloroformo.

Una vez que la planta se encontró seca, se volvió a colocar en el matraz Erlenmeyer de 6000 mL, utilizando 4 L de cloroformo. Se repitió el mismo proceso que con el hexano para obtener el extracto clorofórmico de *E. heterophyllum*. Tras finalizar este proceso, se volvió a secar la planta para poder realizar la siguiente maceración con el metanol.

Finalmente se trabaja con el solvente más polar, el metanol. Se utilizaron 3.8 L de metanol para obtener el extracto metanólico de *E. heterophyllum*. Para terminar el procedimiento se retira la planta del matraz Erlenmeyer, se deja secar nuevamente en la campana de extracción y se desechó.

Evaluación de la actividad antimicrobiana

Para llevar a cabo la evaluación antimicrobiana de los 6 extractos obtenidos (extracto hexánico, clorofórmico, metanólico y el sub-extracto acuoso del extracto acuso, junto con sus dos sub-extractos, hexánico y clorofórmico) obtenidos de la especie *E. heterophyllum*, es necesario preparar las muestras de la siguiente manera: Se requiere 1 mL del solvente correspondiente para cada extracto. Se pesan 0.02 g de cada extracto seco y se mezcla con su respectivo solvente. Cada mezcla se esteriliza utilizando un filtro de membrana de celulosa (0.45-0.22 μm). Una vez esterilizados, los extractos se guardan en refrigeración.

Posteriormente, se preparan las diluciones que se colocarán en los discos de papel filtro para los antibiogramas. La primera concentración consiste en 20 mg de extracto en 1 mL de solvente, de ésta se hacen dos diluciones, a 1000 $\mu\text{g/mL}$ y a 100 $\mu\text{g/mL}$. Una vez preparadas las diluciones, se colocan en tubos Eppendorf.

Se esteriliza el material en la autoclave a una temperatura de 121°C y una presión de 1 atmósfera (15 psi), incluyendo los discos de papel filtro, las puntillas de micropipeta y los tubos Eppendorf vacíos.

Para la evaluación de la actividad antibacteriana se escogieron especies representativas de varios grupos bacterianos que difieren en morfología. Se trabajó con microorganismos Gram positivo: *Staphylococcus aureus* y *Bacillus subtilis*; y Gram negativo: *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella pneumoniae*, y *Candida albicans*.

No fue necesario realizar la siembra de los microorganismos mencionados anteriormente ya que se tenía una considerable cantidad en el Laboratorio de Microbiología, solamente se preparó el agar Müller-Hinton para los antibiogramas, para esto se pesaron 19 g de medio para 500 mL de agua destilada y se agregó Tween 80 0.1%, se esteriliza en autoclave a una temperatura de 120 °C por no más de 15 minutos, se deja enfriar y se vacía en las cajas Petri

dentro de la campana de flujo laminar de nivel 2, al terminar todas las cajas Petri, se guardan en la incubadora durante un día a una temperatura de 37 °C.

Para la preparación de los antibiogramas se utiliza un asa de siembra con forma de aro, se recoge una pequeña cantidad de colonias de las cajas Petri donde fueron sembrados los microorganismos, para después suspenderlos en una solución salina de cloruro de sodio (NaCl) al 0.85% estéril, hasta alcanzar la turbidez correspondiente al estándar de McFarland, sin necesidad de verificar la densidad mediante la absorbancia, se prepara uno para cada microorganismo utilizado.

Para realizar el estriado en el agar Müller-Hinton, se utiliza un hisopo estéril, el cual se sumerge brevemente en la solución salina con los microorganismos, se remueve el exceso de líquido del hisopo y luego se realiza el procedimiento de estriado. Una vez completado el estriado con cada uno de los microorganismos seleccionados, se colocan los discos de papel filtro, cada uno impregnado con 10 µL de extracto. Posteriormente, se incubaron durante 24 horas a una temperatura de 37 °C.

Se ocuparon 18 placas Petri para los antibiogramas. En cada una de estas placas se dispusieron 6 discos de papel filtro con diferentes diluciones y un control negativo (solvente utilizado en cada extracto).

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva y sistemática de la literatura científica utilizando bases de datos electrónicas, bibliotecas virtuales, repositorios institucionales y buscadores académicos, como Scopus, Google Académico, Biblioteca electrónica de la UDLAP, SciFinder, PubMed, Web of Science, entre otros. Las palabras clave utilizadas fueron términos relacionados con el género *Eryngium*, como “*Eryngium*”, “Apiaceae”, “*Eryngium heterophyllum*”, “hierba del sapo”, junto con conceptos asociados como “taxonomía”, “distribución geográfica”, “fitoquímica”, “usos medicinales”, “usos

tradicionales”, entre otros. Se consideraron tanto publicaciones científicas revisadas por pares, como informes técnicos, tesis doctorales, revistas, y libros especializados.

Para la selección de documentos, se priorizó la relevancia temática y la calidad científica, dejando de lado aquellos documentos que no estaban disponibles en su totalidad o que no cumplían con los estándares de calidad científica. De los documentos seleccionados se extrajo información relevante, incluyendo datos sobre la taxonomía, distribución geográfica, morfología, usos tradicionales y médicos, fitoquímica y potenciales aplicaciones de las especies de *Eryngium*. Los datos recopilados se organizaron temáticamente y se analizan de manera crítica para identificar patrones, tendencias y brechas de conocimiento. Se sintetizó la información recopilada en este documento para proporcionar una versión global y actualizada del estado del conocimiento del género *Eryngium*.

Es importante especificar que los compuestos químicos aislados que se encuentran en la Tabla 4 se eligieron de los artículos de libre acceso encontrados en Scopus, de las áreas específicas de farmacología, toxicología, farmacéutica, bioquímica, genética, biología molecular y medicina.

Resultados y Discusión

De extracto acuoso se obtuvieron 12.1 g de una coloración café oscuro y un aspecto viscoso/meloso. Se obtuvieron 0.7261 g de sub-extracto hexánico, con una apariencia oleosa pero sólida y una coloración amarilla clara, mientras que 1.2708 g de sub-extracto clorofórmico, con una apariencia de aceite y una coloración café cristalino. Se obtuvo 2.7908 g del extracto hexánico seco con una apariencia pastosa y una coloración verde militar, 6.6088 g de extracto clorofórmico, con una apariencia sólida pero un poco pastosa y una coloración verde oscura y 7.2291 g de extracto metanólico, con una apariencia pastosa que

fue muy difícil secar y una coloración verde oscura. En la Tabla 2 se observan los datos específicos obtenidos de los extractos y el rendimiento respecto al peso inicial de la planta.

Tabla 2. Extractos obtenidos de *E. heterophyllum*

Extracto	Apariencia	Peso obtenido (g)	Rendimiento % respecto al peso de la planta
Extracto acuoso	Coloración negra/café y un aspecto viscoso/meloso	12.1	2.42%
Sub-extracto hexánico	Apariencia oleosa pero sólida y una coloración amarilla clara	0.7261	0.08%
Sub-extracto clorofórmico	Apariencia de aceite y una coloración café cristalino	1.2708	0.14%
Extracto hexánico	Apariencia pastosa y una coloración verde militar pero no tan oscuro	2.7908	0.30%
Extracto clorofórmico	Apariencia sólida pero un poco pastosa	6.6088	0.73%

	y una coloración verde casi negra		
Extracto metanólico	Apariencia pastosa que fue muy difícil secar y una coloración verde oscura	7.2291	0.79%

Antes de realizar la evaluación antimicrobiana, se caracteriza el producto final de cada uno de los extractos obtenidos, por RMN y por FTIR. A continuación, se interpretan los espectros obtenidos.

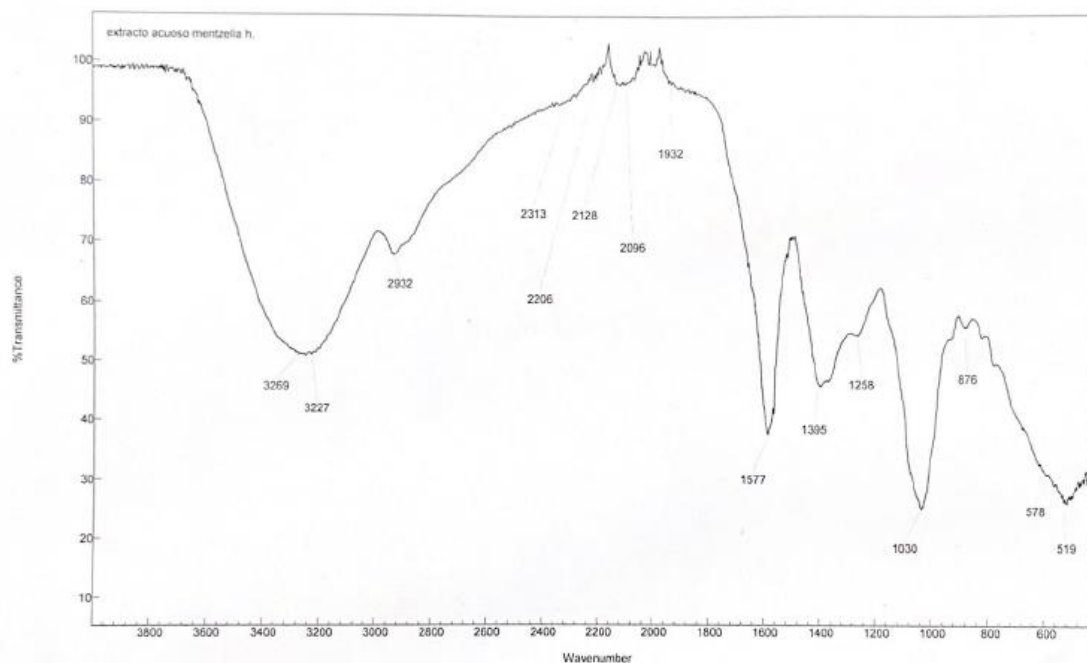


Figura 1. Espectro IR del extracto acuoso de la especie *Eryngium heterophyllum*

Al realizar el análisis de las bandas del espectro IR (Figura 1), observamos que la banda ancha centrada en 3227 cm^{-1} (tensión O-H) junto con la de 1030 cm^{-1} (tensión C-O), nos indica la presencia de alcohol. La presencia de una banda a 2932 cm^{-1} (tensión C-H) indica la presencia de grupos alquilo saturados. A 1570 cm^{-1} tenemos una banda intensa por deformación del enlace C-H correspondiente a grupos metilo y metileno, mientras que a 1395 cm^{-1} se observa una banda de intensidad media por deformación del enlace C-H de los grupos metilo. Las bandas anchas entre $1260\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ podrían corresponder a estiramientos C-O de alcoholes, ésteres y/o y ácidos carboxílicos, suponiendo que la señal correspondiente a la tensión C=O se encuentre superpuesta con la señal ancha a 1577 cm^{-1} (40–43). Debido a que se trata de un extracto, todas estas bandas muestran diversos grupos funcionales que sugieren la presencia de una variedad de metabolitos secundarios (Espinoza-Torres et al., 2022).

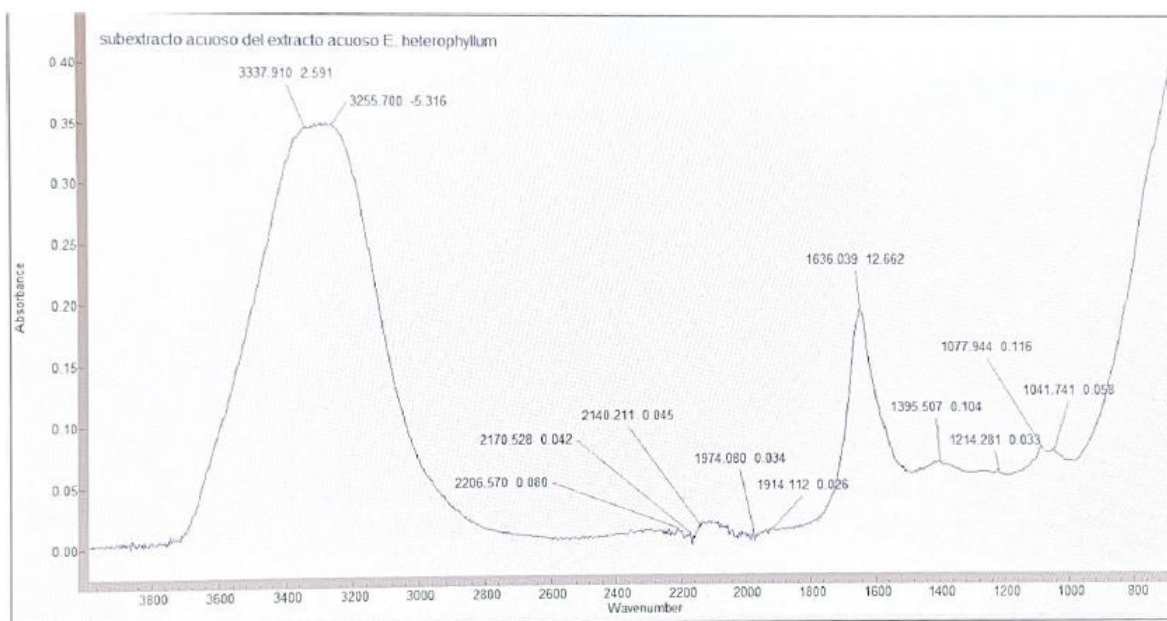


Figura 2. Espectro IR del sub-extracto acuoso del extracto acuoso de la especie *Eryngium heterophyllum*

En la Figura 2 se observa el espectro IR del sub-extracto acuoso del extracto acuoso de la especie *Eryngium heterophyllum*, en donde se identifican varias bandas características que sugieren la presencia de ciertos grupos funcionales. La banda ancha en 3337 cm^{-1} corresponde a la tensión O-H, lo que indica la presencia de grupos hidroxilo, posiblemente asociados con alcoholes o fenoles. La banda 1077 cm^{-1} se atribuye al estiramiento C-O de alcoholes, apoyando la presencia de estos grupos. La banda de intensidad media a 1636 cm^{-1} sugiere la presencia de estiramiento C=O, lo que puede indicar la presencia de ácidos carboxílicos o de grupos carbonilos en otros tipos de compuestos. Además, se observa una banda en 1395 cm^{-1} correspondiente a la deformación C-H, lo que sugiere la presencia de alquenos. Finalmente, se destaca una banda a 1041 cm^{-1} , que podría ser un armónico de la banda de tensión O-H a 3337 cm^{-1} , lo que refuerza la presencia de grupos hidroxilo (40–43).

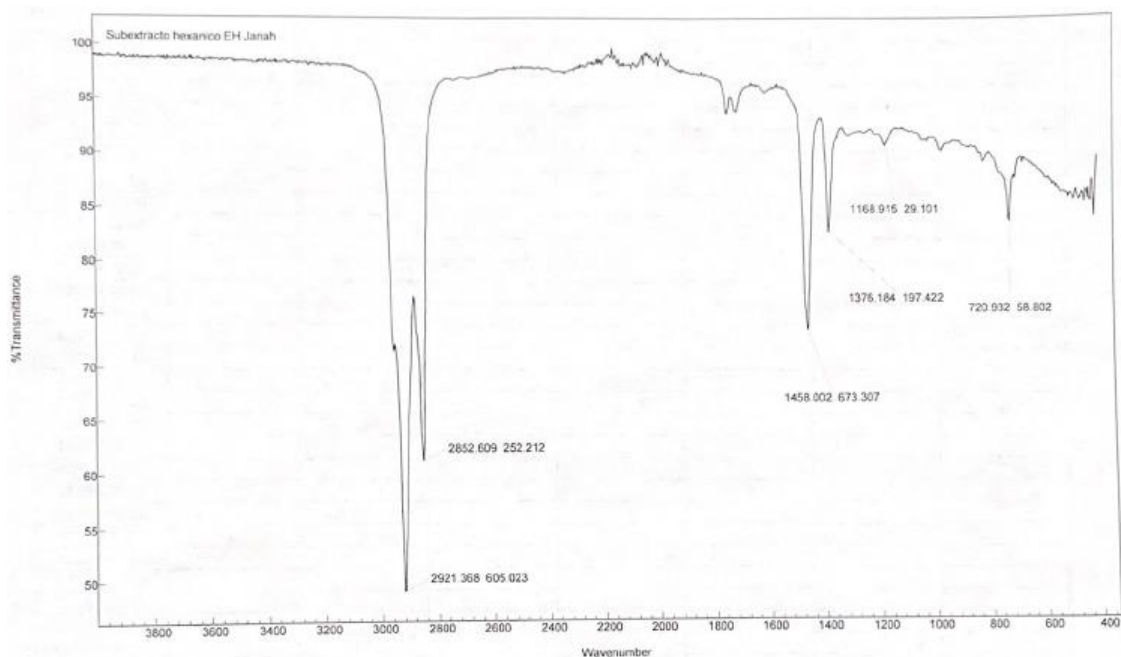


Figura 3. Espectro IR del sub-extracto hexánico de la especie *Eryngium heterophyllum*

En cuanto a la Figura 3, podemos observar el espectro IR obtenido del sub-extracto hexánico de la especie estudiada, observamos dos bandas intensas en 2921 cm^{-1} , junto con la de 2850 cm^{-1} y la de 1460 cm^{-1} de intensidad media, indican la presencia de los alcanos en el extracto, estas bandas corresponden con las vibraciones de tensión y deformación (1460 cm^{-1}) C-H (carbonos alifáticos) de los grupos metileno (CH_2) y metilo (CH_3). También se encuentra la presencia de la banda 1376 cm^{-1} débil, que se atribuye a la vibración de deformación simétrica de los grupos metilo. Finalmente, la banda 720 cm^{-1} también débil, que se asigna a la vibración de balanceo de metileno. Podemos decir que este extracto indica la presencia de alcanos como sus principales componentes (40–42,44,45).

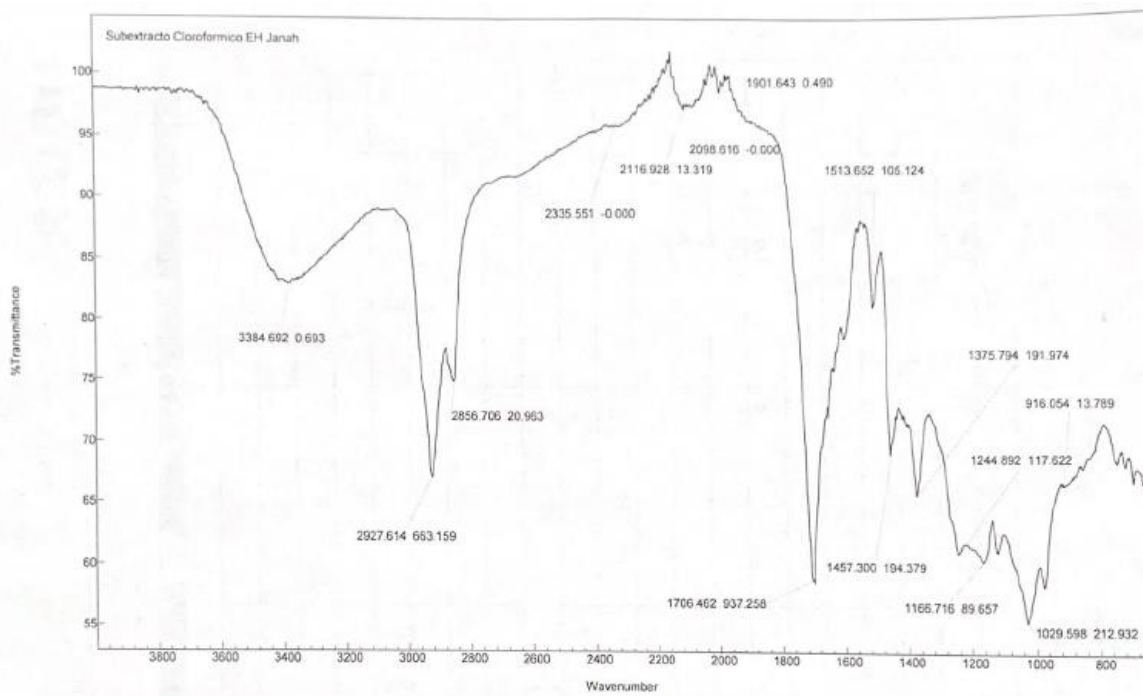


Figura 4. Espectro IR del sub-extracto clorofórmico de la especie *Eryngium heterophyllum*

El espectro IR del sub-extracto clorofórmico de la especie *Eryngium heterophyllum* (Figura 4) nos muestra una banda ancha de intensidad media a una frecuencia de 3384 cm^{-1} que indica la presencia de un alcohol (tensión O-H), también observamos dos bandas intensas a 2928 y 2856 cm^{-1} que confirman la presencia de alcanos (tensión C-H) en la muestra. Se observa una banda débil a 2116 cm^{-1} que indica la posible presencia de un alquino (tensión $\text{C}\equiv\text{C}$), y una banda intensa a 1700 cm^{-1} que indica la presencia de un grupo funcional carbonílico ($\text{C}=\text{O}$), que puede ser un aldehído, cetona o ácido carboxílico. También observamos otras bandas a 1457 y 1375 cm^{-1} por deformación de flexión de alcanos (C-H). Las bandas a frecuencias 1244 y 1166 cm^{-1} que pueden indicar la presencia de ésteres o amidas y la presencia de un enlace C-C, respectivamente. A una frecuencia de 1030 cm^{-1} sugiere la presencia de un enlace C-O en un éter y una banda en 916 cm^{-1} que puede estar asociado con el tipo de halógeno presente (Callejas, 2023; Fernández, 2024; Jr & Weyer, 2007; Castro M et al., 2017).

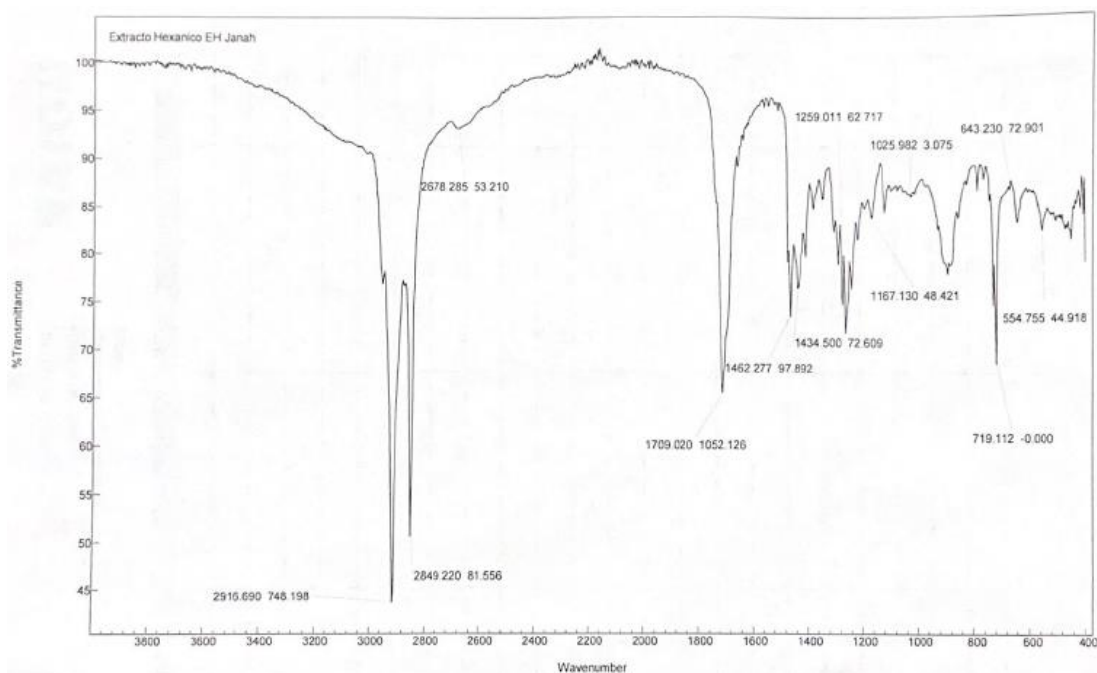


Figura 5. Espectro IR del extracto hexánico de la especie *Eryngium heterophyllum*

En la Figura 5, observamos el espectro obtenido del extracto hexánico de la especie a estudiar, donde observamos las mismas bandas intensas a una frecuencia de 2916, 2850 y 1460 cm^{-1} que en la Figura 3, que corresponden con las vibraciones de tensión (2916 y 2850 cm^{-1}) y deformación (1460 cm^{-1}) de los enlaces C-H de los grupos metileno (CH_2) y metilo (CH_3). Sin embargo, en la figura 5 nos encontramos con una banda intensa a una frecuencia de 1709 cm^{-1} que corresponde a un grupo carbonilo (C=O), lo que puede indicar la presencia de una cetona o un ácido carboxílico. La banda 1167 cm^{-1} débil, también presente en la figura 3, que puede corresponder a la vibración de deformación asimétrica de los grupos metilo o a la vibración de tensión C-O de éteres. Observamos una banda de intensidad media en la región de 1260 cm^{-1} que puede indicar la presencia de un enlace C-O-C (tensión), confirmando la presencia de un éster. Una banda débil a 1025 cm^{-1} que puede indicar la presencia de un alcohol, ya que corresponde a la vibración de tensión del enlace C-O. Encontramos una banda a una frecuencia de 720 cm^{-1} con intensidad media, que también se observa en la figura 3, la cual puede corresponder a la vibración de balanceo de los grupos metileno (CH_2). Finalmente nos encontramos con dos bandas débiles con frecuencia de 643 y 554 cm^{-1} , las cuales pueden estar relacionadas con las vibraciones de fuera de plano de los hidrocarburos alifáticos (40–44). A partir de la Figura 3 y la 5, ambas correspondientes a extractos hexánicos podemos observar que comparten la presencia de alcanos como los componentes principales, pero la Figura 5 cuenta con otras bandas adicionales, lo que sugiere la presencia de compuestos adicionales o variaciones en la composición química de la muestra, pues la Figura 5 se basa en el extracto hexánico, mientras que la Figura 3 corresponde al sub-extracto hexánico del extracto acuoso.

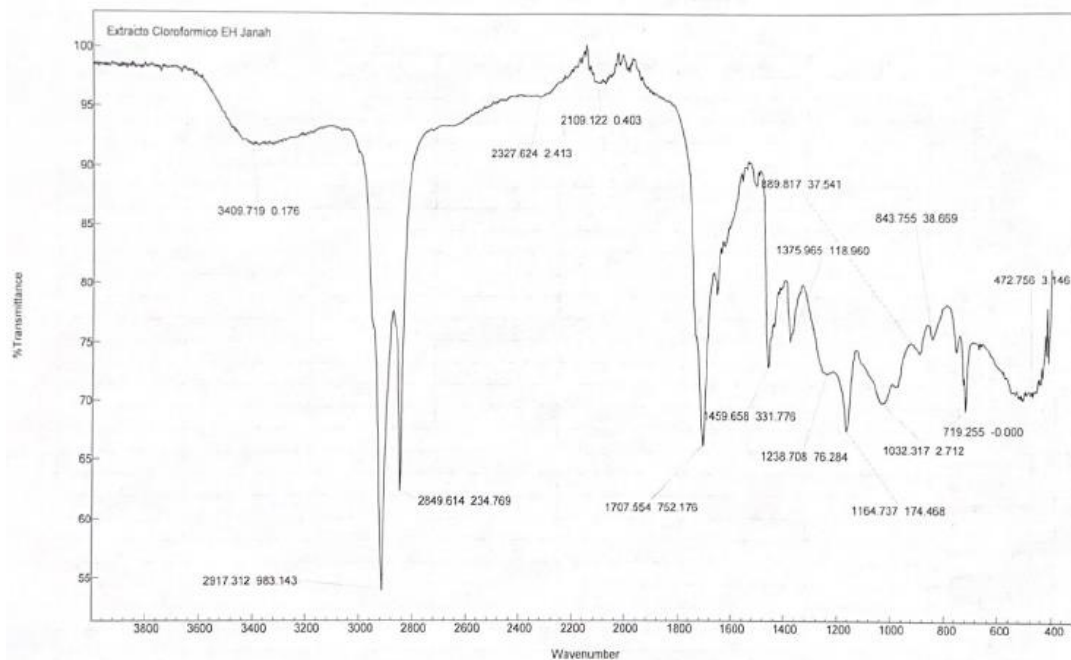


Figura 6. Espectro IR del extracto clorofórmico de la especie *Eryngium heterophyllum*

El espectro IR del extracto clorofórmico (Figura 6), nos muestra una banda ancha, pero débil a una frecuencia de 3409 cm^{-1} , lo que indica la presencia de un grupo hidroxilo, de un alcohol (vibración de tensión O-H) y que la banda se observe débil se puede deber a que se encuentra una concentración baja de alcohol en el extracto. Observamos las mismas bandas intensas que en la Figura 4 a una frecuencia de 2917 y 2850 cm^{-1} , que corresponden a las vibraciones de tensión de los enlaces C-H en alcanos, confirmando que son los principales componentes del extracto. Una banda intensa a una frecuencia de 1707 cm^{-1} , la cual también se observa en la Figura 4, que indica la presencia de un grupo funcional carbonílico (C=O) en cetonas, aldehídos o ácidos carboxílicos. Observamos una banda de intensidad media a 1459 cm^{-1} , que puede indicar la presencia de deformaciones de flexión de los grupos metileno (CH₂), y una banda débil a 1375 cm^{-1} que puede estar relacionada con

vibraciones de deformación de los grupos metilo (CH_3), las cuales también se encuentran presentes en la Figura 4. También hay bandas entre $1238 - 1032 \text{ cm}^{-1}$ que pueden corresponder a vibraciones de enlaces C-O (tensión) en ésteres, éteres y/o alcoholes. La banda débil en 719 cm^{-1} puede asignarse al balanceo de grupos metilenos (CH_2) (Callejas, 2023; Fernández, 2024; Jr & Weyer, 2007; (43,46).

Al comparar la Figura 4 con la 6, podemos decir que ambos espectros comparten similitudes en términos de la presencia de grupos funcionales comunes como alcoholes, alcanos y grupos carbonilos, pero, también muestran diferencias en la presencia de otros grupos funcionales específicos, esto sugiere diferencias en la composición química entre las dos muestras.

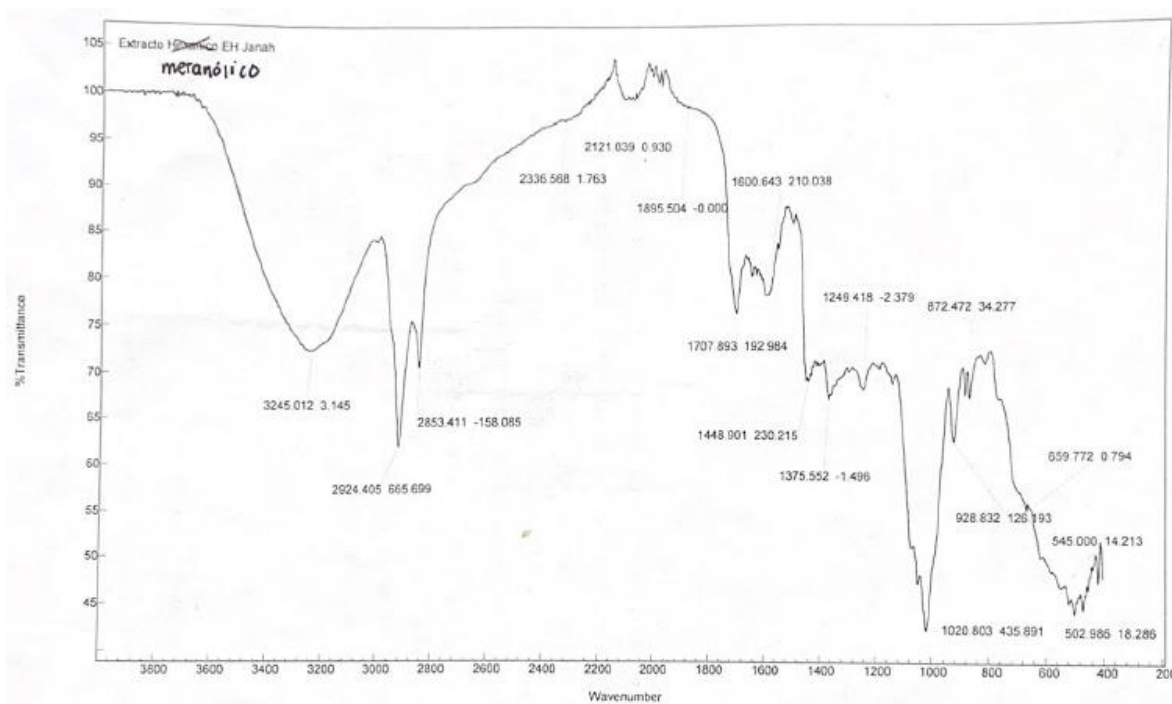


Figura 7. Espectro IR del extracto metanólico de la especie *Eryngium heterophyllum*

Al realizar el análisis de las bandas del espectro IR de la Figura 7, nos encontramos con una banda ancha a una frecuencia de 3245 cm^{-1} que corresponde a la presencia de grupos

hidroxilos (vibración de tensión del enlace O-H) de alcoholes o ácidos carboxílicos. La presencia de una banda en 1707 cm^{-1} , típica de un grupo carbonilo (C=O) de cetonas, aldehídos ácidos carboxílicos, etc. Que, junto con la señal centrada en 3245 cm^{-1} y cuya anchura podemos ver que llega hasta aproximadamente los 2600 cm^{-1} , podríamos inferir que en el extracto metanólico, además de alcoholes, podemos estar ante la presencia de ácidos carboxílicos. Esto puede apoyarse también en las señales que van de 1020 a 1249 cm^{-1} , características de las tensiones C-O de estos grupos funcionales. La banda en 1600 cm^{-1} , podría corresponder a la vibración de tensión de dobles enlaces C=C en alquenos la cual, junto con la señal apenas apreciable justo por encima de los 3000 cm^{-1} , correspondiente a la tensión de un Csp^2 unido a hidrógeno, podría indicar la presencia de ácido carboxílico conjugado a doble enlace. Además, se observan dos bandas intensas en 2924 y 2853 cm^{-1} que corresponden a las vibraciones de tensión de los enlaces C-H en alquilos. La banda a 1375 cm^{-1} , podría asignarse a la vibración de deformación simétrica de metilo (CH_3) (40–43,47). La interpretación del espectro IR no es concluyente y requiere de otras técnicas de análisis para poder identificar los compuestos específicos presentes en los extractos (48), por lo que también se realizó el análisis de RMN, los resultados de los espectros obtenidos se interpretan a continuación:

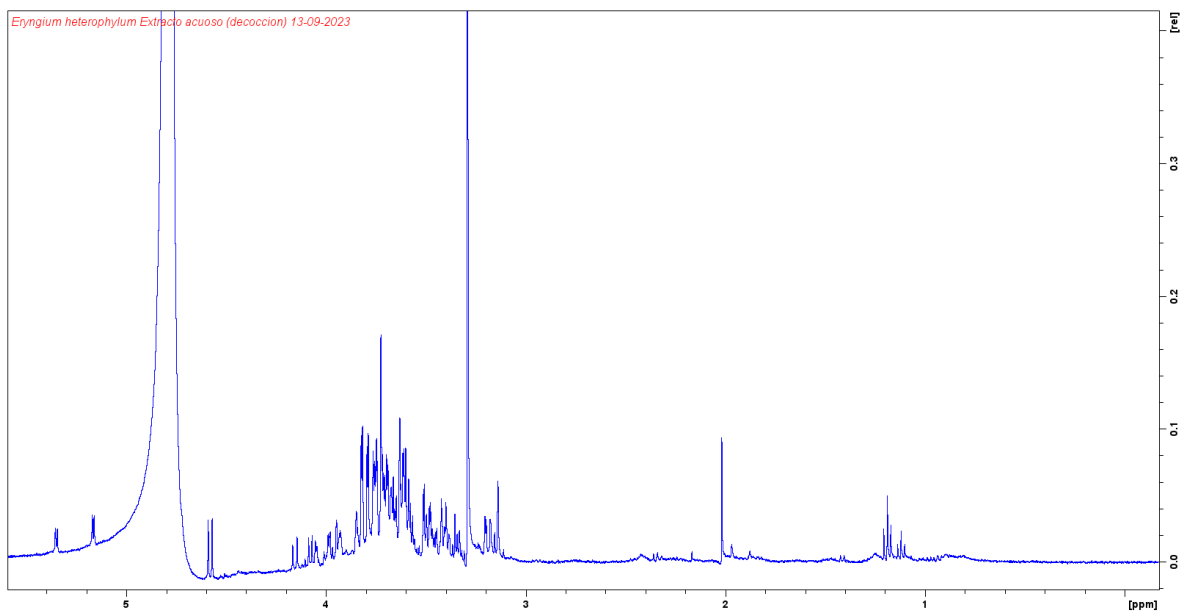


Figura 8. Espectro RMN del extracto acuoso de la especie *Eryngium heterophyllum*

En la Figura 8, tenemos el espectro RMN ^1H a 400 MHz del extracto acuoso de *E. heterophyllum*. La región más importante, ya que muestra la mayor cantidad de señales importantes, corresponde a la comprendida entre δ 3.0-4.5 ppm l indicando la presencia de una gran cantidad de hidrógenos base de oxígeno y/o nitrógeno. Recordando el espectro de IR, podemos deducir que la muestra tiene varios grupos alcoholes, lo cual es consistente con la presencia de azúcares dado, además, la naturaleza del extracto. Los dobletes entre δ 4.1-5.4 ppm podrían a corresponder a los hidrógenos de los carbonos anoméricos reafirmando la hipótesis de la presencia de varios azúcares (3,45,46,49,50).

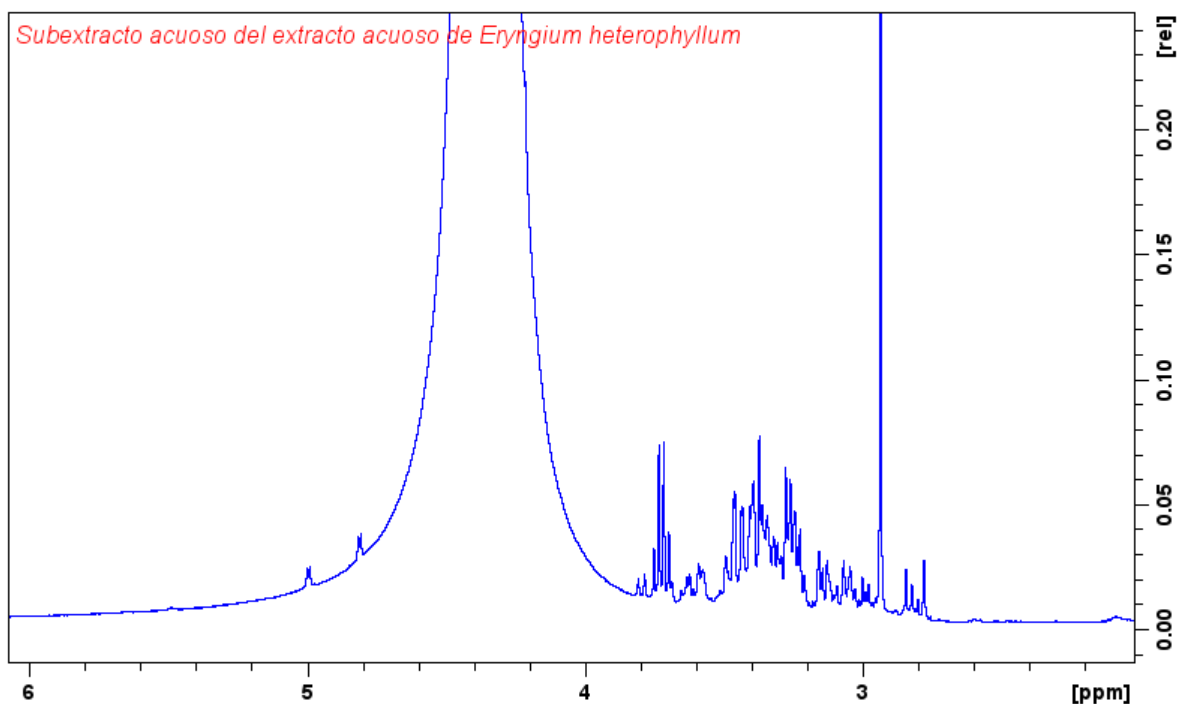


Figura 9. Espectro RMN del sub-extracto acuoso del extracto acuoso de la especie

Eryngium heterophyllum

En la Figura 9, observamos el espectro RMN ^1H a 400 MHz del sub-extracto acuoso del extracto acuoso de la especie *Eryngium heterophyllum*. Se identifican múltiples señales en la región δ 2.9-4.0 ppm, las cuales son indicativas de la presencia de diversos carbohidratos como azúcares o mieles, en este sub-extracto. Además, se observa una señal prominente en la región δ 4.0-5.0 ppm, la cual corresponde al agua contenida en la muestra, gracias a que no se pudo evaporar el sobrante de agua, es por eso que se presenta tan grande (3,45,46,49,50).

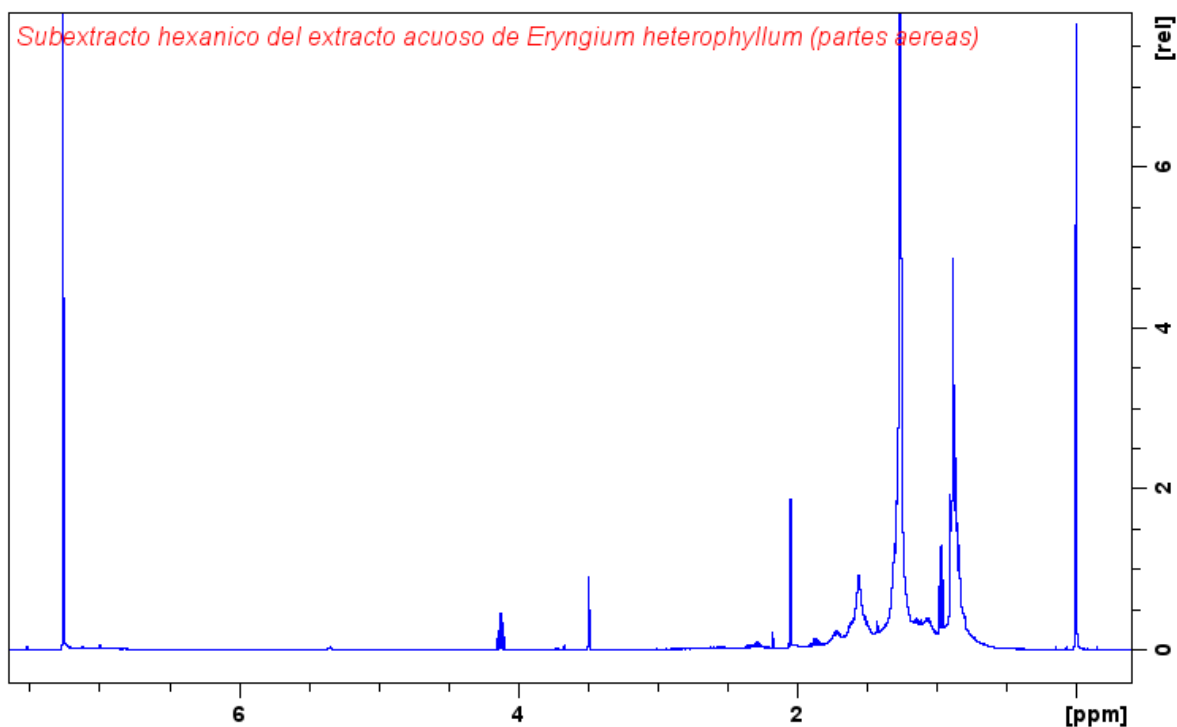


Figura 10. Espectro RMN del sub-extracto hexánico de la especie *Eryngium heterophyllum*

La Figura 10 corresponde al espectro RMN ^1H a 400 MHz del sub-extracto hexánico de *E. heterophyllum* donde encontramos la mayoría de las señales entre δ 0.6 y 2.5 ppm, lo que es característico de protones alifáticos como CH_3 , CH_2 y CH presentes en diversos grupos funcionales. Estos grupos pueden encontrarse en moléculas como ácidos grasos, alcoholes, alquenos y alcanos. Además, se destaca la presencia de un cuarteto en la región δ 4.1 ppm, que generalmente corresponde a un protón en un grupo CH_2 adyacente a un grupo electronegativo, que puede ser un oxígeno en un éster o un carbono. Este tipo de protón se observa en moléculas como ésteres, ácidos grasos, cetonas y aldehídos. También se registra una señal en la región δ 3.5 ppm que sugiere la posible presencia de un protón en un grupo OH. Sin embargo, dado que el disolvente base es el hexano, es más probable que esta señal corresponda a un protón en un grupo CH_3O en un éster. En la región δ 7.2 ppm que puede

indicar la presencia del cloroformo debido al disolvente utilizado en la muestra, que fue cloroformo deuterado (CDCl_3) (3,45,46,49–51).

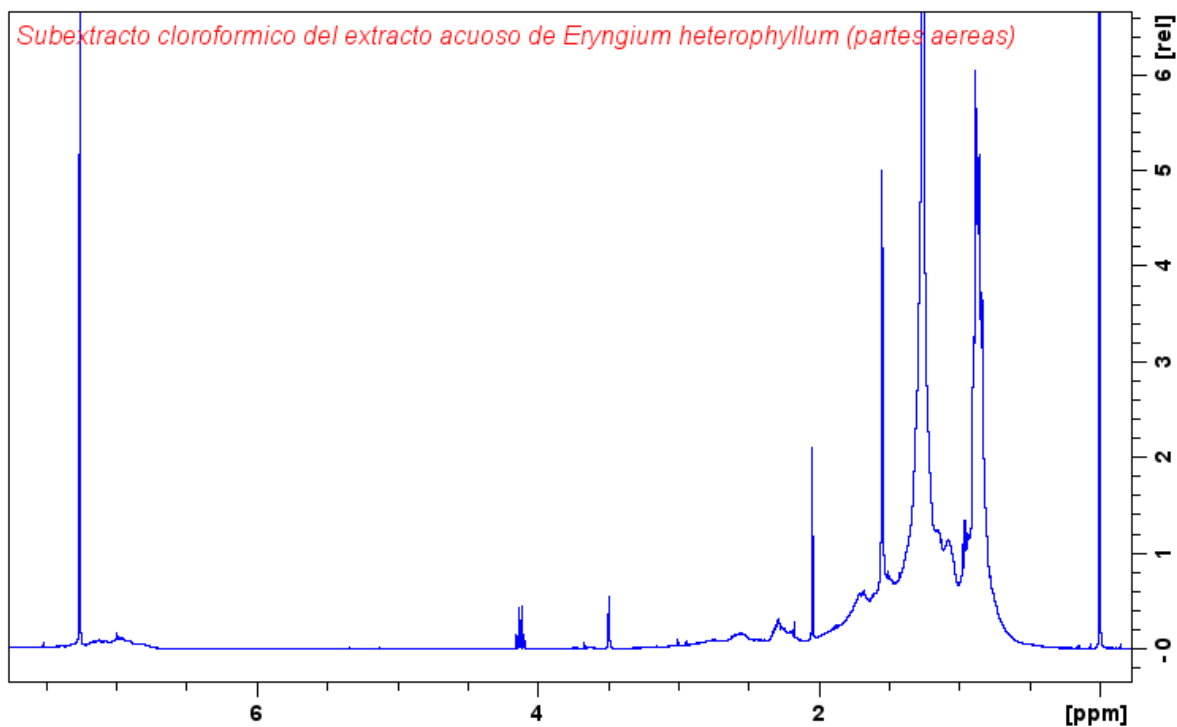


Figura 11. Espectro RMN del sub-extracto clorofórmico de la especie *Eryngium heterophyllum*

El espectro RMN ^1H a 400 MHz del sub-extracto clorofórmico de la especie *Eryngium heterophyllum* (Figura 11) nos muestra una señal en la región δ 7.2 ppm que indica la presencia del cloroformo. También encontramos el mismo cuarteto en la región δ 4.1 ppm y la misma señal a δ 3.5 ppm que en la figura 10, que corresponden a la presencia de grupos CH_2 adyacentes a grupos electronegativos (éster) y a un protón en un grupo O-H o CH_3O en un éster, respectivamente. Encontramos una señal en la región δ 2.1 ppm que puede indicar la presencia de un protón en un grupo CH_3 adyacente a un grupo carbonílico (cetona o

aldehído) o puede indicar la presencia de un protón en un grupo CH₂ en ciertos alcoholes o éteres. Observamos la mayoría de las señales entre δ 0.8-1.6 ppm que indican la presencia de protones alifáticos (CH₃, CH₂ y CH) en diferentes tipos de moléculas, como ácidos grasos, alcoholes, alquenos y alcanos (3,45,46,49–52).

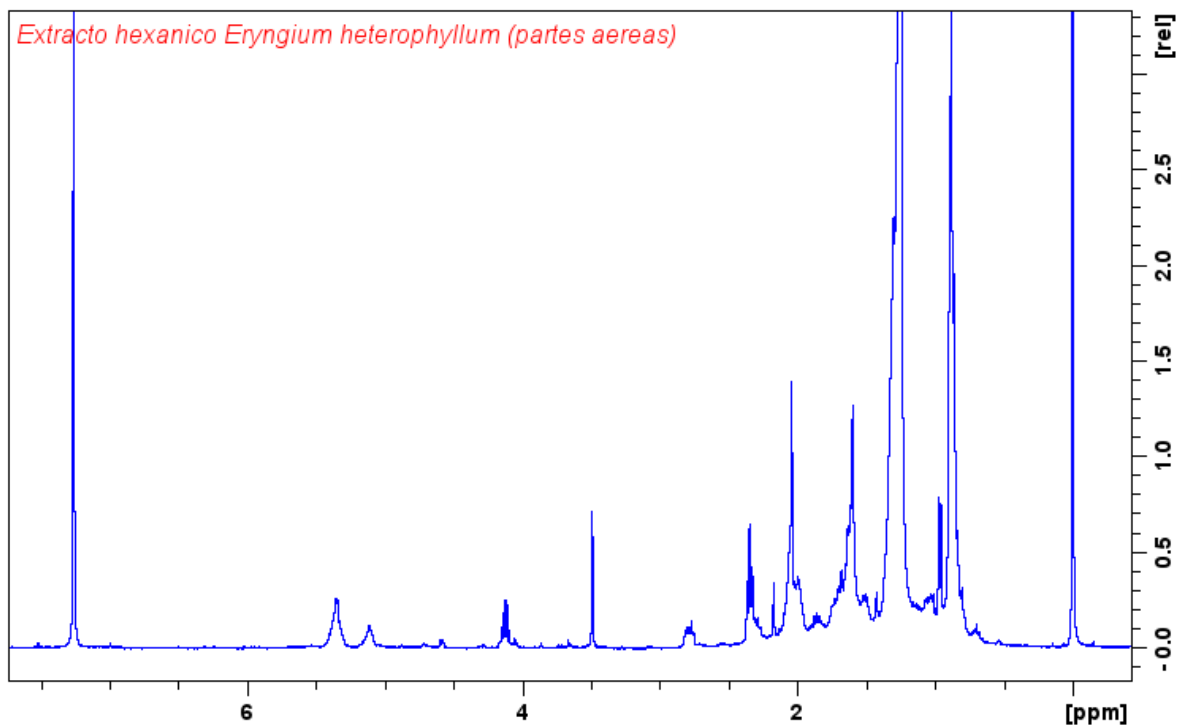


Figura 12. Espectro RMN del extracto hexánico de la especie *Eryngium heterophyllum*

En la Figura 12 tenemos el espectro RMN ¹H a 400 MHz del extracto hexánico de la especie *Eryngium heterophyllum*. Encontramos una señal en δ 5.3 ppm y en 5.1 ppm que corresponden a dobles enlaces insaturados, protones olfínicos (CH=CH) en diferentes tipos de alquenos o alquinos, o a protones en posiciones especiales en anillos aromáticos. También las señales ya observadas en la Figura 10 y 11, en la región δ 4.1 ppm y 3.5 ppm que sugieren la presencia de grupos CH₂ adyacentes a grupos electronegativos probablemente de ésteres,

éteres y/o alcoholes. Las señales por debajo de δ 2.3 ppm corresponden a protones alifáticos, propios de compuestos poco polares de un extracto hexánico (3,45,46,49–51).

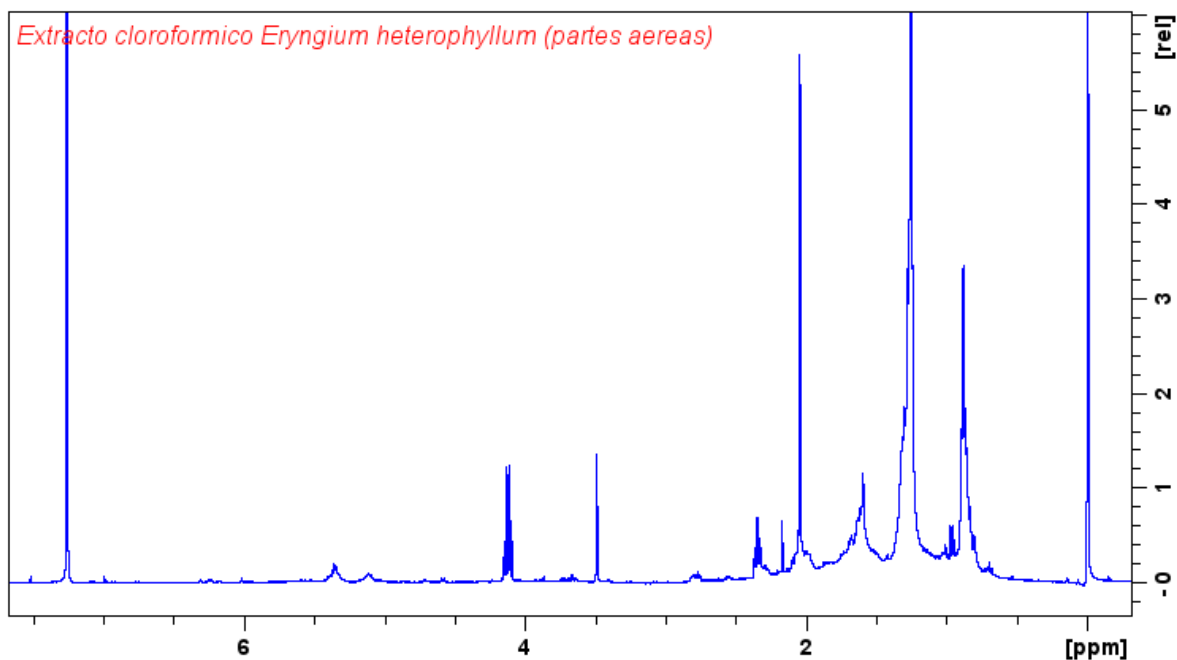


Figura 13. Espectro RMN del extracto clorofórmico de la especie *Eryngium heterophyllum*

El espectro RMN ^1H a 400 MHz del extracto clorofórmico de la especie *Eryngium heterophyllum* (Figura 13) nos muestra también una señal en la región δ 7.2 ppm que indica la presencia de cloroformo. Y las mismas señales que otras Figuras en la región δ 4.1 ppm y la misma señal a δ 3.5 ppm, correspondientes a la presencia de grupos CH_2 adyacentes a grupos electronegativos (éster) y a un protón en un grupo O-H o CH_3O en un éster, respectivamente. Además, observamos un triplete en la región δ 2.3 ppm que sugiere la presencia de un protón en un grupo CH_3 adyacente a un grupo carbonílico o la presencia de un protón en un grupo CH_2 en un alquino terminal. Las señales en la región δ 0.8-2.4 ppm

corresponden a los hidrógenos unidos a los carbonos sp^3 de los compuestos alifáticos y son señales comunes de observar en las muestras que contienen cloroformo. (3,45,46,49–52).

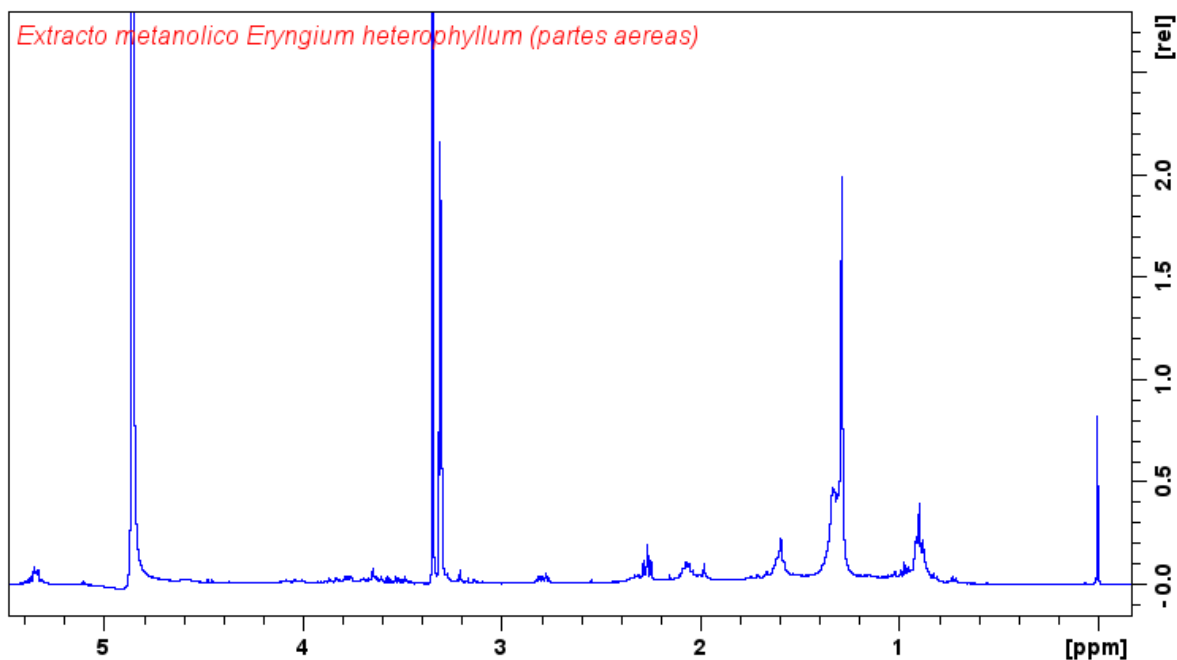


Figura 14. Espectro RMN del extracto metanólico de la especie *Eryngium heterophyllum*

En el espectro RMN 1H a 400 MHz del extracto metanólico de la especie *Eryngium heterophyllum* (Figura 14) tenemos una señal en la región δ 1.2 ppm que puede sugerir la presencia de grupos CH_2 de un ácido graso o un alqueno. También se observan señales en la región δ 0.8-1.0 ppm que corresponden a protones alifáticos (CH_3 , CH_2 y CH) en diferentes tipos de moléculas, como ácidos grasos, alcoholes, alquenos y alcanos (3,45,46,49–51).

Por otra parte, la actividad antimicrobiana evaluada por difusión en disco se expresa como el diámetro del halo de inhibición en mm, un halo de inhibición más grande indica una mayor actividad antimicrobiana. En los extractos clorofórmico y el sub-extracto clorofórmico del extracto acuoso, se observaron resultados interesantes, para las bacterias

Gram positivo y levaduras se registraron ciertas zonas de inhibición en algunos de los discos, específicamente *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* y *Candida albicans*. En la tabla 3 se muestran los resultados de inhibición de los extractos mencionados. Sin embargo, los extractos metanólicos, hexánicos y los demás sub-extractos acuosos no mostraron actividad frente a los microorganismos ensayados.

Tabla 3 Resultados de inhibición de los extractos clorofórmico y sub-extracto clorofórmico del extracto acuoso frente a *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* y *Candida albicans*

Microorganismos	Medida del diámetro de los halos de inhibición (mm)					
	Extracto clorofórmico 20 mg/mL (200000 µg/mL)	Extracto clorofórmico 1000 µg/mL	Extracto clorofórmico 100 µg/mL	Sub-extracto clorofórmico 20 mg/mL	Sub-extracto clorofórmico 1000 µg/mL	Sub-extracto clorofórmico 100 µg/mL
<i>S. aureus</i>	8	R	R	12	7	9
<i>B. subtilis</i>	10	R	R	14	6	8
<i>C. albicans</i>	R	R	R	25	16	11

Basándonos en los resultados de la Tabla 3, podemos observar que tanto el extracto clorofórmico como el sub-extracto clorofórmico muestran actividad inhibitoria frente a *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* y *Candida albicans*, aunque en diferentes concentraciones. Para *Staphylococcus aureus* (Figura 17), *Bacillus subtilis* (Figura 15), se observa una mayor actividad inhibitoria con el sub-extracto clorofórmico en comparación con el extracto clorofórmico, lo que sugiere que los diferentes componentes presentes en

estos pueden tener diferentes efectos sobre los microorganismos evaluados. Para *Candida albicans* (Figura 16) solo observamos resultados positivos para el sub-extracto clorofórmico. Por lo que, para el extracto clorofórmico se observó menos actividad antimicrobiana, y para el sub-extracto clorofórmico observamos halos de inhibición para todos los discos, lo que nos dice que el sub-extracto clorofórmico es más activo contra los microorganismos evaluados. En las Figuras 15, 16 y 17 se observan los halos de inhibición obtenidos de la evaluación de la actividad antimicrobiana del extracto clorofórmico y sub-extracto clorofórmico. Es importante mencionar que no se observa un efecto en el crecimiento de microorganismos del control, en este caso cloroformo. Un control negativo se usa para asegurarse de que cualquier efecto observado en las muestras de prueba se deba específicamente a los componentes antimicrobianos presentes en los extractos y no a ningún efecto inherente del solvente utilizado.

En la Gráfica 1 se muestra la actividad antimicrobiana del extracto clorofórmico y el sub-extracto clorofórmico de *E. heterophyllum* frente a las tres bacterias donde se obtuvieron efectos positivos, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* y *Candida albicans*. Frente a *Staphylococcus aureus* el sub-extracto clorofórmico a concentración 20 mg/mL y 100 µg/mL tiene una mayor actividad antibacteriana, con halos de 12 mm y 9 mm, respectivamente, y las dos diluciones del extracto clorofórmico mostraron resistencia contra esta bacteria. Frente a *Bacillus subtilis* las dos concentraciones de 20 mg/mL de ambos extractos tuvieron el mayor halo de inhibición, y las dos diluciones del extracto clorofórmico se mostraron resistentes frente a esta bacteria. Frente a *Candida albicans* se mostró el mayor halo de inhibición registrado, para la concentración de 20 mg/mL del sub-extracto clorofórmico, mientras que las tres diluciones del extracto clorofórmico se mostraron resistentes frente a esta levadura.

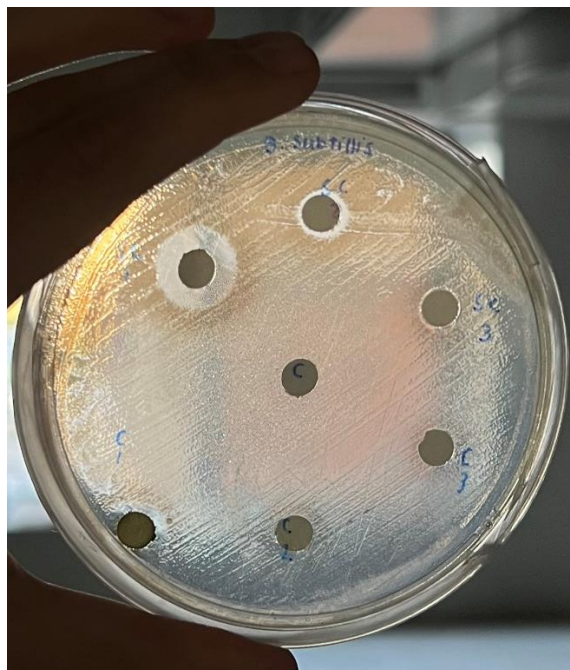


Figura 15. Actividad antimicrobiana evaluada por difusión de disco del el extracto clorofórmico y el sub extracto clorofórmico de la especie *Eryngium heterophyllum* frente a una cepa de *Bacillus subtilis*

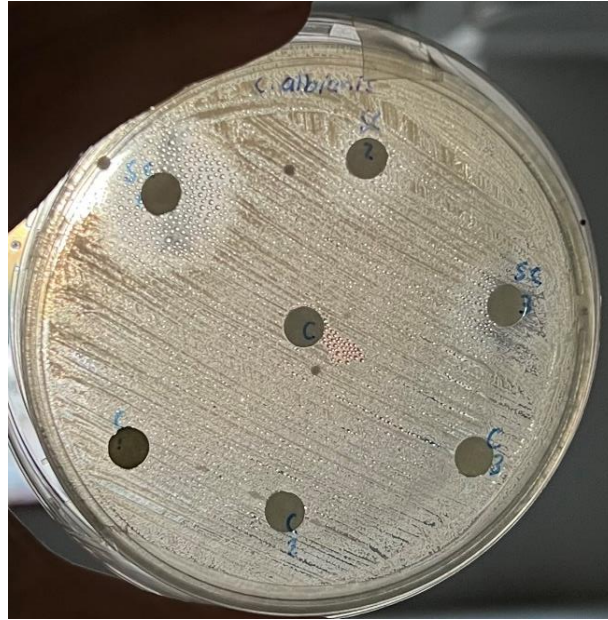


Figura 16. Actividad antimicrobiana evaluada por difusión de disco del el extracto clorofórmico y el sub extracto clorofórmico de la especie *Eryngium heterophyllum* frente a una cepa de *Candida albicans*

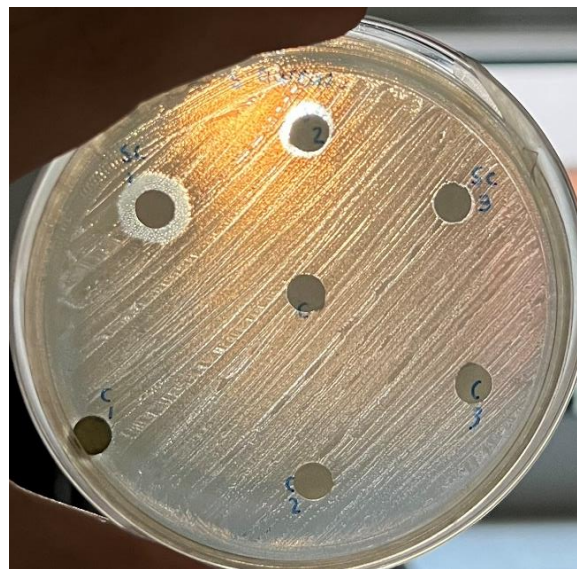
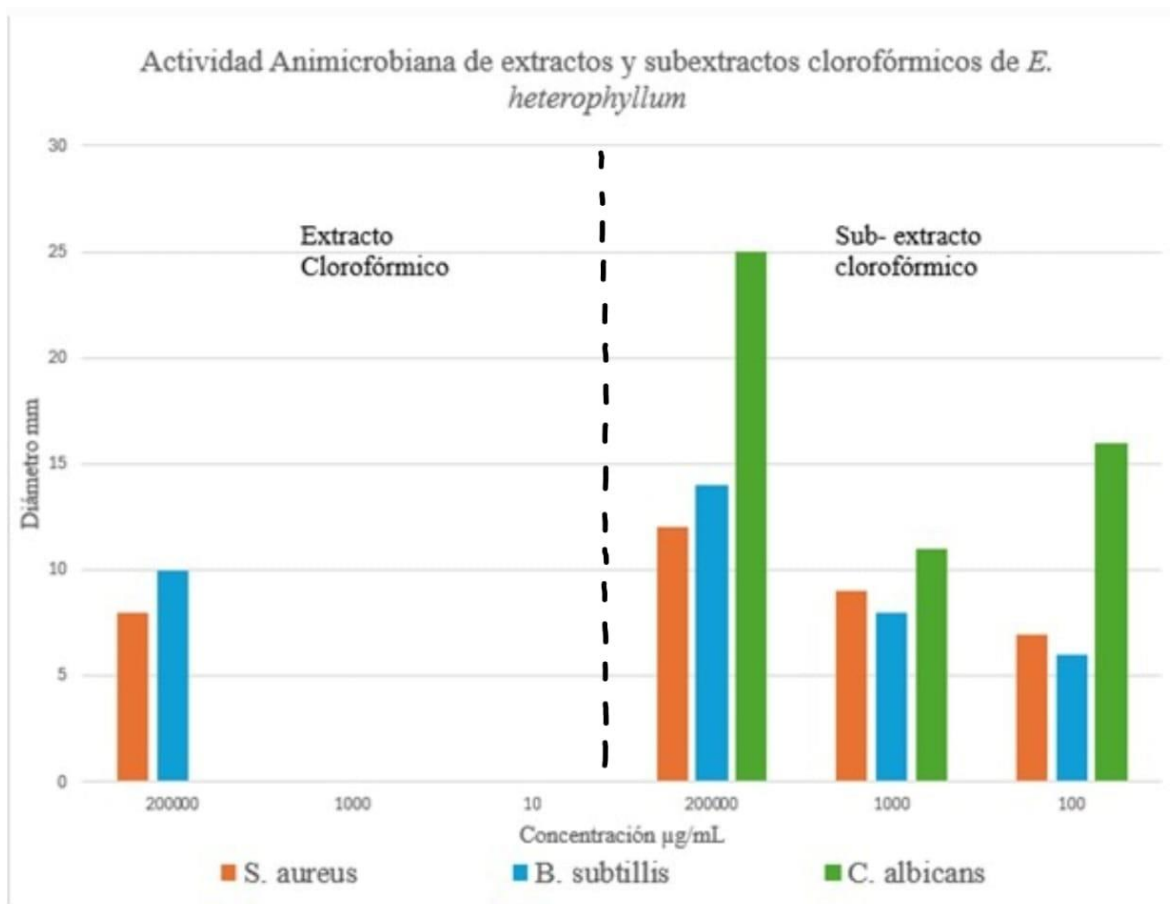


Figura 17. Actividad antimicrobiana evaluada por difusión de disco del el extracto clorofórmico y el sub extracto clorofórmico de la especie *Eryngium heterophyllum* frente a una cepa de *Staphylococcus aureus*



Gráfica 1. Actividad Antimicrobiana del extracto clorofórmico (izquierda) y sub-extracto clorofórmico (derecha) de *E. heterophyllum* respecto a las concentraciones utilizadas

En cuanto a la información obtenida, en la bibliografía sobre el género *Eryngium* se encontró que tienen diversos usos medicinales tradicionales, las partes aéreas de las especies de este género contienen principalmente saponinas, flavonoides y aceites esenciales (2). *E. beecheyanum* es una especie muy apreciada por la comunidad Purépecha de Michoacán, para el tratamiento de la inflamación de la piel, se consume por vía oral como una infusión de la parte aérea de la planta o como fomento en la zona afectada, también ha sido reportada como antipirética (9). Para la especie *E. paniculatum* se le otorgan propiedades antimicrobianas

útiles para el tratamiento de mucosas y enfermedades infecciosas, pero también es mencionada gracias a su valioso aporte de néctar y polen para las colonias de abejas en primavera-verano (7). Para la especie *E. carlinae*, una de las más estudiadas y utilizadas en las comunidades indígenas del centro de México, tiene un uso principal para problemas renales como la cistitis y como diurético, pero uno de sus usos más populares es para tratar la diabetes en forma de infusión diaria llamada “agua de uso” y se le atribuyen otras propiedades biológicas que no necesariamente tienen un respaldo científico. La especie *E. comosum* se conoce por ser utilizado como afrodisíaco, antigonorréico, antipirético, antibiótico para infecciones del tracto urinario y ayuda a reducir los niveles de los lípidos en la sangre. *E. longifolium* se utiliza comúnmente en el estado de Hidalgo para tratar la diabetes y lo consumen en forma de infusión de la planta seca (parte aérea) tomada a lo largo del día (9). Una planta con potencial medicinal y diversidad geográfica es *E. campestre*, debido a la presencia diversos compuestos químicos y es importante mencionarla porque la composición de sus aceites esenciales varía según la ubicación geográfica, esto indica una posible adaptación a las condiciones de su entorno (53).

Se han identificado una gran variedad de metabolitos secundarios en especies del género *Eryngium*, como triterpenoides pentacíclicos, principalmente olean-12-eno con múltiples grupos hidroxilo y lupino. También presenta notable riqueza en flavonoides, principalmente glucósidos de quercetina y kaempferol (5). Las especies de este género contienen una variedad de cumarinas simples como escopoletina; y furanocumarinas lineales, como deltoína, distribuidas en diferentes partes de la planta según la especie. Así mismo, este género es conocido por tener saponinas como sus principales componentes, se han aislado más de 25 de éstas y la mayoría pertenecen al grupo de saponinas triterpenoides oleananas

polihidroxiadas. De igual manera, *Eryngium* también contiene una gran variedad de poliacetilenos,, que se encuentran distribuidos en diferentes partes de la planta, algunos de ellos son yuccifolol (nonadeca 1, 11-dieno 4,6,8-triino-3,10-diol, (100)), un poliacetileno novedoso, fue aislado e identificado en las partes aéreas de *E. yuccifolium* a partir de extractos hexano/éter, junto con los poliacetilenos conocidos falcarinona, falcarinol y heptadecta (5).

A partir de la literatura científica se examina a los compuestos químicos identificados y aislados de las diferentes especies de *Eryngium*. En la Tabla 4, se resumen los compuestos aislados del género, ordenándolos de acuerdo con su clasificación, especificando la especie de la cual se aislaron, los nombres y el número de la estructura correspondiente, las actividades biológicas que han sido investigadas hasta la fecha y la fórmula molecular junto con su número identificador de compuestos similares aprobados por la FDA como medicamento. En el Anexo 2, se podrán encontrar las estructuras correspondientes a los compuestos numerados.

Tabla 4. Compuestos químicos aislados de diferentes especies del género *Eryngium*

Tipo de compuesto	Especie	Nombre del compuesto	Actividad biológica del compuesto	Similitud con compuestos clínicos	Referencia
Ácidos Fenólicos	<i>E. planum</i>	Ácido Isoclorogénico (1)	Antitumoral, antiinflamatoria y antioxidante	Fármaco $C_{25}H_{24}O_{12}$ ID: NPD6190 (93)	(54,55)

Ácidos Fenólicos	<i>E. campestre</i> , <i>E. maritimum</i> , <i>E. planum.</i> , <i>E. carlinae</i>	Ácido Clorogénico (2)	Alivio temporal de la piel irritada, picazón, congestión, fiebre del heno o dolor de cabeza ocasional.	Fármaco $C_{25}H_{24}O_{12}$, ID: NPD6190 (93)	(55-57)
Ácidos Fenólicos	<i>E. campestre</i> , <i>E. maritimum</i> , <i>E. planum.</i> , <i>E. carlinae</i>	Ácido Ferúlico (3)	Promesa para actuar como un cosmético antiimperfecciones, puede interactuar con muchas enzimas del CYP450, lo que lleva a muchas interacciones medicamentosas.	Eugenol (94)	(55,57,58)
Ácidos Fenólicos	<i>E. campestre</i> , <i>E. maritimum</i> , y <i>E. planum.</i>	DOPAC (4)	Es un metabolito de la dopamina. Tiene un papel como metabolito humano.	Subgalato de Bismuto (95)	(55,59)
Ácidos Fenólicos	<i>E. campestre</i> , <i>E. maritimum</i> , <i>E. planum.</i> , <i>E. carlinae</i>	Ácido Cafeico (5)	Potenciales propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antineoplásicas. Al ser administrado, actúa como un antioxidante y	Masoprocol (96)	(55,57,60)

			previene el estrés oxidativo, evitando así el daño al ADN inducido por los radicales libres.		
Ácidos Fenólicos	<i>E. campestre</i> , <i>E. maritimum</i> , <i>E. planum.</i> , <i>E. carlinae</i>	RA (6)	Tiene un papel como metabolito vegetal y geroprotector.	Fármaco $C_{25}H_{24}O_{12}$ ID: NPD6190 (93)	(55,57,61)
Ácidos Fenólicos	<i>E. campestre</i> , <i>E. maritimum</i> , y <i>E. planum.</i>	SA (7)	Agente terapéutico en diversas enfermedades (diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer, isquemia cerebral, daño neurológico y hepático) y posee actividades antioxidantes, antimicrobianas, antiinflamatorias y antiendotóxicas.	Fármaco $C_8H_8O_3$ ID: NPD9494 (97)	(55,62)
Ácidos Fenólicos	<i>E. maritimum</i> , <i>E. Planum.</i> , <i>E. carlinae</i>	Ácido vanílico (8)	Efectos antioxidantes, antiinflamatorios y neuroprotectores.	Fármaco $C_8H_8O_3$ ID: NPD9494 (97)	(55,57,63)

Ácidos Fenólicos	<i>E. campestre</i> , <i>E. maritimum</i> , y <i>E. planum</i>	Ácido 4-Feruloilquinico (9)	Propiedades antioxidantes y antimicrobianas contra hongos, bacterias grampositivas y bacterias gramnegativas.	Fármaco $C_{25}H_{24}O_{12}$ ID: NPD6190 (93)	(55,64)
Ácidos Fenólicos	<i>E. campestre</i> , <i>E. maritimum</i> , <i>E. carlinae</i>	Ácido 4-dihidroxibenzoico (10)	Metabolito xenobiótico humano, metabolito de planta, agente antineoplásico, inhibidor de la EC 1.1.1.25 e inhibidor de la EC 1.14.11.2.	Etilparabeno (107)	(55,57,65) (57)
Ácidos Fenólicos	<i>E. carlinae</i>	Ácido 4-hidroxibenzoico (11)	Tiene un papel como metabolito de plantas y metabolito de algas.	Etilparabeno (107)	(57,66)
Ácidos Fenólicos	<i>E. carlinae</i>	Ácido 4-cumárico (12)	Actividades antitumorales y antimutagénicas.	Cresol (108)	(57,67)

Ácidos Fenólicos	<i>E. carlinae</i>	Umbeliferona (13)	Tiene un papel como sonda fluorescente, metabolito de plantas y componente alimentario.	Coumarina (109)	(57,68)
Ácidos Fenólicos	<i>E. carlinae</i>	Ácido salicílico (14)	Tiene un papel como agente antiinfeccioso, agente antifúngico, fármaco queratolítico, inhibidor de EC 1.11.1.11, metabolito de plantas, algas y hormona vegetal.	Silicato de Magnesio (110)	(57,69)
Ácidos Fenólicos	<i>E. carlinae</i>	Ácido elágico (15)	Tiene un papel como antioxidante, aditivo alimentario, metabolito de plantas, inhibidor de EC 5.99.1.2, EC 5.99.1.3, EC 1.14.18.1, EC 2.3.1.5, EC 2.4.1.1, EC 2.5.1.18, EC 2.7.1.127, EC 2.7.1.151, EC 2.7.4.6, agente aclarante de la piel, metabolito fúngico,	Esculina (102)	(57,70)

			inhibidor de EC 2.7.7.7 y geroprotector.		
Ácidos Fenólicos	<i>E. carlinae</i>	Quercetina-3-D-galactósido (16)	Tiene un papel como agente hepatoprotector y metabolito de plantas.	Diosmina (100)	(57,71)
Ácidos Fenólicos	<i>E. carlinae</i>	Ácido p-anísico (17)	Tiene un papel como metabolito de plantas.	Etilparabeno (107)	(57,72)
Ácidos Fenólicos	<i>E. carlinae</i>	Ácido nordihidroguaiarético (18)	Tiene un papel como antioxidante, metabolito de plantas, inhibidor de ferroptosis y geroprotector.	Cianidanol (111)	(57,73)
Alcano	<i>E. dilatatum</i>	<i>n</i> -Decano (19)	Se utiliza como disolvente y para fabricar otros productos químicos.	Nonano (116)	(74,75)
Alcoholes terpénicos	<i>E. dilatatum</i>	α -Terpineol (20)	Tiene un papel como metabolito vegetal.	Sobrerol (106)	(75,76)

Aldehído	<i>E. dilatatum</i>	Acetaldehído de benceno (21)	Utilizado en la síntesis de fragancias y polímeros.	Fenilbutirato de Sodio (117)	(75,77–79)
Aldehído graso	<i>E. dilatatum</i>	(<i>E, Z</i>)-2,4-Decadienal [22]	Agente saborizante.	Fármaco C ₂₄ H ₃₆ O ₂ ID: NPD6097 (125)	(75,80)
Aldehído graso saturado	<i>E. dilatatum</i>	Octanal (23)	Aldehído aromático que se encuentra en los aceites cítricos. Se utiliza comercialmente como componente en perfumes y en la producción de sabores para el sector alimentario.	Monoestearato de Aluminio (113)	(75,81,82)
Aldehído graso saturado	<i>E. dilatatum</i>	Nonanal (24)	Metabolito observado en el metabolismo del cáncer. Tiene un papel como metabolito humano y metabolito vegetal.	Monoestearato de Aluminio (113)	(75,83)

Aldehído graso saturado	<i>E. dilatatum</i>	Ácido Dodecanoico (25)	Tiene un papel como metabolito vegetal, agente antibacteriano y metabolito de algas.	Fármaco C ₁₆ H ₃₂ O ₂ ID: NPD2270 (132)	(75,84)
Aldehído graso saturado	<i>E. creticum</i>	Hexanal (26)	Tiene un papel como metabolito urinario humano.	Monoestearato de Aluminio (113)	(85,86)
Carbocíclico	<i>E. dilatatum</i>	β-Eudesmol (27)	Tiene un papel como componente volátil del aceite.	Etilestrenol (112)	(75,87)
Cetona	<i>E. dilatatum</i>	1-(1-metil-2- ciclopenten-1- il) etanona (28)	En la industria de fragancias y perfumes como componente aromático.	Piritiona (115)	(75,88)
Cetona	<i>E. dilatatum</i>	Acetofenona (29)	Tiene un papel como agente fotosensibilizante, metabolito animal y xenobiótico.	Benzofenona (120)	(75,89)
Cetona	<i>E. dilatatum</i>	2-Nonanona (30)	Tiene un papel como metabolito vegetal.	Monoestearato de Aluminio (113)	(75,90)

Cetona monoterpé nica cíclica	<i>E. dilatatum</i>	(Z)- β - Damascenona (31)	Tiene una función como fragancia, componente oleoso volátil y metabolito vegetal.	(1S)- (-)- Verbenona (103)	(75,91,92)
Ciclohexe nonas	<i>E. dilatatum</i>	Criptona (32)	Tiene un papel como agente saborizante	(1S)- (-)- Verbenona (103)	(75,93)
Ciclohexe nonas	<i>E. dilatatum</i>	Mentona (33)	Es un componente de muchos aceites esenciales, en forma minoritaria. En el laboratorio, la (-)- mentona rara vez se ha utilizado como material de partida en la síntesis de productos naturales complejos. Tiene un papel como agente saborizante.	Alcanfor (121)	(75,94,95)
Cineol (monoterp eno y éter cíclico)	<i>E. dilatatum</i>	1,8-Cineol (34)	Tiene un papel como agente saborizante.	Terpina (119)	(75,96)

Diterpeno	<i>E. maritimum</i>	Neofitadieno (35)	Tiene un papel como agente antiinflamatorio, agente antimicrobiano, metabolito de plantas y metabolito de algas.	Limoneno Fase 1 (132)	(85,97)
Epóxido (terpenoid e)	<i>E. dilatatum</i>	Óxido de Cariofileno (36)	Tiene un papel como metabolito.	Fármaco $C_8H_{12}O$ ID: NPD9410 Etapa de desarrollo: Clínica (fase no especificada) (133)	(75,98)
Ester Terpenico	<i>E. dilatatum</i>	Acetato de <i>trans</i> - crisantenilo (37)	-	Fármaco $C_{29}H_{50}O$ ID: NPD7339 (123)	(75,99)
Flavonoid es	<i>E. campestre</i> , <i>E. maritimum</i> , y <i>E. planum.</i> , <i>E. carlinae</i>	Kaempferol (38)	Antioxidante al reducir el estrés oxidativo y actualmente se está considerando como un posible tratamiento	Fármaco $C_{18}H_{16}O_7$ ID: NPD2801 (99)	(55,57,100)

			<p>contra el cáncer. Tiene un papel como agente antibacteriano, metabolito de planta, metabolito xenobiótico humano, metabolito urinario humano, metabolito sérico humano y geroprotector.</p>		
Flavonoides	<i>E. campestre</i> , <i>E. maritimum</i> , y <i>E. planum</i> .	Quercitrina (39)	<p>Antioxidante, agente antileishmanial, inhibidor de la EC 1.1.1.184, EC 1.1.1.21, EC 1.14.18.1 y es un metabolito de planta.</p>	<p>Fármaco C₁₈H₁₆O₇ ID: NPD2801 (99)</p>	(55,101)
Flavonoides	<i>E. campestre</i> , <i>E. maritimum</i> .	Rutosida (40)	<p>Propiedades antiinflamatorias y mejoran los signos y síntomas de enfermedades cardiovasculares. Potentes inhibidores de la expresión génica</p>	<p>Diosmina (100)</p>	(55,102)

			relacionada con la inflamación en macrófagos humanos activados cultivados in vitro, y que inhiben la liberación de óxido nítrico, TNF- α , IL-1 e IL-6 de estas células.		
Flavonoides	<i>E. campestre</i> , <i>E. carlinae</i>	Quercetina (41)	Tiene un papel como agente antibacteriano, antioxidante, inhibidor de la proteína quinasa, agente antineoplásico, inhibidor de la EC 1.10.99.2, metabolito de planta, fitoestrógeno, atrapador de radicales, quelante, inhibidor de la quinasa Aurora y geroprotector.	Fármaco C ₁₅ H ₁₀ O ₇ ID: NPD1512 (101)	(55,57,103)
Flavonoides	<i>E. campestre</i> y <i>E. carlinae</i>	Astragalina (42)	Tiene un papel como fármaco tripanocida y metabolito de planta.	Esculina (102)	(55,57,104)

Hidrocarburo aromático.	<i>E. dilatatum</i>	<i>o</i> -Cimeno (43)	Disolventes, fabricación de resinas sintéticas, pulidores de metales, síntesis orgánica.	O-Xileno (118)	(75,105)
Hidrocarburos Cíclicos y sesquiterpeno	<i>E. dilatatum</i>	<i>α-trans</i> -Bergamoteno (44)	Tiene un papel como metabolito vegetal y componente oleoso volátil.	(1S)- (-)-Verbenona (103)	(75,106,107)
Hidrocarburos monoterpénicos	<i>E. planum</i> , <i>E. creticum</i>	<i>α</i> -Pinenos (45)	Se sabe que posee propiedades antimicrobianas, apoptóticas, antimetastásicas y antibióticas.	(1S)- (-)-Verbenona (103)	(85,108,109)
Hidrocarburos monoterpénicos	<i>E. planum</i>	<i>β</i> -Pinenos (46)	Posee actividades biológicas como antibacterianas, antidepresivas, citotóxicas y antimicrobianas.	<i>β</i> -Caroteno (104)	(109,110)
Hidrocarburos	<i>E. planum</i>	Mirceno (47)	Tiene un papel como metabolito vegetal,	<i>β</i> -Caroteno (104)	(109,111)

monoterpénicos			agente antiinflamatorio, agente anabólico, fragancia, agente saborizante y componente de aceite volátil.		
Hidrocarburos monoterpénicos	<i>E. planum</i>	Limoneno (48)	fragancia en cosméticos, como saborizante en la industria alimentaria e incluso como desengrasante doméstico biodegradable. Además, se utiliza como material de partida para la producción de p-cimeno y como insecticida contra hormigas, pulgones y otras plagas.	β -Caroteno (104)	(109,112)
Hidrocarburos monoterpénicos	<i>E. planum</i>	(Z)- β -Ocimeno (49)	Tiene un papel como metabolito vegetal.	β -Caroteno (104)	(109,113)

Hidrocarburos monoterpénicos	<i>E. planum</i>	Terpinoleno (50)	Tiene un papel como sedante, repelente de insectos, metabolito vegetal y componente de aceite volátil.	β -Caroteno (104)	(109,114)
Hidrocarburo sesquiterpénico	<i>E. dilatatum</i> , <i>E. creticum</i> , <i>E. glomeratum</i> , <i>E. amethystinum</i> , <i>E. campestre</i>	Germacreno D (51)	Precursor biogénico de muchas otras estructuras sesquiterpénicas	β -Caroteno (104)	(75,85,115,116)
Hidrocarburos sesquiterpenos	<i>E. dilatatum</i>	δ -cadineno (52)	Efectos antiproliferativos y apoptóticos sobre el cáncer de ovario humano	β -Caroteno (104)	(75,117,118)
Monoterpeno	<i>E. dilatatum</i>	α -Terpineno (53)	Tiene un papel como componente de aceite volátil y metabolito vegetal.	β -Caroteno (104)	(75,119)
Monoterpeno	<i>E. dilatatum</i>	Carvacrol (54)	Inhibidor del crecimiento bacteriano, se utiliza como aditivo alimentario.	Fenol (124)	(75,120)
Monoterpeno	<i>E. dilatatum</i>	γ -Terpineno (55)	Tiene un papel como antioxidante, metabolito	β -Caroteno (104)	(75,121)

			vegetal, componente de aceite volátil y metabolito xenobiótico humano.		
Monoterpenoide	<i>E. dilatatum</i>	Linalool (56)	Tiene un papel como metabolito vegetal, componente de aceite volátil, agente antimicrobiano y fragancia.	Fármaco C ₂₀ H ₃₄ O ₂ ID: NPD4265 (122)	(75,122)
Monoterpenoide fenchano, cetona terpenoide cíclica y carbocíclico.	<i>E. dilatatum</i>	Fenchone (57)	Tiene un papel como metabolito vegetal.	Alcanfor (121)	(75,123)
Monoterpenos oxigenados	<i>E. planum, E. creticum</i>	Alcanfor (58)	Puede ser utilizado como: plastificante industrial; repelente de insectos; saborizante en alimentos y bebidas; y	Fármaco ID: NPD343 (105)	(85,109,124,125)

			medicinalmente como un antiprurítico, analgésico leve e irritante contrairritante.		
Monoterpenos oxigenados	<i>E. planum</i>	Terpinen-4-ol (59)	Tiene un papel como metabolito vegetal, agente antibacteriano, antioxidante, agente antiinflamatorio, agente antiparasitario, agente antineoplásico, inductor de apoptosis.	Sobrerol (106)	(109,126)
Monoterpenos oxigenados	<i>E. planum</i>	Mirtenol (60)	Actividades antioxidantes, antibacterianas, antifúngicas, antidiabéticas, ansiolíticas y gastroprotectoras.	Sobrerol (106)	(109,127)
Monoterpeno bicíclico	<i>E. dilatatum</i>	Sabineno (61)	Tiene un papel como metabolito vegetal.	β -Caroteno (104)	(75,128)

Monoterpe no cíclico	<i>E. dilatatum</i>	α -Felandreno (62)	Tiene un papel como componente de aceite volátil, metabolito vegetal y agente antimicrobiano.	β -Caroteno (104)	(75,129)
Monoterpe no ciclico	<i>E. dilatatum</i>	β -Filandreno (63)	Tiene un papel como metabolito vegetal.	β -Caroteno (104)	(75,130)
Octahidro naftalenos	<i>E. dilatatum</i>	α -Selineno (64)	Tiene un papel como metabolito vegetal.	β -Caroteno (104)	(75,131)
Sesquiterp eno	<i>E. dilatatum</i>	Biciclogermacr eno (65)	Tiene un papel como metabolito.	β -Caroteno (104)	(75,132)
Sesquiterp eno	<i>E. dilatatum</i>	(<i>E</i>)-Cariofileno (66)	Tiene un papel como medicamento antiinflamatorio no esteroideo, fragancia, metabolito y atrayente de insectos.	β -Caroteno (104)	(75,133)
Sesquiterp eno	<i>E. dilatatum</i>	β -Bourboneno (67)	Puede inhibir la proliferación de células PC-3M en el cáncer de	Limoneno Fase 1 (127)	(75,134,13 5)

			próstata e inducir la apoptosis celular		
Sesquiterp eno	<i>E. dilatatum</i> ,	β -elemeno (68)	Posibles actividades antineoplásicas y quimiopreventivas	β -Caroteno (104)	(75,136)
Sesquiterp eno	<i>E. dilatatum</i> , <i>E. amethystinum</i> , <i>E. campestre</i>	α -Cedreno (69)	Tiene un papel como metabolito urinario humano y componente oleoso volátil.	Fármaco C ₁₅ H ₂₄ ID: NPD1799 (128)	(75,116,137)
Sesquiterp eno	<i>E. dilatatum</i>	α -Gurjuneno (70)	Tiene un papel como componente volátil del aceite, metabolito vegetal y agente antibacteriano.	Fármaco C ₁₅ H ₂₄ ID: NPD1799 (128)	(75,138)
Sesquiterp eno	<i>E. dilatatum</i>	β -Cedreno (71)	Ejerce actividades antisépticas, antiinflamatorias, antiespasmódicas, tónicas, astringentes, diuréticas, sedantes, insecticidas y antifúngicas.	Fármaco C ₁₅ H ₂₄ ID: NPD1799 (128)	(75,139,140)
Sesquiterp eno	<i>E. dilatatum</i>	α -Guajeno (72)	Tiene un papel como componente oleoso	β -Caroteno (104)	(75,141)

			volátil y metabolito vegetal.		
Sesquiterp eno	<i>E. dilatatum</i>	α -Humuleno (73)	Reduce el crecimiento de las células de cáncer de mama MCF-7 en aproximadamente un 50 % cuando se usa en una concentración de 32 mg/ml. También reduce la viabilidad de las células Caco-2 de una manera dependiente de la concentración, pero no tiene ningún efecto sobre la viabilidad de los hepatocitos de rata.	β -Caroteno (104)	(75,142– 144)
Sesquiterp eno	<i>E. dilatatum</i>	α -Muuroleno (74)	Posibles propiedades antioxidantes.	β -Caroteno (104)	(75,145,14 6)
Sesquiterp eno	<i>E. dilatatum</i>	<i>trans</i> - β - Guaiene (75)	Los guaienos se utilizan en las industrias de fragancias y saborizantes para impartir aromas y	β -Caroteno (104)	(75,147)

			sabores terrosos y especiados.		
Sesquiterp eno	<i>E. dilatatum</i>	β -Bisaboleno (76)	Agente saborizante y fragante.	β -Caroteno (104)	(75,148)
Sesquiterp enoide	<i>E. dilatatum</i>	Cubebol (77)	Ingrediente aromatizante	Ganaxolona Fase 3 (129)	(75,149,150)
Sesquiterp enoide	<i>E. dilatatum</i>	<i>trans</i> - Calameneno (78)	Este compuesto puede ser un potencial agente antimicrobiano, antifúngico y antiinflamatorio.	Fármaco C ₂₁ H ₂₅ N ID: NPD4544 (130)	(75,151,152)
Sesquiterp enoides	<i>E. dilatatum</i>	Cadina-1,4- dieno (79)	Exhiben altas propiedades antifúngicas	Limoneno Fase 1 (127)	(75,153,154)
Sesquiterp enoide	<i>E. dilatatum</i>	Elemol (80)	Tiene un papel como fragancia y metabolito vegetal.	Alilestrenol (131)	(75,155)
Sesquiterp enoide	<i>E. dilatatum</i>	α -Calacoreno (81)	Posibles propiedades antioxidantes, actividad antimicrobiana, efectos citotóxicos.	Fármaco C ₂₁ H ₂₅ N ID: NPD4544 (130)	(75,156,157)

Sesquiterp enoide	<i>E. dilatatum</i>	Cubenol (82)	Tiene un papel como componente volátil del aceite, metabolito vegetal y acaricida.	Etilestrenol (112)	(75,158)
Sesquiterp enoide	<i>E. dilatatum, E. glomeratum</i>	14-Hidroxi- α -Muuroleno (83)	Estudios recientes de acoplamiento molecular indicaron otros posibles candidatos anti-SARS-CoV-2 de la flora brasileña.	Sobrerol (106)	(75,85,159,160)
Sesquiterp enoide	<i>E. dilatatum</i>	α -muurolol (84)	Puede encontrarse en la artemisa, lo que convierte al muurolol en un posible biomarcador para el consumo de este producto alimenticio.	Etilestrenol (112)	(75,161,162)
Sesquiterp enoide	<i>E. dilatatum, E. amethystinum, E. campestre</i>	Aromadendrenol (85)	En la literatura se describen algunas transformaciones químicas del (+)-aromadendreno, para obtener productos importantes.	Fármaco C ₁₅ H ₂₄ ID: NPD1799 (128)	(75,116,163,164)

Sesquiterp enoide cadinano	<i>E. dilatatum</i>	α -cadinol (86)	Tiene un papel como metabolito de la planta, fungicida y componente de aceite volátil.	Etilestrenol (112)	(75,165)
Sesquiterp enoide cedrano	<i>E. glomeratum</i>	Di-epi- cedrenóxido (87)	Ingrediente de fragancia.	Hidrato de terpina (133)	(85,166)
Sesquiterp enoide tricíclico	<i>E. dilatatum, E. maritimum, E. amethystinum, E. campestre</i>	Espatulanol (88)	Tiene un papel como componente oleoso volátil, metabolito vegetal, anestésico y agente vasodilatador.	Ergocalciferol (114)	(75,85,116 ,167)
Sesquiterp eno tricíclico	<i>E. dilatatum</i>	α -Cubebeno (89)	Tiene un papel como metabolito vegetal, metabolito humano y componente oleoso volátil.	Progesterona (126)	(75,168)
Sesquiterp eno triciclico	<i>E. dilatatum</i>	α -Copaeno (90)	Propiedades antiproliferativas y antioxidantes	(1S) - (-)- Verbenona (103)	(75,169,17 0)

Sesquiterp eno tricíclico	<i>E. dilatatum</i>	β -Cubebeno (91)	Tiene un papel como metabolito vegetal.	Limoneno Fase 1 (127)	(75,171)
Terpenoid e bicíclico	<i>E. dilatatum</i>	<i>cis</i> -Thujona (92)	Tiene un papel como agente saborizante.	Alcanfor (121)	(75,172)

La Tabla 4 se clasifica en varios tipos de compuestos, como ácidos fenólicos, aldehídos, hidrocarburos, flavonoides, diterpenos, sesquiterpenos, monoterpenos, cetonas, esterres terpénicos, entre otros, de las especies del género *Eryngium* más estudiadas, como *E. dilatatum*, *E. planum*, *E. carlinae*, *E. maritimum* y *E. campestre*. Estas especies están asociadas con una amplia variedad de compuestos químicos y actividades biológicas, lo que sugiere que son especialmente ricas en diversidad química y podrían tener potencial para aplicaciones medicinales y cosméticas.

Los compuestos exhiben una amplia gama de actividades biológicas, que incluyen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas, entre otras. Además, muchos de estos compuestos tienen similitudes con compuestos clínicos utilizados en el tratamiento de diversas enfermedades, lo que sugiere su potencial aplicación en medicina. Por ejemplo, se mencionan actividades similares a medicamentos contra cáncer, agentes antiinflamatorios, antitumorales y antioxidantes. Algunos ejemplos de compuestos y sus actividades biológicas incluyen el ácido ferúlico con propiedades antiimperfecciones cosméticas, el ácido elágico con propiedades antioxidantes y aclarantes de la piel, y el kaempferol con propiedades antioxidantes y potencial tratamiento contra el cáncer. Es importante destacar que varios de estos compuestos tienen potencial para interactuar con enzimas específicas, lo que podría

llevar a interacciones con medicamentos significativas. Por lo tanto, se requiere una evaluación cuidadosa de su seguridad y eficacia antes de su aplicación clínica.

A partir de la Tabla 4, podemos decir que las especies del género *Eryngium* muestran una gran diversidad química, ya que se han aislado una amplia variedad de compuestos químicos de diferentes clases y muchos de estos compuestos aislados tienen actividades biológicas relevantes, lo que sugiere que las especies de este género podrían ser una fuente valiosa de compuestos naturales con potencial para su uso en medicina y cosmética. Además, es interesante observar que algunas especies están asociadas a múltiples compuestos y actividades biológicas, lo que sugiere que estas especies pueden ser especialmente ricas en términos de composición química.

Siendo más específicos, se han realizado diversas investigaciones de extractos y compuestos aislados del género *Eryngium*, sugiriendo un potencial en la lucha contra patógenos microbianos; por ejemplo, se realizaron estudios de dos extractos de *E. maritimum* que mostraron actividad antimicrobiana contra 12 cepas bacterianas y de levadura. Los extractos volátiles de la especie *E. duriaei* mostraron una actividad antimicótica con valores de Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) de 0.16-0.32 $\mu\text{L}/\text{mL}$ contra diferentes especies de dermatofitos, mientras que *E. creticum* inhibió la germinación de esporas en al menos dos hongos fitopatógenos en más de un 95% (5). También se ha demostrado que este género tiene actividad antimicrobiana contra *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus* (18).

Algunos de los extractos de *Eryngium* que han sido investigados tienen actividad anticancerígena, por ejemplo, para la especie *E. campestre* se evaluaron los aceites esenciales preparados a partir de las partes aéreas, por su efecto citotóxico en un panel de células cancerosas humanas: A375 (melanoma maligno humano), células MDA-MB 231

(adenocarcinoma de mama humano) y células HCT116 (carcinoma de colon humano), donde los aceites esenciales mostraron una alta actividad citotóxica comparable o cercana al fármaco anticancerígeno cisplatino (53). Se ha hablado de la propiedad antitumoral que ciertas especies del género *Eryngium*, se evaluó el extracto metanólico de las partes aéreas de la especie *E. campestre*, la cual mostró una actividad antitumoral de $IC_{50}=2.24 \mu\text{g/mL}$ en células tumorales de papa inducidas por *Agrobacterium tumefaciens* (ATCC 23341) (53).

Algunas especies de este género han mostrado tener actividad antiinflamatoria, por lo que sugiere un potencial tratamiento de enfermedades inflamatorias y condiciones asociadas (2). Los extractos de diversas partes de distintas especies de *Eryngium* se utilizan como remedios populares para tratar problemas inflamatorios, algunos estudios confirman este potencial terapéutico, mezclas de saponinas aisladas de la especie *E. planum* previnieron respuestas inflamatorias cuando se inyectaron en ratas a una concentración de 0.5 mg/kg. La especie *E. campestre* reduce la producción de óxido nítrico y TNF-alfa en células endoteliales. La decocción de hojas de *E. foetidum* tiene actividad antiinflamatoria, donde un esteroide polar de esta especie podría ser responsable de su actividad (5). Algunas especies del género *Eryngium*, han demostrado tener actividad antioxidante *in vitro* (11), tal como las raíces de *E. alpinum* que mostraron una elevada actividad antioxidantes contra el radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) en un ensayo autográfico TLC o *E. maritimum* que tiene una baja actividad de eliminación de radicales con un $IC_{50}=0.28 \text{ mg/mL}$, pero alta actividad antioxidante, de 32.7 a 48.6 mg/g (5). Se han encontrado tratamientos tradicionales mexicanos que utilizan ciertas especies de *Eryngium* en forma de infusiones o ungüentos para reducir la fiebre (9).

En cuanto a la actividad biológica encontrada en la literatura científica sobre la especie *Eryngium heterophyllum* encontramos su actividad hipocolesterolemia, de la cual

ya se han realizado diferentes pruebas, en una de ellas se evaluaron los extractos crudos disueltos en agua o solución salina con Tween 80 usando una dosis de 100 mg/kg en ratones hipercolesterolémicos por 5 días, observando una reducción de colesterol de 20.7% y después se analizó su efecto *in vitro* sobre la enzima HMG-CoA mostrando una inhibición similar a los medicamentos para bajar el colesterol (estatinas). En otra evaluación se administró el extracto etanólico de *E. heterophyllum* a ratones mediante una sonda gástrica, pero no se observaron efectos hipoglucémicos, antiinflamatorios ni toxicidad aguda, por lo que no se confirma aún su efecto ante estas actividades biológicas (9). Otro ensayo evaluó el efecto del PC-300 (*E. heterophyllum* egelm + *Amphipterygium adstringens*) contra la hipertrigliceridemia, donde diferentes pacientes tratados con el té, y un segundo grupo tratados con bezafibrato; el resultado dio una reducción de triglicéridos del 19.7% para el primer grupo, mientras que en el segundo grupo fue el 44.8% (6). Se ha estudiado la especie *E. heterophyllum* gracias a su gran potencial en actividad terapéutica, es muy conocida empíricamente gracias a que tiene propiedades en el tratamiento de la diabetes, hipertensión, artritis, y otras enfermedades crónicas degenerativas (6). También en 1986 se realizó un estudio a esta especie para comprobar la disminución o eliminación de cálculos biliares, esta extracción se realizó con cuatro disolventes (benceno, cloroformo, hexano y etanol) y se indujo la enfermedad en hámsteres dorados con dietas semejantes a las que producen la enfermedad en humanos, pero no se logró el objetivo de disminuir los cálculos biliares.

El interés del estudio de *E. heterophyllum* surge por la preocupación en la falta de estudios publicados que describan las pruebas realizadas para evaluar su actividad farmacológica, exceptuando el efecto hipocolesterolémico, y los efectos secundarios que se observan (10).

La revisión bibliográfica sobre el género *Eryngium* reveló una gran diversidad de aspectos taxonómicos, morfológicos, fitoquímicos y etnobotánicos relacionados con este grupo de plantas. Se identificaron numerosas especies pertenecientes al género *Eryngium*, distribuidas en diferentes partes del mundo, pero enfatizando las que se encuentran en México, Norteamérica y Sudamérica. Se observó una amplia distribución de diferentes especies de este género en los hábitats ya mencionados y los lugares del mundo donde más encontramos este género. También se describen las características morfológicas y anatómicas distintivas del género *Eryngium*. Se destacan los compuestos fitoquímicos presentes en las especies, con potenciales propiedades medicinales y farmacológicas. También se señalaron los usos tradicionales de algunas especies en la medicina popular con diferentes actividades biológicas.

En conjunto, los resultados de la revisión bibliográfica proporcionan una visión integral y actualizada del género *Eryngium*, destacando su importancia desde perspectivas taxonómicas, ecológicas, fitoquímicas y etnobotánicas. Además, se resalta la necesidad de continuar investigando y conservando este grupo de plantas, tanto por su valor intrínseco como por su potencial utilidad para la humanidad.

Conclusiones

Los resultados obtenidos de la evaluación antimicrobiana revelaron que los extractos clorofórmico y sub-extracto clorofórmico del extracto acuoso exhibieron actividad inhibitoria contra algunas bacterias Gram positivo y levaduras, con variaciones en la intensidad dependiendo de la concentración y el microorganismo evaluado. Mientras que los extractos metanólicos, hexánicos y los demás sub-extractos acuosos no mostraron actividad frente a los microorganismos ensayados, a pesar de que se utilizó un medio muy rico como

el agar Müller-Hinton que ayuda a que solamente se observe el efecto de los extractos. A partir de los resultados de la evaluación antimicrobiana podemos concluir que para estos extractos las bacterias Gram negativo no tienen efecto y que los extractos clorofórmicos donde si se observó un halo de inhibición tienen compuestos de la misma polaridad que el cloroformo.

A partir de la revisión bibliográfica del género *Eryngium*, se abordaron aspectos taxonómicos, morfológicos, fitoquímicos y etnobotánicos. Se identificaron numerosas especies distribuidas en diversas regiones del mundo, haciendo un énfasis en aquellas presentes en México, Norteamérica y Sudamérica. Se destacó la diversidad morfológica y anatómica de estas especies, así como la presencia de compuestos fitoquímicos con potencial farmacológico. Además, se señalaron los usos medicinales tradicionales de algunas especies, respaldados por actividades biológicas investigadas, que van desde propiedades anticancerígenas hasta antiinflamatorias y antioxidantes, y una amplia variedad de metabolitos secundarios en las especies de este género. La investigación también abordó la comparación de compuestos químicos identificados en diferentes especies de *Eryngium*, destacando similitudes y diferencias en sus estructuras y actividades biológicas.

Esta investigación proporciona una visión integral del género *Eryngium*, resaltando su importancia desde diversas perspectivas, y gracias a la información recopilada de la especie *Eryngium heterophyllum* y de los resultados obtenidos de la evaluación antimicrobiana de la especie, tenemos una perspectiva más completa de su potencial terapéutico y farmacológico. Aunque se han identificado propiedades prometedoras en diferentes áreas, como su actividad hipocolesterolemizante y su capacidad inhibitoria contra ciertos microorganismos, se subraya la necesidad de continuar investigando esta especie y conservando estas plantas, tanto por su valor intrínseco como su potencial para el desarrollo

de nuevos tratamientos y fármacos que podrían beneficiar a la salud humana. Es necesario realizar más trabajos de investigación en este género para validar los diferentes usos tradicionales y, posiblemente, encontrar nuevos.

Referencias

1. Sarauz Guadalupe LA. Conocimiento ancestral de plantas medicinales en la comunidad de Sahuangal, parroquia Pacto, Pichincha, Ecuador. *Vive Revista de Salud*. abril de 2021;4(10):72-85.
2. Calderón KG. Caracterización fitoquímica y actividad biológica de Culantro de Monte (*Eryngium foetidum*) y Sánalo Todo (*Aphelandra attenuata*) del recinto Jauneche, cantón Palenque, provincia Los Ríos, Ecuador [Internet]. Universidad de Guayaquil; 2023. Disponible en: <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/5aeeaddf-d6b4-43c3-b494-5e3c037e55ca/content>
3. Cruz-Corona R. Elucidación Estructural de metabolitos secundarios aislados de *Lasianthaea aurea* [Internet]. [Instituto de Investigaciones Químico Biológicas]: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; 2018. Disponible en: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB_UMICH/2293/1/IIQ-B-R-M-2018-0394.pdf
4. Spézia FP, Siebert D, Tenfen A, Cordova CMM de, Alberton MD, Guedes A, et al. Evaluación de la actividad antibacteriana de plantas medicinales de uso popular: *Alternanthera brasiliana* (Alternantera), *Plantago major* (Llantén), *Arctostaphylos uva-ursi* (Uva-ursi) y *Phyllanthus niruri* (Chancapiedra). *Revista Pan-Amazônica de Saúde*

[Internet]. 2020 [citado 19 de marzo de 2024];11. Disponible en:
http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2176-62232020000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es

5. Wang P, Su Z, Yuan W, Deng G, Li S. Phytochemical constituents and pharmacological activities of *Eryngium L.* (Apiaceae). Faculty Publications [Internet]. 1 de enero de 2012; Disponible en:
https://scholarworks.sfasu.edu/agriculture_facultypubs/6
6. Lezama KXS. Determinación de los efectos antidiabético, antihipertensivo y toxicológico de *Eryngium heterophyllum*. 1 de junio de 2022 [citado 11 de marzo de 2024]; Disponible en: <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/2391>
7. Elizalde JHI, Lallana VH. Revisión Sobre Aspectos Bioecológicos de especies del Género *Eryngium* (Apiaceae). Revista de la Facultad de Agronomía. 21 de agosto de 2000;20(2):269-79.
8. Argueta A, Zolla C. Plantas medicinales de uso tradicional en la ciudad de México. Primera edición. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México México, D.F.; 2014. (Biblioteca de la medicina tradicional mexicana).
9. Cárdenas-Valdovinos JG, García-Ruiz I, Angoa-Pérez MV, Mena-Violante HG. Ethnobotany, Biological Activities and Phytochemical Compounds of Some Species of the Genus *Eryngium* (Apiaceae), from the Central-Western Region of Mexico. Molecules. 15 de mayo de 2023;28(10):4094.

10. Sánchez JS. Evaluación del extracto metanólico de *Eryngium heterophyllum* (hierba del sapo) para comprobar su actividad hipoglucemiante y antiinflamatoria [Internet]. [Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campus II]: Universidad Nacional Autónoma de México; 2013. Disponible en: https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/qfb/tesis/tesis_sanchez_flores.pdf
11. Pérez-Muñoz EP, Antunes-Ricardo M, Martínez-Ávila M, Guajardo-Flores D. *Eryngium* Species as a Potential Ally for Treating Metabolic Syndrome and Diabetes. *Front Nutr.* 2022;9:878306.
12. Mendoza A. Uso de plantas medicinales para el alivio de la fiebre por los pobladores del asentamiento humano Pedro Catro Alva Chachapoyas [Internet] [Tesis]. [Chachapoyas-Perú]: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; 2015. Disponible en: https://docs.bvsalud.org/biblioref/2018/10/915644/uso-de-plantas-medicinales-para-el-alivio-de-la-fiebre-por-los-_jK1kUle.pdf
13. Pérez Machín M, Sueiro Oyarzun ML, Boffill Cárdenas M, Morón Rodríguez F, Victoria Amador M del C, Monteagudo Jiménez EE, et al. Actividad diurética de una decocción de *Costus pictus* D. Don. *Revista Cubana de Plantas Medicinales.* junio de 2010;15(2):3-12.
14. Holzmeyer L, Hartig AK, Franke K, Brandt W, Muellner-Riehl AN, Wessjohann LA, et al. Evaluation of plant sources for antiinfective lead compound discovery by correlating phylogenetic, spatial, and bioactivity data. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2 de junio de 2020;117(22):12444-51.

15. Ávalos-García A, Pérez-Urria Carril E. Metabolismo secundario de plantas. REDUCA (Biología) [Internet]. 5 de octubre de 2011 [citado 18 de febrero de 2024];2(3).
Disponible en: <https://www.revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/798>
16. De la Fuente-Salcido NM, Villarreal-Prieto JM, Díaz León MÁ, García Pérez AP, De la Fuente-Salcido NM, Villarreal-Prieto JM, et al. Evaluación de la actividad de los agentes antimicrobianos ante el desafío de la resistencia bacteriana. Revista mexicana de ciencias farmacéuticas. junio de 2015;46(2):7-16.
17. Saucedo ENR. Uso De Agentes Antimicrobianos Naturales En La Conservación De Frutas Y Hortalizas. Ra Ximhai. 2011;7(1):153-70.
18. Díaz Alvarado T. ANÁLISIS DE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS, ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA Y RELACIÓN CON EL TERRITORIO DE TRES PLANTAS MEDICINALES DE LA REGIÓN MAZAHUA DEL ESTADO DE MÉXICO. 19 de noviembre de 2020 [citado 19 de marzo de 2024]; Disponible en:
<http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/109618>
19. Mantilla JR, Sanabria A. ACTIVIDAD ANTIBACTERIANA DE PLANTAS SUPERIORES COLOMBIANAS. Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas. 1 de enero de 1985;4(2):25-33.
20. Castro Peláez LM. Actividad antibacteriana de plantas medicinales en cepas clínicas de enterobacterias productoras de beta-lactamasas de espectro extendido. 2009;84-84.

21. Yepes AG, Álvarez ME, Isaza G, Acosta SM. Actividad antimicótica de *Phenax rugosus* (LAM) pers y *Baccharis trinervis* (SW) wedd. *Biosalud*. 23 de diciembre de 2005;4:38-45.
22. Ramírez-Guerra HE, Ramírez-Suárez JC, Mazorra-Manzano MA. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE PÉPTIDOS DERIVADOS DEL COLÁGENO DE ORGANISMOS MARINOS. *Biocencia*. 30 de diciembre de 2013;15(3):34-45.
23. Mostacero-León J, Peláez-Peláez F, Alarcón-Rojas NM, Cruz-Castillo AJDL, Alva-Calderón R, Charcape-Ravelo M. Plantas utilizadas para el tratamiento del cáncer expendidas en los principales mercados de la provincia de Trujillo, Perú, 2016 – 2017. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 30 de enero de 2019;18(1):81-94.
24. Baharuddin AA, Roosli RAJ, Zakaria ZA, Tohid SFM. *Dicranopteris linearis*. Una planta medicinal potencial con propiedades anticancerígenas. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 2021;20(1):28-37.
25. Ventura JAA, Vallejo JYV, Salcedo CB, Mendoza-Falconi E, Diaz-Blas PA, Paredes DD. Revisión de reportes etnomédicos antitumorales de las plantas del Jardín Botánico del Instituto de Medicina Tradicional de EsSalud en Iquitos, Perú. *Revista Peruana de Medicina Integrativa*. 31 de marzo de 2023;8(1):52-63.
26. Estrada HAG, Ruiz KNG, Medina JD. Actividad Antiinflamatoria de Productos Naturales. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 2011;10(3):182-217.

27. García Bacallao L, Rojo Domínguez DM, García Gómez LV, Hernández Ángel M. Plantas con propiedades antiinflamatorias. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. septiembre de 2002;21(3):214-6.
28. García Bacallao L, Vicente García Gómez L, Rojo Domínguez DM, Sánchez García E. Plantas con propiedades antioxidantes. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. septiembre de 2001;20(3):231-5.
29. Vilaplana M. Antioxidantes presentes en los alimentos. Vitaminas, minerales y suplementos. Offarm. 1 de noviembre de 2007;26(10):79-86.
30. Salgado-Garciglia R, Esquivel-Gutiérrez E, Noriega-Cisneros R, Bello-González M, SaavedraMolina A. Plantas utilizadas en la medicina tradicional mexicana con propiedades antidiabéticas y antihipertensivas. REVISTA BIOLÓGICAS. 1 de julio de 2012;14:45-52.
31. Sáenz D. Analgésicos-antipiréticos-antiinflamatorios no esteroideos. Revisión terapéutica. Fármacos. 16 de junio de 1999;12(1):14.
32. Carrillo-Esper R, González-Salazar JA, Calvo-Carrillo B. Uso de la vasopresina en el estado de choque. Gaceta médica de México. febrero de 2004;140(1):71-6.
33. Vizcaino RLM, Torres CD la R, Rivero CA, Montes MM. Actividad diurética del extracto total acuoso de los cálices de Hibiscus sabdariffa L. administrado en ratas albinas variedad wistar. Scientia Et Technica. 2007;XIII(33):377-81.
34. Armijos Riofrio C, Vita Finzi P, Gilardoni G, Vidari G. Fitoquímica, actividad biológica y farmacológica de plantas medicinales del sur de Ecuador. En: Mosquera T,

- editor. Productos naturales: investigación y perspectivas en Ecuador [Internet]. Editorial Abya-Yala; 2022 [citado 24 de marzo de 2024]. p. 9-27. Disponible en: <https://books.scielo.org/id/4kqtv/pdf/tatiana-9789978108260-02.pdf>
35. García Ruíz I. Contribución al conocimiento del género *Eryngium* (*Apiaceae*) en el estado de Michoacán, México. SciELO Acta Botánica Mexicana. abril de 2013;(103):65-118.
36. Palá Paúl J. Contribución al conocimiento de los aceites esenciales del género *Eryngium* L, en la Península Ibérica [Internet]. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones; 2004 [citado 17 de enero de 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/55228>
37. Calviño CI, Martínez SG, Downie SR. The evolutionary history of *Eryngium* (*Apiaceae*, *Saniculoideae*): Rapid radiations, long distance dispersals, and hybridizations. Molecular Phylogenetics and Evolution. 1 de marzo de 2008;46(3):1129-50.
38. García Regalado G. Plantas Medicinales de Aguascalientes. Segunda Edición 2015 (electrónica). Aguascalientes: Universidad Autónoma de Aguascalientes; 2015. 498 p.
39. Universidad de los Andes. Herbario MER. 2006 [citado 18 de febrero de 2024]. Botánica: Las hojas. Disponible en: <http://www.forest.ula.ve/herbariomer/estudiantes5.htm>

40. Callejas F. SlideShare. 2023 [citado 21 de marzo de 2024]. Tablas de Espectroscopia Infrarroja. Disponible en:
<https://es.slideshare.net/SONIABERENICEORNELAS/tablas-irpdf>
41. Fernández G. Tabla de absorciones en espectroscopía infrarroja | ORGÁNICO CHEMISTRY [Internet]. 2024 [citado 21 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://www.quimicaorganica.net/tabla-absorcion-espectroscopia-infrarroja.html>
42. Jr JW, Weyer L. Practical Guide to Interpretive Near-Infrared Spectroscopy. Boca Raton: CRC Press; 2007. 344 p.
43. Rubinson KA, Rubinson JF. Tablas de Bandas de Absorción - Caracterización Estructural de Materiales Cristalinos-Análisis Instrumental. Ed Pearson Educación [Internet]. 2000 [citado 21 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://www.ehu.eus/imacris/PIE06/web/tablasIR.htm>
44. Rodríguez Pastén A. Evaluación del efecto del extracto hexánico de la inflorescencia de *Cirsium vulgare* en un modelo de reversión de la cirrosis en rata. noviembre de 2017 [citado 21 de marzo de 2024]; Disponible en:
<http://200.57.56.70:8080/xmlui/handle/231104/2379>
45. Tinoco M del P. Caracterización Molecular de la Materia Orgánica de suelos afectados por distintos tipos de degradación en la comunidad de Madrid [Internet] [Tesis Doctoral]. [Facultad de Ciencias]: Universidad Autónoma de Madrid; 2000. Disponible en: <file:///C:/Users/janah/Downloads/450056.pdf>

46. Castro M ON, Santiago J, Álvarez J. Aislamiento y elucidación estructural de un compuesto nitrogenado y del haematomato de etilo del liquen Everniopsis trulla. Revista de la Sociedad Química del Perú. abril de 2017;83(2):131-42.
47. P. Gallegos F, López-Franco Y, Meneses L. ANÁLISIS POR ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJOS (FTIR) DEL EXUDADO DEL ÁRBOL DE ALGARROBO Prosopis juliflora (FABACEAE). infoANALÍTICA. 17 de julio de 2020;8.
48. Barraza-Garza G, de la Rosa LA, Martínez-Martínez A, Castillo-Michel H, Cotte M, Alvarez-Parrilla E. La microespectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIRM) en el estudio de sistemas biológicos. Revista latinoamericana de química. 2013;41(3):125-48.
49. Pastene ER, Wilkomirsky T, Bocaz G, Havel J, Peric I, Vega M, et al. USO DE ESPECTROSCOPIA DE RMN Y MALDI-TOF MS EN LA ELUCIDACION ESTRUCTURAL DE FLAVONOIDES ANTIOXIDANTES PROVENIENTES DE LA PLANTA MEDICINAL CHILENA Cheilanthes glauca (Cav.) Mett. Boletín de la Sociedad Chilena de Química. diciembre de 2001;46(4):449-57.
50. Universidad de Sevilla. Tablas de Datos Espectroscópicos [Internet]. 2014. Disponible en: <https://personal.us.es/mbueno/web/organica-2/problemas/datos-espectroscopicos.pdf>
51. Liu X. LibreTexts Español. 2022 [citado 25 de marzo de 2024]. 6.6: Espectros de RMN 1H e interpretación (Parte I). Disponible en: https://espanol.libretexts.org/Quimica/Qu%C3%ADmica_Org%C3%A1nica/Qu%C3

%ADmica_Org%C3%A1nica_I_(Liu)/06%3A_Identificaci%C3%B3n_Estructural_de
_Compuestos_Org%C3%A1nicos_-
_Espectroscopia_IR_y_RMN/6.06%3A_Espectros_de_RMN_1H_e_interpretaci%C3
%B3n_(Parte_I)

52. Universidad de Valencia. Tema 10. Espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear [Internet]. 2006. Disponible en: <https://www.uv.es/jcastell/Espectroscopia.pdf>
53. Medbouhi A, Benbelaïd F, Djabou N, Beaufay C, Bendahou M, Quetin-Leclercq J, et al. Essential Oil of Algerian *Eryngium campestre*: Chemical Variability and Evaluation of Biological Activities. *Molecules*. enero de 2019;24(14):2575.
54. PubChem. Isochlorogenic acid A [Internet]. [citado 28 de enero de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6474310>
55. Kikowska M, Chanaj-Kaczmarek J, Derda M, Budzianowska A, Thiem B, Ekiert H, et al. The Evaluation of Phenolic Acids and Flavonoids Content and Antiprotozoal Activity of *Eryngium* Species Biomass Produced by Biotechnological Methods. *Molecules*. enero de 2022;27(2):363.
56. PubChem. Chlorogenic Acid [Internet]. [citado 28 de enero de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1794427>
57. Trejo-Hurtado CM, Landa-Moreno CI, la Cruz JL de, Peña-Montes DJ, Montoya-Pérez R, Salgado-Garciglia R, et al. An Ethyl Acetate Extract of *Eryngium carlinae* Inflorescences Attenuates Oxidative Stress and Inflammation in the Liver of

Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Antioxidants* (Basel). 7 de junio de 2023;12(6):1235.

58. PubChem. Ferulic acid [Internet]. [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/445858>
59. PubChem. 3,4-Dihydroxyphenylacetic acid [Internet]. [citado 20 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/547>
60. PubChem. Caffeic Acid [Internet]. [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/689043>
61. PubChem. Rosmarinic acid [Internet]. [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281792>
62. PubChem. Syringic acid [Internet]. [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10742>
63. PubChem. Vanillic Acid [Internet]. [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8468>
64. PubChem. 4-O-feruloyl-D-quinic acid [Internet]. [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10177048>
65. PubChem. 3,4-Dihydroxybenzoic acid [Internet]. [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/72>
66. PubChem. 4-Hydroxybenzoic acid [Internet]. [citado 15 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/135>

67. PubChem. p-Coumaric acid [Internet]. [citado 15 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/637542>
68. PubChem. Umbelliferone [Internet]. [citado 20 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281426>
69. PubChem. Salicylic Acid [Internet]. [citado 20 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/338>
70. PubChem. Ellagic Acid [Internet]. [citado 15 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281855>
71. PubChem. Hyperoside [Internet]. [citado 20 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281643>
72. PubChem. p-Anisic acid [Internet]. [citado 20 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7478>
73. PubChem. Nordihydroguaiaretic acid [Internet]. [citado 15 de febrero de 2024].
Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4534>
74. PubChem. Decane [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/15600>
75. Palá-Paúl J, Pérez-Alonso MJ, Soria AC, Brophy JJ. Chemical Composition of the Essential Oils of the Iberian Peninsula Endemic Species *Eryngium dilatatum* Lam. *Molecules*. enero de 2024;29(3):562.

76. PubChem. Alpha-Terpineol [Internet]. [citado 19 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/17100>
77. PubChem. Benzeneacetaldehyde, alpha-ethylidene- [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/20446>
78. PubChem. Phenylacetaldehyde [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/998>
79. Kohlpaintner C, Schulte M, Falbe J, Lappe P, Weber J, Frey GD. Aldehydes, Aromatic. En: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 2013 [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/14356007.m01_m03.pub2
80. PubChem. (E,Z)-2,4-Decadienal [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6427087>
81. PubChem. Octanal [Internet]. [citado 15 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/454>
82. Octanal, 98 %, Thermo Scientific Chemicals | Fisher Scientific [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.fishersci.es/shop/products/octanal-98-thermo-scientific/11414273>
83. PubChem. Nonanal [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/31289>

84. PubChem. Lauric Acid [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/3893>
85. Alruwad MI, Salah El Dine R, Gendy AM, Sabry MM, El Hefnawy HM. Exploring the Biological and Phytochemical Potential of Jordan's Flora: A Review and Update of Eight Selected Genera from Mediterranean Region. *Molecules*. enero de 2024;29(5):1160.
86. PubChem. Hexanal [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6184>
87. PubChem. beta-EUDESOL [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/91457>
88. PubChem. Ethanone, 1-(1-methyl-2-cyclopenten-1-yl)- [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/557087>
89. PubChem. Acetophenone [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7410>
90. PubChem. 2-Nonanone [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/13187>
91. PubChem. Z-beta-Damascone [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6431131>
92. PubChem. Damascenone [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5366074>

93. PubChem. 4-Isopropyl-2-cyclohexenone [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024].
Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/92780>
94. PubChem. Menthone [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/26447>
95. Gaich T, Mulzer J. 2.7 Chiral Pool Synthesis: Starting from Terpenes. En: Carreira EM, Yamamoto H, editores. Comprehensive Chirality [Internet]. Amsterdam: Elsevier; 2012 [citado 18 de marzo de 2024]. p. 163-206. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080951676002020>
96. PubChem. Eucalyptol [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2758>
97. PubChem. Neophytadiene [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10446>
98. PubChem. beta-CARYOPHYLLENE OXIDE [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1742210>
99. PubChem. trans-Chrysanthenyl acetate [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024].
Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10899521>
100. PubChem. Kaempferol [Internet]. [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5280863>
101. PubChem. Quercitrin [Internet]. [citado 20 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5280459>

102. PubChem. Rutin [Internet]. [citado 20 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5280805>
103. PubChem. Quercetin [Internet]. [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5280343>
104. PubChem. Astragalin [Internet]. [citado 30 de enero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5282102>
105. PubChem. o-Cymene [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10703>
106. PubChem. alpha-Bergamotene, (E)-(-)- [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024].
Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6429302>
107. PubChem. alpha-Bergamotene [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible
en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/86608>
108. PubChem. alpha-PINENE [Internet]. [citado 6 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6654>
109. Ghaderian E, Esboei BR, Mousavi P, Pourhajibagher M, Homayouni MM, Zeinali M.
Anti-leishmanial effects of *Eryngium planum* and *Ecbilliun elaterum* methanolic
extract against *Leishmania major*. AMB Express. 3 de enero de 2024;14(1):3.
110. PubChem. beta-Pinene [Internet]. [citado 6 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14896>

111. PubChem. Myrcene [Internet]. [citado 6 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/31253>
112. PubChem. Limonene, (+/-)- [Internet]. [citado 6 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/22311>
113. PubChem. beta-Ocimene, (3Z)- [Internet]. [citado 6 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/substance/482040420>
114. PubChem. Terpinolene [Internet]. [citado 6 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/11463>
115. Bülow N, König WA. The role of germacrene D as a precursor in sesquiterpene biosynthesis: investigations of acid catalyzed, photochemically and thermally induced rearrangements. *Phytochemistry*. 1 de septiembre de 2000;55(2):141-68.
116. Thalappil MA, Singh P, Carcereri de Prati A, Sahoo SK, Mariotto S, Butturini E. Essential oils and their nanoformulations for breast cancer therapy. *Phytotherapy Research*. 2024;38(2):556-91.
117. Hui LM, Zhao GD, Zhao JJ. δ -Cadinene inhibits the growth of ovarian cancer cells via caspase-dependent apoptosis and cell cycle arrest. *Int J Clin Exp Pathol*. 2015;8(6):6046-56.
118. PubChem. (-)-delta-Cadinene [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/12306055>

119. PubChem. alpha-Terpinene [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7462>
120. PubChem. Carvacrol [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10364>
121. PubChem. gamma-Terpinene [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7461>
122. PubChem. Linalool, (+/-)- [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6549>
123. PubChem. Fenchone [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/14525>
124. Adkins AQ. Camphor. En: Wexler P, editor. Encyclopedia of Toxicology (Fourth Edition) [Internet]. Oxford: Academic Press; 2024 [citado 20 de febrero de 2024]. p. 437-41. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128243152008010>
125. PubChem. Camphor [Internet]. [citado 20 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2537>
126. PubChem. 4-Terpineol, (+/-)- [Internet]. [citado 6 de febrero de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/11230>

127. Mrabti HN, Jaouadi I, Zeouk I, Ghchime R, El Menyiy N, Omari NE, et al. Biological and Pharmacological Properties of Myrtenol: A Review. *Curr Pharm Des.* 2023;29(6):407-14.
128. PubChem. Sabinen [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/18818>
129. PubChem. alpha-PHELLANDRENE [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7460>
130. PubChem. Beta-Phellandrene [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/11142>
131. PubChem. alpha-Selinene [Internet]. [citado 21 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10856614>
132. PubChem. Bicyclogermacrene [Internet]. [citado 15 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/13894537>
133. PubChem. Caryophyllene [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281515>
134. PubChem. (-)-beta-Bourbonene [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/324224>
135. Wang Z, Liu F, Yu JJ, Jin JZ. β -Bourbonene attenuates proliferation and induces apoptosis of prostate cancer cells. *Oncol Lett.* octubre de 2018;16(4):4519-25.

136. PubChem. Beta-Elemene [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6918391>
137. PubChem. alpha-Cedrene [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6431015>
138. PubChem. alpha-Gurjunene [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/15560276>
139. Jeong HU, Kwon SS, Kong TY, Kim JH, Lee HS. Inhibitory effects of cedrol, β -cedrene, and thujopsene on cytochrome P450 enzyme activities in human liver microsomes. *J Toxicol Environ Health A*. 2014;77(22-24):1522-32.
140. PubChem. (+)-beta-Cedrene [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/102432>
141. PubChem. alpha-Guaiene [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5317844>
142. PubChem. Humulene [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5281520>
143. Legault J, Pichette A. Potentiating effect of beta-caryophyllene on anticancer activity of alpha-humulene, isocaryophyllene and paclitaxel. *J Pharm Pharmacol*. diciembre de 2007;59(12):1643-7.
144. Ambrož M, Boušová I, Skarka A, Hanušová V, Králová V, Matoušková P, et al. The Influence of Sesquiterpenes from *Myrica rubra* on the Antiproliferative and Pro-

Oxidative Effects of Doxorubicin and Its Accumulation in Cancer Cells. *Molecules*.

21 de agosto de 2015;20(8):15343-58.

145. PubChem. (+)-alpha-Muurolene [Internet]. [citado 21 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/12306049>
146. Alpha-Muurolene [Internet]. *Terpenes and Testing Magazine*. 2019 [citado 21 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://terpenesandtesting.com/alpha-muurolene/>
147. PubChem. beta-Guaiene [Internet]. [citado 21 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6949>
148. PubChem. beta-Bisabolene [Internet]. [citado 21 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10104370>
149. PubChem. Cubebol [Internet]. [citado 21 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/11276107>
150. Velazco MI, Wuensche L, Deladoey P. Utilizacion de cubebol como ingrediente aromatizante [Internet]. ES2272209T3, 2007 [citado 21 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/ES2272209T3/es>
151. PubChem. trans-Calamenene [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6429022>
152. (±)-cis-Calamenene (~7:1 ratio of cis/trans) TR-C124900 | CymitQuimica [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en:

<https://cymitquimica.com/es/productos/TR-C124900/72937-55-4/cis-calamenene-71-ratio-of-cistrans/>

153. Panamito MF, Bec N, Valdivieso V, Salinas M, Calva J, Ramírez J, et al. Chemical Composition and Anticholinesterase Activity of the Essential Oil of Leaves and Flowers from the Ecuadorian Plant *Lepechinia paniculata* (Kunth) Epling. *Molecules*. enero de 2021;26(11):3198.
154. PubChem. Cadina-1,4-diene [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6427091>
155. PubChem. Elemol [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/92138>
156. PubChem. alpha-Calacorene [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/12302243>
157. Smolecule [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024]. Buy alpha-Calacorene | 21391-99-1. Disponible en: <https://www.smolecule.com/products/s595768>
158. Cubenol | C₁₅H₂₆O | CID 11770062 - PubChem [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Cubenol#section=2D-Structure>
159. Damiescu R, Lee DYW, Efferth T. Can Essential Oils Provide an Alternative Adjuvant Therapy for COVID-19 Infections and Pain Management at the Same Time? *Pharmaceuticals* (Basel). 10 de noviembre de 2022;15(11):1387.

160. PubChem. 14-Hydroxy-alpha-muurolene [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024].
Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6428414>
161. PubChem. alpha-Muurolol [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/91753440>
162. Human Metabolome Database [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Showing
metabocard for Muurolol (HMDB0302334). Disponible en:
<https://hmdb.ca/metabolites/HMDB0302334>
163. PubChem. Aromadendrene [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/91354>
164. Ribeiro MSP, de Souza Santos C, Vieira CG, da Silva Rocha KA. Catalytic
transformations of (+)-aromadendrene: Functionalization and isomerization reactions
in the presence of the heteropoly acid catalyst H3PW12O40. *Molecular Catalysis*. 1 de
diciembre de 2020;498:111264.
165. PubChem. alpha-Cadinol [Internet]. [citado 7 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10398656>
166. PubChem. alpha-Cedrene epoxide [Internet]. [citado 22 de marzo de 2024].
Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/122510>
167. PubChem. Spathulenol [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/92231>

168. PubChem. alpha-Cubebene [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/442359>
169. PubChem. alpha-Copaene [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/70678558>
170. COPAENE ALPHA 75% - Buy COPAENE ALPHA natural in India [Internet]. Pure Natural Essential Oil, Manufacturer, Wholesaler & Supplier in India- Kanha Nature Oils. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://kanhanatureoils.com/product/aromatic-chemical/copaene-alpha-75/>
171. PubChem. beta-Cubebene [Internet]. [citado 20 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/93081>
172. PubChem. d-Isothujone [Internet]. [citado 18 de marzo de 2024]. Disponible en:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/249286>

Anexos

Anexo 1. Abreviaturas

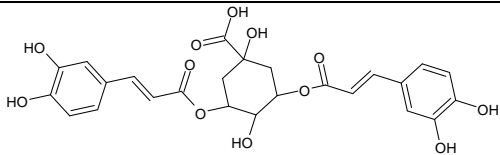
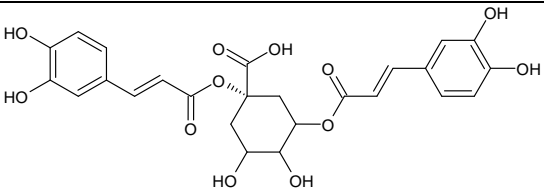
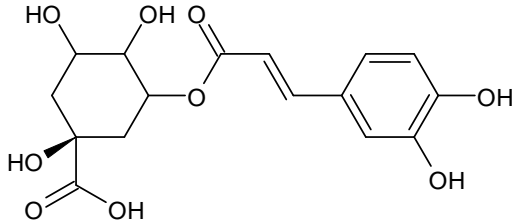
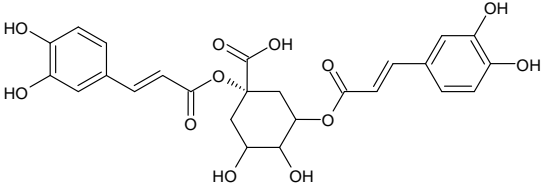
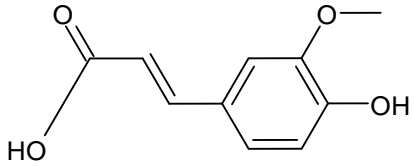
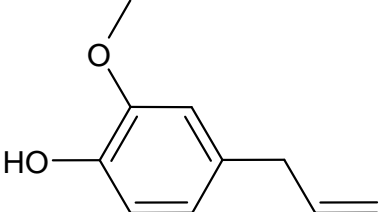
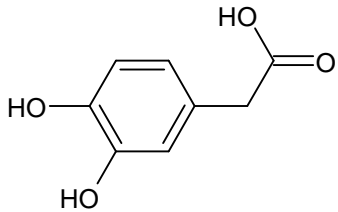
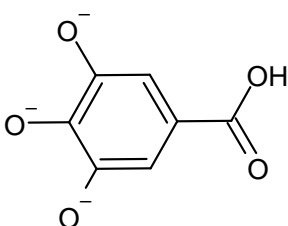
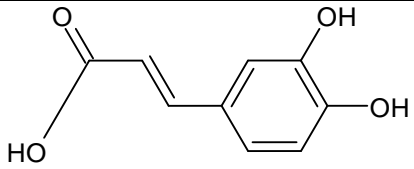
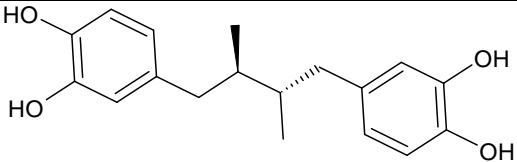
Abreviación	Significado
α	Alfa
β	Beta
μg	Microgramos
μL	Microlitros

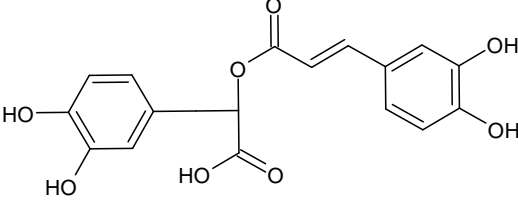
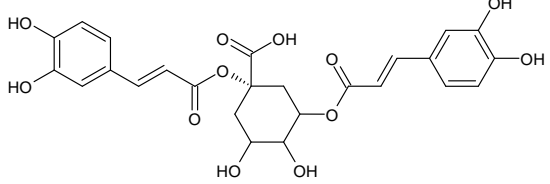
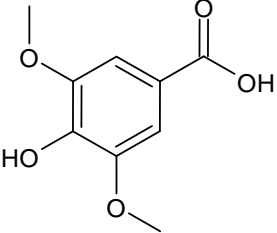
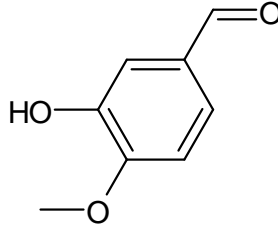
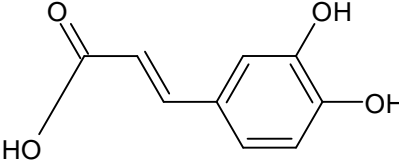
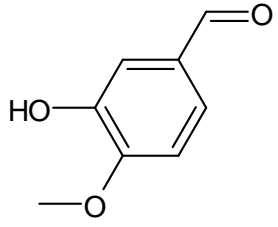
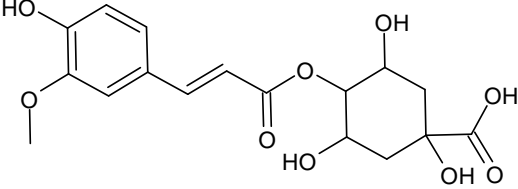
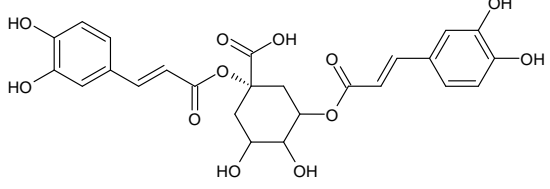
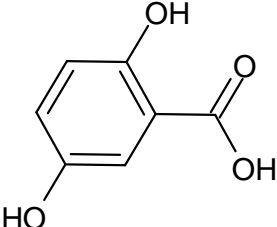
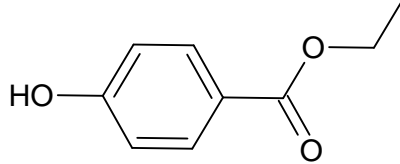
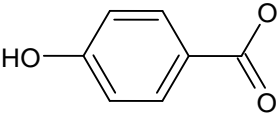
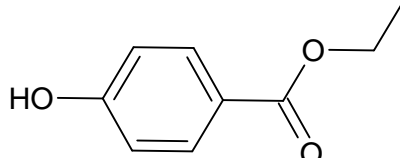
μm	Micrómetros
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
Ar	Aromático
C	Carbono
CH_2	Metileno
CH_3	Metilo
CLSI	Instituto de Normas Clínicas y de Laboratorio
cm	Centímetros
cm^{-1}	Centímetros recíprocos
DOPAC	Ácido 3,4-dihidroxifenilacético
EC 1.10.99.2	Ribosildihidronicotinamida deshidrogenasa (quinona)
EC 1.11.1.11	L-ascorbato peroxidasa
EC 1.1.1.184	Reductasa de carbonilo - NADPH
EC 1.1.1.21	Aldehído reductasa
EC 1.1.1.25	Shikimato deshidrogenasa
EC 1.14.11.2	Procolágeno-prolina dioxygenasa
EC 1.14.18.1	Tirosinasa
EC 2.3.1.5	Arilamina N-acetiltransferasa
EC 2.4.1.1	Fosforilasa de glucógeno
EC 2.5.1.18	Glutación transferasa
EC 2.7.1.127	Inositol-trifosfato 3-cinasa
EC 2.7.1.151	Multiquinasa de inositol-polifosfato
EC 2.7.4.6	Nucleósido-difosfato cinasa

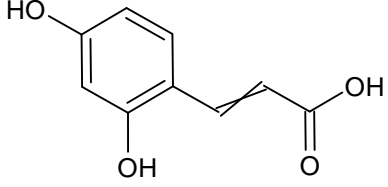
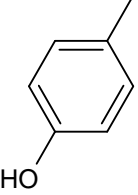
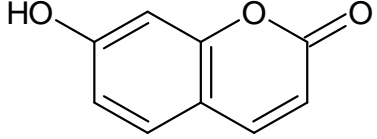
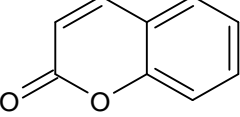
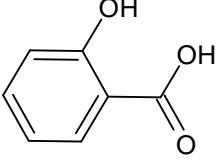
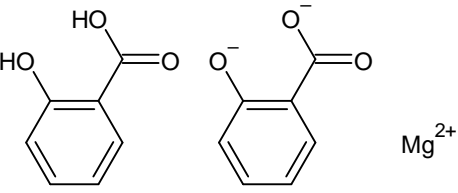
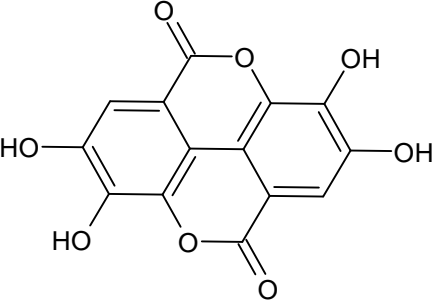
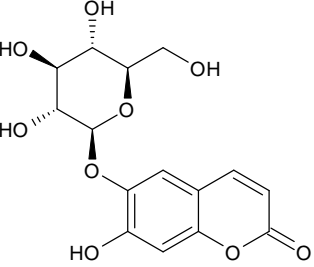
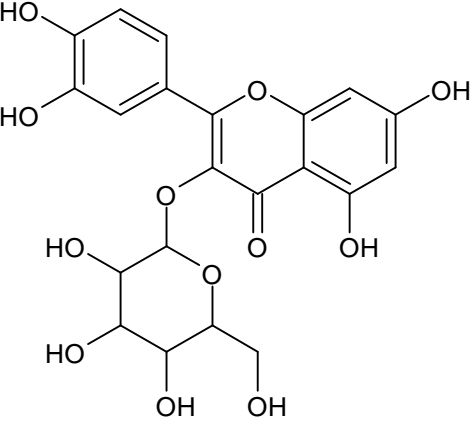
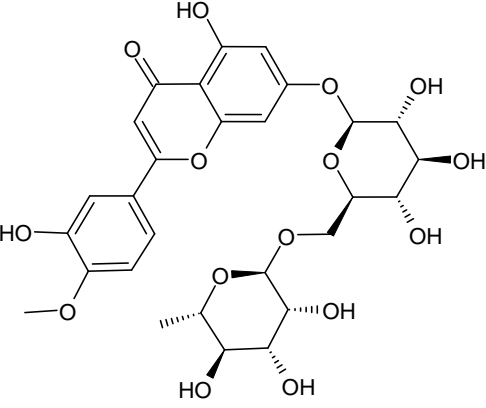
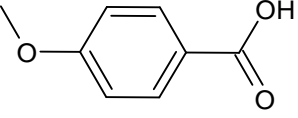
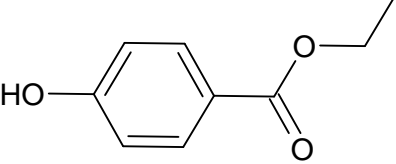
EC 2.7.7.7	ADN polimerasa dirigida por ADN
EC 5.99.1.2	Topoisomerasa de ADN
EC 5.99.1.3	Topoisomerasa de ADN (hidrólisis de ATP)
FDA	Food and Drug Administration
FTIR	Transformación Infrarroja de Fourier
g	Gramos
H	Hidrógeno
HPLC	Cromatografía Líquida de Alta Resolución
IR	Infrarrojo
L	Litros
MHz	Mega Hertz
mL	Mililitros
NaCl	Cloruro de Sodio
N	Nitrógeno
O	Oxígeno
OMS	Organización Mundial de la Salud
PAL	Fenilalanina Amino Liasa
ppm	Partes por Millón
Psi	Libra por Pulgada Cuadrada
R	Resistente
RA	Ácido Rosmarínico
RMN	Resonancia Magnética Nuclear
Rpm	Repeticiones por Minuto

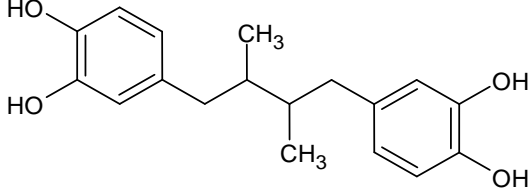
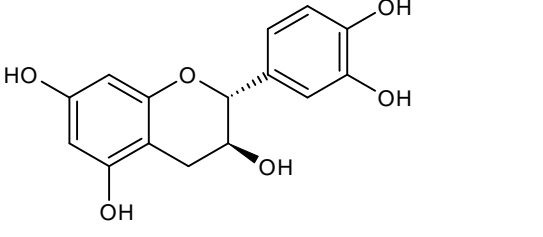
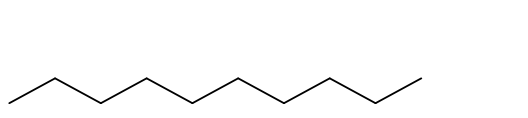
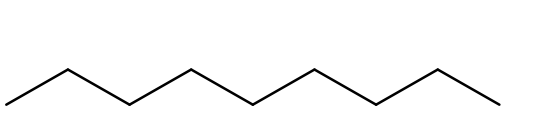
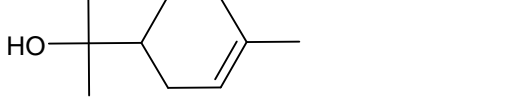
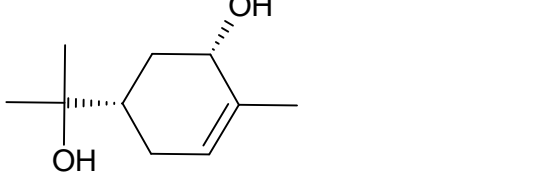
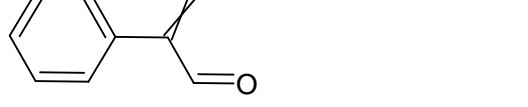
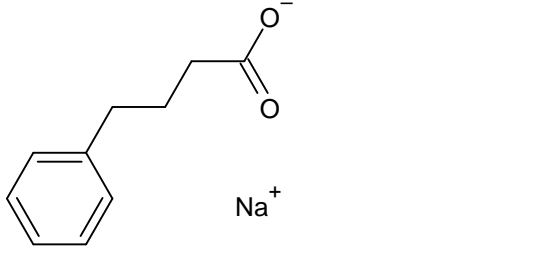
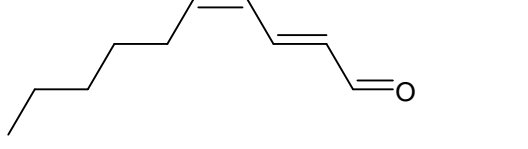
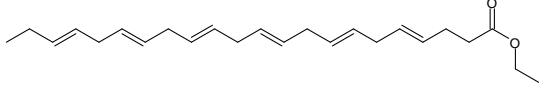
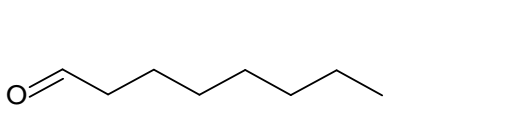
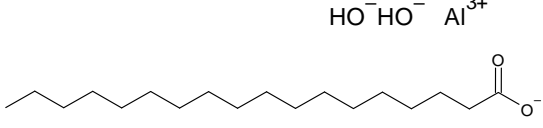
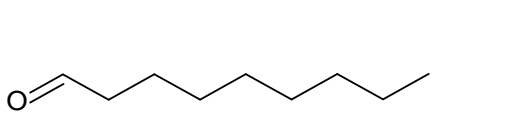
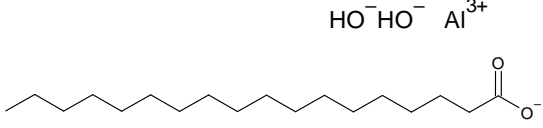
SA	Ácido siríngico
----	-----------------

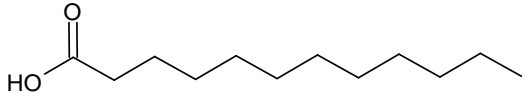
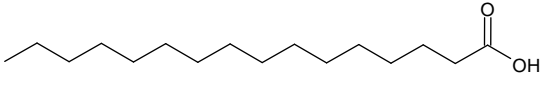
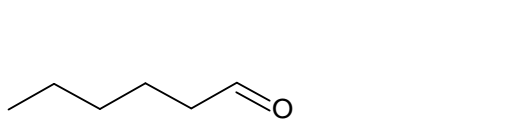
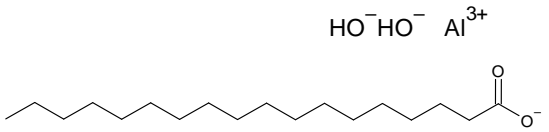
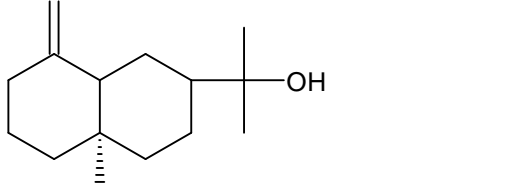
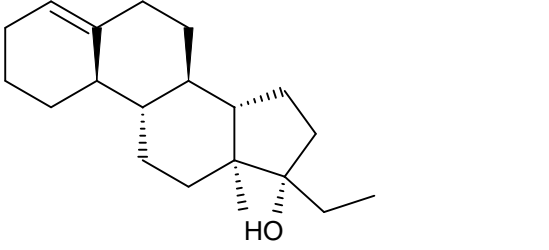



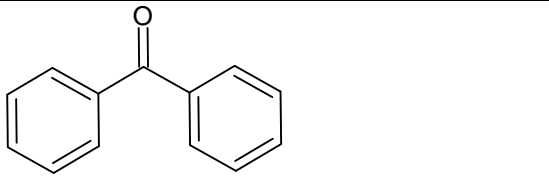
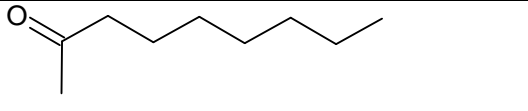
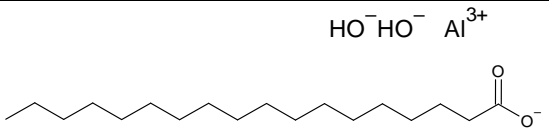
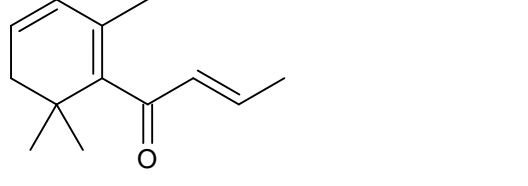

Anexo 2. Tabla de compuestos (Estructuras)

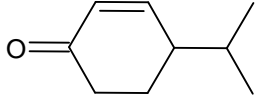
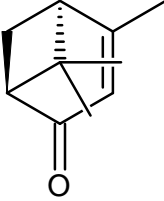
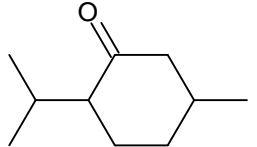
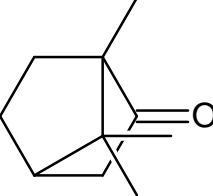
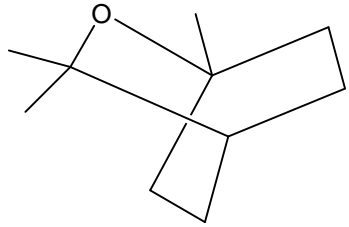
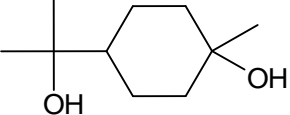
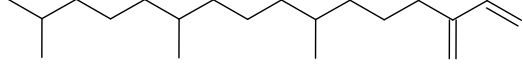
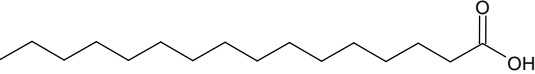
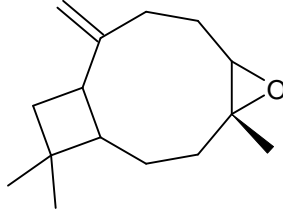
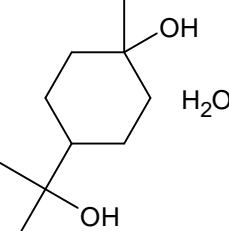
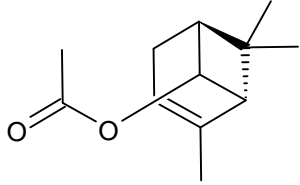
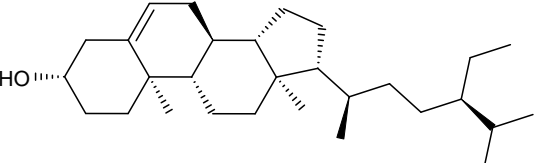
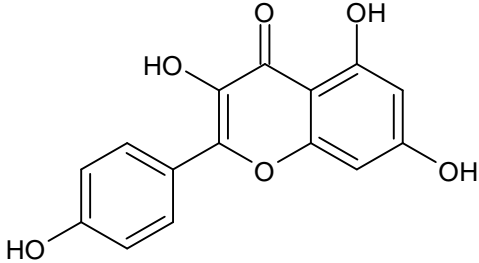
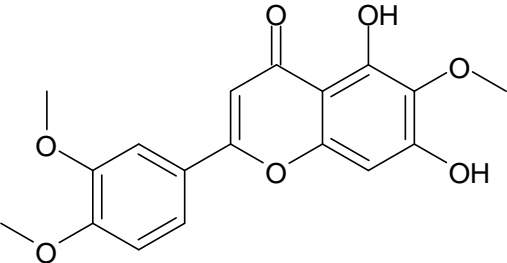
Número	Estructura	Número	Similitud
1		93	
2		93	
3		94	
4		95	
5		96	

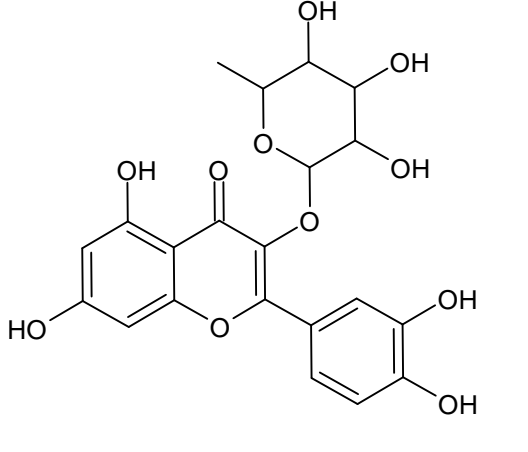
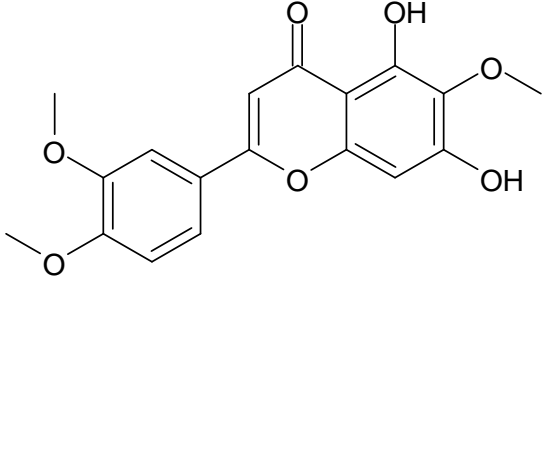
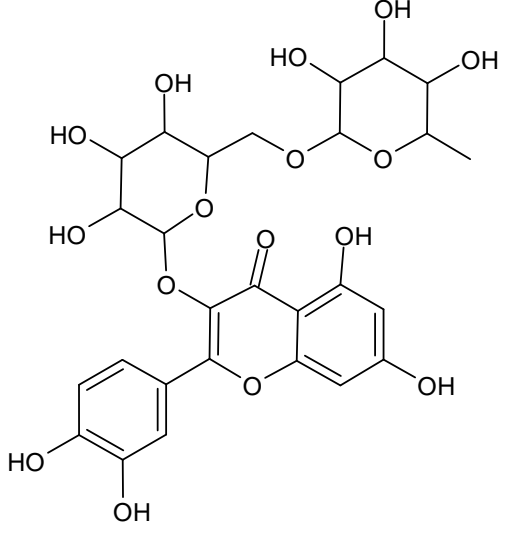
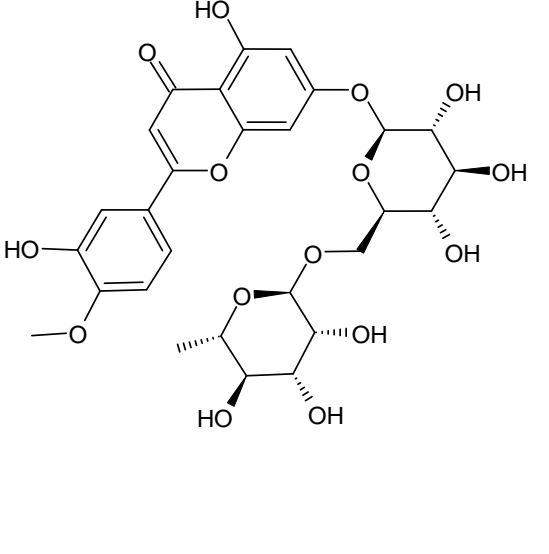
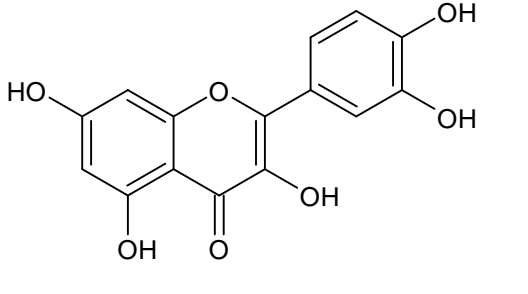
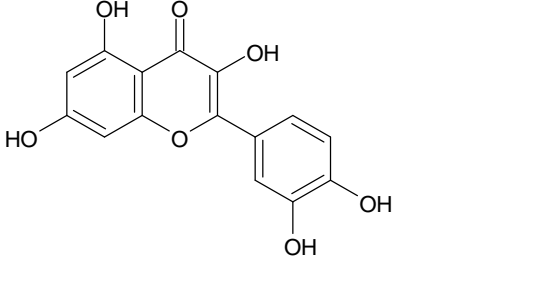
6		93	
7		97	
8		97	
9		93	
10		107	
11		107	

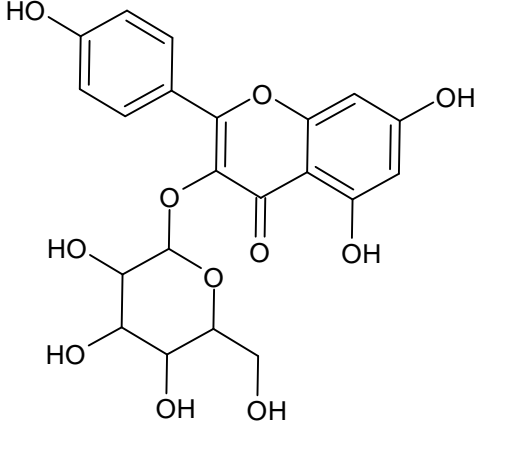
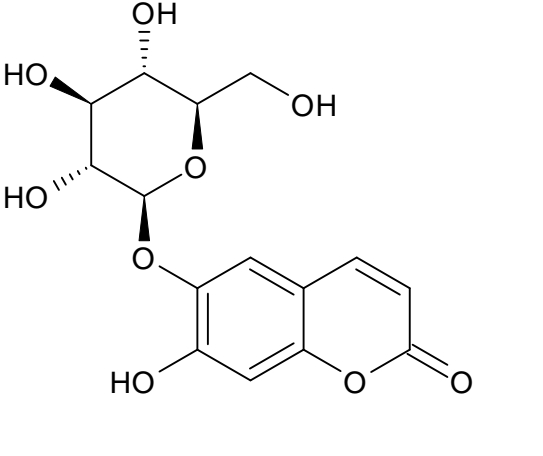
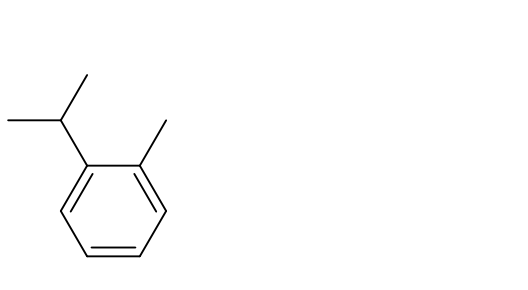

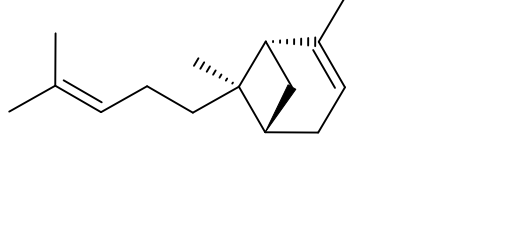




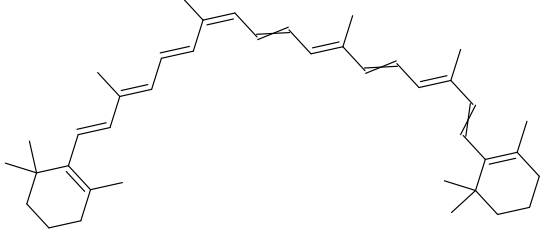
12		108	
13		109	
14		110	
15		102	
16		100	
17		107	

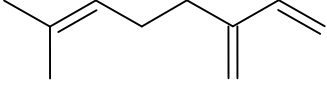
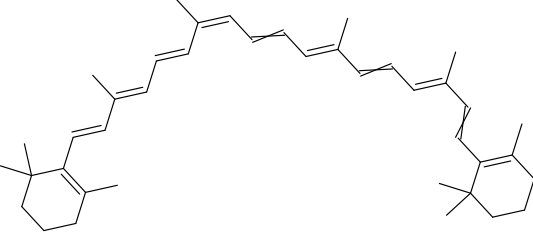
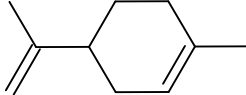
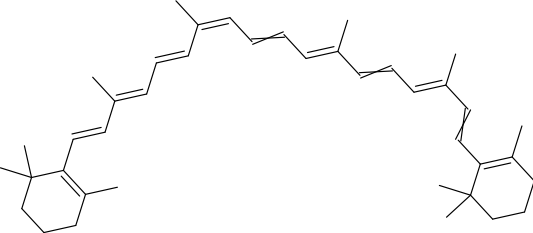

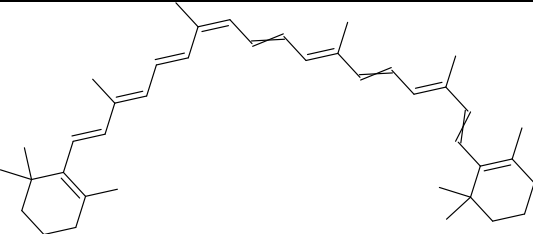
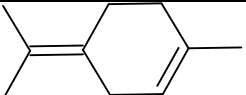
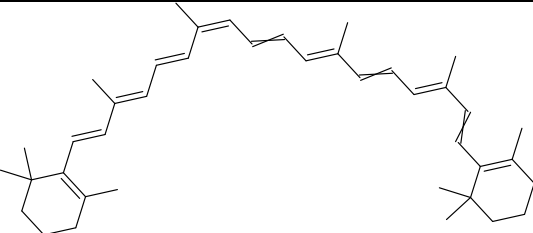
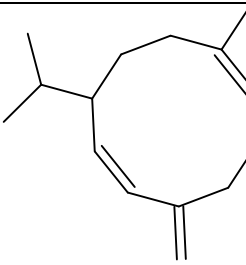
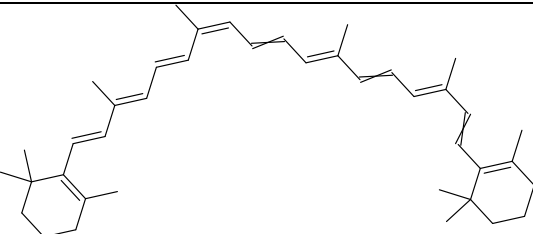
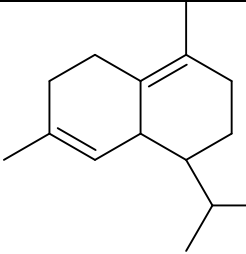
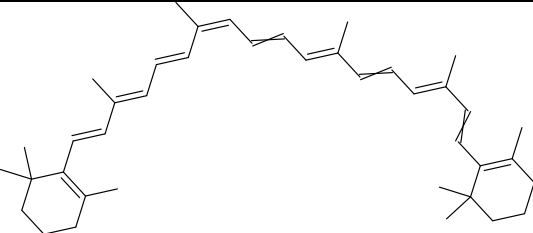
18		111	
19		116	
20		106	
21		117	
22		125	
23		113	
24		113	

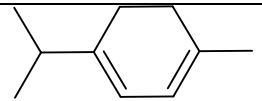
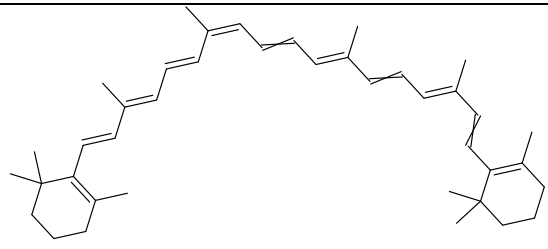
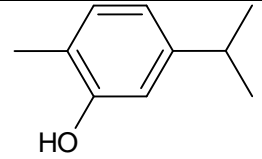
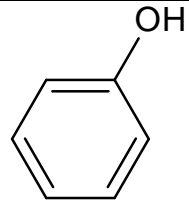
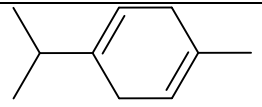
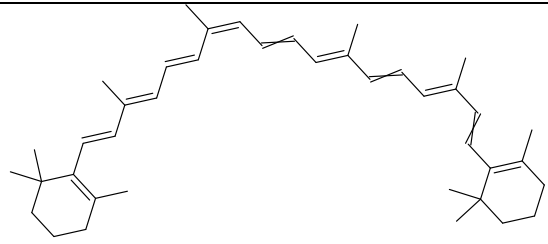
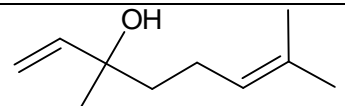
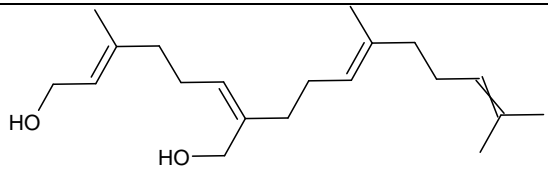
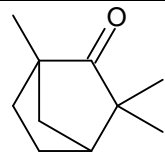
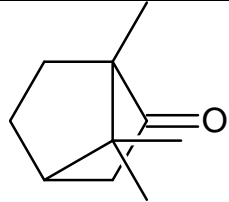
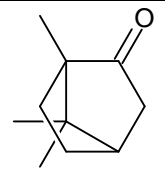
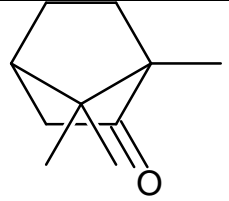
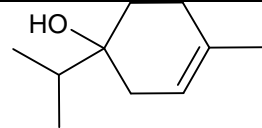
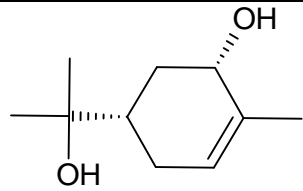
25		132	
26		113	$\text{HO}^- \text{HO}^- \text{Al}^{3+}$ 
27		112	
28		115	
29		120	
30		113	$\text{HO}^- \text{HO}^- \text{Al}^{3+}$ 
31		103	

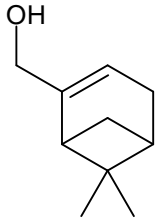
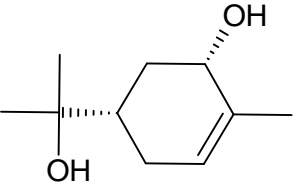
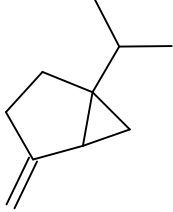
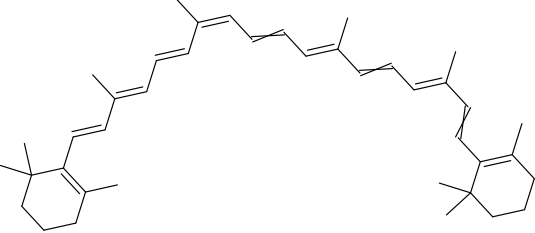
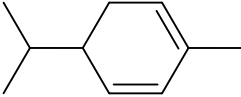
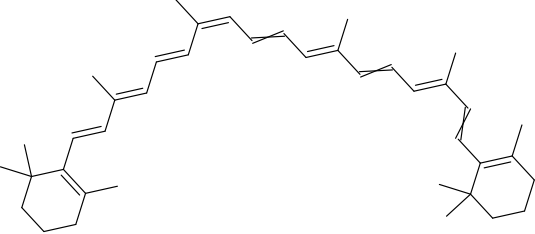
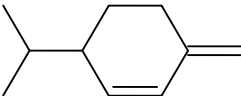
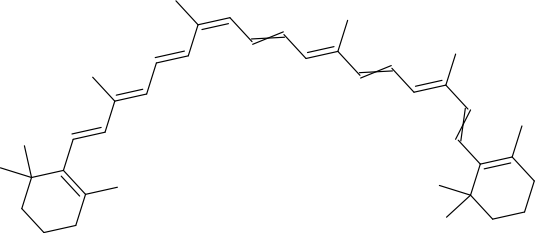
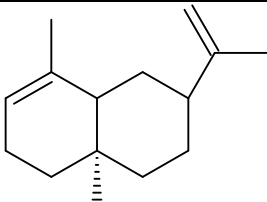
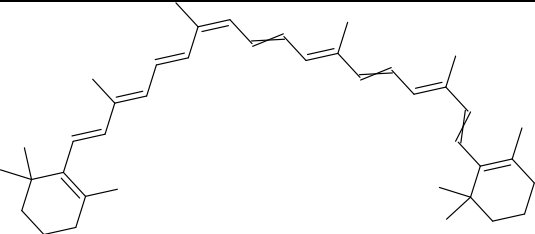
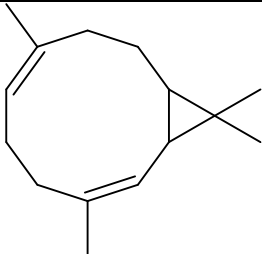
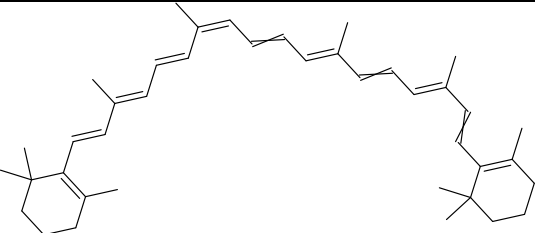
32		103	
33		121	
34		119	
35		132	
36		133	
37		123	
38		99	

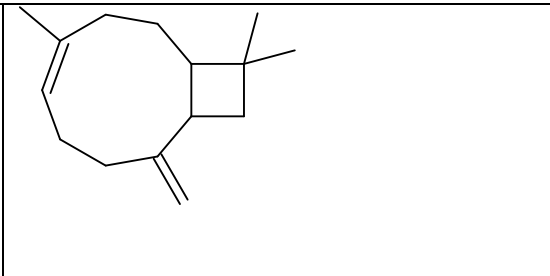
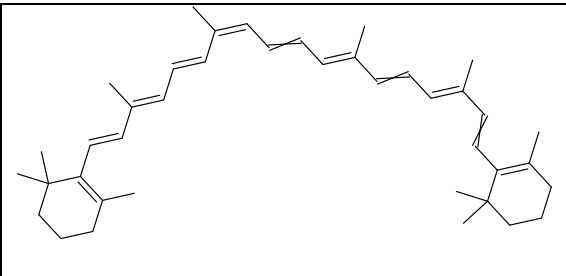
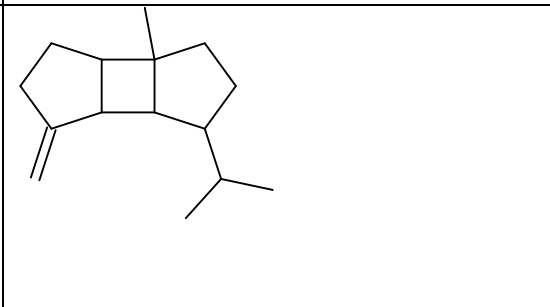
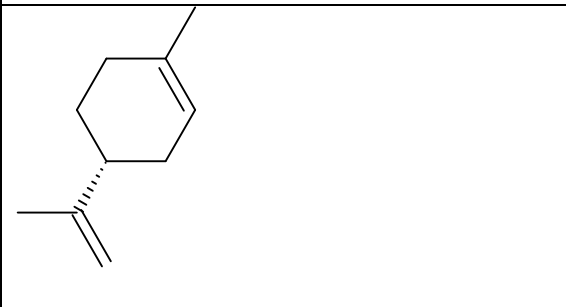
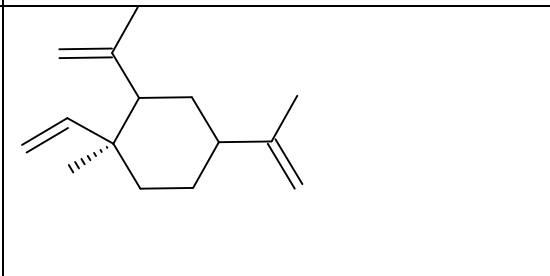
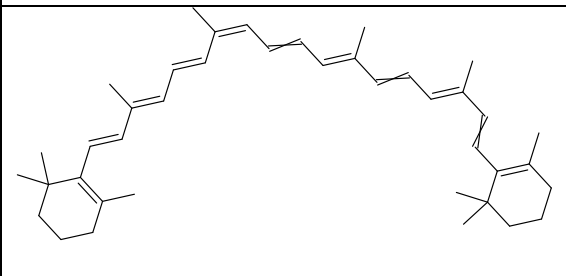
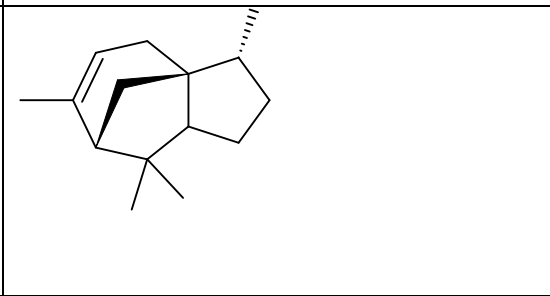
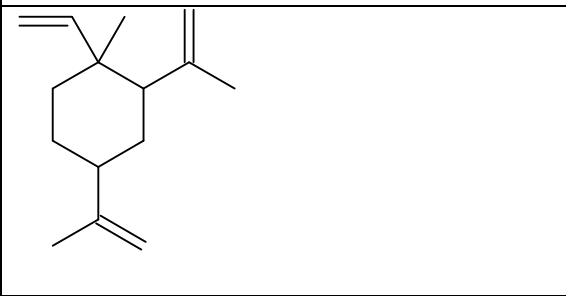
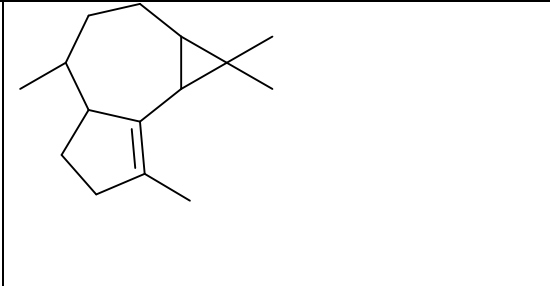
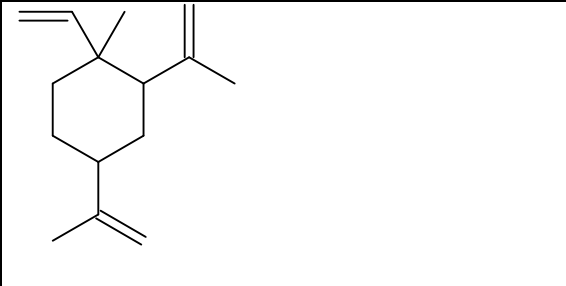
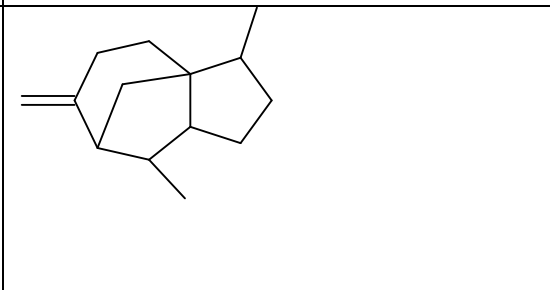
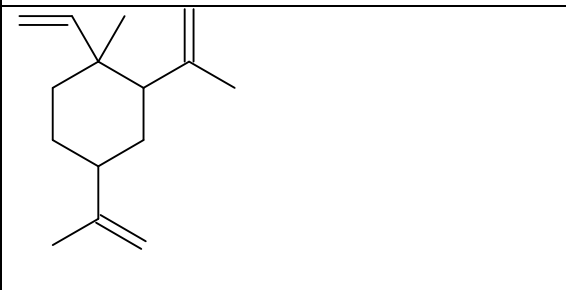
39		99	
40		100	
41		101	

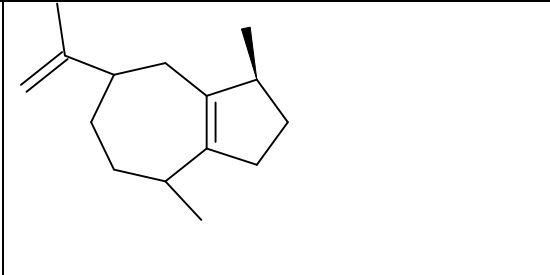
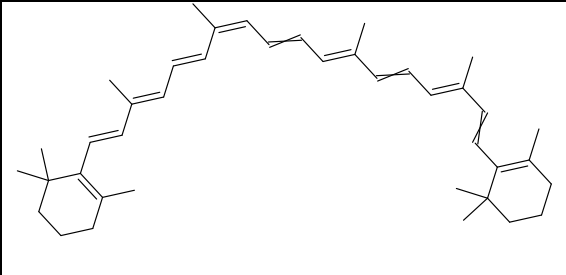
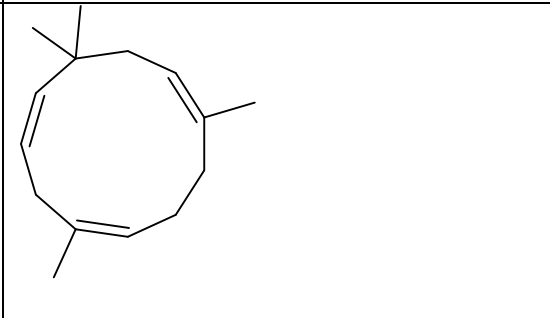
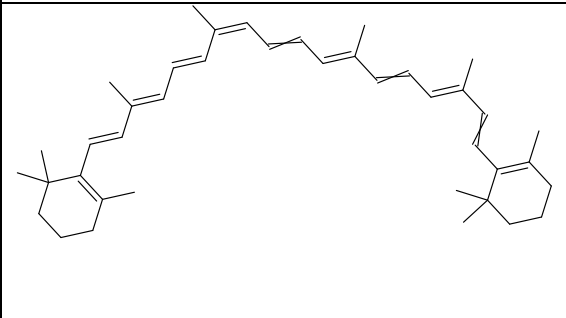
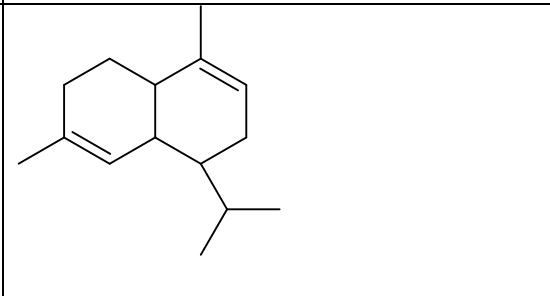
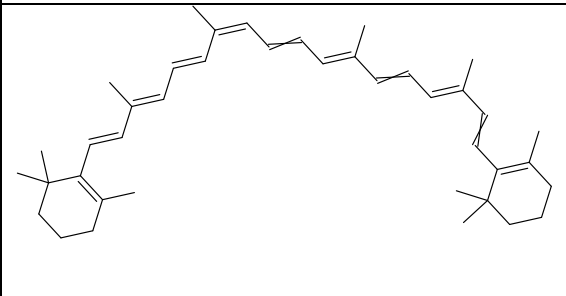
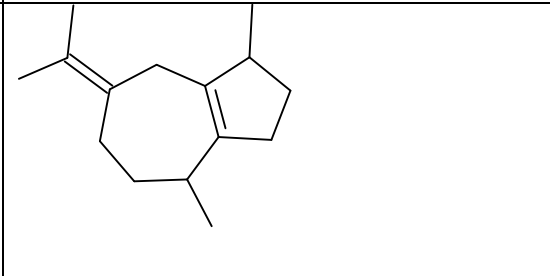
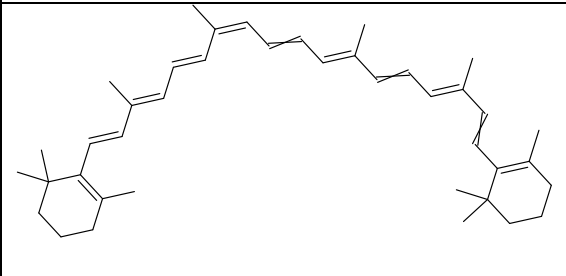
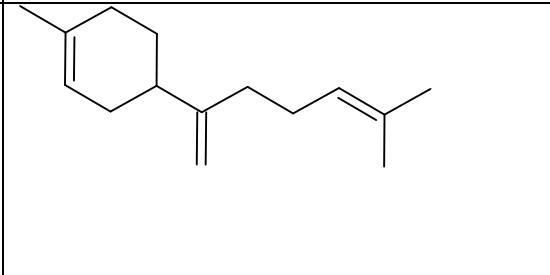
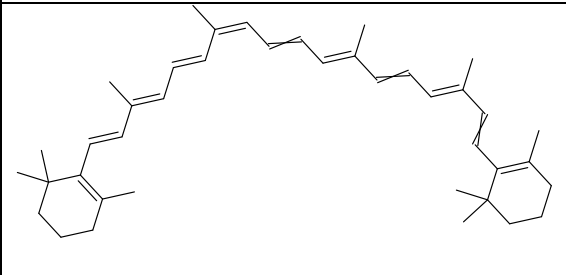
42		102	
43		118	
44		103	
45		103	
46		104	

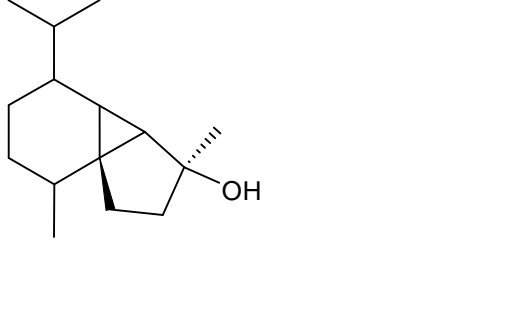
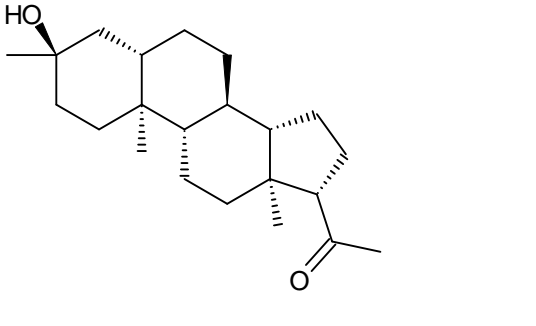
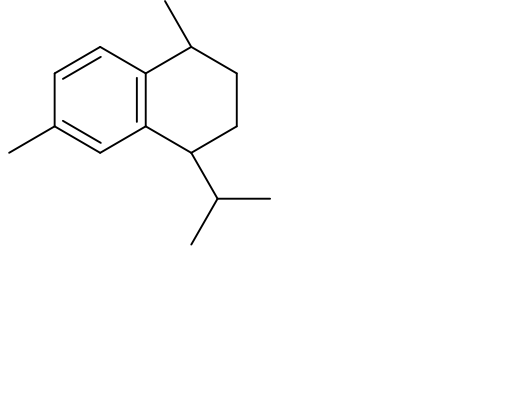
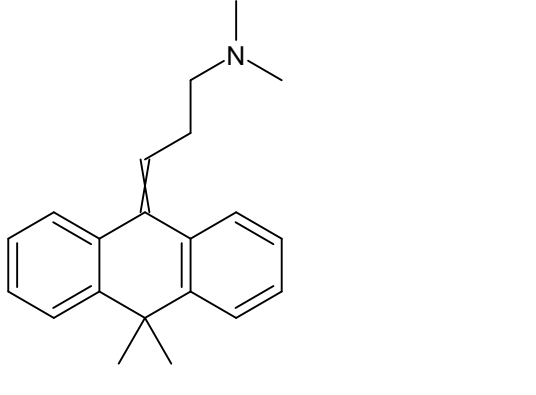
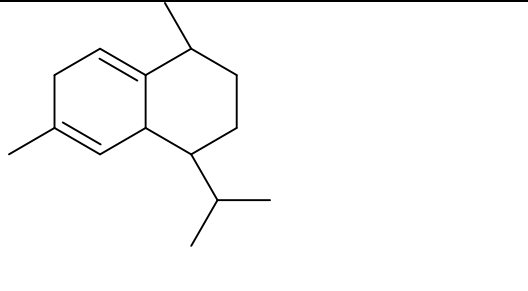
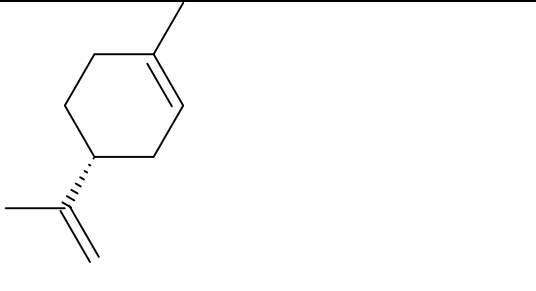
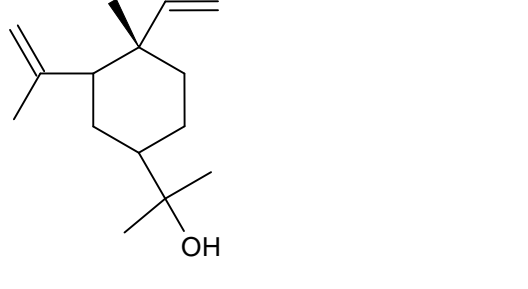
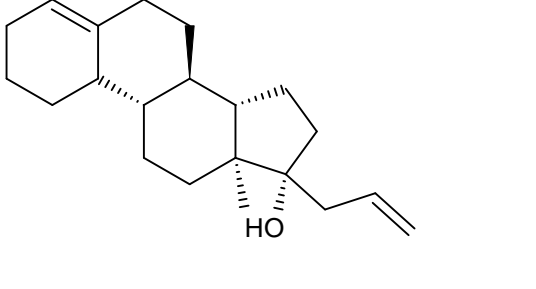
47		104	
48		104	
49		104	
50		104	
51		104	
52		104	

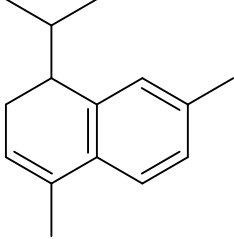
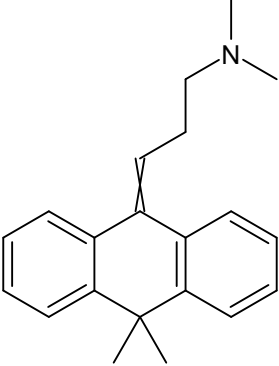
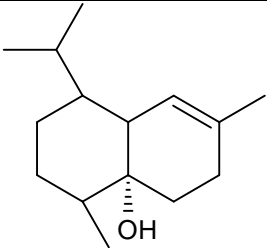
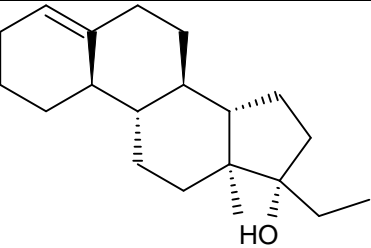
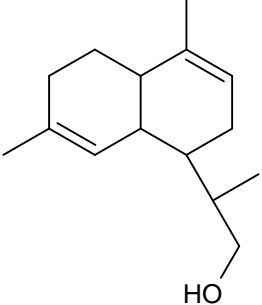
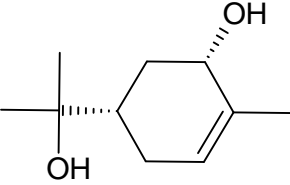
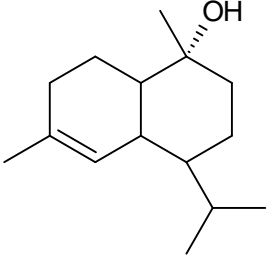
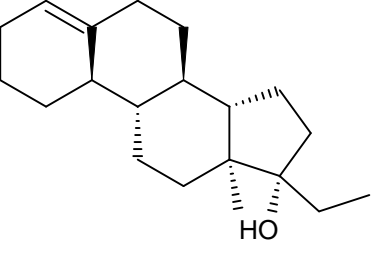
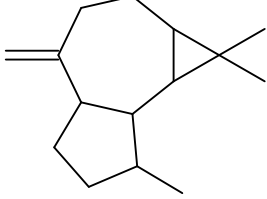
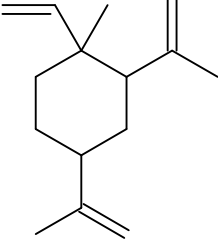
53		104	
54		124	
55		104	
56		122	
57		121	
58		105	
59		106	

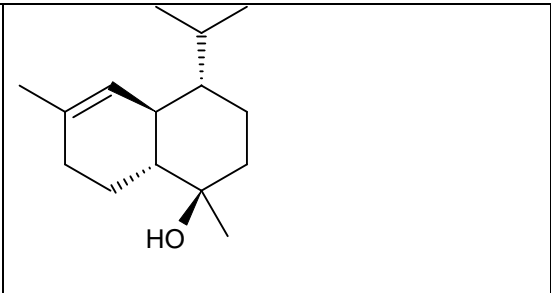
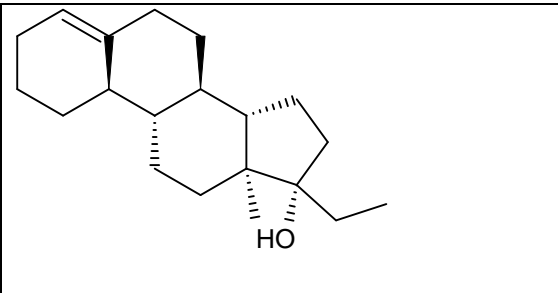
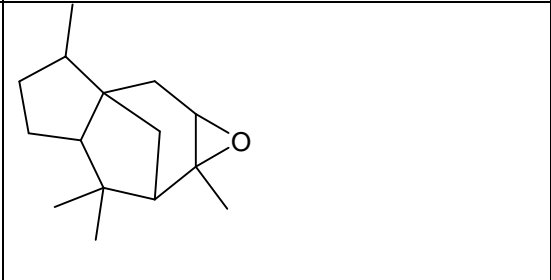
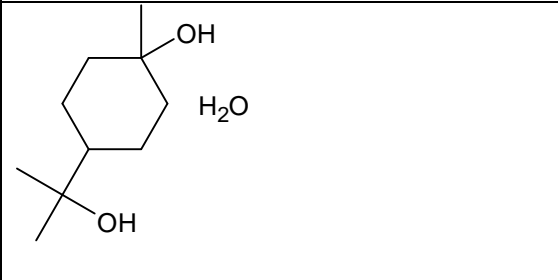
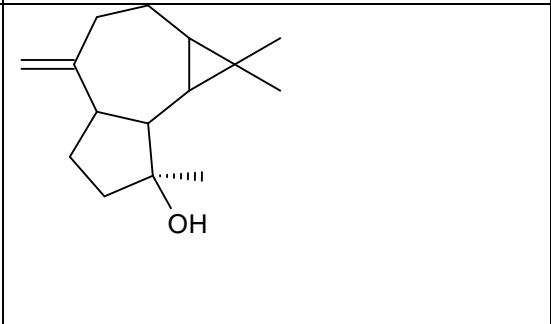
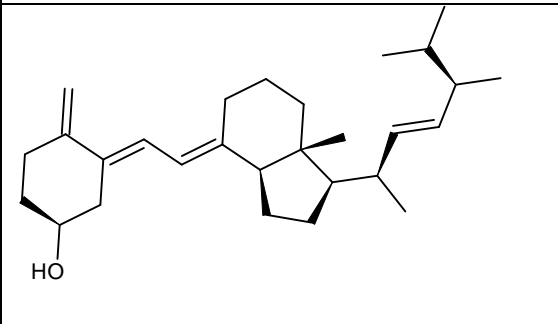
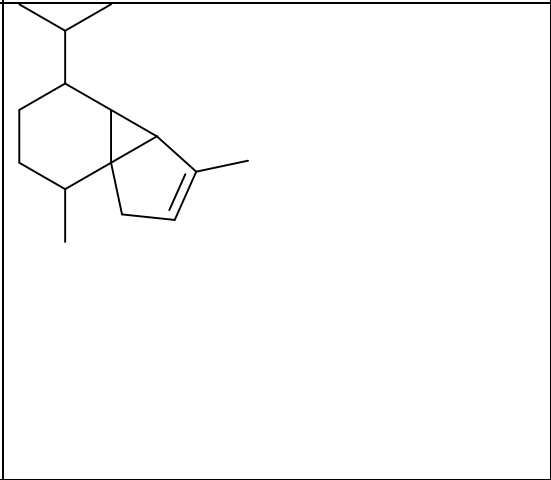
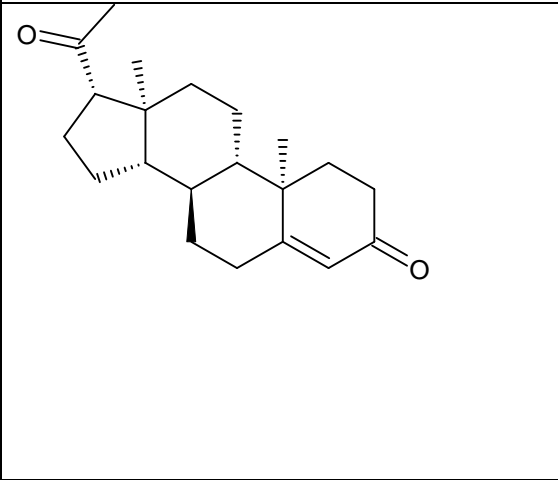
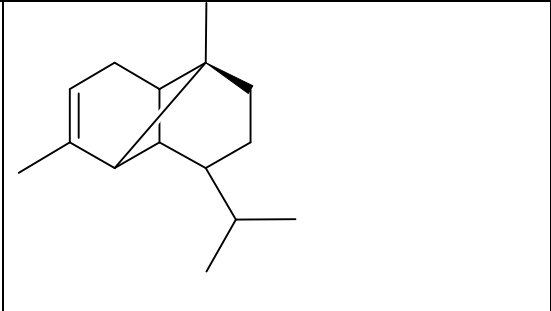
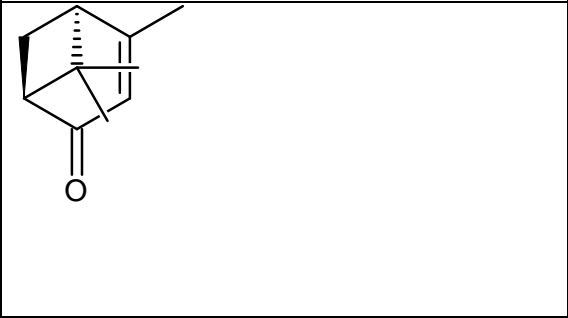
60		106	
61		104	
62		104	
63		104	
64		104	
65		104	

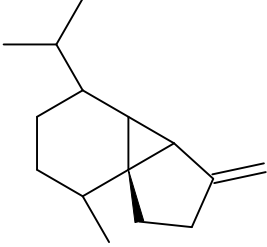
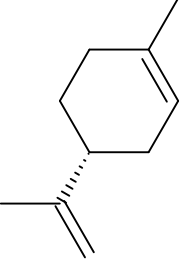
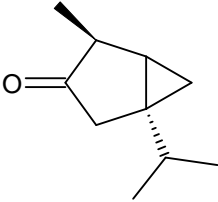
66		104	
67		127	
68		104	
69		128	
70		128	
71		128	

72		104	
73		104	
74		104	
75		104	
76		104	

77		129	
78		130	
79		127	
80		131	

81		130	
82		112	
83		106	
84		112	
85		128	

86		112	
87		133	
88		114	
89		126	
90		103	

91		127	
92		121	