



UNAP



**FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA**

TESIS

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO Y CROMATOGRÁFICA DEL ACEITE
ESENCIAL DE LAS HOJAS DE *Eryngium foetidum* L. (SACHA CULANTRO)**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
QUÍMICO FARMACÉUTICO**

PRESENTADO POR:

**APELES PERICKLES TEOKLIO CANAYO TELLO
FIORELLA DEL ROCIO RAMIREZ REÁTEGUI**

ASESOR:

Ing. CLETO JARA HERRERA, Mtro.

IQUITOS, PERÚ

2023

ACTA DE SUSTENTACIÓN



Facultad de Farmacia y Bioquímica
Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°016-2023-CGT-FFyB-UNAP

En el caserío de Nina Rumi, distrito de San Juan Bautista, departamento de Loreto, a los 28 días del mes de abril de 2023, a horas *18:00 hrs.*, se dio inicio a la sustentación pública de Tesis titulada "CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO Y CROMATOGRÁFICA DEL ACEITE ESENCIAL DE LA HOJAS DE *Eryngium foetidum* L. (sacha culantro)", aprobada con Resolución Decanal N°070-2023-FFyB-UNAP presentada por los bachilleres: Apeles Perickles Teoklio Canayo Tello y Fiorella Del Rocio Ramirez Reátegui, para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico que otorga la Universidad de acuerdo con Ley y Estatuto.

El jurado calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal N°271-2022-FFyB-UNAP, está integrada por:

- | | |
|--|------------|
| - Q.F. BRENDA SORAYA URDAY RUIZ, Mtra. | Presidente |
| - Q.F. MARTHA MILAGROS MACO LUJÁN, Mtra. | Miembro |
| - Q.F. LENIN FERNÁNDEZ ARELLANO, Mtro. | Miembro |

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: *adecuadamente*

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública de la tesis ha sido *aprobada* con la calificación *Buena*

Estando los bachilleres aptos para obtener el Título Profesional de Químico Farmacéutico.

Siendo las *11:00 hrs.* se dio por terminado el acto *académico*


Q.F. BRENDA SORAYA URDAY RUIZ, Mtra.
Presidente


Q.F. MARTHA MILAGROS MACO LUJÁN, Mtra.
Miembro


Q.F. LENIN FERNÁNDEZ ARELLANO, Mtro.
Miembro


Ing. CLETO JARA HERRERA, Mtro.
Asesor

Carretera Zungarococha – Nina Rumi
Correo electrónico: farmacia@unapiquitos.edu.pe
San Juan – Loreto – Perú. Celular N°942917936
www.unapiquitos.edu.pe

UNIVERSIDAD
LICENCIADA
RESOLUCIÓN N°012-2019-SUNEDU/CD
Lima, 1 de febrero de 2019

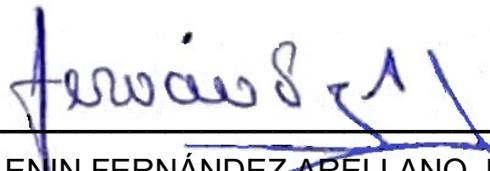
JURADOS Y ASESORES



Q.F. BRENDA SORAYA URDAY RUIZ, Mtra.

CQFP: 09575

Presidente



Q.F. LENIN FERNÁNDEZ ARELLANO, Mtro.

CQFP: 14332

Miembro



Q.F. MARTHA MILAGROS MACO LUJÁN, Mtra.

CQFP: 12594

Miembro



Ing. CLETO JARA HERRERA, Mtro.

CIR: 63042

Asesor

NOMBRE DEL TRABAJO

**FFB_TESIS_CANAYO TELLO_RAMIREZ R
EATEGUI.pdf**

AUTOR

CANAYO TELLO / RAMIREZ REATEGUI

RECUESTO DE PALABRAS

12860 Words

RECUESTO DE CARACTERES

66500 Characters

RECUESTO DE PÁGINAS

48 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

509.1KB

FECHA DE ENTREGA

May 26, 2023 12:59 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

May 26, 2023 1:00 PM GMT-5

● **15% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 14% Base de datos de Internet
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossr
- 5% Base de datos de trabajos entregados

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

DEDICATORIA

A mis padres Nilo y Azela, por enseñarme a ser la persona que soy, a no rendirme nunca cuando tengo una meta y darme siempre mucho amor.

A mi esposo Raul, la ayuda que me has brindado a sido sumamente importante, has estado conmigo incluso en los momentos, mas difíciles, siempre apoyandome, me ayudaste hasta donde te era posible, incluso, mas que eso. Muchas gracias amor

A mi hijo Lusio, aunque aun no lo sepas, eres y serás lo, mas importante en mi vida, te amo.

A mis Hermanos Harold, Brigitte y Harvey, por su cariño y su apoyo incondicional, durante todo este proceso, gracias.

Fiorella del Rocio Ramirez Reátegui

El presente trabajo está dedicado a mi familia, por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

A mis padres: Miria y Medardo, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar sus dificultades. A mis amores de toda la vida, Cecilia, Matheo y Valentino mi linda familia quienes están como guías en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

Apeles Perickles Teoklio Canayo Tello

AGRADECIMIENTO

Agradezco mucho a mis padres, porque, sin su ayuda en toda esta etapa de estudios, no hubiera sido posible llegar hasta donde estoy, les Agradezco por darme tanto en esta vida, muchas gracias, los amo.

Agradezco también a mi esposo Raul, por todo su apoyo incondicional, animandome siempre a seguir adelante, muchas gracias amor.

A mi hijo Lusio, por ser la fuente de mi esfuerzo y todas las energías requeridas en esta tesis, gracias por ser el motor de mi vida.

A mis Hermanos, por estar siempre en mi vida no solo aportando buenas cosas, sino también por su gran apoyo en esta fuerte etapa de mi vida. muchas gracias hermanos.

A mi asesor el ing. Cleto Jara Herrera y al ing. Arce, por su esmero y dedicación en la orientación académica de este estudio, sin sus palabras y correcciones precisas, no hubiese podido llegar a esta instancia tan anhelada, gracias por su guía y todos sus consejos.

Fiorella del Rocio Ramirez Reátegui

De chico me enseñaron a dar gracias por las cosas buenas de la vida, por eso, en esta tesis voy a agradecer.

A mis padres: Miria y Medardo, por darme la vida y la posibilidad de experimentar lo maravilloso que es y por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y los principios que me han inculcado.

A mi hermano Bedder, por su apoyo incondicional a no bajar los brazos nunca.

Y, por supuesto, todo el trabajo realizado fue posible gracias al apoyo incondicional de Cecilia, mi compañera de vida, que estuvo a mi lado en los momentos difíciles, te agradezco todo el amor que me das y la inspiración que me generas para convertirme en el hombre que quiero ser y por hacerme padre de dos hermosos niños, mis hijos Matheo y Valentino, orgullosos de ellos.

A todos ustedes, y a los que me faltó nombrar, les digo ¡gracias!

Apeles Perickles Teoklio Canayo Tello

ÍNDICE

PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
JURADOS Y ASESORES	iii
RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Bases teóricas	5
1.2.1. Especie en estudio	5
1.2.2. Aceite esencial	7
1.2.3. Propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales	8
1.2.4. Biogénesis de los aceites esenciales	9
1.2.5. Localización de los aceites esenciales	11
1.2.6. Métodos de obtención del aceite esencial	11
1.2.7. Parámetros fisicoquímicos	15
1.2.8. Determinación de los componentes del aceite esencial	19
1.3. Definiciones de términos básicos	21
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	23
2.1. Formulación de hipótesis	23
2.2. Variable de estudio y su operacionalización	23
2.2.1. Variable de estudio	23
2.2.2. Operacionalización de variables	24
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	25
3.1. Diseño metodológico	25
3.2. Diseño muestral	25
3.2.1. Población de estudio	25
3.2.2. Tamaño de la muestra	25

3.2.3. Criterios de selección	25
3.3. Procedimiento de recolección de datos	25
3.4. Determinación de las propiedades fisicoquímicas	29
3.5. Aspectos éticos	31
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	33
4.1. Valores de los parámetros fisicoquímicos	33
4.2. Rendimiento del aceite esencial	34
4.3. Cromatograma del aceite esencial de <i>E. foetidum</i>	34
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	38
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	44
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	46
CAPITULO VIII : REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	47
ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Solubilidad del aceite esencial de <i>E. foetidum</i> en mezcla alcohólica-agua (37)	33
Tabla 2. Cromatograma del aceite esencial por GC-MS	34
Tabla 3. Familia química de componentes y tiempo de retención T_R	34
Tabla 4. Numero de aldehídos constituyentes del aceite esencial de <i>E. foetidum</i>	35
Tabla 5. Componentes de mayor abundancia	35
Tabla 6. Volatilidad de los componentes de mayor a menor volatilidad	35
Tabla 7. Hidrocarburos saturados	36
Tabla 8. Hidrocarburos insaturados	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Biosíntesis de componentes mono y sesquiterpénicos del aceite esencial (24)	10
Figura 2. Biosíntesis de componentes arénicos (fenólicos) de un aceite esencial (22,24)	11
Figura 3. Procesos y técnicas de extracción de aceites esenciales con solventes (22)	13
Figura 4. Transformación de la Ambreina en ámbar gris (22)	14
Figura 5. Diagrama de bloque de la obtención del aceite esencial de <i>E. foetidum</i> , caracterización fisicoquímica y cromatográfica de gases GC-MS (37)	26

RESUMEN

Eryngium foetidum de la familia Apiaceae, es usado como condimento en la preparación de alimentos en la culinaria regional amazónica. además, por poseer moléculas bioactivas es utilizado en la medicina tradicional como antiflatulento, antibacteriano, antipirético, analgésico, antigripal y antinociceptivo. El objetivo de este estudio fue caracterizar el aceite esencial extraído de las hojas de *E. foetidum* por hidrodestilación en un equipo de Karlsruhe. Se caracterizó por determinación de las propiedades fisicoquímicas y mediante análisis por cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas, dando los resultados siguientes: densidad 0,8686 g/cm³, Índice de refracción 1,456 y la reacción colorida para aldehídos y ésteres dio, el rendimiento fue de 0,107%. Por análisis CG-MS, se identificó 6 componentes que en orden de abundancia el 2-Dodecanal es de 58,13%, Etil éster del ácido hexadecanoico 16,82%, desconocido (C₁₄H₂₆O) 11,12% y Nonadecano 6,86%. El aceite esencial de *E. foetidum* de la Amazonía peruana por contener 58,13% de 2-dodecanal, además de su uso en culinaria como sazonador, puede tener mayor aplicación en la industria farmacéutica sus propiedades antihelmínticas, antibacterial y fungicida de estos aldehídos, siendo otra opción importante el que pueda aplicarse en cosmética para elaborar jabones de tocador y por último como combustible ecológico.

Palabras claves: Caracterización fisicoquímica, cromatografía de gases, espectrometría de masas, *Eryngium foetidum*, aceite esencial, saborizante.

ABSTRACT

Eryngium foetidum of the Apiaceae family is used as a condiment in the preparation of food in the regional Amazonian cuisine. In addition, because it possesses bioactive molecules, it is used in traditional medicine as an antifatulent, antibacterial, antipyretic, analgesic, anti-influenza, and antinociceptive. This study aimed to characterize the essential oil extracted from *E. foetidum* leaves by hydrodistillation in a Karlsruhe apparatus. It was characterized by the determination of physicochemical properties and by gas chromatographic analysis coupled to a mass spectrometer, giving the following results: density 0.8686 g/cm³, refractive index 1.456 and the color reaction for aldehydes and esters gave a yield of 0.107%. By GC-MS analysis, 6 components were identified which in order of abundance 2-Dodecanal is 58.13%, Hexadecanoic acid ethyl ester 16.82%, unknown (C₁₄H₂₆O) 11.12%, and Nonadecane 6.86%. The essential oil of *E. foetidum* from the Peruvian Amazon because it contains 58.13% 2-dodecanal, in addition to its use in cooking as a seasoning, may have greater application in the pharmaceutical industry for its anthelmintic, antibacterial, and fungicidal properties of these aldehydes, being another important option that can be applied in cosmetics to make toilet soaps and finally as an ecological fuel.

Keywords: Physicochemical characterization, gas chromatography, mass spectrometry, *Eryngium foetidum*, essential oil, flavoring.

INTRODUCCIÓN

Eryngium foetidum (Apiaceae) es originaria de América del sur, Centroamérica y México, su cultivo se ha extendido a otros países del mundo, en especial China, Bangladesh e India y en algunos países del sudeste asiático, se le conoce como culantro, cilantro silvestre, cilantro largo (1). Pero en la amazonia es una planta semi silvestre, poco estudiada y de uso limitado por las poblaciones mestizos y nativos a pesar de su grato olor como saborizante en la preparación de alimentos, haciendo mayor preferencia por *Coriandrum sativum* L. (culantro) procedente del Mediterráneo oriental y del oriente medio. Los grupos nativos de la selva usan etnomedicinalmente para tratar cólicos, dolor de oído y diarrea (2). Con la finalidad de revalorar a esta especie vegetal un tanto relegado en sus aplicaciones se realizó su estudio para identificar los componentes del aceite esencial que posee y determinar cuál es su mayor capacidad de uso, así como sus ventajas comparativas para ubicarlo en el sitio que le corresponde.

Esta planta ha sido objeto de estudio en otras partes del mundo, y es importante recalcar que en cada lugar del planeta donde crece muestra una variación interespecífica de los componentes del aceite esencial que posee, en España el componente principal del aceite de *E. foetidum* es Germacreno D y sesquicineol (3); en Bangladesh el (E)-2-dodecenal y el ácido dodecanoico (4); en Colombia el 2-dodecen-1-al y 5-dodeceno(5); en Vietnam el (E)-2-dodecenal y ácido 2-dodecenoico (6); en Cuba el 2,4,5-trimetilbenzaldehído, ácido hexadecanoico y carotol (7); en Nigeria el (E)-2-dodecenal, decenal, 13-tetradecenal, 2,4,5-trimeilbenzaldehído (8) y en India el (E)-2-dodecenal, dodecenal, 2,3,6-trimethylbenzaldehyde y el (E)-2-tridecenal (9).

En Perú, antes de nuestro trabajo fue estudiado por (10) de una muestra recogida en Pucallpa (Bellavista) habiendo encontrado los componentes siguientes: (E)-2-dodecenal, n-dodecanal, (E)-2-tetradecenal y el 1-tetradeceno y en *E. foetidum* (culandro) en lugar no especificado de la amazonía, la muestra arrojó 22 componentes entre aldehídos, ácidos e hidrocarburos (11).

Estos estudios revelan la variabilidad en la composición química del aceite esencial de *E. foetidum*, según la ubicación geográfica (12). Además, se observa, que en la mayoría de los estudios realizados con esta especie el (E)-2-dodecenal es el componente que está presente en todas ellas, siendo una molécula prototipo en *E. foetidum* derivado de un hidrocarburo de 12 átomos de carbono que se ha oxidado hasta tener la configuración de un aldehído que le da al aceite esencial el olor y sabor *sui-generis* (mandarina, cítrica), que se utiliza en sabores y fragancias para crear notas cítricas como naranjamandarina (13).

Por esta razón nos propusimos estudiar *E. foetidum* de la región Loreto, caracterizar mediante métodos fisicoquímicos y por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas (GC-MS) para identificar los componentes que posee y según su abundancia determinar su mayor capacidad de uso y ventajas comparativos para destinarlos a aplicaciones adecuadas creando nuevas líneas de industrias derivadas del uso de los aceites esenciales pero por otro lado también para establecer las variaciones intraespecíficas que se observa en cuanto a los componentes que la misma planta elabora en función del lugar donde crece, variación que se conoce como quimiotipo o formación de una nueva raza química que en el caso de *E. foetidum* de nuestro estudio manifiesta una evolución que va desde derivados de ácidos grasos como el ácido hexadecanoico o palmítico e hidrocarburos y sus derivados hasta aldehídos (14), cuyos resultados se muestran en el presente estudio.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

En el año 2008, se aisló aceite esencial de la parte aérea y raíz de *E. foetidum* L. por hidrodestilación y mediante el sistema de microondas. Para el análisis se usó un cromatógrafo de gases acoplado a un espectro de masas (GC-MS). El aceite esencial obtenido de las partes aéreas por hidrodestilación mostró 13 componentes, los mayoritarios son: E-2-dodecenal, lauraldehido, 13-tetradecenal, ciclododecano y duraldehido, en la raíz identificaron 12 componentes siendo los mayoritarios el duraldehido, falcarinol, 13-tetradecenal, (E)-2-dodecenal y mesitaldehido. En el aceite esencial de la parte aérea por el sistema de microondas asistido mostró 9 componentes, siendo los mayoritarios (E)-2-dodecenal, 13-tetradecenal, lauraldehido y ciclododecano, mientras que, en la raíz identifico 21 componentes siendo los mayoritarios duraldehido, 13-tetradecenal, (E)-2-dodecenal y ácido durílico. El rendimiento de la hidrodestilación fue de 0,053% y de extracción por microondas asistido fue de 0,061%. Los autores concluyen que existe una variación en la composición del aceite esencial de las partes aéreas de las plantas de acuerdo con el origen geográfico y condiciones del suelo donde crece (12).

En el año 2017, se obtuvo aceite esencial de hojas, tallo y raíz de *E. foetidum* L. por hidrodestilación recolectado en Akwa Ibom Nigeria, y por análisis GC-MS se determinó 34 compuestos volátiles, los de mayor abundancia fueron los siguientes: en las hojas :(E)-2-dodecenal 28,43%, 13-tetradecenal 27,45%, dodecanal 14,59% y 2,4,5-trimetilbenzaldehído 10,77%; en los tallos el dodecanal 20,21%, 2,4,5-trimetilbenzaldehído 18,43% y (E)-2-dodecenal 8,27% y en la raíz el 2,4,5-trimetilbenzaldehído 56,08%, 13-tetradecenal 9,26% y (E)-2-dodecanal 7,65%. El rendimiento de aceite esencial en las hojas fue de 0,2%, en el tallo 0,16% y en la raíz 0,17%, el estudio concluye señalando que los aceites volátiles contienen una gran cantidad de aldehídos acíclicos y compuestos de estructuras aromáticas constituyendo una fuente potencial valiosa de antioxidantes naturales (8).

En el año 2008, de las hojas de *E. foetidum* recolectada en un mercado de Bangladesh, se aisló aceite esencial por hidrodestilación, el análisis GC-MS mostró 63 componentes siendo los mayoritarios: (E)-2-dodecenal 37,4%, ácido dodecanoico 10,7%, ácido trans-2-dodecanoico 9,7%, (E)-2-tridecenal 6,7%, duraldehído 5,1% y tetradecanal 4,4%. En base a estos resultados sugiere extraer y analizar los aceites de *E. foetidum* de diferentes lugares del su país para conocer alguna cepa mejorada que arroje mayores rendimientos (4).

En el año 2008, de las partes aéreas de *Eryngium aquifolium* conformadas por inflorescencias, tallos y hojas recolectado en 4 diferentes poblaciones de Madrid aislaron el aceite esencial por arrastre de vapor y mediante GC-MS, se identificó 84 compuestos y que las distintas partes del vegetal analizado: inflorescencia, tallos y hojas la calidad y cantidad de cada una de estas partes son significativamente diferentes. Los principales componentes de las inflorescencias fueron: germacreno D entre 20,3% a 40,3% de abundancia, β -curcumeno entre 0,7% a 22,2%, mirceno entre 0,3% a 21,7% y (E)- β -farneseno entre 0,1% a 19%. El mirceno tiene mayor concentración en plantas que crecen en suelos ácidos (15).

En el año 2008, se aisló aceite esencial de las hojas de *E. foetidum* de 2 muestras por hidrodestilación una colectada en Guadalupe y la otra en Bom Jesús, para el análisis del aceite se usó un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas y resonancia magnética nuclear. El análisis del aceite esencial de Guadalupe mostró 28 componentes los más abundantes fueron: 2,3,6-trimetilbenzaldehido (23,7%), (E)-2-dodecenal (15,9%) y (E)-2-tetradecenal (18,7%), mientras que el aceite esencial obtenido de la muestra de Bom Jesús se obtuvo el 2,3,6-trimetilbenzaldehido (5,5%), (E)-2-dodecenal (37,5%) y (E)-2-tetradecenal (25,3%). El mismo autor hace mención que encontró (E)-2-dodecenal (37,7%) como el componente más abundante en el aceite esencial de Vietnam, mientras que en una muestra procedente de Malasia este componente fue de (45,5%) y en el aceite esencial de Cuba y Taiwán la abundancia de este componente fue menor al (5%) (16).

En el año 2011, de las hojas y tallos frescos de *E. foetidum* L. en Colombia se aisló por hidrodestilación el aceite esencial, y por análisis GC-MS encontró 18 componentes los mayoritarios fueron: 2-dodecen-1-al (43,96%), 5-dodecen (30,15%), tetradecenal (5,41%) y tetradecanal (5,28%). Señala además que en el aceite esencial predominan compuestos aldehídicos, alifáticos y aromáticos (5).

En el año 2014, se aisló aceite esencial de hojas frescas de *E. foetidum* mediante destilación por arrastre de vapor, y mediante el análisis en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrométero de masas identificó 22 componentes: decanal, 1-decanol, 2,6,10-trimetiltetradecano, undecanal, 2,4,5-trimetilbenzaldehido, ácido cáprico, dodecanal, trans-2-undecen-1-ol, 2-dodecenal, p-cimeno, 1-undecano, ácido 2,4,6-trimetilbenzoico, 2,4,6-trimetilfenol, nonadecano, ácido laurico, tetradecanal, ácido linoleico, ácido mirístico, 1-nonadeceno, ácido palmítico y ácido oleico. El autor concluye que el aceite esencial de *E. foetidum* presenta actividad antioxidante en un 70% (11).

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Especie en estudio

A. Identificación taxonómica

De acuerdo con Arthur Cronquist y la clasificación filogenética, la planta tiene la siguiente clasificación (17,18).

Reino	: Plantae
Division	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Apiales
Familia	: Apiaceae
Género	: <i>Eryngium</i>
Especie	: <i>Eryngium foetidum</i> L.
Nombre vulgar	: Siuca culantro, sacha culantro, culantro chuncho.

Componentes químicos. En las hojas además del aceite esencial posee fitoesteroles, compuestos fenólicos tipo ácido clorogénico, carotenoides como luteína y B-caroteno (19).

A.1. Descripción botánica

E. foetidum L. es una herbácea de hojas perennes fuertemente aromáticas llega a tener hasta 60 cm de alto (la inflorescencia), tallo solitario o varios simples o ramificados con o sin hojas, las hojas son aserradas y generalmente basales a veces algunos sobre el tallo, llegan a alcanzar hasta 30 cm de largo y hasta 5 cm de ancho, la inflorescencia es terminal generalmente muy ramificada compuesta por numerosas cabezuelas cilíndricas de aproximadamente 1 cm de largo y hasta 5 mm de ancho de color verde amarillento que en su base presenta 5 o 6 brácteas (el involucre) lanceoladas de 4 cm de largo, punteagudas con los márgenes enteros o espinulosos aserrados cada cabezuelo se compone de numerosas flores sésiles acompañados cada uno por una bracteola en su base el involucelo flores pequeñas blancas o azules o moradas el cáliz es un tubo cubierto por grandes escamas que hacia el ápice se divide en 5 lóbulos lanceolados o triangulares la corola con 5 pétalos libres caedizos, elíptico-oblongas de menos de 1mm de largo con el ápice largo, curvado hacia el centro de la flor 5 estambres, ovario infero. El fruto es globoso, cubierto por abundantes vesículas globosas en la madurez el fruto se separa en 2 frutillas (mericarpes) cada uno conteniendo una semilla, la raíz es carnosa (18,20)

A.2. Distribución ecológica

Eryngium foetidum L. es originaria de México, América Central y del Sur y diseminado por todo el mundo, naturalizado en África occidental y en sudeste de Asia (1,10)

A.3. Usos e información etnobotánica

La planta se usa ampliamente en la preparación de alimentos principalmente en el Caribe, América Latina, Lejano Oriente, Tailandia, Malasia y Singapur. Además,

posee varias propiedades terapéuticas, se usa para el tratamiento de trastornos respiratorios como resfriados, tos, asma y sinusitis, y también para el reumatismo y la diarrea (1). La infusión se usa para el dolor estomacal y la inflorescencia puesta levemente al fuego se exprime para aplicar gotas en el oído ante un dolor agudo.

1.2.2. Aceite esencial

Son sustancias líquidas olorosas y volátiles integrado por varios componentes que se asocian porque tienen densidades e interacciones de Van Der Waals próximas unas con otras, poseen alta presión de vapor y se transportan al medio ambiente a través de moléculas microscópicas capaces de excitar el órgano olfatorio (21). Cuando se percibe un olor, el componente del aceite esencial que produce esta sensación produce toda secuencia de fenómenos a menudo complejos, porque olor agradable excita el gusto y tanto al sentido del olfato y del gusto se conjugan para manifestarse por ser más antiguo, probablemente sensaciones desarrolladas desde que los organismos eran aún primitivos para obtener información y codificar los cambios químicos que se suscitaban en el medio ambiente, que dieron lugar en el caso del sentido del olfato a retener información que hoy conocemos como memoria olfativa que hace surgir ante el impacto del olor todos los recuerdos involuntarios de la vida (22).

El ser humano tiene muy limitado entendimiento de cómo trabaja el sentido del olfato, lo que sí resulta claro es conocer que las sustancias que dan olor al aceite esencial son sustancias de naturaleza mono y sesquiterpenoidal, hidrocarburos y sustancias arénicas de naturaleza fenilpropanoidal de los que derivan sustancias olorosas como Vainillina, Eugenol, etc que excitan los canales receptores y los sistemas de células específicas para cada órgano, en las cuales se da la transformación de la señal, visuales, auditivas, olfativa y gustativa dando sus impulsos nerviosos, también los aromas de los aceites esenciales es consustancial en la vida de los mamíferos, aves e insectos, para los insectos los olores constituyen su lenguaje químico, su medio de comunicación para señalar donde hay un campo de flores o para que la hembra invite al macho a la copula,

para los animales relacionar olor y gusto es importante para encontrar alimentos y evaluar su calidad (22).

También los organismos vivientes usan sustancias químicas como medio de comunicación, el mensajero es una hormona, si la sustancia es usada para llevar señales de un organismo a otro es conocido como semioquímico que se agrupa en dos principales clases: feromonas y alleloquímicas, si la señal es entre 2 miembros de una misma especie el mensajero es una feromona que llevan un tipo de información, las abejas se comunican haciendo una formación de señales químicas, por cierto hay olores que producen excitación y deseo sexual caso de la copulina que segrega la mujer cuya composición son ácidos grasos volátiles que aparecen como producto de su secreción vaginal (21).

1.2.3. Propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales

Son líquidos a temperatura ambiente. Son volátiles debido a su alta presión de vapor, cuando recién son obtenidos son incoloros o ligeramente amarillentos. Poseen alto índice de refracción. Tienen densidad inferior al agua si son de estructura terpenoidal: mono y sesquiterpénicos o hidrocarburos volátiles, pero si son de naturaleza arénica como el Eugenol, Safrol, Vainillina son más densas que el agua (22).

Los aceites esenciales no son solubles en agua, pero lo comunican el olor y son arrastrables por el vapor de agua, durante la destilación por arrastre de vapor o por hidrodestilación. Son solubles en concentraciones altas de alcohol, también son solubles en aceite fijos o grasas, levemente solubles en ácido acético, se oxidan por exposición al aire y se alteran también con la luz solar (22).

Los aceites esenciales de acuerdo con su estructura molecular tienen 3 propiedades carácter, intensidad y persistencia: El **carácter** se refiere al olor característico que posee por ejemplo floral propio de plantas como lavanda, llang-llang. Su **intensidad** está referida a la fuerza con que se propaga en el medio impactando sobre un receptor insecto u otro animal y la **persistencia** es el tiempo

que puede permanecer el olor en el medio ambiente excitando el órgano olfatorio (22).

1.2.4. Biogénesis de los aceites esenciales

Los aceites esenciales están constituidos por componentes de naturaleza terpenoidal: monoterpenos y sesquiterpenos y por sustancias alicíclicas y fenilpropanoidales como: eugenol, vainillina, safrol, etc.

Biogénicamente los componentes de los aceites esenciales se forman a través de la vía del mevalonato y del Shikimato (23,24).

Vía los Mevalonatos. Por esta vía se forman los monoterpenos (C₁₀) y los sesquiterpenos (C₁₅), ambos tipos de moléculas gozan de la propiedad de ser volátiles (23).

Vía los Shikimatos. Por esta vía se forman sustancias aromáticas derivadas del fenilpropano (24).

A. Mecanismo de formación de mono y sesquiterpenos

Para formar el mono y sesquiterpenos, el ácido mevalónico reacciona con el ácido adenosintrifosfato y forma el pirofosfato fosfomevalonato seguido del Δ^3 -isopentenil pirofosfato, se isomeriza para formar el pentenilpirofosfato ambos se adicionan y por acción del geranylpirofosfato sintetasa se forma el geranylpirofosfato que al perder el pirofosfato se transforma en una estructura C₁₀ que da lugar a los monoterpenos según la reacción, ver figura 1 (25):

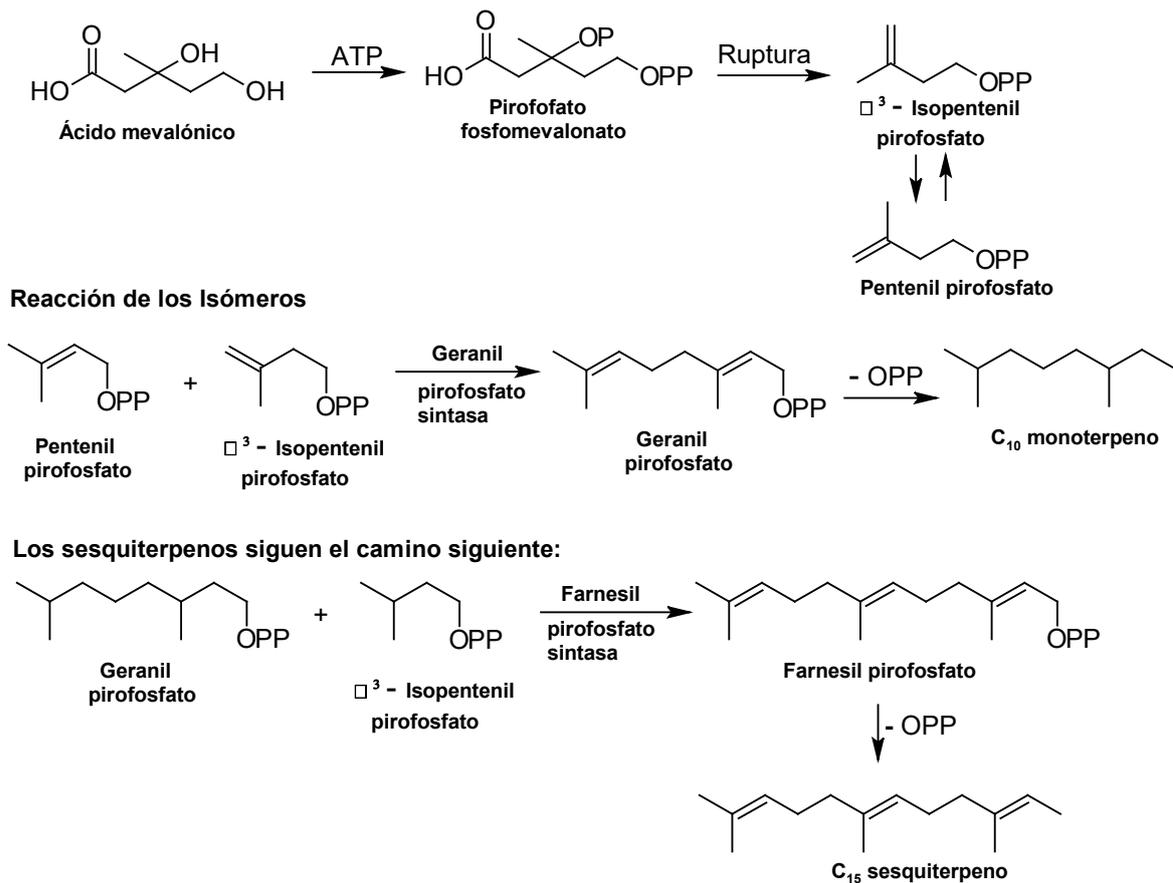


Figura 1. Biosíntesis de componentes mono y sesquiterpénicos del aceite esencial (24)

B. Mecanismo de formación de los componentes arénicos del aceite esencial

Se forma a partir del ácido Shikímico que reacciona con el fosfoenol piruvato, aquí se omitirán algunas etapas de los procesos para simplificar la idea, en esos pasos se produce el ácido pterénico que es una estructura pre-arénica dado a que le falta un doble enlace para tener estructura fenólica: El mecanismo es el siguiente (Ver figura 2):

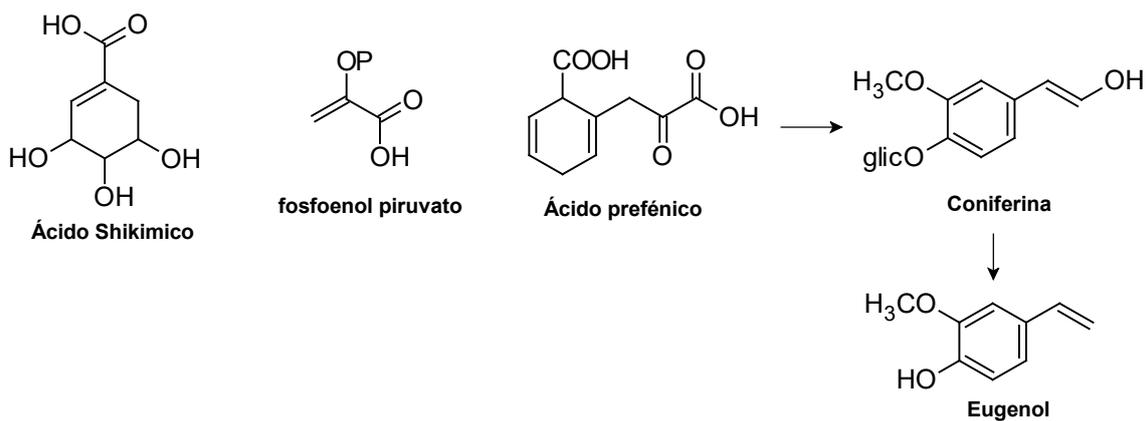


Figura 2. Biosíntesis de componentes arénicos (fenólicos) de un aceite esencial (22,24)

1.2.5. Localización de los aceites esenciales

Está presente en plantas que tienen flores y semillas y pertenecen a los siguientes órdenes: Magnoliales, Laurales, Rutales, Asterales, Lamiales, Santalales, Rosales, etc. (21,25). Los aceites esenciales están contenidos en los órganos vegetales por ejemplo flores (Rosa, Jazmín, Ilang, Ilang), hojas (Mentha y Albahaca), raíces (Vetiver), rizomas (Jengibre), leños (Aniba rosaeodora, moenas, etc.), frutas (Anís), corteza (Canela), semillas (Nuez Moscada) (24).

1.2.6. Métodos de obtención del aceite esencial

Los métodos usados para extraer aceites esenciales de la fuente natural han cambiado con el correr de los tiempos, como tecnología en general ha tenido nuevos avances sin embargo tanto los métodos antiguos como los nuevos, se reducen a 3 clases básicas: Expresión, destilación y extracción con solventes (22).

A. Método de expresión

Es el más simple aquí el aceite esencial es forzado a salir de la fuente natural por presión física, el proceso es denominado expresión y el producto se conoce como aceite exprimido. El método es el más adecuado para extraer el aceite esencial de la variedad de cítricos existentes (24).

Si un pedazo de piel de naranja es exprimido el aceite rompe las glándulas donde está contenido y sale de ellas un fino rocío de aceite esencial. El aceite de cítricos (limón, bergamota, naranja) disponible comercialmente es preparado de este modo, con un estrujador donde se aprieta las cáscaras sobre una esponja que absorbe el aceite esencial (24).

Una modificación de la expresión es el procedimiento de las agujas, donde una determinada cantidad de agujas están distribuidos en una placa en el interior de un embudo, se comportan como un rallador que rompe los sacos glandulares donde se encuentra el aceite esencial que baja por el vástago del embudo que se recoge en un recipiente. Se forman 2 capas que se separan fácilmente en una centrifuga que hace que el zumo por ser más denso forma una fase que va la fondo del tubo y el aceite sobrenada en la parte superior del tubo siendo separado en peras de decantación (22).

B. Por destilación

B.1. Destilación seca

Que hace que el aceite esencial salga con el olor y sabor de la sustancia orgánica que ha sido sometida al fuego ,este método requiere altas temperaturas ,en la mayoría de los casos a fuego directo aplicado a las superficies donde se pone el material vegetal está reservado esta técnica a los aceites que poseen alto puntos de ebullición típicamente derivados de maderas como abedul, cedro ,pino, etc., esto es un proceso pirolítico donde para evitar , que se carbonice la madera se introduce nitrógeno gaseoso a presión que permite a la vez expulsar los volátiles y las breas del interior de recipiente sujeto a pirolisis que luego son destilados para obtener el aceite esencial libre (24).

B.2. Por arrastre de vapor

El procedimiento se usa para aislar aceite esencial de rosas la condición es que la temperatura de calentamiento no pase de 100 °C, se obtiene un agua de cohabitacion. El aceite de rosas es un poco soluble en agua y se lo obtiene como rose water (agua de rosa) es así como se mantiene para ser usado en perfumería

o como ingrediente para saborizantes. Es el procedimiento más aplicado, el vapor de agua arrastra el aceite esencial después que los extrae de los espacios intersticiales del órgano vegetal donde se encuentra (24).

B.3. La hidrodestilación

En este procedimiento el material vegetal con el agua que es el material de arrastre se halla juntos en el mismo recipiente (24).

C. Extracción del aceite esencial con solventes

Pybus *et al* (1999), señala varios procesos empleando solventes de extracción, el esquema es el siguiente ver figura 3 (22):

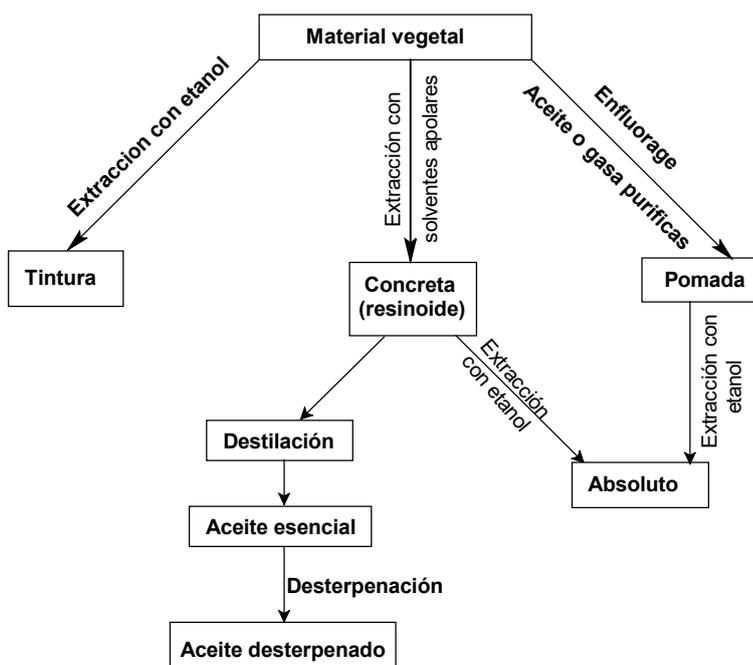


Figura 3. Procesos y técnicas de extracción de aceites esenciales con solventes (22)

La extracción con etanol es muy poco usado para materiales de planta que tienen alta proporción de agua, pero es posible utilizarlo para extraer el aceite esencial de la vainilla, también es importante señalar que se utiliza alcohol para tratar materiales como ámbar gris, el esperma que producen las ballenas, del que se aísla la Ambreína que se forma en el tracto intestinal, y cuando es excretado al mar y expuesto al agua salada, aire y luz solar da lugar a una reacción

degradativa compleja que produce el ámbar gris siguiendo el mecanismo siguiente con varios pasos omitidos :

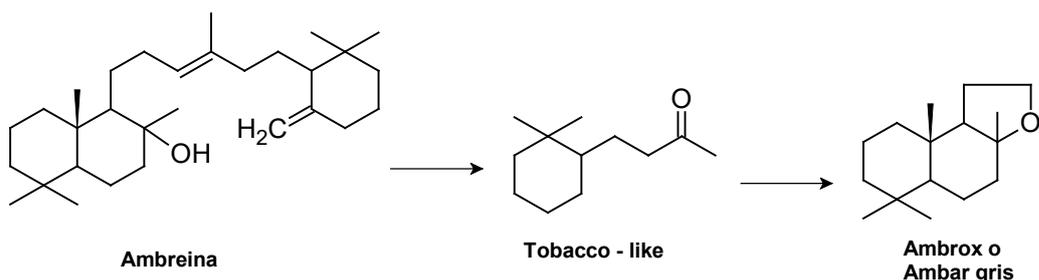


Figura 4. Transformación de la Ambreina en ámbar gris (22)

El ámbar gris es un producto altamente caro para la industria perfumista porque se usa como fijador del perfume.

El **enfleurage** fue usado desde la antigüedad para extraer ingredientes de plantas, exudados para lograrlo el material de planta es tratado con grasa purificada, en el caso de flores los pétalos son procesados en una delgada capa de grasa, se funde la grasa y toda la mezcla se filtra para separar el material vegetal al enfriarse se convierte en una pomada que contiene compuestos que le dan el olor característico a la planta. El inconveniente es que la concentración de los componentes olorosos es bajo, pero en los tiempos recientes el aceite esencial se extrae de la grasa con etanol, y por destilación se separa el alcohol y se obtiene el “absoluto” (22).

La extracción con solventes es una de la técnica más usados, descontando el benceno por sus efectos tóxicos, en la actualidad se usa solventes apolares individuales o varias combinaciones de estos. Recientemente se han incorporado como un solvente de extracción de interés el uso del dióxido de carbono, el proceso es conocido como el de fluidos supercríticos en razón de que la presión empleada está usualmente por debajo de la presión crítica y la extracción media, es subcrítica y el dióxido de carbono a esta presión está en estado líquido, la presión requerida para licuar el dióxido de carbono a temperatura ambiente es todavía considerable por esta razón el equipo es costoso ,pero el dióxido de carbono tiene la ventaja que es fácilmente recuperado y no está presente en el extracto como solvente residual (22,24).

El producto de la extracción mediante fluidos supercríticos da lugar a un resinoide, el resinoide extraído con etanol da un absoluto y por destilado da el aceite esencial, que puede ser desterpenado para incrementar la fuerza del olor. Con algunas concretas viscosas tales como las obtenidas de musgo de árboles, o musgo de roble se disuelven estos con solventes a un alto punto de ebullición como el bis-2-etilhexil ftalato y codestilar con este mismo solvente (22).

1.2.7. Parámetros fisicoquímicos

A. Densidad

La densidad en sustancias oleosas es importante porque permite saber cómo están dispuestos los átomos de carbono, hidrogeno, oxígeno y otros átomos en una molécula, si consideramos 3 átomos de carbono pueden estar dispuestos en cadenas $C_1-C_2-C_3$ o en ciclos si se unen los extremos C_1 con C_3 la distinción entre cadena y ciclo es importante por regla general los ciclos tienen una geometría bien definida más rígida que la que va asociada a las cadenas. Se habla de ciclos pequeños cuando tienen 3 o 5 átomos de carbono, medianas cuando poseen 6 o 10 átomos de carbono, se habla de ciclos grandes cuya movilidad puede parecerse al de las cadenas (24).

En el bálsamo de Benjui uno de sus ingredientes es el benceno prototipo de las llamadas moléculas aromáticas, está formado por un conjunto de 6 moléculas C-H que da lugar a un ciclo que forma ángulos semejantes a un Hexágono regular de 120° cada ángulo interior (la suma de ángulos suma 720°), siendo una molécula de benceno plana tiene la forma de un disco o una moneda, entre los componentes de un aceite esencial existe numerosos derivados del benceno en la canela es aldehído cinámico, en la vainilla la vainillina, en el clavo el eugenol, todas estas moléculas son planas pero las hay también esféricas como del alcanfor (un monoterpene cíclico), por regla general las moléculas esféricas tienen olor a alcanforado (24).

Este mismo hecho de las formas dan lugar a que tengan una densidad variable porque la densidad es la relación entre una masa que ocupa un volumen.

El agua tiene moléculas de estructura tetraédrica que partir de 4°C se dilata cuando se eleva la temperatura y cuando se enfría hasta 0°C a esta temperatura su densidad es el 0,9998 y al congelarse su densidad es de 0,9168 que es la densidad del hielo a 0°C porque cuando se cristaliza el volumen aumenta, por eso la densidad es una relación inversamente proporcional al volumen, cuando el volumen aumenta la densidad disminuye (21,26).

Si se toma como referencia que el agua tiene una densidad de 1g/cm³ los aceites esenciales por lo general tienen densidades menores de 1,00g/cm³, solo los aceites esenciales de naturaleza arénica tienen densidades superiores a 1,00g/cm³ por ejemplo el Eugenol tiene una densidad de 1,06g/cm³ la densidad del safrol 1,10g/cm³. La densidad del aceite esencial se determina en el aparato conocido como Picnómetro de Weld en este equipo se mide el volumen y la masa por pesada en balanza analítica con cuya relación de estas 2 variables se determina la densidad que se calcula por la relación:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{g}{cm^3} \quad (A)$$

Conviene señalar que para calibrar el Picnómetro de Weld es preciso observar la densidad del agua a la temperatura de experimentación en el laboratorio que se halla en (27), en este manual se encuentra tabulada las densidades del agua a diferentes temperaturas, el procedimiento para medir la densidad lo explicamos más adelante en el capítulo III (27).

B. Índice de refracción

Se mide en un refractómetro siendo el más conocido el refractómetro ABBE, teóricamente este índice es la relación entre del seno del ángulo de incidencia de un rayo de luz en el aire, con respecto al seno del ángulo de refracción (28) que es la desviación de la luz que se produce al contacto con el líquido de acuerdo con la expresión siguiente (26).

$$n_{\lambda}^T = \frac{\text{sen } i \text{ aire}}{\text{sen } r \text{ liquido}} = \frac{\text{velocidad de la luz en el aire}}{\text{velocidad de la luz en el liquido}}$$

El haz de luz cambia tanto en su velocidad de onda y en su dirección en el límite de la llamada interfase (29) que se halla en el eje de las abscisas y separa la fase gaseosa (aire) de la fase líquida para nuestro caso aceite esencial. Las variables de temperatura y la longitud de onda de la luz son las que determinan estos cambios (30).

Los ángulos de incidencia y de refracción no se puede medir directamente por eso se desarrolló un sistema óptico especial que depende del ángulo crítico de reflexión en la superficie del prisma de vidrio en contacto con el líquido de índice de refracción conocido, bajo este principio opera el refractómetro ABBE (30).

Las ventajas de este refractómetro son: a) para iluminar se usa luz blanca porque los prismas dan un índice de refracción para la línea D del sodio de 589,3 nm, b) no se necesita sino gotas de la muestra líquida para realizar la medición, c) el aparato lleva un sensor termostático que controla la temperatura de los prismas y de la muestra, d) Los prismas compensadores de Amici determinan la dispersión específica (30).

Mientras se observa en el ocular, se ajusta el tornillo macrométrico y la posición de la lámpara hasta obtener un campo iluminado uniformemente, se enfoca el ocular sobre las retículas cruzadas y se gira el tornillo hasta que la línea divisoria aparece coloreada y se cromatiza moviendo el tornillo hasta que en el centro se obtenga una línea divisoria entre blanco y negro muy bien definido, estos tornillos de ajustes hacen girar los 2 prismas de Amici los cuales compensan las diferencias que hay en el grado de refracción de las luces de diferentes longitudes de ondas de las que se compone la luz blanca, después que la línea divisoria queda lo mejor definido posible se da vuelta al tornillo micrométrico hasta que la línea divisoria queda exactamente en el centro de las retículas cruzadas, entonces se oprime el interruptor que está al lado izquierdo del instrumento para que se ilumine la escala, mientras que con el ocular se lee el índice de refracción para saber cuánto se ha desviado la línea D de sodio hasta el tercer decimal y la cuarta se determina apreciativamente (28).

El resultado se anota por ejemplo en la forma siguiente: $n_D^{20} = 1,4357$ (18). El índice de refracción está medido a 20°C de temperatura (28).

Razón por la que se determina la densidad y el índice de refracción

Estos 2 parámetros sirven para deducir acerca de los componentes del aceite esencial porque densidades menores de 0,9 e índices de refracción de 1,47 sugieren que en el aceite esencial (31) hay un alto porcentaje de hidrocarburos terpénicos o compuestos alifáticos, pero si la densidad es mayor de 0,9 y el índice de refracción menor de 1,47 es posible la existencia de compuestos oxigenados alifáticos. Los hidrocarburos aromáticos tienen densidades menores de 0,9 pero sus índices de refracción son mayores de 1,47. Los compuestos oxigenados aromáticos o alicíclicos tienen densidades e índices de refracción superiores a los límites señalados (14).

C. Solubilidad

Consiste en medir la capacidad de disolución de un aceite esencial a 20°C en mezclas etanol -agua para averiguar el contenido de componentes oxigenados tales como componentes alcohólicos, étericos, aldehídos y cetonas. Esto se averigua en soluciones de etanol entre 50% - 95% en peso, al disolverse el aceite esencial en estas concentraciones de alcohol se anota el número de volúmenes requeridos luego se continua con la adición de solución alcohólica hasta la opalescencia que es el límite hasta el cual es soluble el aceite esencial (14).

También, la solubilidad del aceite esencial se mide en volúmenes iguales con disulfuro de carbono, si hay opalescencia es señal inequívoca que hay agua. En un mililitro de esencia se agrega 10 ml de KOH 1 M (25), si en el aceite esencial hay fenoles la solubilidad aumenta (14).

D. Reacciones coloridas

Si en el aceite esencial está presente alcoholes se averigua agregando 0,3 ml de disulfuro de carbono y 100mg de KOH a una pequeña muestra de aceite, se agita si se torna de color amarillo es positivo o el precipitado tiene el mismo color debido a la presencia de Xantatos, si no aparece ninguna coloración se agrega 2 gotas de molibdato de amonio al 1%, la mezcla se acidula con ácido sulfúrico 1 M

. Se enfría en baño de hielo y luego se agregan 4 gotas de cloroformo, la mezcla se agita y cuando se forman 2 fases debe observarse en la fase clorofórmica capa inferior la aparición del color violeta que indica la existencia de alcohol (32)(14).

Si al añadir 2 gotas de etanol y una gota de una solución de 2,4-dinitrofenilhidrazina a una pequeña muestra de aceite esencial forma un precipitado rojo indica que hay compuestos con carbonilos aromáticos, si al precipitado de 2,4-dinitrofenilhidrazinase se le añade una gota de KOH 2 N en metanol, toma colores rojo oscuro, púrpura o azul. Los aldehídos también dan coloración rosado con el reactivo de Schiff o reducen el reactivo de Tollens (14).

Para ésteres: al aceite esencial se calienta añadiendo hidroxilamina, se enfría se acidifica con HCl luego se añade unas gotas de cloruro férrico la aparición del color púrpura es positivo para ésteres (14).

Si hay moléculas con insaturaciones unas dos gotas del aceite esencial se disuelven en 1,0 ml de tetracloruro de carbono, si añade unas gotas de una solución de Bromo al 2%, si al añadir más de 2 gotas para que el color de bromo persista más de 1 minuto es probable que haya insaturación. Los hidrocarburos aromáticos, éteres aromáticos y algunos fenoles dan coloraciones cuando a una gota de esencia contenga estas sustancias se le añade 1 ml de una mezcla de 1 gota de formaldehído y 1 ml de H₂SO₄ concentrado (14).

1.2.8. Determinación de los componentes del aceite esencial

A. Cromatografía de capa fina

Algunos pocos componentes monoterpénoidales pueden ser detectados en placas de cromatografía de capa fina con revelador UV de onda corta o mediante respuesta a reveladores como Bromo, 2,4 DNP, H₂SO₄ concentrado por ejemplo limoneno de color marrón con H₂SO₄ concentrado α -pineno tiene respuesta positiva con el bromo y da color marrón con el H₂SO₄ concentrado, 1,8 cineol da color verde con el H₂SO₄ concentrado (33).

B. Cromatografía de gas acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS)

Es una técnica que combina la capacidad de separación que presenta la cromatografía de gases aunado a la sensibilidad y capacidad selectiva del detector de espectrometría de masas. Esta combinación permite analizar y cuantificar compuestos trazas en mezclas complejas como el que presenta un aceite esencial y lo hace con un alto grado de efectividad (34).

La cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) es una técnica analítica dedicada a la separación, identificación y cuantificación de mezclas de sustancias volátiles y semi volátiles, la separación de las sustancias depende de la diferente distribución de estas entre la fase móvil y la fase estacionaria una vez separadas las sustancias en el cromatógrafo de gases pasan al espectrómetro de masas donde se fragmentan, estas son comparadas con moléculas existentes en la base de datos del equipo para su identificación preliminar ,la identificación definitiva así como la cuantificación de cada sustancia debe hacerse mediante el empleo de sustancias de referencia (34).

En el análisis GC-MS se identifican los componentes de los aceites esenciales, con aplicaciones comparativas de las bibliotecas de masas espectrales NIST/EPA/NH, Wiley, por ejemplo, la masa de iones de terpenos que fueron fragmentados en el espectrómetro de masas tiene mucha similitud, pero difieren en su abundancia por lo que es posible identificarlos (34).

Los aceites esenciales se clasifican según sus estructuras químicas, si un aceite esencial tendría 100 componentes químicos diferentes estos se podrían identificar como, aldehídos, fenoles, óxidos, ésteres, cetonas, alcoholes y terpenos (24).

En el análisis del aceite esencial el equipo GC-MS grafica un cromatograma en el que se puede observar los valores de tiempo de retención (TR) en minutos, que define el tiempo que tardó la sustancia para separarse del aceite esencial, pero también se observa la abundancia de cada compuesto separado. En un cuadro adicional que el aparato da lectura con aplicación comparativa de biblioteca de masas espectrales NIST08.L se registra el número de componentes, su denominación química, el tiempo de retención (T_r) en minutos y la abundancia porcentual de cada componente (34).

1.3. Definiciones de términos básicos

Caracterización fisicoquímica: Alude al reconocimiento de cuáles son las sustancias de las que está compuesto el aceite esencial por lo que es necesario determinar una serie de propiedades fisicoquímicas tales como: la forma de agregación de sus masas contenidas en un volumen, propiedad que se conoce como densidad, la reflexión que experimenta una molécula al moverse en un medio para lo cual es preciso medir la velocidad del aire y la velocidad del aceite esencial que se halla en estado líquido, propiedad que se denomina índice de refracción, otra propiedad es lo que hace posible que las moléculas de acuerdo con su polaridad pueda ser soluble en alcohol y no solo en agua que es más polar que el alcohol esta propiedad se conoce como solubilidad, y por último aquella que por pertenecer a determinada estructura química manifiesta respuestas cromógenas ante un reactivo indicador, propiedad que se conoce como el de las reacciones coloridas, estas respuestas la tienen los componentes alcohólicos, etéricos, aldehídicos y cetónicos que forman las moléculas del aceite esencial (35).

Caracterización cromatográfica: En relación con el análisis por cromatografía de gases que lleva acoplado un espectro de masas técnica conocida como GC-MS, este es la de mayor precisión y exactitud, el cromatógrafo separa los componentes del aceite esencial que se inyecta en la columna del equipo que determina los tiempos de retención y la abundancia de cada componente. Los compuestos separados pasan al espectrómetro de masas donde por acción de un haz de más de 70 eV se ioniza el componente formando el ion molecular padre que proporciona el peso molecular del compuesto, pero muchos compuestos pueden tener un peso idéntico, por ejemplo, el peso 28 puede aludir al CO, N₂, CH₂N y C₂H₄ para lo cual la molécula precisa fragmentarse luego se realiza la recomposición Mc Lafferty que hace mas identificable las moléculas de estudio usando la biblioteca NIST08.L del equipo computarizado que identifica por comparación los componentes presentes en el aceite esencial (36).

El cromatograma: es una gráfica del registro automático de datos donde en el eje de las abscisas aparece el tiempo de retención en minutos (Tr), tiempo en que

se separa de la columna del cromatógrafo de gases por acción del gas transportador cada componente. En eje de las ordenadas se registra la abundancia porcentual, en que se halla cada componente en el aceite esencial. Finalmente, el aparato que señalamos es computarizado y tiene una memoria donde guarda los compuestos ya separados en otras muestras de aceites esenciales después de reconocer por comparación con la biblioteca NIST estos componentes separados (identificación) aparece la denominación química de cada uno de ellos y ese es el resultado que proporciona el equipo GC-MS (35).

NIST08.L: es la mayor biblioteca de espectros de masas que lleva incorporado un equipo GC-MS aproximadamente 1,6 millones, por comparación con espectros de masas que se obtuvieron de cada componente que primero fue separado por el cromatógrafo de gases y el espectrómetro de masas lo llevó a su fragmentación haciendo posible que el equipo reconozca con precisión la denominación química del compuesto separado inequívocamente porque son idénticas a aquellos que ya figuran en la memoria del equipo (35).

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de hipótesis

El aceite esencial aislada de hojas de *Eryngium foetidum* L. pueden ser caracterizados por métodos fisicoquímicas y por CG-MS.

2.2. Variable de estudio y su operacionalización

2.2.1. Variable de estudio

Variable independiente

Aceite esencial aislada y purificada de las hojas de *E. foetidum* por hidrodestilación.

Variable dependiente

Características fisicoquímicas. Son las propiedades físicas y químicas mensurables que caracterizan al aceite esencial después de la extracción.

Característica cromatográfica y espectrométrica. Está determinada por el número de componentes que separa el cromatógrafo de gases y espectrométricamente el espectro de masas ioniza y fragmenta las moléculas del compuesto y luego por comparación con la biblioteca del espectro de masas que tiene el equipo identifica cual es la denominación química de la sustancia con una alta precisión y exactitud precisa, la abundancia porcentual de cada una de ellos y el tiempo de retención.

2.2.2. Operacionalización de variables

Variable independiente	Definición operacional	Tipo de variable por su naturaleza	Indicador	Escala de medición	Medición de verificación
Aceite esencial	El aceite esencial fue aislado de las hojas de <i>E. foetidum</i> L. por hidrodestilación usando el aparato de Karlsruhe, luego fue deshidratado usando sulfato de sodio anhidro obteniendo aceite esencial puro, de olor sui-generis.	Cuantitativa	Rendimiento del aceite esencial contenido en las hojas	Valor porcentual %	Aceite esencial aislado

Variable dependiente	Definición operacional	Tipo de variable por su naturaleza	Indicador	Escala de medición	Medio de verificación
Características fisicoquímicas	Se determino las características fisicoquímicas sobresalientes mediante instrumentos de alta sensibilidad y pruebas cromógenas para identificar la familia química de sus componentes.	Cuantitativa	Densidad Índice de refracción Solubilidad Reacciones coloridas	g/cm ³ Adimensional Porcentaje color	Valores de las propiedades fisicoquímicas
Características cromatográficas y espectrométricas	Por cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS) se determinó cada componente, su abundancia, tiempo de retención y nombre químico.	Cuantitativa	Número de componentes Abundancia Tiempo de retención Nombre químico del componente	Adimensional Valor porcentual Minutos Nomenclatura IUPAC	Cromatograma e identificación por NIST08.L

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

Es descriptivo, prospectivo, de enfoque cuantitativo, que permitió identificar el número de los componentes presentes en el aceite esencial, su abundancia porcentual, identificar la familia química a la que pertenece y finalmente la denominación química de cada compuesto.

Este proceso experimental siguió un diseño algorítmico es decir que para lograrlo se realizó un conjunto de operaciones y procesos sistemáticos con el establecimiento de caminos críticas, hasta la conclusión del experimento e interpretación de los resultados obtenidos.

3.2. Diseño muestral

3.2.1. Población de estudio

Constituido por todas las plantas de *E. foetidum* que crecen asociadas formando una comunidad vegetal muy característica de esta planta que crece con profusión en la localidad de Zungarococha, Distrito de San Juan Bautista, Provincia de Maynas, Región Loreto.

3.2.2. Tamaño de la muestra

Se tomo 10 kg de muestra de *E. foetidum*, criterio que se adoptó asumiendo que la planta no pasará de un rendimiento de 0,1%.

3.2.3. Criterios de selección

Criterio de inclusión. Se recogieron hojas verdes y los de mayor tamaño y turgencia.

Criterio de exclusión. Se descartaron hojas atacado por insectos u hojas secas o maltratadas.

3.3. Procedimiento de recolección de datos

El procedimiento de recolección de datos siguió las etapas que van desde el tratamiento de la materia prima, el aislamiento y purificación del aceite esencial y finalmente su caracterización. Estos pasos se muestran en el diagrama siguiente (figura 5).

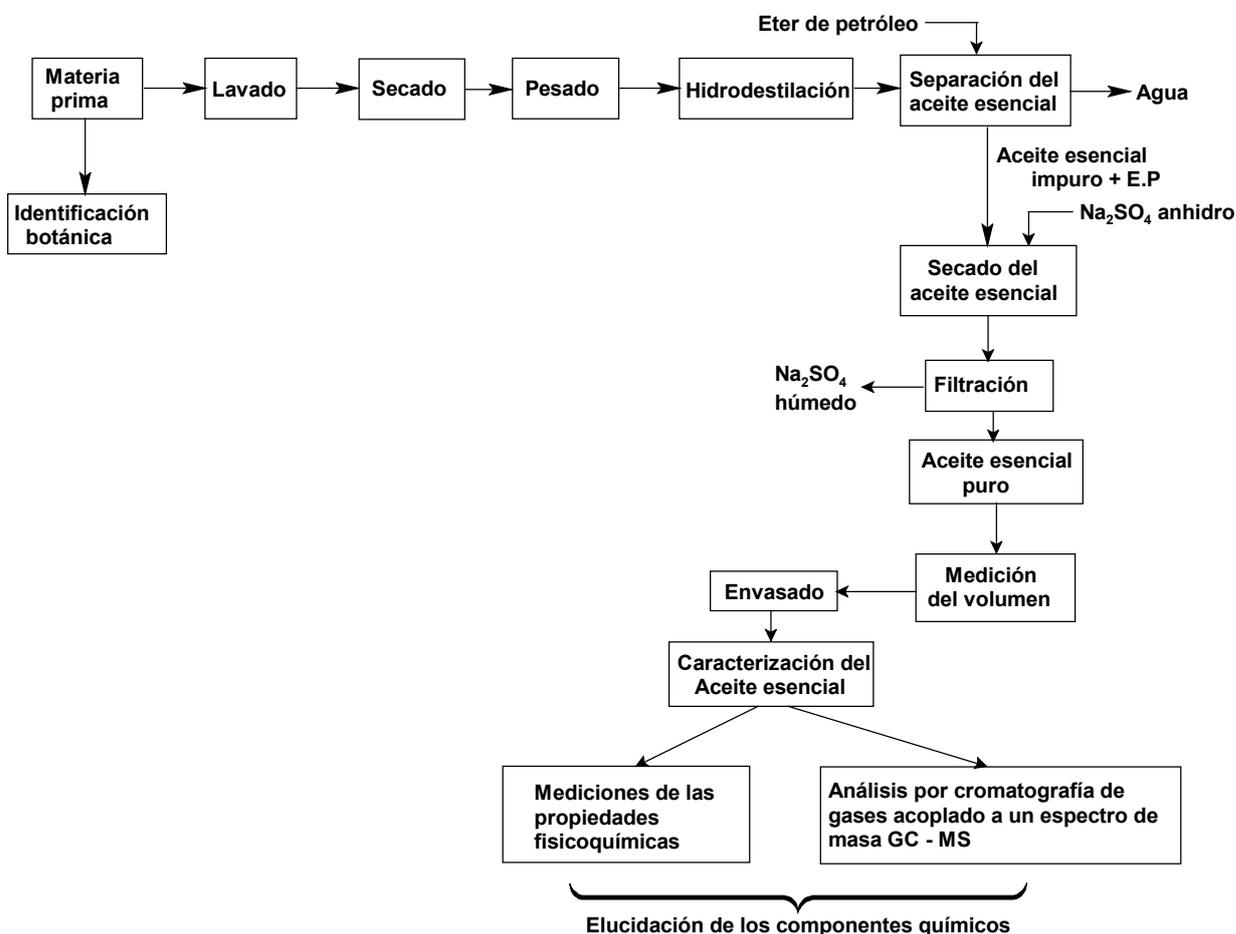


Figura 5. Diagrama de bloque de la obtención del aceite esencial de *E. foetidum*, caracterización fisicoquímica y cromatográfica de gases GC-MS (37)

A.1. Colección de muestra vegetal

Las hojas fueron recolectadas antes de las 6 de la mañana para evitar que el sol volatilice el aceite esencial y obtener resultados óptimos, la recolección se hizo en el caserío de Zungarococha Distrito de San Juan, Maynas, Loreto. Los datos georreferenciales son las siguientes: 3° 46' 30" S; 73° 17' 56 "O; altitud 138 msnm.

A.2. Prueba preliminar

Se realizó las pruebas preliminares de presencia de aceite esencial in situ, frotando las hojas entre los dedos, sobresale un olor agradable *sui-generis*, luego las hojas trituradas se pusieron en un tubo de ensayo y se calentó por la parte inferior, apareció en la parte superior del tubo gotas oleosas del aceite esencial cuando se dejó de calentar.

A.3. Toma de fotografía y transporte

Se tomó fotografía de la planta para documentar el trabajo, las muestras colectadas fueron depositados en una bolsa de polietileno previamente envuelto en papel de filtro, y transportados al laboratorio de Fitoquímica y Productos Naturales de la Facultad de Ingeniería Química de la UNAP

A.2. Certificación de la especie

Para la identificación de la especie materia de estudio se seleccionó una planta completa con tallos, hojas e inflorescencia, se llevó al Herbarium Amazonense CIRNA-UNAP, donde el especialista certificó la autenticidad de la especie y entregó una constancia (ver anexo 1).

A.3. Preparación de la muestra y limpieza

La muestra se lavó con agua fresca para quitar areniscos y otras adherencias se secó con papel de filtro y se completó el secado en ambiente de aire acondicionado a 17C°.

A.4. Pesada de la muestra.

La muestra se pesó por tandas hasta completar los 10 kg de peso en una balanza analítica OHAuss.

A.5. Obtención del Aceite esencial

La muestra se llevó a hidrodestilación en el aparato de Karlsruhe compuesto de un balón de 4 litros de capacidad de boca esmerilada 29/32 donde se depositó 1 kg de hojas de *E. foetidum* y un litro y medio de agua, se acopla el balón a la pieza de destilación denominado “pico de cigüeña” que consta de una columna vertical que en la parte inferior es cilíndrica y esmerilada y se acopla al balón también de boca esmerilada 29/32, a 20cm del tubo vertical aparece el refrigerante un tubo inclinado en ángulo de 15 grados, con chaqueta de refrigeración por donde circula el agua de condensación que hace que el vapor de agua caliente arrastre al aceite esencial hacia la salida del colector al que llega a temperatura ambiente, la destilación sucede cuando la temperatura de calefacción del balón llega a 100C° en su interior en estas condiciones se cumple la ley de Gay Lussac Charles en el que la presión externa de 1 atm se iguala con la presión de vapor del agua que se halla en el interior del balón junto con la muestra también a 1 atm. En ese momento el agua convertido en vapor empieza a arrastrar al aceite esencial fuera del destilador hacia un tubo vertical que cumple el papel de platos teóricos del cual pasa a un tubo oblicuo que lleva el efluente al tubo colector de la mezcla agua-aceite esencial y tienen la forma de la letra “V” en el tubo vertical de recojo se pone 5 ml de E.P. para permitir la unión con el aceite esencial y la separación del agua que ocupa la parte inferior del tubo se abre la llave de salida para que descargue primero el agua y luego el aceite esencial sobrenadante más el éter de petróleo que quedan retenidos.

Se destiló por tandas cada tanda fue de 1kg en 5 aparatos montados en serie que operaron por 4 horas. En la destilación el agua arrastra el aceite esencial, primero venciendo la gravedad de la columna vertical luego llegado a la inclinación pasa por la zona de enfriamiento, de aquí se dirige al tubo vertical de recojo de la muestra donde se agrega 5 ml de éter de petróleo. La muestra recogida de aceite esencial + éter de petróleo fue secado con sulfato de sodio anhidro y se separó el aceite esencial puro, libre de éter de petróleo. Se midió su volumen en probeta graduada arrojó un volumen de 12,3cm³.

A.6. conservación del aceite esencial

El aceite esencial puro se transvasó a un frasco de vidrio color caramelo para evitarle acción directa del sol y la desnaturalización de los componentes para luego iniciar las pruebas correspondientes.

3.4. Determinación de las propiedades fisicoquímicas

B.1. Densidad

Como producto de la destilación se obtuvo $12,3\text{cm}^3$ de aceite esencial medido en probeta graduada. Para obtener la densidad se usó el método del picnómetro de Weld un aparato de vidrio semejante a un pequeño balón de boca esmerilada con una tapa de cierre perforada milimétricamente donde lleva incorporado un termómetro, una tubuladura lateral herméticamente cerrada por una tapa esmerilada con orificio de salida del exceso de aceite esencial, el procedimiento es el siguiente:

Se toma un picnómetro de Weld de 5cm^3 valor de volumen calibrado a 20°C por lo que fue preciso calibrarlo a la temperatura del laboratorio que fue de 30°C . se lavó el recipiente con agua destilada varias veces y se secó en estufa Memmert a 110°C se enfrió a partir de ese momento empezó el procedimiento para determinar la densidad del aceite esencial (26,29).

El picnómetro vacío se pesó en una balanza analítica obteniendo el peso del picnómetro vacío, luego se llenó con agua destilada y nuevamente se pesó, con estos pesos se halla el peso del del agua. La la densidad del agua a temperatura de laboratorio (30°C) se tomó de (27) en la pág. F-10 que fue de $0,99567\text{ g/cm}^3$, se secó el picnómetro y se llenó con aceite esencial, se volvió a pesar, con el peso del picnómetro vacío y de este último se obtuvo el peso del aceite (26), con estos datos se halla la densidad del aceite que fue de a $0,8686\text{ g/cm}^3$ (ver procedimiento en anexo 4)

B.2. Rendimiento de aceite esencial

Se calcula el rendimiento teniendo en consideración el volumen del aceite esencial obtenido de 12,3cm³ que al multiplicar por la densidad de 0,8686 g/cm³ obtenemos el peso del aceite esencial. Este valor sirvió para calcular el rendimiento porcentual del aceite esencial, que es la relación entre el peso del aceite esencial obtenido sobre el peso de la materia prima trabajada, el valor obtenido es 0,107% (ver resultado en el anexo 5).

B.3. Índice de refracción

Preparado el refractómetro ABBE refrigerada por una corriente de agua a temperatura de 20°C. Se puso una gota de aceite esencial de *E. foetidum* y se midió directamente el índice de refracción alumbrando el sistema por la luz blanca del sodio cuya longitud de onda es de 589,3 nm el valor arrojó $[n]_D^{20} = 1,456$ (28,38).

B.4. Solubilidad

Para medir la solubilidad del aceite esencial, se prepararon soluciones de alcohol de 95, 90, 80, 70, 60 y 50 grados Gay Lussac respectivamente. Cuando se vertió sobre el aceite esencial la solución de 50 grados Gay Lussac se formó una solución turbia que indica que 50% de agua en alcohol es el límite de solubilidad del aceite esencial (38).

B.5. Reacciones coloridas

A una gota de aceite esencial se le agregó 2 gotas de etanol más una gota de 2,4-dinitrofenilhidrazina, se observó un ostensible viraje de la solución apareciendo un color amarillo que indica presencia de sustancia aldehídicas como fue verificada con el análisis por cromatografía de gases y espectrometría de masas en la que 2 de los 6 compuestos son de estructura aldehídica, el dodecanal y el 2-dodecenal. Cuando se aplicó a la muestra de aceite esencial 2 gotas de hidroxilamina alcalina que se acidula con HCl y luego se agregó una gota de cloruro férrico apareció un

color púrpura que indica la presencia de éster, el análisis por cromatografía de gases y espectrometría de masas acoplada confirmó que está presente el etil éster del ácido hexadecanoico o palmítico (38).

B.6. Caracterización por cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC-MS)

Este análisis fue realizado en el Laboratorio de la Unidad de Investigación en Productos Naturales de la Universidad Peruana Cayetano Heredia Lima, siguiendo el procedimiento usado por anteriores tesis en la línea de aceites esenciales (25). Para identificar los componentes del aceite esencial de *E. foetidum* se usó el cromatógrafo de gases Agilent Technologies 7890 A que lleva acoplado un espectrofotómetro de masas Agilent technologies 5975C. El cromatógrafo consta de una columna J&W 122-1545.67659 DB-5 ms que soporta un calentamiento de 325°C tiene 60 m de largo dispuesto en forma de espiral y un diámetro exterior de 250 micrómetros y el diámetro interior 0,25 micrómetros. La rampa de temperatura se eleva gradualmente empieza en 50°C y sube 5°C/min hasta 180°C 4°C/min hasta 200°C manteniéndose por 15 minutos y finalmente 20°C/min hasta 300°C por 5 minutos.

La muestra corrió un tiempo de 56 minutos el volumen de inyección de muestra fue de 1 microlitro, el gas portador fue He. que fluye a un caudal de 1 ml/min, se tomó 20 microlitros del aceite esencial se diluyó en 1 microlitro de diclorometano se inyectó 1 microlitro de esta solución al equipo y se corrió hasta obtener el cromatograma, el detector de espectrometría de masas fragmentó los compuestos, hizo su recomposición Mc Lafferty y por comparación con los datos de su biblioteca NIST08.L identificó con precisión cada componentes, mostrando 6 picos que equivale a 6 componentes, cuya abundancia está en relación directa con la altura de cada pico (ver cromatograma) (35).

3.5. Aspectos éticos

La recolección de las hojas de *E. foetidum* L. no amenaza la dinámica de crecimiento y propagación de esta herbácea, porque se aplicó algo semejante a un sistema de poda, coger las hojas con tijera de corte fino sin afectar órganos de

crecimiento como raíces y tallos para que se renueve la planta constantemente siguiendo su normal desarrollo.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Valores de los parámetros fisicoquímicos

4.1.1. Densidad

La densidad del aceite esencial de *E. foetidum* fue de 0,8686 g/cm³ (ver anexo 4)

4.1.2. Índice de refracción

El índice de refracción dio un valor de $n_D^{20} = 1,456$

4.1.3. Solubilidad

Tabla 1. Solubilidad del aceite esencial de *E. foetidum* en mezcla alcohólica-agua (37)

Mezcla porcentual [alcohol - agua]	Solubilidad
95 : 5	+
90 : 10	+
80 : 20	+
70 : 30	+
60 : 40	+
50 : 50	-

(+) soluble, (-) menos soluble

Cuando se lleva el alcohol a una disolución con 50% de agua el aceite esencial se enturbia lo que prueba que ese es su límite de solubilidad.

4.1.4. Reacción colorida

La prueba de la reacción colorida dio positivo para aldehídos al manifestar la aparición del color amarillo como fue verificada con el análisis por cromatografía de gases y espectrometría de masas en la que 2 de los 6 compuestos son de estructura aldehídica, el dodecanal y el 2-dodecenal

También demuestra la presencia de ésteres porque dio positivo la prueba con hidroxilamina alcalina que al ser acidula y agregado cloruro férrico apareció un color púrpura.

4.2. Rendimiento del aceite esencial

De 10000 gr de muestra trabajada de *E. foetidum* se obtuvo 10,683 g de aceite esencial que representa un rendimiento de 0,107% (ver anexo 5).

4.3. Cromatograma del aceite esencial de *E. foetidum*

Nos permitió identificar los componentes presentes en el aceite esencial de *E. foetidum*, familia química, nombre del componente, tiempo de retención en minutos y abundancia porcentual de cada componente de la lectura del cromatograma se elaboró la siguiente tabla (ver tabla 2).

Tabla 2. Cromatograma del aceite esencial por GC-MS

Nº	Nombre el compuesto	t _R (min)	Abundancia (%)
1	Dodecanal	25,45	3,29
2	2-Dodecenal	26,99	58,13
3	Desconocido (C ₁₄ H ₂₆ O)	32,29	11,12
4	2,6,10-trimetil-tetradecano	36,16	3,78
5	Nonadecano	40,40	6,86
6	Etil éster del ácido hexadecanoico	45,66	16,82

Tabla 3. Familia química de componentes y tiempo de retención T_R

Nº	Nombre componentes	Familia	Tiempo de retención (t _R min)
1	Dodecanal CH ₃ (CH ₂) ₁₀ CHO	Aldehído saturado	25,45
2	2-dodecenal	Aldehído insaturado	26,99
3	Desconocido (C ₁₄ H ₂₆ O)	Hidrocarburo oxigenado desconocido	32,29
4	2,6,10-trimetil-tetradecano	Hidrocarburo alifático	36,16
5	Nonadecano	Hidrocarburo	40,40
6	Etil éster del ácido hexadecanoico	Alifático Derivado del ácido palmítico (ácido graso)	45,66

La tabla 3 Familia química de componentes del aceite esencial, nos permite señalar que este contiene 2 aldehídos que le imprimen al aceite esencial su olor característico, 2 hidrocarburos alifáticos, un hidrocarburo oxigenado desconocido C₁₄H₂₆O y un éster derivado del ácido palmítico hexadecanoico o palmítico, pero

está exento de sustancias terpenoidales: mono y sesquiterpenos, que le hace cualitativamente diferente a los aceites esenciales con contenido terpenoidal, caso de *Coriander sativa* (culantro) que se le compara *E. foetidum* por cierto parecido en el olor dado probablemente por el 2-dodecanal que ambas plantas contienen.

Tabla 4. Numero de aldehídos constituyentes del aceite esencial de *E. foetidum*

N°	Componente aldehídico	Tiempo de retención	Abundancia (%)
1	Dodecanal	25,45	3,29
2	2-dodecenal	26,99	58,13

De la tabla 4 podemos señalar que el olor del aceite esencial esta dado por la mezcla de los dos compuestos aldehídicos.

Tabla 5. Componentes de mayor abundancia

N°.	Nombre del compuesto	Abundancia %
1	2-Dodecenal	58,13
2	Etil éster del ácido Hexadecanoico	16,82
3	Desconocido (C ₁₄ H ₂₆ O)	11,12

Si observamos la tabla 5, los 2 primeros componentes representan el 74.95%.

El hidrocarburo desconocido (C₁₄H₂₆O) se ubica en el tercer lugar de abundancia

Tabla 6. Volatilidad de los componentes de mayor a menor volatilidad

N°.	Nombre del compuesto	T _R (min)
1	Dodecanal	25,45
2	Etil éster del ácido hexadecanoico o ácido palmítico	45,66

La volatilidad es inversamente proporcional al tiempo de retención, cuanto mayor es la volatilidad menor es el tiempo de retención. Según la tabla 6, el componente más volátil es el dodecanal se separó del aceite esencial en 25,45 minutos, mientras el componente menos volátil es un éster derivado del ácido palmítico (etil éster del ácido hexadecanoico), el ácido palmítico es un ácido graso de estructura

CH₃(CH₂)₁₄COOH, donde el OH del grupo funcional carboxílico a sido reemplazado por un grupo etilo del alcohol dando lugar a un éster que se separa a un tiempo de retención de 45,66 min, por ser de cadena lineal más larga de 16 átomos de carbono, mientras el docenal solo tiene 12 átomos de carbono,

Tabla 7. Hidrocarburos saturados

Nombre del compuesto	Número de átomos de carbono	T _R (min)
Dodecanal	12	25,45
2,6,10 trimetil tetradecano	17	36,16
Nonadecano	19	40,40

La tabla 7 nos muestra la presencia de 3 hidrocarburos saturados, alcanos con 12 átomos de carbono, 17 átomos de carbono y 19 átomos de carbono.

Tabla 8. Hidrocarburos insaturados

Compuesto	Número de átomos	Número de Insaturaciones
2-Dodecenal	12	1

La tabla 8 muestra la presencia de un hidrocarburo alqueno aldehídico el 2-dodecenal

Quimiotipos

Después de observar el cromatograma del aceite esencial de *E. foetidum* de la región Loreto y compararlo con los componentes del aceite esencial de *E. foetidum* del sur de Vietnam estudiado por (13), el aceite esencial de la región Loreto solo coinciden en tener en común el 2-dodecenal, mientras otros componentes que tiene el aceite esencial del sur de Vietnam son: lauraldehído, tetra-13-tetradecenal, ciclododecano y el duraldehído que no está presente en el aceite esencial de la Region Loreto.

El aceite esencial de *E. foetidum* de Nigeria estudiado por (8), solo tiene 2 componentes coincidentes con el aceite esencial de *E. foetidum* de Loreto el 2-dodecenal y el dodecanal, el 2,4,5-trimetilbenzaldehído y el 13-tetradecanal son inexistente en el aceite esencial de la región Loreto, prueba irrefutable de que el

aceite esencial de la región Loreto constituye un nuevo Quimiotipo, que se caracteriza por tener alto contenido de 2-dodecenal que no posee ninguno de los otros aceites esenciales de *E. foetidum* de otras regiones del mundo.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

El rendimiento del aceite esencial de las hojas secas de *E. foetidum* de la amazonia peruana aislada por hidrodestilación fue de 0,107%, este porcentaje difiere con los resultados informados por otros autores para esta especie; *E. foetidum* de Pucallpa tiene un rendimiento promedio de 0,40, 0,42 y 0,49 respectivamente (10). Las hojas frescas de *E. foetidum* de los andes de Venezuela posee 0,083 % de rendimiento (39). El aceite de las hojas secas y raíz de *E. foetidum* que proceden de Port Blair y Nadugani en India tiene 0,12 %, 0,15 % (hoja) y 0,14 % y 0,19 % (raíz) (1). El aceite esencial obtenido de las hojas frescas de *E. foetidum* de Colombia es de 0,2 % (5); de las partes aéreas de *E. foetidum* de dos muestras de Guadalupe en Portugal es de 0,17 y 0,16% respectivamente (40); el rendimiento del aceite esencial de *E. foetidum* del este de Irán por hidrodestilación es de 0,18% y por destilación asistido por microondas 0,23% (41); asimismo, de las inflorescencias, tallos y hojas y raíz de Iberia España son 0,81%, 0,41% y 0,18% respectivamente (42); en *E. foetidum* de Cuba fue de 0,13% (43) y el aceite esencial de *E. foetidum* del este de Nepal es de 0,5% (9).

Se puede observar que el rendimiento de aceite esencial que tiene *E. foetidum* de Pucallpa Perú (10), Iberia España (3) y Nepal (9) son mayores al de la Amazonía peruana, sin embargo *E. foetidum* de India (9), Portugal (16), Irán (41) y cuba (7) tienen rendimientos casi similares pero un poco mayor, pero el de Venezuela (39) tiene un poco menor al de la Amazonía peruana. Estas variaciones pueden estar ligados a varios factores, tales como condiciones climáticas, ubicación geográfica, época de recolección de la muestra, edad de la planta y método de destilación usada (39).

La densidad del aceite esencial de *E. foetidum* de la amazonia peruana es 0,8686 g/ml, los estudios realizados de esta especie por otros autores no informan de esta característica. Sin embargo, en aceites esenciales aisladas de otras especies comunican esta valor, la densidad del aceite esencial de *Schinus Molle* (molle) es 0,862 g/ml, de *Rosmarinus officinalis* L (romero) 0,825 g/ml, de *Salvia officinalis* (salvia) 0,920 g/ml (44); del aceite esencial de *Origanum vulgare*

(orégano) es 0,9234 g/ml (45); en *Minthostachys mollis* (Orégano) otra especie pero del mismo género la densidad es 0,9211 g/ml (46); en *Eucalyptus globulus* es 0,901 g/ml (47) y en *Myrcianthes rhopaloides* (lanche) es 0,9 g/ml (48). Se observa que las densidades de la mayoría de estos aceites esenciales son casi similares están por encima de 0,9 con pequeñas variaciones, lo que sugiere que los componentes arénicos están presentes en ellas, contrariamente a los aceites que no tienen estos componentes cuya densidad es menor a 0,9 como el caso de *Schinus Molle*, de *Rosmarinus officinalis* L, *Salvia officinalis* y *E. foetidum*.

En lo referente al índice de refracción, el aceite esencial de *E. foetidum* tiene 1,456, en otros estudios para esta especie no comunican de esta característica, pero existe información para otras especies como el caso de *Origanum vulgare* (orégano) cuyo índice de refracción es 1,4774 (45); de *Minthostachys mollis* (Orégano) 1,47 (46); de *Eucalyptus globulus* Labill 1,4751 (47) y de *Myrcianthes rhopaloides* (lanche) 1,48 (48). Los índices de refracción de estos aceites son superiores a 1,47 lo que indica que sus densidades también son superiores a 0,9; por lo tanto, deben tener componentes oxigenados aromáticos o alicíclicos, pero el índice de refracción de *E. foetidum* es menor a 1,47 porque tiene un alto porcentaje de compuestos tales como hidrocarburos terpénicos y alifáticos.

El aceite esencial de *E. foetidum* es soluble en una mezcla mayores a 60% etanol-agua, mientras que los aceites esenciales de *Minthostachys mollis* (Orégano) es soluble en etanol al 70% (46), también el aceite de *Eucalyptus globulus* Labill (47) y el aceite de *Myrcianthes rhopaloides* (48). Estos aceites son solubles en una mezcla al 70% de etanol-agua, pero el aceite de *E. foetidum* es soluble en una mezcla de 60% etanol-agua, estos límites de solubilidad de estos aceites puede deberse a los diferentes componentes químicos presentes en cada uno de ellos.

El perfil cromatográfico del aceite esencial de las hojas de *E. foetidum* de nuestro estudio se identificaron 6 componentes: El 2-dodecenal con una abundancia de 58,13%, el éster del ácido hexadecanoico con 16,82%, un hidrocarburo desconocido (C₁₄H₂₆O) con 11,12%, Nonadecano con 6,86%, 2,6,10-trimetil tetradecano 3,78% y dodecanal 3,29%. Mientras que el aceite esencial del Sur de

Vietnam estudiado previamente (12), tiene 13 componentes, y solo el 2-dodecenal es semejante al de nuestro estudio con 57,79% de abundancia, un porcentaje menor en 0,34% al de la Región Loreto, otros componentes significativos que presenta el estudio de Thi tales como lauraldehido 11,53%, 13-tetradecenal 8,99%, ciclododecano 7,22% y duraldehido 5,78% no están presentes en *E. foetidum* de la región Loreto, como no están presentes en el aceite esencial del sur de vietnam, el dodecanal, 2,6,10-trimetiltetradecano, nonadecano y Etil éster del ácido hexadecanoico.

Preliminarmente (8), identificó 34 componentes en el aceite esencial de hojas, tallos y raíces de *E. foetidum* de Nigeria, siendo el más significativo 2-dodecenal con 28,43% de abundancia, seguidos por 13-tetradecenal 27,45%, dodecenal 14,59% y 2,4,5-trimetilbenzaldehido 10,77% en tallos y raíces son menos significativos, pero solo 2 componentes son idénticos al *E. foetidum* de la Amazonía, el 2-dodecenal con 28,43% de abundancia y el dodecanal con 20,21%. El 2-dodecenal de nuestro estudio es superior en 19,70% al que tiene el aceite esencial de *E. foetidum* de Nigeria. Por otro lado, el aceite esencial de *E. foetidum* de Nigeria contiene 2,4,5-trimetilbenzaldehido, 13-tetradecenal, componentes que no posee el aceite esencial de la Región Loreto, pero el de Nigeria no posee 2,6,10-trimetil-tetradecano, nonadecano y etiléster del ácido hexadecanoico.

Antes (4), aisló por hidrodestilación el aceite esencial de las hojas de *E. foetidum* de Bangladesh identificó 63 componentes, siendo los más importantes el 2-dodecenal 37,4% de abundancia, el ácido dodecanoico 10,7%, el trans 2-dodecano 9,7%, el 2-tridecenal 6,7%, duraldehido 5,1%, tetradecanal 4,4%, el único componente idéntico al de nuestro estudio fue el 2-dodecenal, pero con una diferencia de 20,73% de abundancia inferior al de nuestro estudio. Se observa que los componentes ácidos dodecanoico, ácido trans-2-dodecanoico, duraldehido y tetradecanal no son componentes del aceite esencial de *E. foetidum* de la Región Loreto, por otra parte, el dodecanal, el 2,6,10-trimetil-tetradecano, nonadecano y el etil éster del ácido hexadecanoico no están presentes en el aceite esencial de *E. foetidum* de Bangladesh.

previamente (16) identificó 34 componentes en las dos muestras de aceite esencial de hojas de *E. foetidum* de Guadalupe y Bom Jesús Portugal, en el aceite esencial de Guadalupe los componentes principales son: 2,3,6-trimetilbenzaldehído 23,7%, (E)-2-dodecenal 15,9% y (E)-2-tetradecenal 18,7%, pero en el aceite esencial de Bom Jesús son: (E)-2-dodecenal 37,5%, (E)-2-tetradecenal 25,3%, dodecanal 9,8% y 2,3,6-trimethylbenzaldehyde 5,5%, se observa que los componentes mayoritarios difieren en cuanto a su abundancia en ambas muestras. Pero en el aceite esencial de *E. Foetidum* de la región Loreto solo un componente es idéntico, el 2-dodecenal, pero con una abundancia 58,13% mayor al de las dos muestras de *E. foetidum* de Portugal, mientras que el 2,3,6-trimetilbenzaldehído, (E)-2-tetradecenal son inexistentes en el aceite esencial de la Región Loreto, contrariamente el dodecanal, 2,6,10-trimetiltetradecano, nonadecano y etil éster del ácido hexadecanoico son inexistentes en el aceite esencial de Portugal.

En el aceite esencial de las hojas de *E. foetidum* de Colombia, preliminarmente (5) identificó 18 componentes los más significativos fueron el 2-dodecen-1-al 43,96%, 5-dodecano 30,15%, y tetradecenal 5,28%, pero ninguno de estos componentes está presente en el aceite esencial de *E. foetidum* de la Región Loreto.

En el aceite esencial de las hojas de *E.foetidum* de selva alta, anteriormente (11) identificó 22 componentes, siendo los más importantes: p-cimeno, 1-undecano, decanal, 1-decanol, 2,6,10-trimetiltetradecano, undecanal, 2,4,6-trimetilfenol, 2,4,5-trimetilbenzaldehído, ácido caprico dodecanal, trans-2-undecen-1-ol, 2-dodecenal, ácido 2,4,6-trimetilbenzoico, nonadecano, ácido láurico, tetradecanal, ácido lenoleico, ácido nurístico, 1-nonadeceno, ácido palmítico y ácido oleico, 3 de estos componentes son semejantes al de nuestro estudio, el dodecanal, el 2-dodecenal y el nonadecano, los demás son diferentes, hay que advertir que presenta ácidos grasos como ácido linoleico, ácido mirístico, ácido palmítico y ácido oleico donde el ácido linoleico es un ácido graso insaturado omega 6, el mirístico ácido graso saturado, el palmítico ácido graso saturado y el ácido oleico ácido graso monoinsaturado omega 9. En el aceite esencial de *E. foetidum* de nuestro estudio solo está presente el ácido palmítico o hexadecanoico pero en

forma esterificada como etil éster del ácido hexadecanoico que demuestra que se dió una síntesis quimioenzimático que resulta más importante que el ácido palmítico que está presente como éster y no meramente como ácido graso, de esta forma tendría más valor en la industria de las margarinas, pasteles y bollería, etc., por ser menos oxidable, es un buen aceite saborizante si es usado en niveles adecuados para su ingesta, porque en el futuro será más usado como biodiesel.

Es necesario señalar que los componentes del aceite esencial del *E. foetidum* de nuestro estudio no contienen terpenoides mono (C_{10}) tampoco sesquiterpenos (C_{15}), su olor *sui-generis* se debe a sus 2 aldehídos: Dodecanal y 2-dodecenal monoinsaturados, ambos poseen 2 átomos de carbono y probablemente se formaron a partir de la oxidación del dodecanal y del 2-dodecenal de modo que rompen el criterio común de que los aceites esenciales se forman vía los mevalonatos o vía los Shikimatos o que hay sustancias odoríferas que proceden de los hidrocarburos. Son los aldehídos de *E. foetidum* sustancias que disponen de un grupo funcional formilo (CHO) que le da el olor *sui-generis*, por eso el olor característico del aceite de *E. foetidum* es casi semejante al olor del *Coriander sativum* (culantro) que también posee estos 2 componentes: Dodecanal y 2-dodecenal activos contra microbios (bacterias y hongos) resistente a los antibióticos (18,49).

El 2,6,10-trimetiltetradecano se usa como cosmético. El nonadecano es un alcano de cadena lineal usado como agente de fragancia en cosméticos y perfumes, se aisló de *Artemisia armenica* por primera vez (50).

Solo en el aceite esencial de *E. foetidum* previamente (11) se ha encontrado un hidrocarburo aromático el p-cimeno, no encontrado en los estudios de *E. foetidum* de ninguno de los aceites esenciales de los autores ya citados tampoco en nuestro estudio por lo que se puede señalar que se ha sintetizado por la vía de los Shikimatos presente en tomillo y comino. A través del análisis de GC-MS de los estudios realizados con *E. foetidum* por los autores citados podemos señalar que *E. foetidum* de nuestro estudio por tener componentes no conocidos en los estudios tales como nonadecano, 2,6,10-trimetiltetradecano y etil éster del ácido hexadecanoico y algunos similares, como el 2-dodecenal y el dodecanal en el

estudio a priori (11), podemos afirmar que *E. foetidum* de la Región Loreto constituye una nueva raza química o quimiotipo lo que advierte que los suelos de selva baja son generalmente ácidos, permiten que el metabolito secundario de mayor prevalescencia en *E. foetidum* es el (E)-2-dodecenal que es más abundante que en todas las otras plantas de *E. foetidum* existentes en otros países del mundo dado que alcanza una abundancia muy alta de 58,13% que le da inmejorables condiciones para ser potencialmente usado en el campo farmacológico como agente antimicrobiano (bacterias y hongos) que hacen resistencia a los antibióticos de síntesis.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

El rendimiento de aceite esencial que tiene *E. foetidum* de la región Loreto es menor al de las especies que crecen en otros lugares del mundo, por estar presentes aldehídos, hidrocarburos alifáticos y derivados de ácidos grasos su densidad es menor a 0,9, es soluble en una mezcla de alcohol agua mayor a 60% y por contener sustancias aldehídicas la prueba de reacción colorida dio positivo para estas sustancias, pero también fue positivo para esterés.

En el aceite esencial de *E. foetidum* de la Región Loreto se encontró 6 componentes, pero contiene una alta abundancia porcentual de (E)-2-dodecenal 58,13% que junto al otro aldehído el Dodecanal le conceden el olor *sui-generis* al aceite esencial que tal como hemos señalado en la introducción, le dan al aceite esencial de esta planta un olor y sabor grato que se utiliza en sabores y fragancias para crear notas cítricas como naranjamandarina, sustancia que está presente en *C. sativum* en menor cantidad, pero además estos 2 aldehídos tiene un importante rol como antihelmínticos y como agentes antibacteriales de probado actividad contra enfermedades antibacteriales y antifúngicas resistentes a los antibióticos de síntesis, de modo que su mayor aplicación y ventaja comparativa no solo está como componente saborizante de la culinaria Loretana sino fundamentalmente en su potencial aplicación en la industria farmacéutica, sin desconocer que el contenido de etil-éster del ácido palmítico también es de gran utilidad como agente saborizante en panificación y repostería.

El 2,6,10-trimetil-tetradecano se usa como cosmético, pero es poco significativo ya que su abundancia porcentual es de 3,78%.

El análisis de los estudios realizados con la misma planta en otras partes del mundo muestra que los componentes varían por el suelo, clima, factores hidrográficos y geomorfológicos, lo que hace que cada uno de estas plantas no tengan sino pocos componentes similares, siendo la mayoría diferentes, por esta razón *E. foetidum* de la Amazonia baja representa una nueva raza química al que denominaremos quimiotipo de la selva peruana y por la alta presencia de (E)-2-dodecenal su uso en la culinaria amazónica y que su aplicación como componente de sabores y fragancias en perfumería y en cosmética debería

extenderse con mayor preferencia que el del *Coriander sativo* (culantro), ambas de la familia Apiaceae.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

Propender su cultivo y domesticación por parte de los agricultores amazónicos en forma generalizada para obtener el aceite esencial para uso Fitoterapéutico y su presentación en frascos goteros para su uso como saborizante en la culinaria loreтана, lo que impone su necesaria industrialización y apertura de un mercado con mayor oferta y una amplia demanda.

Incorporar esta planta en el jardín botánico de la Facultad de Farmacia y Bioquímica para que sirva no solo como ejemplar de referencia de estudios botánicos, sino, como planta de semillacion para ampliar su cultivo a mayor escala.

CAPITULO VIII: REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Chandrika R, Thara Saraswathi KJ, Mallavarapu GR. Constituents of the essential oils of the leaf and root of *Eryngium foetidum* L. from two locations in India. *J Essent Oil-Bearing Plants*. 2015;18(2):349–58.
2. Masada Y. Analysis of essential oils by gas chromatography and mass spectrometry. New York: New York (N.Y.): Wiley; 1976. 334 p.
3. Agrawal PK. Essential oil composition of the different parts of *Eryngium aquifolium* from Spain. *Nat Prod Commun*. 2010;5(5):817–21.
4. Chowdhury JU, Nandi NC, Yusuf M. Chemical constituents of essential oil of the leaves of *Eryngium foetidum* from Bangladesh. *Bangladesh J Sci Ind Res*. 2007;42(3):347–52.
5. Jaramillo BE, Duarte E, Martelo I. Volatile chemical composition of the essential oil from Colombian *Eryngium foetidum* L. and determination of its antioxidant activity. *Rev Cuba Plantas Med*. 2011;16(2):140–50.
6. Leclercq PA, Duñg NX, Lô VN, Toanh NV. Composition of the essential oil of *Eryngium foetidum* L. From Vietnam. *J Essent Oil Res*. 1992;4(4):423–4.
7. Pino JA, Rosado A, Fuentes V. Chemical composition of the seed oil of *eryngium foetidum* L. from Cuba. *J Essent Oil Res*. 1997;9(1):123–4.
8. Thomas PS, Essien EE, Ntuk SJ, Choudhary MI. *Eryngium foetidum* L. essential oils: Chemical composition and antioxidant capacity. *Medicines*. 2017;4(24):1–7.
9. Thakuri BC, Chanotiya CS, Padalia RC, Mathela CS. Leaf essential oil of *eryngium foetidum* L. from far Western Nepal. *J Essent Oil-Bearing Plants*. 2006;9(3):251–6.
10. Banout J, Havlik J, Kulik M, Kloucek P, Lojka B, Valterova I. Effect of solar drying on the composition of essential oil of *sacha culantro* (*Eryngium foetidum* L.) grown in the peruvian amazon. *J Food Process Eng*. 2010;33(1):83–103.
11. Rodríguez Lichtenheldt JEA. Estructura química y actividad antioxidante in

- vitro del aceite esencial de *Eryngium foetidum* L. “Siuca culantro”. Universidad nacional mayor de san marcos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2014.
12. Thi NDT, Anh TH, Thach LN. The essential oil composition of *Eryngium foetidum* L. in South Vietnam extracted by hydrodistillation under conventional heating and microwave irradiation. *J Essent Oil-Bearing Plants*. 2008;11(2):154–61.
 13. Paul JHA, Seaforth CE, Tikasingh T. *Eryngium foetidum* L.: A review. *Fitoterapia* [Internet]. 2011;82(3):302–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fitote.2010.11.010>
 14. Dominguez XA. Métodos de investigación fitoquímica. Primera Ed. Mexico: Limusa; 1979. 281 p.
 15. Palá-Paúl J, Usano-Aleman J, Soria AC, Pérez-Alonso MJ, Brophy JJ. Essential oil composition of *Eryngium campestre* L. growing in different soil types. A preliminary study. *Nat Prod Commun*. 2008;3(7):1121–6.
 16. Martins AP, Salgueiro LR, Da Cunha AP, Vila R, Cañigueral S, Tomi F, et al. Essential oil composition of *eryngium foetidum* from S. Tomé e Príncipe. *J Essent Oil Res*. 2003;15(2):93–5.
 17. Cronquist AJ. *The Evolution of and Classification of flowering Plant*. Garden TNYBU, editor. New York; 1988.
 18. National Center for Taxonomy information P. National Institutes of Health-USA. Stevens et al. 2001.
 19. Leitão D do STC, Siqueira FC, de Sousa SHB, Mercadante AZ, Chisté RC, Lopes AS. Amazonian *Eryngium foetidum* leaves exhibited very high contents of bioactive compounds and high singlet oxygen quenching capacity. *Int J Food Prop*. 2020;23(1):1452–64.
 20. Singh BK, Ramakrishna Y, Ngachan S V. Spiny coriander (*Eryngium foetidum* L.): A commonly used, neglected spicing-culinary herb of Mizoram, India. *Genet Resour Crop Evol*. 2014;61(6):1085–90.
 21. Laszlo P, Rivière S. *PERFUME: ARTE Y CIENCIA*. OMEGA, editor.

- Barcelona España; 2001.
22. Pybus DH, Sell CS. The Chemistry of Fragrances. Third Edit. RSC Paperbacks. UK: The Royal Society of Chemistry; 2006. 297 p.
 23. Alberto Marco J. Química de los productos naturales. S.A S, editor. Madrid - España; 2006. 288 p.
 24. Bruneton J. Elementos de Fitoquímica y Farmacognosia. Primera Ed. Documentation-Lavoiser T et, editor. Zaragoza - España: Editorial Acribia S.A; 1991. 593 p.
 25. Vasquez Coral M, Flores Amau IS, Jara Herrera C (Asesor). Caracterización fisicoquímica y cromatográfica del aceite esencial de hojas de Lantana camara L. Universidad Nacional de la Amzonía Peruna; 2021.
 26. Farrington D, Alberty RA. Fisicoquímica. Tercera Ed. México: Continental; 1979.
 27. West RCJ, Beyer W. Handbook of Chemistry and Physics. USA: Editorial CRC- Press; 1988. F-10.
 28. Shriner RL, Fuson R c., Curtin DY. Identificación sistemática de compuestos orgánicos [Internet]. Tercera Ed. Mexico: Editorial Limusa; 1977. 440 p. Available from: https://books.google.com/books/about/Identificación_sistemática_de_compuest.html?hl=es&id=fwoEPQAACAAJ
 29. Sánchez Guerra SR, Arce Pacaya LA, Jara Herrera C (Asesor). Caracterización fisicoquímica y cromatográfica de la espina de Croton cuneatus Klotzch (pumasacha) [Internet]. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana; 2022. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>
 30. Willard HH, Merritt Jr LL, Dean JA. Métodos instrumentales de análisis. Octava imp. México: Compañía Editorial Continental S. A.; 1976.
 31. Rodríguez Bazán L del P, Hidalgo Sánchez AJ, Jara Herrera C (Asesor). Obtención del aceite esencial de las hojas de Aristolochia sylvatica, determinación de sus constituyentes químicos por cromatografía de gases

- de alta resolución–espectrometría de masas. Iquitos, 2019. Universidad Nacional de la Amazon+ia Peruana; 2019.
32. Pezo Bardales DR, Guerra Tananta JL, (Asesor) JH. Caracterización fisicoquímica y cromatográfica del aceite esencial de hojas de *Croton trinitatis* Millsp. Universidad Nacional de la Amzonía Peruana; 2021.
 33. Aguilar F. E, Bonilla R. P. Actividad antioxidante e inmunológica de flavonoides aislados de hojas de *Smallanthus son-chifolius* (yacón). *Cienc Invest.* 2009;12(1):15–23.
 34. Stashenko EE, Martínez JR. Algunos aspectos prácticos para la identificación de analitos por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. *Sci Chromatogr [Internet]*. 2010;2(1):29–47. Available from: <http://www.iicweb.org/scientiachromatographica.com/files/v2n1a3.pdf>
 35. Cachi Ríos SLu, Góngorra Flores R, Jara Herrera C (Asesor). Caracterización fisicoquímica y cromatográfica del aceite esencial de hojas de *Tagetes erecta* L. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana; 2021.
 36. Gutiérrez MC, Droguet M. La cromatografía de gases y la espectrometría de masas: Identificación de compuestos causantes de mal olor. *Bol Intexter del Inst Investig Text y Coop Ind.* 2002;(122):35–41.
 37. Jara Souza EA, Vela Villena J, Jara Herrera C (Asesor). Caracterización fisicoquímica y cromatográfica del aceite esencial de *Xylopia micans* R.E. Fries. Universidad Nacional de la Amzonía Peruana; 2021.
 38. Dominguez X. *Métodos de investigación Fitoquímico*. Primera Ed. México: Editorial. Limusa; 1979. 212, 226 p.
 39. Cardozo E, Rubio M, Rojas LB, Usubillaga A. Composition of the essential oil from the leaves of *eryngium foetidum* L. From the venezuelan andes. *J Essent Oil Res.* 2004;16(1):33–4.
 40. Martins AP, Salgueiro LR, Da Cunha AP, Vila R, Cañigueral S, Tomi F, et al. Essential oil composition of *Eryngium foetidum* from S. Tomé e Príncipe. *J Essent Oil Res.* 2003;15(2):93–5.

41. Mohammadhosseini M, Mahdavi B, Akhlaghi H. Characterization and chemical composition of the volatile oils from aerial parts of *Eryngium bungei* Bioss. (Apiaceae) by using traditional hydrodistillation, microwave assisted hydrodistillation and head space solid phase microextraction methods prior to . J Essent Oil-Bearing Plants. 2013;16(5):613–23.
42. Palá-Paúl J, Usano-Alemaný J, Brophy JJ, Pérez-Alonso MJ, Soria AC. Essential oil composition of the different Parts of *Eryngium aquifolium* from Spain. Nat Prod Commun. 2010;5(5):817–21.
43. Pino JA, Rosado A, Fuentes V. Chemical composition of the seed oil of *Eryngium foetidum* L. from Cuba. J Essent Oil Res. 1997;9(1):123–4.
44. Padilla C, Solíz G. Estudio Técnico-experimental de aceites esenciales (romero, salvia y molle) en el tratamiento de problemas óseos musculares. Ciencias la Salud [Internet]. 2014;1(26):350–6. Available from: [http://www.usfx.bo/nueva/Dicyt/Handbooks/Ciencias Tecnol%F3gicas y Agrarias_2/Ciencias Tecnol%F3gicas y Agrarias_Handbook_Vol II/PAPERS_25/art9.pdf](http://www.usfx.bo/nueva/Dicyt/Handbooks/Ciencias_Tecnol%F3gicas_y_Agrarias_2/Ciencias_Tecnol%F3gicas_y_Agrarias_Handbook_Vol_II/PAPERS_25/art9.pdf)
45. Albado Plaus E, Saez Flores G, Grabiél Ataucusi S. Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial del *Origanum vulgare* (orégano). Rev Medica Hered. 2001;12(1):16–9.
46. Torrenegra ME, Granados C, Osorio MR, León G. Comparación de la hidrodestilación asistida por radiación de microondas (MWHD) con hidrodestilación convencional (HD) en la extracción de aceite esencial de *Minthostachys mollis*. Inf Technol. 2015;26(1):117–22.
47. Torrenegra Alarcon ME, Granados Conde C, León Méndez G. Extracción, caracterización y actividad antioxidante del aceite esencial de *Eucalyptus globulus* Labill. Rev Cuba Farm. 2019;52(1).
48. Fontenla Razzetto G. Caracterización del aceite esencial de “Lanche” (*Myrcianthes rhopaloides* (H.B.K) Mc Vaugh) provenientes del distrito de Chalaco, provincia de Morropón-Piura, obtenido por dos métodos de destilación. [Internet]. Tesis de Grado. Universidad Nacional Agraria la Molina; 2006. Available from:

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/430/F40-F7-T.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

49. National Center for Biotechnology Information P. PubChem Compound Summary for CID 5283361. 2-Dodecenal. 2022.
50. National Center for Biotechnology information P. PubChem Compound Summary for CID 12401. Nonadecane. 2022.

ANEXOS

ANEXO N°. 1. Identificación botánica de la planta



UNAP

Centro de Investigación de
Recursos Naturales
Herbarium Amazonense — AMAZ

INSTITUCIÓN CIENTÍFICA NACIONAL DEPOSITARIA DE MATERIAL BIOLÓGICO
CÓDIGO DE AUTORIZACIÓN AUT-ICND-2017-005

CONSTANCIA n.º 42-2022 AMAZ-UNAP

El Coordinador del Herbarium Amazonense (AMAZ) del CIRNA, de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana

HACE CONSTAR:

Que, la muestra botánica presentada por **APELES PERICKLES TEOKLIO CANAYO TELLO** y **FIGURELLA DEL ROCÍO RAMIREZ REÁTEGUI** bachilleres de la **Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica** de la **Facultad de Farmacia y Bioquímica** de la **Universidad Nacional de la Amazonia Peruana** pertenece al proyecto de tesis de pre grado titulado **“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICO Y CROMATOGRÁFICA DEL ACEITE ESENCIAL DE LAS HOJAS DE *Eryngium foetidum* L. (sacha culantro).”**; ha sido **DETERMINADA** en este centro de investigación y enseñanza **Herbarium Amazonense-AMAZ-CIRNA-UNAP** como se indica a continuación:

N°	FAMILIA	ESPECIE	AUTOR	NOMBRE COMÚN
01	APIACEAE	<i>Eryngium foetidum</i>	L.	“sacha culantro”

Determinador: Ing. Juan Celidonio Ruiz Macedo

A los veinticinco días del mes de octubre del año dos mil veintidós, se expide la presente constancia a los interesados para los fines que se estime conveniente.

Atentamente,


Richard J. Huaranca Acostupa
Coordinador Herbarium Amazonense
CIRNA - UNAP



ANEXO N°. 2. Resultado del análisis por GC-MS



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN PRODUCTOS NATURALES

Informe de resultados

Solicitante: Ing. Julio Arce, UNAP
Muestra: 1 muestra de aceite esencial con código: "E5-FR-UNAP".
Análisis: Composición química (compuestos volátiles y semivolátiles) de 1 aceite esencial por Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.
Fecha de entrega de Resultados: 5 agosto 2021

RESULTADOS

En las páginas 2 a 3 del presente informe.

Atentamente,

Dra. Rosario Rojas Durán

Unidad de Investigación en Productos Naturales

LID-Laboratorio 209

e-mail: rosario.rojas@upch.pe

<https://investigacion.cayetano.edu.pe/catalogo/productosnaturales/uiipn>

Teléfono: 51-1-3190000 Anexo 233227

Página 1 de 3

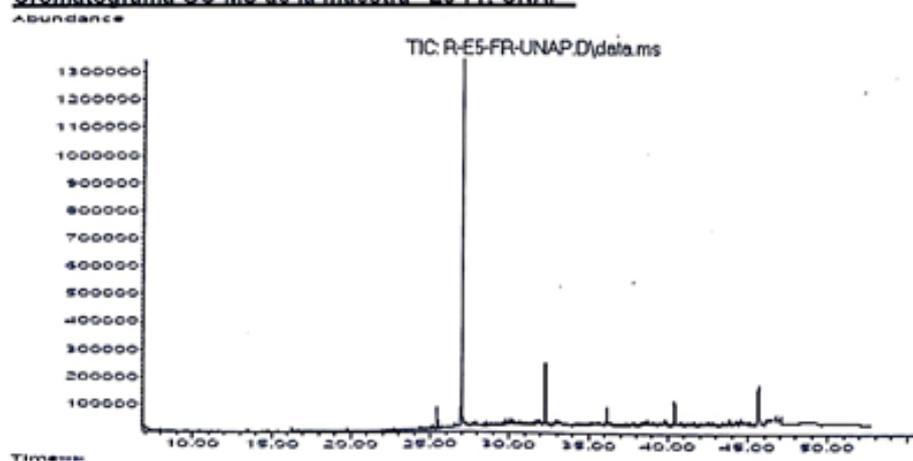
Av. Honorio Delgado 430, Lima 31 / Apartado Postal 4314
Central Telefónica: (511) 319-0000 2402 Secretaría Académica de
Facultad de Ciencias y Filosofía Alberto Cazorla Talleri

MUESTRA "E5-FR-UNAP"

Se detectaron 6 compuestos que comprenden el 100% de la composición total de compuestos volátiles presentes en la muestra.

Número	Nombre del compuesto (NIST08.L)	t _R (min)	% en la muestra (áreas relativas)
1	Dodecanal	25.45	3.29
2	2-Dodecenal	26.99	58.13
3	Desconocido (C ₁₄ H ₂₆ O)	32.29	11.12
4	2,6,10-trimetil-tetradecano	36.16	3.78
5	Nonadecano	40.40	6.86
6	Etil éster del ácido hexadecanoico	45.66	16.82

Cromatograma GC-MS de la muestra "E5-FR-UNAP"



Condiciones cromatográficas para la muestra:

Equipo: Cromatógrafo de gases Agilent Technologies 7890A con detector espectrómetro de masas Agilent Technologies 5975C.

Columna: J&W 122-1545.67659 DB-5ms, 325 °C: 60 m x 250 µm x 0.25 µm

Rampa de temperatura: Empieza en 50 °C y sube a 5 °C/min hasta 180 °C; 4 °C/min hasta 200 °C manteniéndose por 15 min y finalmente 20 °C/min hasta 300 °C por 5 min.

Tiempo de corrida: 56 min

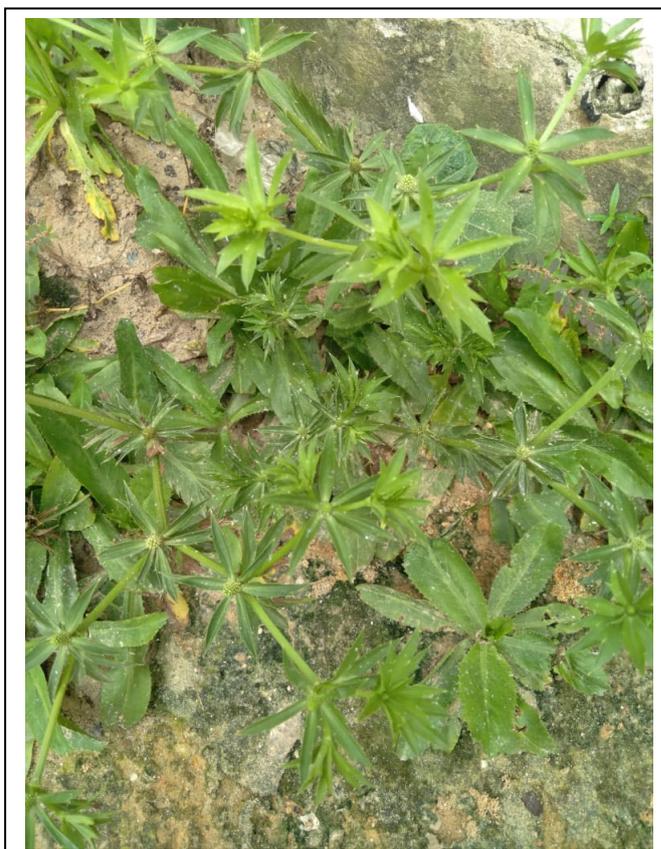
Volumen de Inyección: 1 µL

Split: 20:1

Gas portador: He, 1 mL/min

Muestra: se tomó 20 µL de la muestra y se diluyó en 1 mL de diclorometano. Se inyectó 1 µL de la solución al equipo.

ANEXO 3. fotografía de la planta antes de la floración y en floración



ANEXO 4. Cálculo para hallar la densidad del aceite de *E. foetidum*

Peso del picnómetro de Weld vacío: 24, 415 g (I)

Se lleno el picnómetro con agua destilada libre de gas y se pesó

Peso de picnómetro más agua destilada: 30,2585 g (II)

Se sustrajo a (II) el valor de (I) para obtener la masa de agua.

$$II - I \rightarrow 30,2585 - 24,415 = 5,8432 \text{ g}$$

Para los cálculos se aplicó la formula siguiente

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (A)}$$

Los valores considerados son: la masa del agua: 5,8432 g.

Densidad de agua a 30°C es 0,99567 g/cm³; tomado de (27)

Con la expresión (A) calculamos el volumen

Despojando de (A) el volumen del agua que es a su vez volumen del picnómetro y volumen que servirá para el cálculo de la densidad del aceite esencial.

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow v = \frac{m}{\rho} = \frac{5,8432}{0,99567} = 5,8686 \text{ cm}^3 \text{ o } 5,8686 \text{ ml}$$

Para el cálculo de la densidad del aceite esencial seguimos el procedimiento siguiente.

Peso del picnómetro vacío + peso del aceite esencial = 29,5120 g (III)

Se sustrae a (III) el valor de (I) para obtener el peso o masa de aceite esencial.

$$\text{masa del aceite esencial} = 29,5120 - 24,4153 = 5,0967 \text{ g}$$

Con los valores obtenidos podemos calcular la densidad del aceite esencial, aplicando la siguiente expresión.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{5,0967 \text{ g}}{5,8686 \text{ cm}^3} = 0,8685 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Resultó que la densidad del aceite esencial de *E. foetidum* es 0,8685 g/cm³

Anexo 5. Cálculo del rendimiento del aceite esencial

Volumen del aceite esencial obtenido por hidrodestilación es 12,3 cm³

Densidad del aceite esencial 0,8686 g/cm³

Con estos datos se calcula la masa del aceite obtenido

$$m = \rho \cdot V \rightarrow m = 0,8686 \cdot 12,3 = 10,683g$$

Para hallar el rendimiento del aceite esencial se aplica la siguiente relación

$$\%Rendimiento = \frac{\text{Peso del aceite esencial} \times 100}{\text{Peso materia prima}}$$

$$\%Rendimiento = \frac{10,683 \text{ g} \times 100}{10000 \text{ g}} = \frac{1068,3 \text{ g}}{10000 \text{ g}} = 0,107\%$$

Las hojas de *E. foetidum* dan un rendimiento de 0,107% de aceite esencial.