



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE FARMACIA Y BIOANÁLISIS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
“Dr. Alfredo Nicolás Usubillaga del Hierro”



ACTIVIDAD FOTOPROTECTORA DE LOS EXTRACTOS DE
Foeniculum vulgare

www.bdigital.ula.ve

Tesistas:

María De Los Ángeles Cobos Rangel

C.I. V- 24.783.901

Azarel Yeziel Chacón Borrero

C.I. V- 25.004.190

Tutor:

Profa. Ysbelia M. Obregón D.

Mérida, Julio de 2024

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por darme salud, entendimiento, por animarme cada día para alcanzar el sueño tan importante de ser una profesional.

A mi Madre Adissargelia por sus sabias palabras, por su apoyo, amor y comprensión, por ser pilar fundamental en esta formación.

A mí Padre Jesús por su amor, por siempre darme ese impulso de nunca rendirme y superarme para ser día a día una gran mujer.

A mí Esposo Daniel por su paciencia, tiempo, amor, por cada sonrisa, cada momento de estudio a mi lado, por tu optimismo; tu apoyo incondicional hoy día me ha llevado poco a poco a cumplir mi meta.

A mí hermano Jesús Alejandro porque en cada instante de mi vida ha sido ese soporte que está allí para levantarme, animarme, cuidarme y estar para mí. Mi hermana Yeziel por llenarme de alegría con sus ocurrencias, por ser tan especial y estar siempre presente.

A mí cuñada María José por su cariño, amor y brindarme su entusiasmo para seguir con mi propósito.

A mis Suegros el Sr Daniel y la Sra. flor por su palabra de aliento, de ánimo y optimismo para cumplir mi meta.

A mí Familia Silvanitos por enseñarme que los límites los pones Tú.

A mis Padrinos Leonardo y Carolina por ser esos segundos padres por su apoyo incondicional en cada paso de mi vida.

A los demás familiares, que han estado presentes, apoyándome y dando su mejor palabra de amor.

A todos mis compañeros y amigos, especialmente Fátima, Gabriela Valero, Pedro, Ronald, Génesis, que sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas. Mi hermana de Universidad Nazareth, por su apoyo, su cariño, su paciencia y por convertirse en mi familia.

A mí amiga Karen que se convirtió en mi comadre, por tu apoyo, tu cariño y esos días de estudios y por brindarme tan hermosa amistad.

A mí compañera de tesis María de los Ángeles por ser un ser humano ejemplar, con una calidad humana que pocos tienen hoy día, se que Dios tiene cosas increíbles para ti, gracias por tu apoyo y por permitirme compartir este logro contigo.

A todos ellos les dedico este trabajo de grado, por estar a mi lado durante estos años, apoyánme; y que de alguna u otra manera contribuyeron en su realización.

Azarel Chacón B.

DEDICATORIA

A Dios padre y creador, por permitir que alcanzara mi meta profesional.

A mis padres Iván Cobos y Herminda Rangel, a mi hermano Ángel Cobos, por ser los principales pilares en mi vida.

A mi mejor amigo y compañero de vida Yeison Vera, quien lo ha dado todo para que este momento fuera posible.

María Cobos R.

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTO

Principalmente, a Dios todopoderoso, por ser el principal guía y formador a lo largo de esta carrera y por permitirme llegar hasta donde estoy.

A la ilustre Universidad de los Andes, por abrirme sus puertas y permitir mi formación como Licenciada en Bioanálisis.

A los profesores que forman parte de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis, quienes nos impartieron sus conocimientos de forma desinteresada y nos han formado como profesionales; especialmente a las Profesoras Clara Díaz, Rima Bahsas y Sarai Duarte, pues con su amor y dedicación nos enseñaron amar aun mas nuestra carrera y dar lo mejor de nosotros para ser grandes profesionales y ser humano.

A mí Tutora, la profesora Ysbelia Obregón , por haberme brindado la oportunidad de ser mi guía, conductora, llenarme de sus conocimiento para la realización de tan hermoso trabajo de grado. Y por su tiempo, apoyo, cariño y comprensión sin esperar nada a cambio.

A las profesoras Alida Pérez, Rosa Aparicio y Diolimar Buitrago por enseñarme con tanta pasión lo que ustedes tanto aman, por guiarme y así poder cumplir es meta propuesta.

Al Instituto de Investigaciones de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis Dr. Alfredo Nicolás Usubillaga del Hierro de la ULA Mérida-Venezuela por su apoyo, colaboración y aporte para la realización de este trabajo de grado.

A mis Padres, Esposo, Hermanos, familiares, amigos y demás seres especiales, que con sus consejos me llenaron de sabiduría y optimismo para alcanzar mi propósito.

Azare! Chacón B.

AGRADECIMIENTO

A Dios por siempre estar presente en mi camino e iluminarme en todo momento, El Ser más hermoso en mi vida, mi fortaleza y mi guía, el que jamás me ha abandonado.

A mis Padres Iván Cobos y Herminda Rangel, a mi hermano Ángel Cobos a quienes agradeceré infinitamente por confiar en mis capacidades y apoyarme incondicionalmente, quienes de manera indirecta también vivieron la travesía de mi carrera, a ustedes que hicieron y hacen siempre lo todo posible por mí, por sus acciones sin descanso y sus reconfortantes palabras llenas de ánimo.

A mi compañero de vida Yeison Vera, por sus palabras, amor y paciencia, quien me motivó y se esforzó para que siguiera adelante, este logro también es tuyo.

A la ilustre Universidad de Los Andes, en especial a la Facultad de Farmacia y Bioanálisis en conjunto a todo su personal, docente, administrativo y obrero, por conformar mi casa de estudios, donde aprendí todo lo necesario para formarme como profesional.

A todos los profesores que tuve a lo largo de la carrera por su dedicación, entrega y formar parte de mi aprendizaje, así mismo a mi tutora la Dra. Ysbelia Obregón, miembros del jurado las Dras. Alida Pérez y Diolimar Buitrago, y la Dra. Rosa Aparicio quien estuvo presente durante el desarrollo experimental del proyecto.

A mis verdaderos amigos y algunos compañeros de clases que siempre me apoyaron y colaboraron durante toda la carrera cada vez que los necesité.

A la ciudad de Mérida, por tener la oportunidad de conocer y compartir con personas maravillosas que hicieron de esta ciudad mi hogar durante la carrera, quienes también me apoyaron a través de este camino e hicieron de mis días más livianos y alegres, que además me tomaron como parte de su familia brindándome grandes momentos de solidaridad, con quienes quedo enormemente agradecida, especialmente a Silenia Da Mata, Julio Criollo, Consuelo Rojas y Alicia Rojas.

María Cobos R.

www.bdigital.ula.ve

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ESQUEMAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. EL PROBLEMA	4
Planteamiento del Problema	4
Justificación e Importancia de la Investigación	5
Objetivos de la Investigación	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
Alcances y Limitaciones de la Investigación	8
Alcances de la Investigación	8
Limitaciones de la Investigación	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	9
Trabajos Previos	9
Antecedentes Históricos y Epistemológicos	11
Bases Teóricas	14
Productos Naturales	14
Extractos Vegetales	20
Análisis Fitoquímico Preliminar	27
Cuantificación de Fenoles	33

ÍNDICE DE CONTENIDO (CONTINUACIÓN)

	Pág.
Cuantificación de Flavonoides	34
Familia Apiaceae	35
Distribución geográfica	35
Aspectos botánicos	36
Compuestos químicos o metabolitos secundarios aislados	37
Usos etnobotánicos	39
Actividad biológica	40
Género <i>Foeniculum</i>	40
Distribución geográfica	40
Descripción botánica	40
Especies del género	41
Compuestos químicos o metabolitos secundarios aislados	41
<i>Foeniculum vulgare</i>	42
Origen del <i>Foeniculum vulgare</i>	42
Distribución geográfica	43
Descripción botánica	44
Compuestos químicos o metabolitos secundarios aislados	45
Usos etnobotánicos	55
Actividad biológica	57
Radiación Solar	61
La Piel	63
Protector Solar	69
Actividad Fotoprotectora	74
Definición Operacional de Términos	77
Operacionalización de las Variables	78

ÍNDICE DE CONTENIDO (CONTINUACIÓN)

	Pág.
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO	82
Tipo de Investigación	82
Diseño de Investigación	82
Población y Muestra	83
Sistema de Variables	83
Instrumentos de Recolección de Datos	84
Procedimientos de la Investigación	84
Diseño de Análisis	95
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	96
Resultados	96
Obtención de Extracto	96
Tamizaje Fitoquímico	96
Cuantificación de Fenoles Totales	101
Cuantificación de Flavonoides Totales	102
Factor de Protección Solar	104
Discusión	106
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
Conclusiones	110
Recomendaciones	111
REFERENCIAS BIBLIOHEMEROGRÁFICAS	112

ÍNDICE DE FIGURAS

N°		Pág.
1	Estructuras básicas de metabolitos secundarios	19
2	Ensayo de cloruro férrico	28
3	Ensayo de Shinoda	30
4	Característica estructural de las saponinas	32
5	Fundamento químico de la reacción de Borntrager	32
6	Estructuras químicas de varios metabolitos presentes en la familia Apiaceae	38
7	Especie <i>Foeniculum vulgare</i> Mill	45
8	Estructura química de los componentes mayoritarios aislados del aceite esencial de <i>Foeniculum vulgare</i>	49
9	Estructuras químicas de fenoles y flavonoides aislados de <i>Foeniculum vulgare</i>	50
10	Flavonoides más notables en el <i>Foeniculum vulgare</i>	51
11	Flavonoides obtenidos del extracto acuoso de <i>Foeniculum vulgare</i>	53
12	Flavonoides aislados del extracto de metanol de <i>Foeniculum vulgare</i>	54
13	Estructura de la piel	65
14	Coloración de los diferentes fototipos	68
15	Fórmula matemática del método Mansur	75
16	Curva de calibración de ácido gálico	101
17	Curva de calibración del patrón quercetina	103

ÍNDICE DE ESQUEMAS

N. º		Pág.
1	Clasificación de los métodos de obtención de extractos vegetales	22
2	Procedimiento empleado para la identificación de los metabolitos secundarios de los tallos y hojas de <i>Foeniculum vulgare</i>	88
3	Procedimiento empleado para la cuantificación de fenoles de los tallos y hojas de <i>Foeniculum vulgare</i>	90
4	Procedimiento empleado para la cuantificación de flavonoides de los tallos y hojas de <i>Foeniculum vulgare</i>	92
5	Procedimiento para determinar el factor de protección solar de los tallos y hojas de <i>Foeniculum vulgare</i> por el método de Mansur	94

ÍNDICE DE TABLAS

N°		Pág.
1	Taxonomía de la familia Apiaceae	36
2	Especies del género <i>Foeniculum</i>	41
3	Taxonomía del <i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	43
4	Composición química (%) de los aceites esenciales de <i>Foeniculum vulgare</i> Mill. obtenido de los tallos, hojas, flores y frutos	47
5	Clasificación según el índice de factor de protección solar	72
6	Relación entre el efecto eritemogénico y la intensidad de la radiación de cada longitud de onda	76
7	Factor de protección solar de los extractos de los tallos y hojas de <i>Foeniculum vulgare</i>	79
8	Variable independiente: composición química de los extractos de los tallos y hoja de <i>Foeniculum vulgare</i>	80
9	Porcentaje de rendimiento de los extractos de los tallos y hojas de <i>Foeniculum vulgare</i>	96
10	Resultados de tamizaje fitoquímico realizado a los extractos obtenidos de los tallos y hojas de <i>Foeniculum vulgare</i>	97
11	Caracterización fitoquímica de los extractos de los tallos y hojas de <i>Foeniculum vulgare</i>	98
12	Datos para la curva de calibración con ácido gálico	101
13	Resultados obtenidos del contenido total de compuestos fenólicos de la especie <i>Foeniculum vulgare</i>	102

ÍNDICE DE TABLAS (CONTINUACIÓN)

N°		Pág.
14	Datos para la curva de calibración de quercetina	103
15	Resultados obtenidos del contenido total de flavonoides en los extractos de <i>Foeniculum vulgare</i>	104
16	Factor de protección solar del extracto etanólico de los tallos de <i>Foeniculum vulgare</i>	104
17	Factor de protección solar del extracto etanólico de las hojas de <i>Foeniculum vulgare</i>	105

www.bdigital.ula.ve



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE FARMACIA Y BIOANÁLISIS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
“Dr. Alfredo Nicolás Usubillaga del Hierro”



ACTIVIDAD FOTOPROTECTORA DE LOS EXTRACTOS DE
Foeniculum vulgare

Autores: María De Los A. Cobos Rangel
Azarel Y. Chacón B.

Tutor: Prof. Ysbelia M. Obregón D.

En la presente investigación se determinó la composición química, la cantidad de fenoles, flavonoides, y el factor de protección solar (FPS) de los extractos etanólicos obtenidos de los tallos y hojas del *Foeniculum vulgare*. El análisis fitoquímico se realizó mediante pruebas químicas de coloración y/o precipitación. La cuantificación de fenoles se llevó a cabo por el método de Folin-Ciocalteu, la cuantificación de flavonoides se realizó por medio del método de tricloruro de aluminio ($AlCl_3$), y la actividad fotoprotectora *in vitro* se determinó empleando el método espectrofotométrico de Mansur. Con respecto a la composición química, se detectó la presencia de fenoles, alcaloides, flavonoides, taninos, esteroides y glucósidos. Por otra parte, para los tallos, el promedio de la cuantificación total de fenoles fue de 80,786 μg de Ácido gálico/mg de extracto, y para las hojas 124,899 μg de Ácido gálico/mg de extracto, ahora bien, la cuantificación total de flavonoides fue de 10,227 μg de Quercetina/mg de extracto y para las hojas 27,632 μg de Quercetina/mg de extracto, finalmente, la relación con la actividad fotoprotectora, el factor de protección solar fue de 3,902 para los tallos y para las hojas 4,885. En este sentido, se logró determinar que el extracto en etanólico de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare* brinda un nivel de protección baja contra las radiaciones UVB, siendo útil como coadyuvante para formulaciones fotoprotectoras con compuestos naturales.

Palabras clave: *Foeniculum vulgare*, factor de protección solar, actividad fotoprotectora, tamizaje fitoquímico, cuantificación de fenoles, cuantificación de flavonoides.

INTRODUCCIÓN

La energía solar es necesaria para la vida de los seres vivos, pero debido a diversos factores como lo son el cambio climático, el calentamiento global, emisión de gases y el efecto invernadero, sobre todo este último, ha generado alteraciones en la capa de ozono (Toca, 2011; Albanil, Ramírez y Jiménez, 2014), provocando la entrada directa de la radiación ultravioleta (UV) a la superficie terrestre, ocasionando cambios al medio ambiente, lesiones cutáneas, tumoraciones ópticas, estrés calórico o incluso la muerte (Alonso, Ramírez y Taylor 2012).

Para prevenir y disminuir el daño efectuado por la radiación UV en la piel, se han desarrollado protectores solares compuestos por sustancias orgánicas e inorgánicas, que pueden absorber o reflejar un amplio espectro del rango UV. No obstante, se sigue en la constante búsqueda de compuestos para el desarrollo de cosméticos hipoalergénicos y que puedan ser compatibles con la piel (Mota, da Boa Morte, Silva y Chinalia, 2020). Existe un interés creciente en la incorporación de productos naturales que mejoren las propiedades de los protectores solares, y que posean otros efectos benéficos a largo plazo, no sólo en la prevención de la penetración de la radiación nociva, sino en la reducción del estrés oxidativo y los efectos dañinos causados en el ADN (Saewan y Jimtaisong, 2015).

Algunos extractos de plantas cuentan con propiedades antioxidantes, los cuales son de gran interés debido a que estos al aplicarlos en una formulación fotoprotectora mejorarían el factor de protección solar de la misma, muchos compuestos fenólicos extraídos de plantas, tales como flavonoides, ácidos fenólicos, carotenoides y alcaloides, tienen potencial fotoprotector (Cefali Ataide, Moriel, Foglio y Mazzola, 2016). En general los

flavonoides que pertenecen a los polifenoles son capaces de absorber las radiaciones ultravioletas del tipo A (UVA) como del tipo B (UVB) debido a la similitud estructural con los filtros químicos y es motivado a esta capacidad que son empleados en formulaciones de protectores solares sobre todo naturales; estos metabolitos antioxidantes se encuentran presentes en la mayoría de las plantas (Stafford,1991; Tripp 2018).

El *Foeniculum vulgare* es una de las plantas que por medio de estudios fitoquímicos ha demostrado la presencia de numerosos compuestos, entre ellos están los fenólicos, flavonoides y volátiles (Badgujar, Patel y Bandivdekar, 2014). Así mismo se evidenciaron diversos estudios con actividades como antioxidante, antienvjecimiento, antiinflamatorias y anticancerígenos (Villacís, 2021). Por ende esta investigación busca determinar la actividad fotoprotectora y la composición química de los extractos etanólicos de los tallos y hojas del *Foeniculum vulgare*, a través de un tamizaje fitoquímico y posterior determinación del Factor de Protección Solar (FPS) mediante el método *in vitro* de Mansur.

Este trabajo esta estructurado de acuerdo a las normas APA 7^{ma} edición, contando asi con V Capítulos. El *Capítulo I*, denominado El Problema, contiene los siguientes elementos: Planteamiento del Problema, Justificación e importancia, Objetivos, Alcances y Limitaciones de la Investigación. El *Capítulo II*, llamado Marco Teórico abarca: Trabajos Previos, Antecedentes Históricos, Bases Teóricas, Definición Operacional de Términos, Operacionalización de las Variables e Hipótesis. El *Capítulo III*, titulado Marco Metodológico comprende los siguientes puntos: Tipo y Diseños de la Investigación, Población y Muestra, Sistema de Variables, Instrumento de Recolección de Datos y Procedimientos de la Investigación y Diseño de Análisis. El *Capítulo IV*, denominado Resultados y Discusión y el

Capítulo V, corresponde a las Conclusiones y Recomendaciones, finalmente las Referencias Bibliohemerográficas.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

Las radiaciones solares son imprescindibles para la vida, en el caso del ser humano, estimulan la síntesis de vitamina D, esencial para prevenir el raquitismo y la osteoporosis, sin embargo, un exceso del Sol sin la protección adecuada puede tener efectos muy perjudiciales tanto a corto como a largo plazo, las quemaduras son los efectos más evidentes, con el tiempo, se pueden manifestar manchas en la piel, arrugas, tumoraciones superficiales o cáncer cutáneo (López y Stella, 2007). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el cáncer cutáneo es el tipo de cáncer más frecuente en el mundo y la incidencia de melanoma se está incrementando a mayor velocidad que cualquier otra neoplasia maligna (Blume, Bagot, Tennstedt, Saint, Stockfleth y cols., 2019).

El sistema inmunitario también puede verse afectado por la exposición a los rayos ultravioleta tipo B (UVB) y por la fototoxicidad, más aun, la formación de radicales libres llega a producir daños irreversibles en diversas células y estructuras biológicas (González, 2003). Se considera que la formación de especies reactivas del oxígeno es la responsable de alteraciones moleculares con la consecuente inflamación, mutagénesis y genotoxicidad (Halliwell y Arouma, 1991; Darr y Fridovich, 1994).

Ante esta situación es importante resaltar que las plantas acumulan compuestos cuando están expuestas a los rayos UVB conocidos como

metabolitos secundarios (Zhang y Björn, 2009), estos pueden ser una fuente de fotoprotectores gracias a su capacidad de absorber diferentes radiaciones, siendo así, útiles para prevenir las mutaciones celulares involucradas en el cáncer de piel, mediante la regulación de la mutabilidad inducida por los dímeros de pirimidina ciclobutano (Soares, Ramos, Furtado y Moreira, 2009). Este tipo de compuestos se conocieron inicialmente como antimutágenos (Kada y Shimoï, 1987); hoy se conocen como agentes quimiopreventivos que pueden prevenir o retardar la acción de los factores carcinógenos (Montes de Oca, Pearlman, McClees, Strickland y Afag, 2017).

En vista de la situación expuesta, se ha despertado el interés en estudiar la relación entre la composición química y el factor de protección solar de las hojas y tallos del *Foeniculum vulgare*, y de este modo hacer un aporte al conocimiento químico y farmacológico sobre esta especie.

www.bdigital.ula.ve

Justificación e Importancia de la Investigación

Una forma alternativa de protección es el uso de fórmulas fotoprotectoras con filtros ultravioletas (UV), que interfieren directamente con la radiación solar (Schalka, Steiner, Ravelli, Steiner, Terena y cols., 2014). Los fotoprotectores son sustancias de uso tópico capaces de absorber, dispersar o reflejar en mayor o menor medida el espectro solar, ya sea en su totalidad o de alguno de sus componentes (Garrote y Bonet, 2008). Los compuestos o ingredientes activos que actúan como filtros solares son aquellos que intervienen en el equilibrio oxidativo cutáneo ayudando a restaurarlo, también ayudan a contrarrestar la formación de radicales libres en la piel y minimizan los efectos adversos en el ADN (Garrote y Bonet, 2008).

Las plantas, frutas y vegetales representan una gran fuente de biomoléculas con actividad fotoprotectora, debido a su constante exposición al Sol y a los diversos procesos metabólicos que llevan a cabo con ayuda de éste. Se ha demostrado que las moléculas más comunes en estos organismos son los terpenos, flavonas, carotenoides, catequinas y antocianinas (Stevanato, Bertelle y Fabris, 2014). Las plantas medicinales han sido utilizadas por la gran mayoría de personas desde épocas ancestrales, por su parte la Organización Mundial de la Salud (OMS) la definen como toda especie vegetal dotada de una actividad farmacológica ya sea de toda la planta o una parte de ella (Organización Mundial de la Salud, 1979).

Además los fotoprotectores biológicos son agentes antioxidantes que inhiben la formación de radicales libres, ayudan en la disminución del daño celular sin causar interferencias en los procesos biosintéticos, principalmente en la vitamina D (Montero, 2016). Las moléculas antioxidantes inicialmente fueron usadas como un complemento para los filtros solares, ya que son capaces de reducir el estrés oxidativo que se produce por efecto de la exposición a los rayos UV (Chen, Hu y Wang, 2012). Actualmente se sabe que pueden contrarrestar los efectos de fotoenvejecimiento y cáncer de piel (Fuentes, 2019), esto se debe a la capacidad que tienen de absorción, reflexión y/o dispersión de la radiación solar (Azcona, 2003).

Por esta razón surge la necesidad de evaluar la actividad fotoprotectora de los extractos etanólicos del *Foeniculum vulgare*, teniendo en cuenta el beneficio de los fotoprotectores biológicos y los estudios que demuestran las propiedades y compuestos fitoquímicos presentes en dicha planta.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Confirmar la relación entre actividad fotoprotectora y la composición química de los extractos de tallos y hojas del *Foeniculum vulgare*.

Objetivos Específicos

Obtener los extractos etanólicos de los tallos y las hojas del *Foeniculum vulgare* mediante la técnica de reflujo.

Identificar cualitativamente la composición química de los extractos de los tallos y las hojas del *Foeniculum vulgare* mediante el tamizaje fitoquímico.

Cuantificar el contenido total de fenoles y flavonoides de los extractos obtenidos de *Foeniculum vulgare* por el método de Folin-Ciocalteu y tricloruro de aluminio.

Determinar el Factor de Protección Solar en los extractos del *Foeniculum vulgare* mediante el método *in vitro* de Mansur.

Alcances y Limitaciones de la Investigación

Alcances de la Investigación

Los alcances de esta investigación están relacionados principalmente con la importancia que han adquirido las plantas con propiedades cosmetológicas en los últimos años. La siguiente investigación tuvo como propósito conocer el factor de protección solar de los extractos del *Foeniculum vulgare*, de igual manera señalar los metabolitos presentes mediante los procesos fitoquímicos en dicha especie que puedan contribuir y a su vez aportar información que facilite ampliar la búsqueda científica en pro de los beneficios del *Foeniculum vulgare*.

Limitaciones de la Investigación

Las limitaciones durante el desarrollo de la investigación estuvieron dadas por fallas de servicio eléctrico e internet, lo cual dificultó la investigación y redacción del mismo, de igual modo el elevado costo de los reactivos para realizar la identificación y cuantificación de los metabolitos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Trabajos Previos

Chamba y Morales (2024), realizaron una investigación para la formulación de un protector solar a base de productos naturales, con las hojas de *Camellia sinensis*, la cual poseen una composición rica en carotenoides, antioxidantes, flavonoides y fenoles, fitoquímicos que le confieren la fotoprotección a la planta. La extracción la realizaron por maceración en mezcla de agua/etanol (50:50), posteriormente cuantificaron el contenido de fenoles mediante el método de Folin-Ciocalteu. En las formulaciones realizadas evaluaron el factor de protección solar (FPS) mediante la ecuación de Mansur. Los resultados confirmaron que la cantidad de fenoles para *Camellia sinensis* fue de 21,48 mg AGE/mL de extracto. El FPS para las tres cremas formuladas con diferencia en la cantidad de extracto de las hojas de *Camellia sinensis* en 2%, 4% y 8% resultó ser de 15,63, 27,48 y 31,41 respectivamente. Indicando que dichas formulaciones cumplen con un buen nivel de protección, de este modo los autores concluyeron que los extractos naturales favorecen a la formulación de cosméticos en este caso la de una crema de protección solar. Esta investigación tiene relación dado que determinaron el FPS con relación a la cuantificación de fenoles.

Crescenzi, D'Urso, Piacente y Montoro (2021), evaluaron la posibilidad de aprovechar los tallos y hojas del *Foeniculum vulgare* como una fuente

potencial de metabolitos bioactivos. La investigación fue realizada mediante cromatografía líquida junto con espectrometría de masas (CL-EM). Una vez divididas las diferentes partes del hinojo almacenaron a 80 °C y luego liofilizado. Los materiales vegetales pasaron por dos tipos de extracción, que fue sonicación con una solución de etanol/agua (80:20) y decocción de agua. En el análisis identificaron diferentes metabolitos pertenecientes a derivados del ácido hidroxicinámico, flavonoides glicosidados, ácidos fenólicos, iridoides y lignanos. Por sonicación resultó que los ácidos fenólicos están presentes en los tallos y hojas, además flavonoides glicosidos en las hojas. Por otra parte el extracto obtenido por decocción de agua contenía compuestos fenólicos en tallos y hojas. Esta investigación tiene relación, ya que evaluaron la composición de las mismas partes de la especie en estudio.

Aguayo, Ferreira y Lima (2021), determinaron el factor de protección solar (FPS), así como el contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y taninos en extractos acuosos preparados por infusión y maceración de hojas de *Campomanesia sessiliflora*. Los compuestos se determinaron con base en la prueba colorimétrica de Folin-Ciocalteu. La concentración de compuestos fenólicos fue expresado en mg de ácido gálico por gramos de extracto liofilizado (mg AG/g), por infusión obtuvieron 106,50 mg AG/g, por maceración 148,64 mg AG/g. En la determinación de flavonoides por infusión 47,58 mg R/g y por maceración 63,39 mg R/g. El resultado se expresó en mg de rutina por g de extracto liofilizado (mg R·g). El contenido de taninos fue determinado mediante el método Folin-Denis, método espectrofotométrico, con ácido tánico como patrón, el resultado fue expresado en mg de ácido tánico por g de extracto liofilizado (mg AT·g), por infusión el resultado fue 0,22 mg AT/g y por maceración 0,22 mg AT/g. Concluyendo que la maceración mostró niveles más altos de compuestos fenólicos y flavonoides, en relación con la infusión, y las dos muestras tuvieron el mismo contenido

de taninos. Con respecto al FPS, la infusión tuvo un valor de 9,98, mientras que el de la maceración fue de 6,74. Finalmente los autores confirman que la maceración mostró niveles más altos de metabolitos secundarios, mientras que la infusión mostró un mejor FPS. Se relaciona con la presente investigación, ya que utilizaron la misma metodología para cuantificar y medir el factor de protección solar en extractos de plantas.

Antecedentes Históricos o Epistemológicos

Los productos naturales orgánicos son sustancias derivadas del metabolismo secundario de los organismos vivos, los cuales generalmente participan directamente en los mecanismos de defensa y supervivencia. De ahí que también se les denomine “metabolitos secundarios”. Estas sustancias no están involucradas en el metabolismo “basal” o primario, en el cual se involucran azúcares, lípidos, proteínas y glicéridos, entre otras sustancias. Se estima que varios cientos de miles de productos naturales y biomoléculas han sido aislados y caracterizados a partir de plantas, hongos, organismos marinos y líquenes, entre otros. Sólo a partir de plantas se han aislado y caracterizado más de 110 mil metabolitos secundarios, y se estima que quedan varios millones de sustancias por descubrir, ya que sólo se ha analizado una ínfima parte de las fuentes naturales disponibles (Pietra, 2002).

Pietra (2002), indica que a nivel molecular, es indudable que cualquier variación estructural, por mínima que sea, genera una nueva sustancia química, por lo que deben existir decenas de millones de sustancias naturales. Por tanto, es preferible considerar los procesos de biosíntesis que siguen los productos naturales, donde se identifican un número definido de métodos o rutas de fabricación, aunque es necesario mencionar que

actualmente sólo se conocen unas cuantas de estas rutas de biosíntesis. Así, la diversidad estructural de los metabolitos secundarios puede circunscribirse a una serie de grupos estructurales, denominados genéricamente terpenoides, acetogeninas, flavonoides y alcaloides, entre otros.

En todas las culturas del mundo existe una venerable tradición en el uso de ciertas fuentes naturales para diversos propósitos, entre los cuales podemos mencionar los usos medicinales, aromáticos, cosméticos, agronómicos o tóxicos, entre otros. Existen registros milenarios del uso de plantas en el mundo, y las culturas americanas no son la excepción (Delgado, Olivares, Chavez, Ramirez, Linares y Espinosa. 2001).

Desde otro punto de vista podemos hacer un enfoque del uso de los productos naturales que se empleaban hace más de cinco mil años, considerando que los sumerios, asirios y babilonios extirpaban a los demonios de la piel mediante lodo, emplastos, ungüentos y plantas: aceite de castor (*Ricinus communis* L.), anís (*Illicium verum* Hook.f.), belladona (*Atropa belladonna* L.), canela (*Cinnamomum* Schaeff.), cardamomo (*Elettaria cardamomum* (L.) Maton), mirra (*Boswellia sacra* Fluck.), mostaza (*Sinapis alba* L.) (Chang y Rugman, 2006). En el Papiro de Ebers ya aparece el uso de áloe (*Aloe barbadensis* Mill.) para diversas patologías de la piel (López y Stella, 2007).

Así mismo Manniche (2009), señala la composición de un aceite corporal de la época egipcia (usado también en la momificación) a base de ricino (*Ricinus communis* L.), balanitos (*Balanites aegyptiaca* L. Delile), moringa (*Moringa oleifera* Lam.) y aceite de oliva (*Olea europaea* L.). Los faraones egipcios hacían poner sobre sus tumbas un ramillete de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) para perfumar su viaje al país de los muertos, o viaje por la laguna Estigia según la mitología griega (Font Quer,

2005). En la época de Ramsés IX, 1100 a.C., el aceite de moringa era considerado como un producto exótico, de lujo que se regalaba a reyes para incluirlo en sus tesoros que han de llevar en las vasijas de las tumbas funerarias para la otra vida. En un ánfora aparece una impronta paleográfica en la que se puede leer: aceite de moringa y extracto de mandrágora (*Mandragora officinalis* Mill.) (Nicholson, 2000).

En relación a lo expuesto anteriormente la medicina es producto de la actividad del hombre, de su desarrollo social, y se origina cuando su instinto de conservar la vida y aliviar dolores lo impulsa a influir sobre la naturaleza. A lo largo de la historia, el hombre se ha planteado la problemática del equilibrio entre la salud y la enfermedad. Inicialmente se pensaba que las enfermedades eran originadas por el descontento de los dioses o por los demonios. Hace 2500 años aproximadamente, en las antiguas civilizaciones China, India y Grecia, la creencia en lo sobrenatural fue sustituida por la creencia de que la salud era el resultado de un equilibrio de las fuerzas naturales en el cuerpo, y que la enfermedad era la evidencia de su pérdida (Zúñiga y Caballero, 2016).

Ramírez (2017), manifiesta que al principio, las plantas fueron utilizadas como alimento. No se conoce con exactitud cómo surgió la idea de usarlas como medicamentos. Probablemente el hombre empezó a probar plantas desconocidas con el fin de conocer nuevas especies que también se pudieran usar como alimento, y así, experimentar distintos efectos. De esta forma, el hombre adquirió cada vez más conocimiento sobre el uso de las plantas y de manera oral se fue transmitiendo a las diferentes civilizaciones.

Cabe resaltar que la Medicina Natural y Tradicional, es conocida internacionalmente como alternativa, energética, naturalista o complementaria, forma parte del acervo de la cultura universal, es decir, de

conceptos y prácticas que se han heredado de generación en generación (Zúñiga y Caballero, 2016). En ella se incluye la homeopatía, fitoterapia, acupuntura, ozonoterapia, apiterapia, moxibustión, entre otras (González y Cardentey, 2016).

Bases Teóricas

Productos Naturales

Los seres vivos son capaces de sintetizar una gran variedad de compuestos pero se define “producto natural” o “metabolito secundario”, que se usa como sinónimo, aquél que es propio de una especie, se le conoce también como producto químico y en la mayoría de los casos no tiene utilidad aparente para el ser que lo sintetiza, a diferencia de los metabolitos primarios o productos bioquímicos que presentan una utilidad definida y que son comunes a todos los seres vivos (Marcano, y Hasegawa, 2002).

Metabolitos primarios y secundarios

En principio, los metabolitos primarios y los secundarios no se pueden diferenciar en base a su estructura química, molécula precursora u orígenes biosintéticos. En ausencia de una distinción válida entre ambos tipos de metabolitos en base a su estructura o bioquímica, se tiene en cuenta su función, de modo que se dice que son metabolitos primarios aquellos que participan en la nutrición y procesos metabólicos esenciales para la planta, mientras que metabolitos secundarios son los que permitan interacciones ecológicas de la planta con su entorno (Dewick, 2002; Maplestone, Stone y Williams, 1992).

Los metabolitos primarios presentes en los vegetales son carbohidratos, aminoácidos, ácidos grasos, ácidos nucleicos, aminos, clorofilas e intermediarios metabólicos de las vías anabólicas y catabólicas, los que a su vez producen metabolitos secundarios, que son sustancias que no participan de forma directa en el crecimiento o desarrollo, es decir, sustancias que no son necesarias para que un organismo pueda existir como tal, sino que simplemente aportan al individuo que las produce una ventaja para responder a estímulos del entorno, ya sea como mecanismo de defensa contra predadores o como materia de almacenamiento (Der Marderosian y Beutler, 2002; Dias, Urban y Roessner, 2012).

Clasificación de los metabolitos secundarios

A fin de establecer un ordenamiento, estos compuestos se clasificarán teniendo en cuenta: su origen biosintético, las características estructurales comunes y las propiedades de solubilidad. Los grandes grupos de metabolitos secundarios a tratar serán (Marcano y Hasegawa, 2002):

- **Compuestos nitrogenados y azufrados:** Caracterizados por poseer nitrógeno y/o azufre en su estructura, de solubilidad y origen biosintético diverso pero mayoritariamente derivados de aminoácidos, entre ellos podemos encontrar los alcaloides, hormonas vegetales, aminos y glucosidos (Marcano y Hasegawa, 2002).
- **Compuestos fenólicos:** Los fenoles **(1)** presentan al menos un grupo hidroxilo unido a uno o más anillos aromáticos en su estructura química, la mayoría hidrosolubles y derivados biosintéticamente del ácido shikímico, dentro de los cuales se encuentran los flavonoides, taninos, cumarinas y quinonas (Marcano y Hasegawa, 2002).

- **Terpenoides:** Con la molécula de isopreno como unidad estructural, liposolubles y biosintéticamente asociados a la vía del ácido mevalónico o la vía gliceraldehído fosfato-ácido pirúvico, dependiendo de la clase de Terpenoides, en este grupo se encuentran pigmentos o aceites esenciales, monoterpenos y triterpenos (Marcano y Hasegawa, 2002).

En este sentido en la figura 1 se presentan los siguientes metabolitos:

- **Alcaloides:** Son una gran familia de más de 15.000 metabolitos secundarios que tienen en común tres características, son solubles en agua, contienen al menos un átomo de nitrógeno en la molécula, y exhiben actividad biológica. La mayoría de los alcaloides **(2)** son heterocíclicos aunque algunos son compuestos nitrogenados alifáticos (no cíclicos). Se encuentran en el 20% aproximadamente de las plantas vasculares, la mayoría dicotiledóneas herbáceas (Ávalos y Pérez, 2009). A su vez, son compuestos ampliamente reconocidos por su efecto farmacológico y en las plantas actúan como agentes defensivos y como feromonas. Si bien han sido poco estudiados, estos compuestos absorben fuertemente radiaciones comprendidas en el rango UV y tendrían un rol protector frente a este tipo de radiación (Carrasco, 2009).
- **Flavonoides:** Son los responsables del color de las hojas de otoño, de los colores de algunos frutos y de muchas flores, se consideran como antioxidantes, secuestradores de radicales libres, agentes antimicrobiales, antinutricionales, fotoreceptores, agentes quelantes de metales, atractores visuales para los insectos, entre otros (Lago, Toledo, Mernak, Barrosa, Martin y cols., 2014). Los flavonoides **(3)** actúan como protectores de los rayos UV en las plantas, absorben en

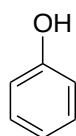
el rango entre 280- 400 nm, por esta razón una respuesta muy común en las plantas al aumento de radiación ultravioleta es incrementar la fabricación de flavonoides, de esta manera se protegen del calor, sequía, salinidad, patógenos y herbívoros (Tripp, 2018).

- **Taninos:** Son compuestos fenólicos poliméricos que se unen a proteínas desnaturalizándolas. El nombre de tanino procede de la antigua práctica de utilizar extractos vegetales para convertir la piel animal en cuero (en el curtido, se unen al colágeno aumentando su resistencia al calor, al agua y a microorganismos) (Covington, 1997). Los taninos **(4)** tienen actividad antimicrobiana contra bacterias, hongos y levaduras y también muestran actividad contra parásitos como nemátodos gastrointestinales y helmintos. Además los taninos según su estructura muestran actividad contra diferentes virus (Huang, Liu, Zhao, Hu y Wang, 2018).
- **Cumarinas:** Son sólidos cristalizables, blancos o amarillentos que se biosintetizan en las plantas por la ruta fenilpropanoide. Las actividades biológicas registradas de las cumarinas **(5)**, son entre otras, antitumoral, antiarrítmicos, antiinflamatorios, antisépticos, analgésicos, contra la hipertensión, la osteoporosis, en tratamientos contra el asma y el VIH. Presentan actividad antimicrobiana, captan la radiación UV e inhiben la germinación. Dependiendo de su configuración, tienen habilidad para regular rutas celulares que se pueden usar para la prevención de cáncer. Además tienen influencia en el sistema nervioso central. La cumarina tiene un sabor amargo y los animales la evitan siempre que pueden, pues produce hemorragias internas (Stringlis, Jonge y Pieterse, 2019).

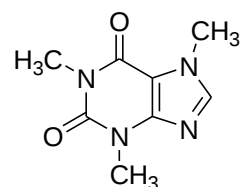
- **Esteroles:** Vegetales o fitoesteroles poseen una estructura similar a la del colesterol, pero se diferencian de este en que incluyen un grupo metilo o etilo en el carbono 24, están presentes de manera natural en frutos secos, aceites vegetales, verduras, hortalizas, frutas, cereales y legumbres. La importancia de los esteroles **(6)** en fitoterapia radica en el potencial en disminuir el colesterol ya que reducen la absorción intestinal del colesterol (Albornoz, 1980). Además poseen propiedades medicinales, inmunosupresoras, hepatoprotectoras, antibacterianas, reguladoras del crecimiento vegetal, antihelmínticos, citotóxicos y cardiotónicos (García y López, 2004)
- **Quinonas:** Son compuestos sólidos con puntos de fusión superiores a los 100°C, de color amarillo, anaranjado, rojo, o morado, insolubles en agua y parcialmente solubles en solventes no polares (Kumagai, Shinkai y Miura, 2012). Corresponden a compuestos de origen orgánico formados por anillos de carbono, que son oxigenados y que se forman por la oxidación de compuestos aromáticos generando la correspondiente dicetona (Accame, 2000). Las quinonas **(7)** naturales son productos de la oxidación del fenol (Segoloni y Di, 2018). Se utilizan como antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos, antimicrobianos, antitumorales y en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares. En la industria se aplican para la fabricación de colorantes, cosméticos, gelatinas, peróxido de hidrógeno, síntesis de compuestos orgánicos (Lemos, Monte, Kellen, Fonseca, Santos, 2007).
- **Saponinas:** Se encuentran como glicósidos esteroideos, glicósidos esteroideos alcaloides o bien glicósidos triterpenos. Son por tanto triterpenoides o esteroides que contienen una o más moléculas de

azúcar en su estructura. Se pueden presentar como agliconas, es decir, sin el azúcar (el terpeno sin el azúcar, por ejemplo), en cuyo caso se denominan sapogeninas. La adición de un grupo hidrofílico (azúcar) a un terpenoide hidrofóbico da lugar a las propiedades surfactantes o detergentes similares al jabón que presentan las saponinas **(8)** (López Luengo, 2001).

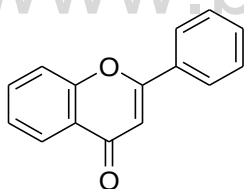
Figura 1. Estructuras básicas de metabolitos secundarios



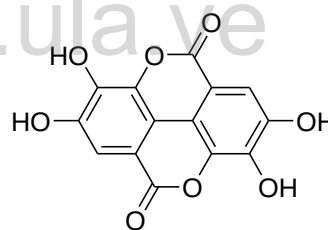
Fenol **(1)**



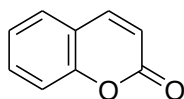
Alcaloide **(2)**



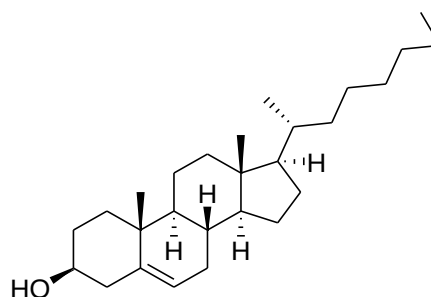
Flavonoide **(3)**



Tanino **(4)**

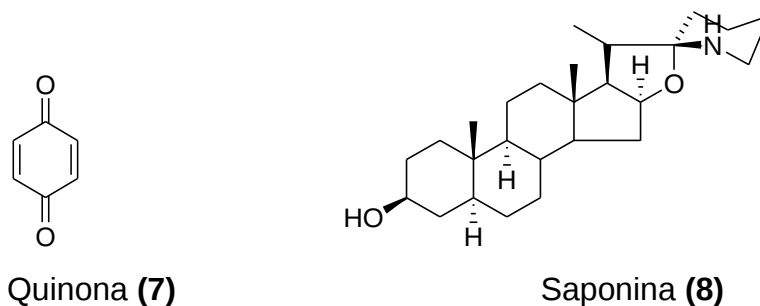


Cumarina **(5)**



Esteroles **(6)**

Figura 1. Estructuras básicas de metabolitos secundarios (continuación)



Tomado y modificado de Leonora y Figueroa (2022).

www.bdigitalula.ve

Extractos Vegetales

Son compuestos producidos de la obtención de sustancias biológicamente activas presentes en los tejidos de plantas, por el uso de un solvente (alcohol, agua, mezcla de estos u otro solvente selectivo) y un proceso de extracción adecuado. De una misma planta, dependiendo de la parte de ella utilizada, del solvente y de la técnica de extracción, podremos obtener una diferente gama de sustancias (European Natural Additives, 2015).

Los principios activos pueden ser diferentes compuestos, con estructuras químicas casi idénticas, por lo que un extracto puede tener una actividad mayor que el principio activo aislado y purificado. Además el extracto, como compuesto, suele presentar mayor estabilidad, actividad y

tolerancia, careciendo, en la mayoría de los casos de efectos adversos o de generación de residuos (Santamaría, Martín y Astorga, 2015).

Clasificación de extractos vegetales

Según Solís, De Solís, Gattuso y Cáceres (2003), dependiendo del grado de concentración de solventes extractivos, los extractos pueden clasificarse en:

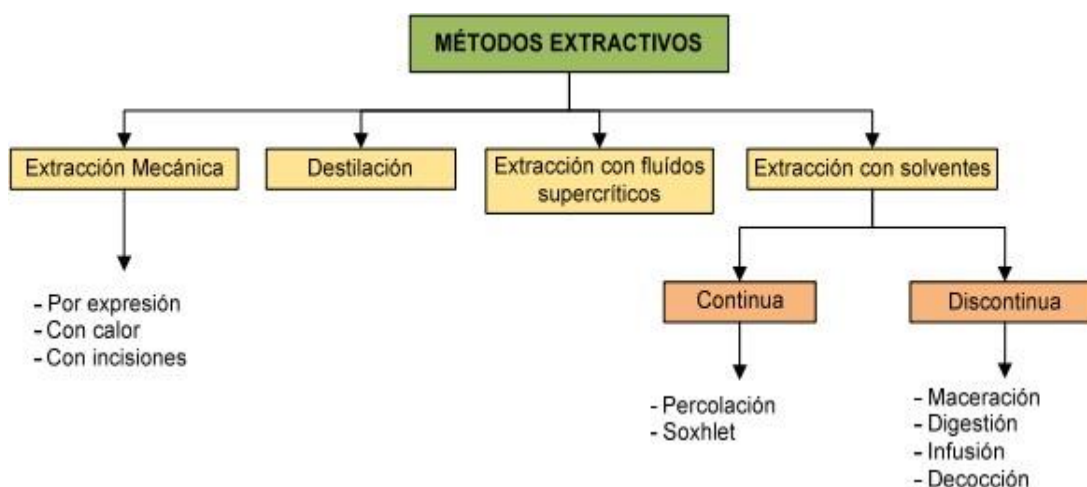
- **Extractos fluidos o líquidos:** Los extractos fluidos, también conocidos como extractos líquidos, son preparaciones de drogas vegetales que contiene alcohol como disolvente o como preservante, o ambos, preparados de tal manera que cada mililitro contiene los constituyentes extraídos de 1 g del material crudo que representa (Solís, De Solís, Gattuso y Cáceres, 2003).
- **Extractos secos:** Los extractos secos se obtienen evaporando todo el solvente hasta que tienen una consistencia en polvo. Son altamente estables aunque en ocasiones resultan ser higroscópicos, además son de fácil manipulación y se les puede utilizar para preparar tinturas de extractos fluidos (Kuklinski, 2003).
- **Extractos semisólidos o blandos:** Tienen una riqueza superior a la droga de partida, se obtienen evaporando el disolvente hasta obtener un producto de textura semisólida pero que no moja el papel de filtro (Cañigüeral, 2003).
- **Crioextractos:** Se obtiene por molturación de la droga vegetal correctamente desecada, sometida a condiciones de congelación

(-196 °C), mediante inyección de nitrógeno líquido, de forma que los principios activos no se ven alterados por la acción del calor desprendido en un proceso de molturación y que dependiendo de la droga vegetal, puede llegar a ser hasta 70 °C. Son muy útiles para la obtención de proteínas y enzimas de ciertas especies (Castillo y Martínez, 2007).

Métodos de obtención de extractos vegetales

Los extractos vegetales se pueden obtener por procesos físicos, químicos y microbiológicos, a partir de una fuente vegetal y utilizable en cualquier campo de la industria química y médico-farmacéutica (Treybal, 1986). En el esquema 1 se muestra la clasificación de los métodos de obtención de los extractos vegetales más importantes.

Esquema 1. Clasificación de los métodos de obtención de extractos vegetales



Tomado y modificado de Kuklinski, 2003.

- **Extracción mecánica:** Esta técnica se realiza por expresión, que consiste en ejercer presión sobre la droga y así se obtiene un jugo, en el que se encuentran disueltos los principios activos de interés, también se la puede hacer mediante cortes por los que caen los fluidos de la planta (Osorio, 2009).
- **Destilación:** Esta técnica se basa en la diferente volatilidad de los principios activos de la planta, lo cual permite la separación de los componentes volátiles, como son los aceites esenciales, por ejemplo, de otros que son menos o nada volátiles (Gil, 2000).
- **Extracción con fluidos supercríticos:** El proceso consiste en colocar el material vegetal molido en una cámara de acero inoxidable y hacer circular, a través de la muestra, un fluido en estado supercrítico (Sánchez, 2009).
- **Extracción con solventes:** Este método consiste en la separación de los principios activos de la planta al ponerla en contacto con un solvente o la mezcla de ellos, para solubilizar dichos principios (Pérez, 2009).
- **Extracción continua o progresiva.** En la extracción continua, el solvente se va renovando o recirculando y actúa sobre la planta en una sola dirección (Sharapin, 2000). La percolación, la re-percolación y el Soxhlet son las técnicas que pertenecen a este grupo y se describen a continuación:
 - **Percolación:** En este método las partes vegetales, finamente picadas o pulverizadas, se colocan en un recipiente en forma

de columna donde también se añade el disolvente. El disolvente recorre, por gravedad, la columna en sentido descendente, entrando en contacto con el tejido vegetal y arrastrando los principios activos que contiene. El percolador presenta en su parte inferior una apertura controlada por una llave, por donde sale el disolvente con los principios activos disueltos. Por la parte superior se añade disolvente puro, que compensará las salidas inferiores y continuará extrayendo principios activos. Dado que el procedimiento se lleva a cabo a temperatura ambiente, sustancias termolábiles no se ven afectadas; sin embargo, la renovación continua del disolvente constituye una desventaja, ya que el volumen final recolectado es generalmente grande, para lo cual, además, se gastan elevadas cantidades del solvente puro (Casado, 2012).

- **Repercolación.** Consiste en hacer recircular el mismo solvente a través del material vegetal (Sharapin, 2000).
- **Extracción Continua (Soxhlet):** El método clásico para obtener distintos constituyentes orgánicos de tejidos vegetales secos (madera, semillas, raíces, hojas) es una extracción continua del material pulverizado en un equipo Soxhlet con distintos solventes que permiten extraer las sustancias buscadas con un mayor o menor grado de pureza. El material vegetal (seleccionado y pulverizado) es agotado en primer lugar con un solvente de tipo no polar o de polaridad intermedia: éter de petróleo, benceno, cloroformo, éter etílico, etc. Luego la muestra es tratada con distintos alcoholes como etanol,

metanol (solventes de tipo polar) y finalmente con agua (Ringuelet y Viña, 2013).

- **Extracción por reflujo:** Siendo esta la técnica utilizada en este estudio. Sanz (2002) estipula que la técnica consiste en colocar las partes vegetales a extraer en un balón de destilación junto con el disolvente; la boca del balón se ajusta un refrigerante y se inicia entonces el calentamiento hasta que el disolvente alcanza su temperatura de ebullición. Los vapores generados en el matraz condensan en el refrigerante y caen de nuevo en forma líquida en el matraz. Se mantiene el sistema a reflujo durante algunas (pocas) horas, se deja enfriar el sistema y se separa el líquido resultante.

El reflujo evita la pérdida de disolvente en forma de vapor, de manera que el mismo no llega a agotarse y puede mantenerse el calentamiento durante más tiempo; sin embargo, las sustancias termolábiles resultan considerablemente afectadas (Sanz, 2002).

- **Extracción discontinua o simultánea.** La maceración, la infusión, la digestión y la decocción son; métodos que pertenecen a este grupo y se describen a continuación:
- **Maceración:** Este es un método de extracción sólido-líquido donde el material vegetal que se pretende extraer contiene compuestos solubles en el líquido de extracción. Para realizar este proceso el material vegetal se corta en pequeños trozos o molido, fresco o seco se coloca en recipientes adecuados, añadiendo el solvente seleccionado por polaridad hexano (o éter de petróleo), cloroformo y

finalmente metanol o etanol en reposo o en un equipo con agitación continúa, a temperatura ambiente durante 5 días cada extracción (Bonatti, 1991).

➤ **Digestión:** Se trata de una extracción a temperaturas superiores a la ambiental, entre 35 y 40°, e inferiores a los 50°C. Se introducen las partes vegetales a extraer en un recipiente que contiene el líquido previamente calentado a la temperatura deseada; se mantiene durante un período que puede oscilar entre media hora y veinticuatro horas, agitando regularmente el envase. Se separa finalmente el líquido (extracto). Un moderado aumento de la temperatura, eleva un poco la solubilidad de los principios activos sin recurrir a calentamientos extremos (Casado, 2012).

➤ **Infusión:** Una infusión es una solución diluida de los componentes fácilmente solubles de una o varias partes vegetales. Se realiza sumergiendo la muestra, preferiblemente troceadas o molidas, en una cantidad determinada de agua a temperatura de ebullición; se deja reposar normalmente alrededor de 15 minutos, removiendo de vez en cuando, y a continuación se filtra. Las dosis generales son de aproximadamente un gramo de planta por cada diez gramos de agua. Por lo general, los extractos obtenidos mediante este método presentan muy bajas concentraciones de principios activos (Botella, 2003).

➤ **Decocción:** En este método, las partes vegetales se mantienen en el disolvente (generalmente agua) en ebullición durante 15-30 minutos. Posteriormente se filtra y se recoge el líquido resultante (extracto). Dado que la solubilidad de los principios activos

generalmente aumenta con la temperatura, se logra extraer una mayor cantidad de los mismos en comparación con los métodos que se llevan a cabo a temperatura ambiente; sin embargo, presenta la desventaja de afectar sustancias termolábiles (Casado, 2012).

Análisis Fitoquímico Preliminar

El tamizaje fitoquímico también conocido como screening fitoquímico es la etapa inicial de la investigación que permite identificar los principales grupos de constituyentes químicos que se encuentran en la planta (Hurtado, 2015).

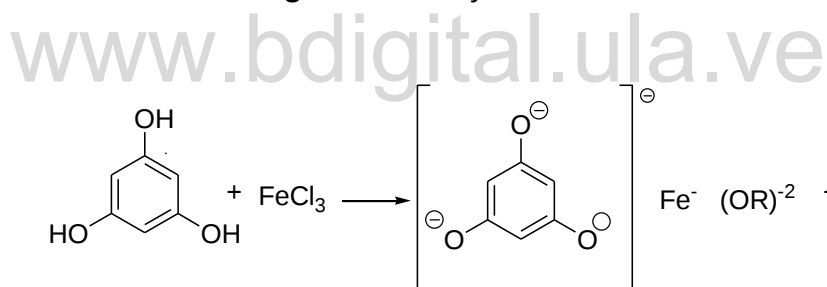
El tamizaje fitoquímico se basa en la identificación de los metabolitos secundarios presentes en los extractos de productos naturales, a través de reacciones y análisis químicos bien descritos en la literatura (Pujol, Tamargo, Salas, Calzadilla, y Acevedo, 2020). Utilizando los reactivos apropiados y observando la presencia de reacciones de color y precipitación (Sharapin, 2000). El tamizaje fitoquímico se le realiza consecutivamente a los extractos etéreo, alcohólico y acuoso del producto natural con el fin de identificar y comparar los metabolitos secundarios extraídos con cada disolvente de diferentes polaridades (Pujol, Tamargo, Salas, Calzadilla y Acevedo, 2020).

Pruebas químicas para el análisis fitoquímico

De acuerdo a Pujol, Tamargo, Salas, Calzadilla y Acevedo (2020), los ensayos que se utilizan para determinar la presencia de estos metabolitos son los siguientes:

- **Ensayo de cloruro férrico:** Los fenoles al reaccionar con el cloruro férrico (FeCl_3) producen una coloración roja o púrpura. La reacción se debe a la formación de un complejo del hierro con índice de coordinación VI, acompañada de una oxidación del fenol y reducción por parte del férrico a ferroso (figura 2) (Cardoso, 2016). El ataque producido por el ion cloruro al hidrogeno del grupo hidroxilo provoca la ruptura de enlace y la unión del grupo fenoxido al hierro (formación de complejo que es intensamente coloreado), la coloración obtenida es azul, color característico del complejo formado de hierro y fenol derivados del ácido gálico o coloraciones verdes derivados del catecol (Pozo y Salazar, 2011).

Figura 2. Ensayo de cloruro férrico



Tomado y modificado de Domínguez, 1979.

- **Ensayo de Dragendorff, Wagner y Mayer (alcaloides):** En el análisis fitoquímico preliminar las técnicas de reconocimiento son basadas en la capacidad que tienen los alcaloides en estado de sal (extractos ácidos), de combinarse con el yodo y metales pesados formando precipitados con reactivos como el mercuriyoduro de potasio (Mayer) y el yoduro de bismuto (Dragendorff), estas reacciones se basan en los siguientes comportamientos

(Domínguez, 1979; Coy, Parra y Cuca, 2014).

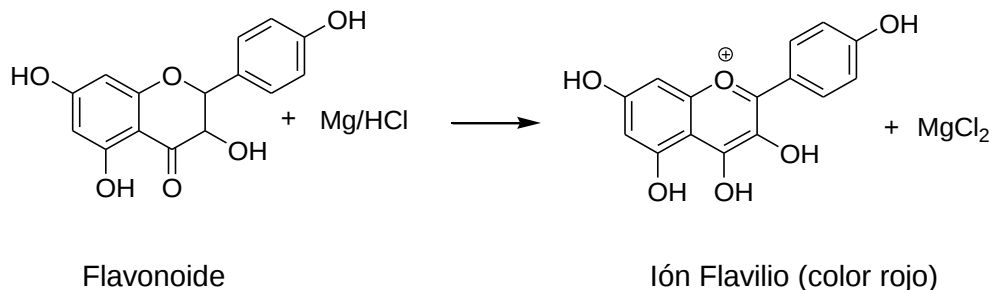
El yoduro de potásico cuando reacciona con cloruro mercúrico, forma un precipitado rojo de yoduro mercúrico: $[\text{HgCl}_2 + 2\text{I}^- \rightarrow 2\text{Cl}^- + \text{HgI}_2]$ soluble en exceso de iones de yoduro con formación de un anión complejo incoloro $[\text{HgI}_2 + \text{I}^- \rightarrow \text{HgI}_2^-]$. La solución alcalina de este complejo sirve para descubrir indicios de amoníaco. En esta reacción se forma el compuesto de color pardo oxyoduro mercuri amoníaco, que es soluble en exceso de complejo $[\text{HgI}_2^-]$ generando intenso color amarillo. Los alcaloides por su carácter nitrogenado pueden comportarse de forma similar al amoníaco, ante estos reactivos (Reactivo de Mayer); muchos alcaloides presentes en un material vegetal forman con el bismuto, yoduros dobles insolubles (Reactivo de Draggendorf) (Coy, Parra y Cuca, 2014).

- **Ensayo de Shinoda:** El magnesio metálico es oxidado por el HCl concentrado, dando como productos al H_2 , que es eliminado en forma de gas y el MgCl_2 , que es el que forma complejos con los flavonoides dando las siguientes coloraciones (Vidaurre, Querevalú, De los Ríos, y Ruiz, 2007):

- **Flavonas:** color naranja a rojo.
- **Flavonoles y flavonoides:** color rojo carmín.
- **Flavononas:** color de carmín a magenta.

En la figura 3 se detalla gráficamente la reacción de Shinoda.

Figura 3. Ensayo de Shinoda

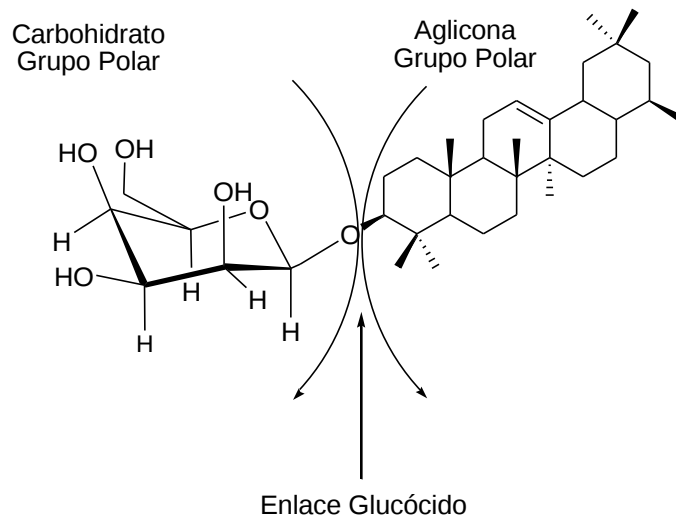


Tomado y modificado de Domínguez, 1979.

- **Ensayo de hidróxido de sodio:** En la reacción con NaOH se produce la ruptura del anillo C de un flavonoide el cual puede ser de una flavona o de una flavanona, esta ruptura produce la formación de una chalcona lo que se evidencia con una coloración amarilla que puede variar en intensidad (Lock, Cabello y Doroteo, 2006).
- **Ensayo de reacción de la gelatina al 1 %:** Los taninos dan un precipitado blanco con solución de gelatina (Coy, Parra y Cuca, 2014).
- **Ensayo de hidróxido de amonio (cumarinas):** Las cumarinas se caracterizan por su intensa absorción de la región UV del espectro, las cuales al ser examinadas a la luz ultravioleta presenta coloración exaltada en presencia de amoníaco. A la luz ultravioleta, las cumarinas presentan fluorescencia variable, de azul a amarillo y a púrpura, exaltada en presencia de hidróxido de amonio, (Tamayo, Verdecia y Mojera, 2011).

- **Ensayo de Lieberman-Bourchard (Triterpenos y/o esteroides):** permite reconocer en un extracto la presencia de triterpenos y/o esteroides, por poseer ambos un núcleo de androstano, generalmente insaturado en el anillo β y en la posición 5-6. Esta prueba colorimétrica utiliza una mezcla compuesta ácido sulfúrico y anhídrido acético que producen sustancias cromóforas con el ciclopentano perhidrofenantreno, por el incremento de los dos dobles enlaces conjugados formados por la deshidratación e isomerizaciones en los terpenos y esteroides. Se considera positiva la prueba cuando aparecen coloraciones roja o verde (Domínguez, 1979).
- **Ensayo con ácido sulfúrico:** Las quinonas tienden a dar colores rojos o púrpuras con álcalis concentrados y con ácido sulfúrico, lo que puede usarse para identificarlas (Rivas, Oranday y Verde, 2016).
- **Ensayo de espuma:** Esta prueba se basa en la capacidad de la saponinas de producir una espuma persistente al entrar en contacto con el agua luego de agitarse, si ésta permanece por 1 hora, la prueba se considera positiva, lo cual se encuentra representado en la figura 4 (Rivas, Oranday y Verde, 2016).

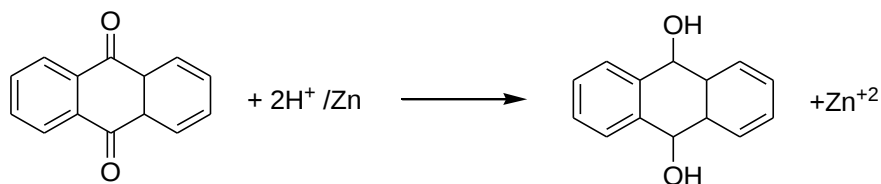
Figura 4. Característica estructural de las saponinas.



Tomado y modificado de Ahumada, Ortega, Chito y Benítez, 2016.

- **Ensayo de Borntrager:** Se utiliza para evidenciar la presencia de principios antraquinónicos. La reacción consiste en agregar un reactivo alcalino como amoníaco, solución de hidróxido de sodio o de potasio directamente en el extracto y se evidenciará una coloración roja producida por los derivados antraquinónicos en medio alcalino, detallado en la figura 5 (Delporte, 2010).

Figura 5. Fundamento químico de la reacción de Borntrager



Tomado y modificado de Tamayo, Verdecia y Mojera, 2011.

- **Ensayo de ácido sulfúrico concentrado (glicosidos):** Al reaccionar el extracto vegetal con el ácido acético glacial y el tricloruro de hierro mas ácido sulfúrico concentrado se forma un anillo de color marron indicando positiva la prueba (Sheel, Nisha y Kumar, 2014).
- **Ensayo de Baljet:** Se basa en la formación de un complejo formado entre el ácido pícrico y la lactona α , β y γ insaturada, dicho complejo presenta coloración rojo claro a oscuro (Evans, 2009).

Cuantificación de Fenoles

Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos constituyen un amplio grupo de sustancias químicas, considerados metabolitos secundarios de las plantas, con diferentes estructuras químicas y actividad. Debido a su capacidad antioxidante, los acidos fenólicos suelen actuar como agentes reductores y donantes de hidrogeno (Martinez, Periago y Ros, 2000).

Método de Folin-Ciocalteu: El ensayo Folin-Ciocalteu se utiliza como medida del contenido en compuestos fenólicos totales en productos vegetales. Se basa en que los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu, a pH básico, dando lugar a una coloración azul susceptible de ser determinada espectrofotométricamente a 765 nm. Este reactivo contiene una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico y reacciona con los compuestos fenólicos presentes en la muestra. El ácido fosfomolibdotúngstico (formado por las dos sales en el

medio ácido), de color amarillo, al ser reducido por los grupos fenólicos da lugar a un complejo de color azul intenso, cuya intensidad es la que medimos para evaluar el contenido en polifenoles (Espinosa, Garzon y Medina, 2016).

El mecanismo de reacción es una reacción redox, por lo que además puede considerarse también, como un método de medida de la actividad antioxidante total. La oxidación de los polifenoles presentes en la muestra, causa la aparición de una coloración azulada que presenta un máximo de absorción a 765 nm, y que se cuantifica por espectrofotometría en base a una recta patrón de ácido gálico. Se trata de un método preciso y sensible, que puede padecer numerosas variaciones, fundamentalmente en lo relativo a los volúmenes utilizados de la muestra a analizar, concentración de reactivos y tiempo de reacción (Espinosa, Garzon y Medina, 2016).

www.bdigital.ula.ve

Cuantificación de Flavonoides

Flavonoides

Los flavonoides se han denominado pigmentos no fotosintéticos por sus efectos fotoprotectores, en las plantas actúan como filtros solares por absorción de los rayos UV y disipando el exceso de energía, poseen efectos antioxidantes, protegiendo así a las plantas contra el estrés oxidativo inducido por la radiación solar (Edreva, 2005). Las principales ventajas que presentan los flavonoides al ser usados como bioactivos fotoprotectores, es su amplia distribución en las plantas, permitiendo su fácil disponibilidad y su potencial antioxidante (Agati, Galardi, Gravano, Romani y Tattini, 2002).

Método de Tricloruro de aluminio: El principio básico del método colorimétrico de cloruro aluminio es que éste forma complejos estables con el grupo cetona en C-4 o bien el grupo hidroxilo en C-3 o C-5 de flavonas y flavonoles. Además, también forma complejos lábiles ácidos con los grupos dihidroxilo en el anillo A o B de los flavonoides (Linares, 2016).

Familia Apiaceae

Apiaceae (anteriormente Umbelliferae) es una de las familias de plantas más grandes del orden Apiales. Comúnmente conocida como familia del perejil o de la zanahoria, está formada por cerca de 3780 especies pertenecientes a 434 géneros distribuidos en muchas regiones del mundo (Ahmad, Talou, Saad, Hijazi y Merah, 2017). Esta familia incluye algunas de las verduras y hierbas aromáticas más utilizadas, como la zanahoria (*Daucus carota*), la chirivía (*Pastinaca sativa*), el apio (*Apium graveolens*), la centella asiática (*Centella asiática*), perejil (*Petroselinum crispum*), cilantro (*Coriandrum sativum*), eneldo (*Anethum graveolens*), hinojo (*Foeniculum vulgare*), comino (*Cuminum cyminum*), anís (*Pimpinella anisum*), alcaravea (*Carum carvi*) (Acimovic y Milicb, 2017; Acimovic, Mérillon y Ramawat 2019; Sousa, Cunha y Fernández, 2021).

Distribución geográfica

La familia es cosmopolita aunque es más común en regiones templadas y relativamente rara en latitudes tropicales (Heywood, 1985). Taxonómicamente se clasifica de la siguiente forma (tabla 1):

Tabla 1. Taxonomía de la familia Apiaceae

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Apiales
Familia	Apiaceae (Umbelliferae)

Tomado y modificado de Heywood, 1985.

Aspectos botánicos

Las familia Apiaceae se caracteriza por tener plantas herbáceas anuales, bianuales o perennes, con entrenudos huecos; algunas arbustivas. Las hojas alternas, sin estípulas, normalmente divididas, en algunos casos enteras. De flores perfectas o imperfectas, reunidas en un tipo especial de inflorescencia denominada umbela simple o compuesta, en algunos géneros pueden estar reunidas en forma de capítulos o reducidas a una única flor. En el perianto las umbelas suelen presentar brácteas o bractéolas en sus bases formando el involucre o involucelo cuyo número es variable sus pétalos generalmente son 5. Presentan 5 estambres libres. Gineceo con ovario ínfero, carpelos 2, lóculos 2 con un óvulo péndulo cada uno, estilos 2 sostenidos por un estilopodio, este órgano varía considerablemente en forma, tamaño, color y secreción de néctar. De frutos variados, por lo general es un esquizocarpo seco dividido en la parte inferior por una línea en dos mericarpos, cada uno con una semilla, que pueden quedar suspendidos a un pedicelo común bifurcado, el carpóforo, que se separan en la madurez. La superficie externa del mericarpo posee 5 costillas: 1 dorsal, 2 laterales, 2 comisurales, que dejan entre ellas 4 canales resiníferos (valéculas). También

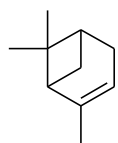
puede presentar espinas, ganchos, pelos, tubérculos o las costillas ensanchadas en forma de alas de pendiendo de la forma de dispersión. Las semillas con embrión pequeño y endosperma abundante (Heywood, 1985).

Compuestos químicos o metabolitos secundarios aislados

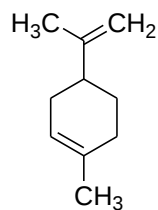
Varias especies de Apiaceae son una excelente fuente de aceites esenciales, que contienen más de 760 componentes químicos diferentes (Ahmad, Talou, Saad, Hijazi y Merah, 2017). La composición química varía según la parte de la planta utilizada para la extracción, diversos métodos de extracción, estados fenológicos de la planta, temporada de cosecha, edad de la planta, naturaleza del suelo y condiciones ambientales. Estas variaciones en la composición química tienen un efecto directo sobre sus actividades biológicas (Chaubey, 2012; Petretto Fancello, Bakhy, Faiz, Sibawayh y cols., 2018).

El conocimiento de estos componentes químicos es vital para hacer uso de esta familia de plantas de importancia económica no sólo por sus beneficios medicinales, sino también por sus aplicaciones ambientales. Los aceites esenciales y sus componentes, principalmente son monoterpenoides y sesquiterpenoides, tienen propiedades antimicrobianas, repelentes, quimioesterilizantes, antialimentarios y otras actividades biosidas (Gilaberte y González, 2010). La figura 6 muestra las estructuras químicas de varios metabolitos principales, como son α -Pineno (**9**), limoneno (**10**), carvona (**11**), linalool (**12**), timol (**13**), mentol (**14**), *trans*-anetol (**15**) y carvacrol (**16**).

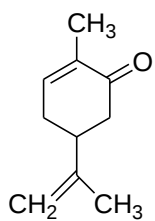
Figura 6. Estructura química de varios metabolitos secundarios presentes en la familia Apiaceae



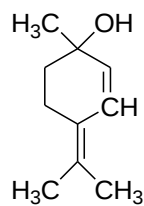
α – Pineno (9)



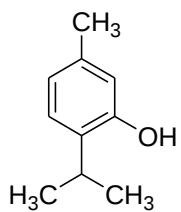
Limoneno (10)



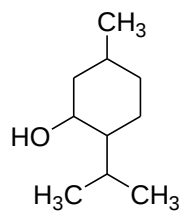
Carvona (11)



Linalool (12)

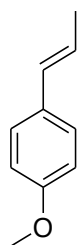


Timol (13)

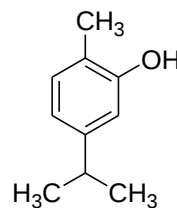


Mentol (14)

Figura 6. Estructura química de varios metabolitos secundarios presentes en la familia Apiaceae (continuación)



Trans-anetol **(15)**



Carvacrol **(16)**

Tomado y modificado de Punniamoorthy, Niroshan, Ashoka, Terrence y Othmane, 2022.

Usos etnobotánicos

Las plantas de la familia Apiaceae se cultivan, no sólo como fuente nutricional, sino también como fuente de sabor, fragancia y medicamento. Diferentes partes, como la raíz, la hoja, el tallo de la hoja, el pseudobulbo y la semilla, sirven para estos propósitos. Todas las partes de las plantas contienen glándulas secretoras que son importantes en almacenar aceites esenciales, dando lugar al sabor distintivo de cada especie (Acimovic y Milicb, 2017; Sousa, Cunha y Fernández, 2021).

Actividad biológica

Las especies de Apiaceae son una buena fuente de metabolitos secundarios con diversas actividades biológicas, como inductores de apoptosis, actividades antibacterianas, antifúngicas, fitotóxicas y actividad inhibidora de la ciclooxigenasa (Duško, Comiæ y Sukdolak, 2006; Boulogne Petit, Ozier y Loranger, 2012). Por lo tanto, Apiaceae se puede utilizar en agricultura como biopesticida, inhibidor de la brotación, agente antifúngico y repelente de insectos (Ferrie y Caswell, 2016).

Género *Foeniculum*

Distribución geográfica

El área de distribución nativa de este género es Macaronesia, se encuentra ampliamente distribuida en Europa, el Mediterráneo y el suroeste. Asia; Incluso dentro de esta región, su área nativa está desdibujada por la naturalización del cultivo como condimento, que es su estado normal en África tropical (Miller y Philip, 1754).

Descripción botánica

Hierbas, anuales o perennes, todas las partes fuertemente aromáticas (con aroma a anís). Tallo erecto, terete, de color verde grisáceo o verde chillón, glabro (Miller y Philip, 1754).

Hojas pecioladas, vainas con márgenes membranosos; lámina pinnada descompuesta; segmentos finales lineales. Umbelas compuestas, terminales y laterales; brácteas y bractéolas ausentes; radios numerosos,

extendidos hacia arriba, desiguales. Dientes del cáliz obsoletos. Pétalos amarillos, obovados, nervadura media visible, ápice con un lóbulo estrechamente inflexo. Estilopodio cónico; estilos muy cortos, reflexivos. Fruto oblongo, terete, glabro; costillas 5, agudas o redondas-obtusas; vittae 1 en cada surco, 2 en comisura. Cara de la semilla plana o ligeramente cóncava. Carpóforo 2-hendidura a la base (Miller y Philip, 1754).

Especies del género

En la tabla 2 se muestran las especies pertenecientes al género *Foeniculum*.

Tabla 2. Especies del género *Foeniculum*

Espece	Referencia
<i>Foeniculum capillaceum</i>	<i>Foeniculum panmorium</i>
<i>Foeniculum carvi</i>	<i>Foeniculum piperitum</i>
<i>Foeniculum divaricatum</i>	<i>Foeniculum rigidum</i>
<i>Foeniculum dulce</i>	<i>Foeniculum sanguineum</i>
<i>Foeniculum foeniculum</i>	<i>Foeniculum sativum</i>
<i>Foeniculum giganteum</i>	<i>Foeniculum scoparium</i>
<i>Foeniculum multiradiatum</i>	<i>Foeniculum segetum</i>
<i>Foeniculum officinale</i>	<i>Foeniculum vulgare</i>

Tomado y modificado de Tropicos ORG., 2024.

Compuestos químicos o metabolitos secundarios aislados

Estudios han identificado en los aceites esenciales y en extractos de hexano metabolitos como *trans*-anetol y limoneno siendo los componentes principales aislados de las inflorescencias, tallos y hojas. Además de otros compuestos como gamma-terpineno, perileno, ácido n-hexadecanoico, palmitato de metilo y ácido linoleico. Por otra parte los

ensayos antimicrobianos *in vitro* han mostrado que en aceite esencial, el *trans*-anetol es responsable de la actividad antimicrobiana y junto con el extracto de hexano son eficaces contra la mayoría de los microorganismos patógenos, saprofitos, probióticos y micotoxigénicos (Bülent, Hakan, Ahmet, Taşkin, Atilla, cols., 2010).

Foeniculum vulgare

Origen del *Foeniculum vulgare*

De acuerdo con las normas internacionales adoptadas en Cambridge, el nombre *Foeniculum vulgare* debe estar acreditado a Philip Miller, quien lo publicó por primera vez en la octava edición de su "Diccionario de Jardineros" en 1768. Desde entonces, el nombre de esta planta es escrito como *Foeniculum vulgare* Mill. Es una planta medicinal perteneciente a la familia de las Umbelíferas (Apiaceae), conocida y utilizada por los humanos desde la antigüedad, debido a su sabor. Fue cultivado en casi todos los países (Muckensturm, Foechterlen, Reduron, Danton y Hildenbrand, 1997).

En la Edad Media se utilizaba hinojo silvestre en la preparación de distintos platos. Con él se elaboraba una salsa para acompañar el pescado y se empleaban sus hojas almibaradas en repostería (Briendl, 1984). Existen referencias del consumo de hinojo italiano en ensalada, que podría tratarse de hinojo cultivado. También se empleaba el hinojo como planta medicinal, ya que, según el *Regimen Sanitatis Salernitanum*, era beneficioso para combatir los venenos, la fiebre, problemas de estómago y de la vista (Dutton, 1980).

Distribución geográfica

Vibrans (2009), el hinojo es una antigua hierba nativa de Europa que se originó en la región del Sur del Mediterráneo y, a través de la naturalización y el cultivo, crece de forma silvestre en los hemisferios norte, este y oeste, específicamente en Asia, América del Norte y Europa. Se cultiva en campos y también crece en forma silvestre. La hierba era bien conocida por los antiguos egipcios, romanos, indios y chinos. Los romanos la cultivaron por sus semillas aromáticas y los brotes carnosos comestibles siguen siendo un vegetal muy común en el sur de Italia (Krishnamurthy, 2011). Taxonómicamente está clasificada de la siguiente forma (tabla 3):

Tabla 3. Taxonomía del *Foeniculum vulgare* Mill.

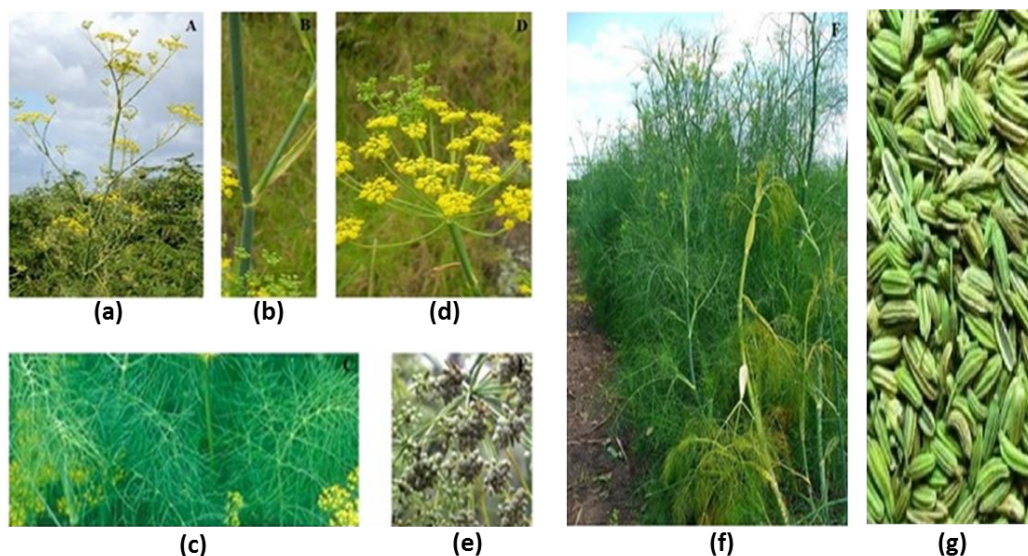
Taxonomía	
Reino	Plantae
Filo	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Apiales
Familia	Apiaceae
Género	<i>Foeniculum</i>
Especie	<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.
Variedades	<i>Foeniculum vulgare</i> convar. <i>Azoricum</i> <i>Foeniculum vulgare</i> convar. <i>Sativum</i> <i>Foeniculum vulgare</i> subsp. <i>Piperitum</i> <i>Foeniculum vulgare</i> subsp. <i>Sativum</i> <i>Foeniculum vulgare</i> subsp. <i>subinodorum</i> <i>Foeniculum vulgare</i> subsp. <i>Vulgare</i> <i>Foeniculum vulgare</i> var. <i>Sativum</i>
Nombre común	Hinojo

Tomado y modificado de Vibrans, 2009; Trópicos ORG., 2024.

Descripción botánica

Foeniculum vulgare Miller (figura 7), es una hierba glabra, bianual de menos de 250 cm. El tallo es estriado, brillante, que desarrolla un pequeño hueco cuando envejece. Las hojas son mayores de 10 mm, alternas, tres o cuatro veces pinnadas, de contorno más o menos triangular, lóbulos generalmente de 5-50 milímetros, filiformes acuminados, cartilaginosos en el ápice, generalmente muy espaciados y no todos en el mismo plano. Peciolos de las hojas superiores generalmente de 3-6 cm. Las flores son pequeñas y agrupadas en inflorescencias. Estructura de la flor: Sépalos ausentes; 5 pétalos amarillos, generalmente más o menos trilobulados, el lóbulo del medio es inflexo; pétalos externos a veces mucho más largos que los internos (radiado); 5 estambres; 1-2 carpelos, generalmente unidos a un eje central (carpóforo), desde el cual los mericarpos se separan en la maduración; 1-2 estilos, frecuentemente con una base engrosada (estilopodio); rudimento seminal péndulo en cada lóculo. La inflorescencia es una umbela compuesta. Consta de 4-10 radios en cada umbela. Generalmente sin brácteas ni bractéolas. El fruto del hinojo dulce es un diesquizocarpo, cuyos dos mericarpos generalmente resisten soldados; de olor a anís muy marcado, con sabor penetrante y dulce. Número de frutos: de 4-10, de 5 mm, oblongo-ovoideo, crestas laterales apenas más prominentes que la dorsal, de sabor dulce. El hinojo florece a partir de junio, y madura sus frutos hacia fines del verano y en otoño. En la figura 7 se muestran las partes de la planta del *Foeniculum vulgare* (Badgujar, Patel y Bandivdekar, 2014).

Figura 7. Especie *Foeniculum vulgare* Mill.



Leyenda: **a)** En su hábitat natural; **b)** Tallo; **c)** Hojas; **d)** Inflorescencias y flores; **e)** Frutas; **f)** población; **g)** Semillas.

Tomado y modificado de Badgujar, Patel y Bandivdekar, 2014.

Compuestos químicos o metabolitos secundarios aislados

Villacís (2021), indica que los métodos empleados para el estudio de los extractos obtenidos de *Foeniculum vulgare* radican en técnicas cromatográficas que posibiliten una separación e identificación de los compuestos que los forman. La investigación fitoquímica que se ha llevado a cabo ha dado lugar al aislamiento de varios metabolitos secundarios provenientes de diferentes partes de la planta. Estos fitoquímicos se encuentran principalmente en el aceite esencial. En la tabla 4 se resumen los principales compuestos presentes en el aceite esencial de *F. vulgare* Mill., la cantidad de compuestos es variable dentro de la planta, apareciendo en diferentes proporciones, en cualquiera de sus partes, debido al momento del desarrollo o del día en que se recolectó. La proporción de los componentes

varía de un aceite a otro, es decir, cada aceite esencial tiene su propia mezcla característica con variaciones.

www.bdigital.ula.ve

Tabla 4. Composición química (%) de los aceites esenciales de *Foeniculum vulgare* Mill. obtenidos de los tallos, hojas, flores y frutos.

Compuestos	Chen y cols (2020)		Ilić y cols (2019)		Marín y cols (2016)	Zeng y cols (2014)	El Ouariachi y cols (2014)	Viuda y cols (2011)
	DCMHD	HD	FND	FD				
<i>Trans</i> -anetol	88,28	87,70	69,89	64,87	23,50	63,30	-	65,59
Estragol	4,25	4,21	2,67	2,58	-	-	-	-
Limoneno	2,04	2,32	1,09	2,32	26,44	1,09	20,8	8,54
Fenchona	2,03	2,06	22,59	23,14	21,68	8,32	12,5	7,76
α -Pineno	0,13	0,26	3,85	0,51	6,22	11,11	0,8	1,8
α -Felandreno	0,06	0,07	0,15	0,36	-	0,21	-	0,07
γ -Terpineno	0,91	1,04	0,38	0,72	0,34	-	-	0,38
Alcanfor	0,06	0,06	0,51	0,50	0,43	0,34	0,1	0,17
β -Mirceno	0,07	0,08	0,41	1,03	9,26	0,16	15,0	0,33
Cimeno	0,23	0,24	0,09	0,10	2,48	-	1,5	0,39
<i>p</i> -anisaldehído	0,75	0,65	0,36	0,14	-	-	-	1,61
β -Pineno	0,02	0,04	-	-	2,04	-	17,8	-
Terpinen-4-ol	0,02	0,02	-	-	0,18	0,46	0,4	0,08
Canfeno	0,01	0,01	0,05	0,16	0,59	-	-	0,07
<i>Cis</i> -anetol	-	-	0,18	0,12	-	-	-	0,08
Germacreno D	0,07	0,08	-	-	-	-	-	-
Apiol	0,01	0,01	-	-	-	2,01	-	-

Tabla 4. Composición química (%) de los aceites esenciales de *Foeniculum vulgare* Mill. obtenidos de los tallos, hojas, flores y frutos (Continuación)

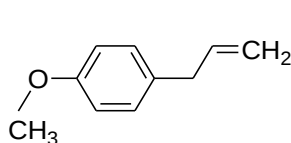
Compuestos	Chen y cols (2020)		Ilić y cols (2019)		Marín y cols (2016)	Zeng y cols (2014)	El Ouariachi y cols (2014)	Viuda y cols (2011)
	DCMHD	HD	FND	FD				
1-(4-metoxifenil)-1,2-Propanodiol	0,03	0,02	-	-	-	-	-	-
Acetato de fenilo	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-
β -Thujeno	0,08	0,12	-	-	0,14	-	-	-
β -Ocimeno	0,01	0,01	-	-	1,60	-	-	-
Pulegona	-	0,02	-	-	-	-	-	-

Leyenda: **DCMHD:** hidrodestilación de doble condensación asistida por microondas, **HD:** hidrodestilación convencional, **FND:** frutos no desintegrados, **FD:** frutos desintegrados.

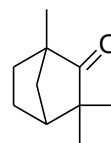
Tomado y modificado de Villacís (2021).

Además Villacís (2021) especifica que de acuerdo con la investigación fitoquímica que han realizado sobre *F. vulgare* Mill., se observa el aislamiento de componentes volátiles, compuestos fenólicos y algunas otras clases de metabolitos secundarios que están ausentes de manera total o se encuentran en pequeñas cantidades. Las estructuras moleculares de algunos de los componentes del aceite esencial presentes en la especie se encuentran ilustrados en la figura 8, destacando como componentes mayoritarios el *trans*-anetol (**15**), estragol (**17**), limoneno (**10**), fenchona (**18**) y α -pineno (**9**), dichos compuestos, como se mencionó anteriormente, se encuentran en mayor o menor proporción dependiendo de la parte de la planta del cual ha sido extraído el aceite esencial.

Figura 8. Estructuras químicas de los componentes mayoritarios aislados del aceite esencial de *Foeniculum vulgare*



Estragol (**17**)



Fenchona (**18**)

Tomado y modificado de Badgujar y cols., 2014.

En el trabajo realizado por Rojas y Calderón (2014), evaluaron el extracto hidroalcohólico de las hojas y tallos de *F. vulgare* Mill y como resultado del análisis fitoquímico demostraron la presencia de alcaloides, flavonoides, taninos, saponinas y glicósidos cardiotónicos.

Se ha informado que *F. vulgare* contiene ácidos fenólicos como los ácidos 3-*O*-cafeoilquínico, 4-*O*-cafeoilquínico, 5-*O*-cafeoilquínico, 1,3-*O*-

dicafeoilquínico, 1,4-*O*-di-cafeoilquínico y 1,5-*O*-di-cafeoilquínico (Faudale, Viladomat, Bastida, Poli y Codina, 2008).

Por otra parte, los compuestos fenólicos y flavonoides generalmente se consideran como una categoría importante de antioxidantes en la dieta humana, los cuales son abundantes en las plantas de la familia Apiaceae. La presencia de glucósidos de flavonol en especies de hinojo está relacionada con su heterogeneidad y variación morfológica. El contenido total de flavonoides de los extractos hidroalcohólicos es de aproximadamente $12,3 \pm 0,18$ mg/g. Además, de los compuestos como eriodictiol-7-*O*-rutinosido (**19**), quercetina-3-*O*-rutinosido (**20**) y ácido rosmarínico (**21**) se han aislado de *F. vulgare* (Figura 9) (Faudale, Viladomat, Bastida, Poli y Codina, 2008).

Figura 9. Estructuras químicas de fenoles y flavonoides aislados de *Foeniculum vulgare*.

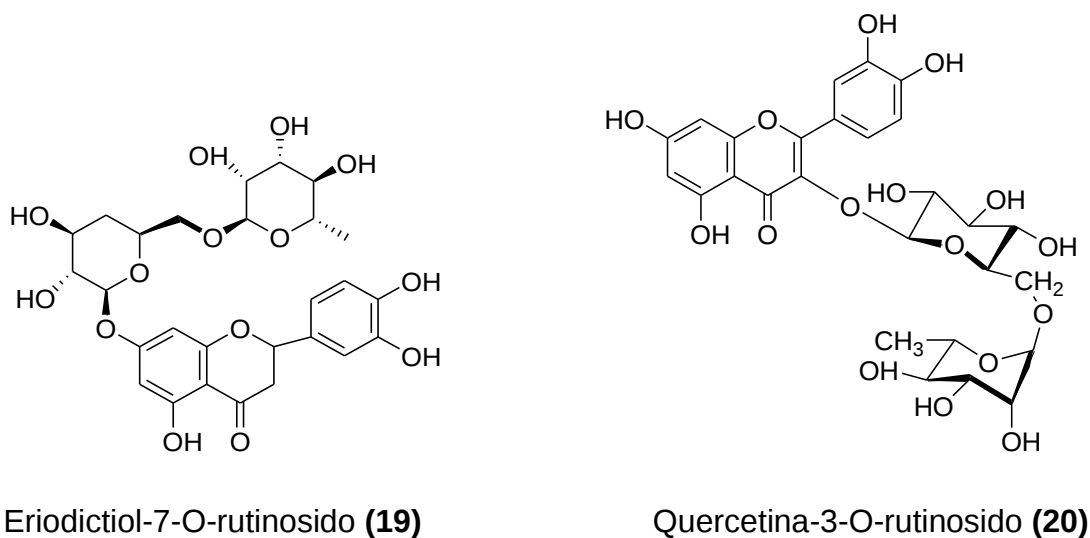
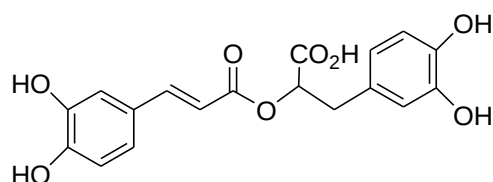


Figura 9. Estructuras químicas de flavonoides y fenoles aislados del *Foeniculum vulgare* (continuación)

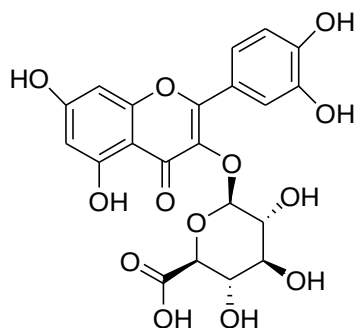


Ácido rosmarínico **(21)**

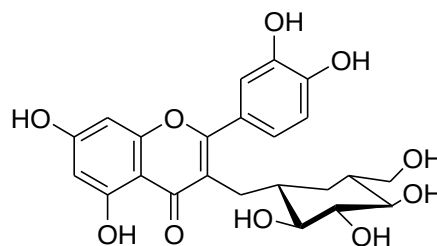
Tomado y modificado de Faudale, Viladomat, Bastida, Poli y Codina, 2008.

Entre los flavonoides presentes en *Foeniculum vulgare*, los más prevalentes son quercetina-3-O-glucurónido **(22)**, isoquercitrina **(23)**, quercetina-3-O-arabinósido **(24)**, kaempferol-3-O-glucurónido **(25)**, kaempferol-3-O-arabinósido **(26)**, e isorhamnetina-3-O-glucósido **(27)** (figura 10) (Kunzemann, Herrmann, 1977).

Figura 10. Flavonoides mas notables en el *Foeniculum vulgare*

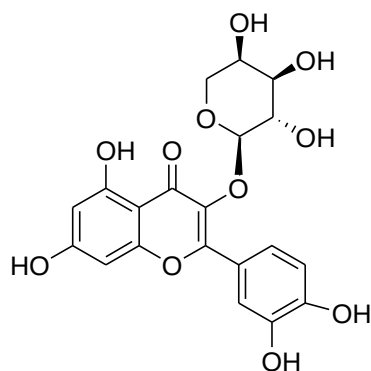


Quercetina-3-O-glucurónido **(22)**

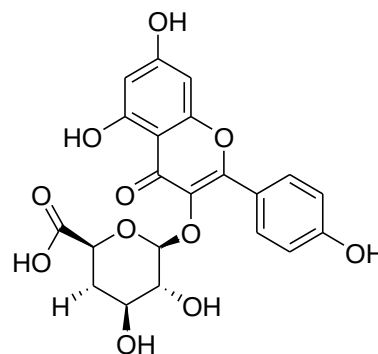


Isoquercitrina **(23)**

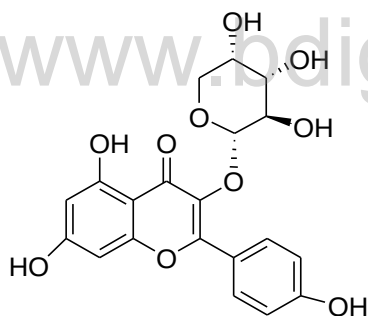
Figura 10. Flavonoides mas notables en el *Foeniculum vulgare*



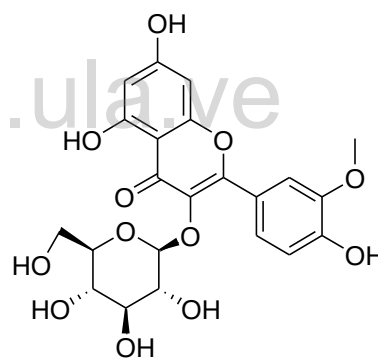
Quercetina-3-O-arabinósido **(24)**



Kaempferol-3-O-glucurónido **(25)**



Kaempferol-3-O-arabinósido **(26)**

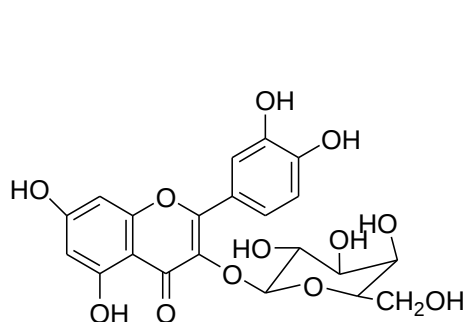


Isorhamnetina-3-O-glucósido **(27)**

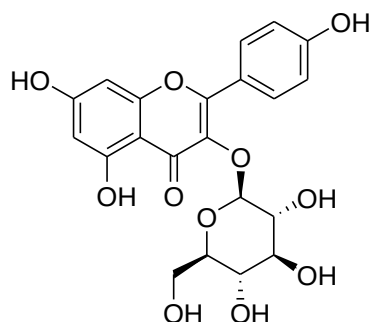
Tomado y modificado de Kunzemann, Herrmann, 1977.

También se han reportado en el extracto acuoso de *F. vulgare* Quercetina-3-O-galactosido **(28)**, kaempferol-3-O-glucósido **(29)** y kaempferol-3-O-rutinósido **(30)** (figura 11) (Parejo, Jauregui, Sánchez Rabaneda, Viladomat, Bastida y Codina, 2004).

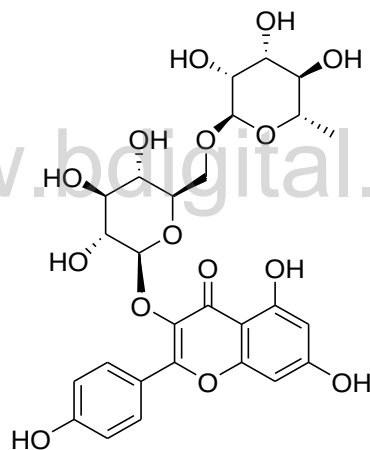
Figura 11. Flavonoides obtenidos del extracto acuoso de *Foeniculum vulgare*.



Quercetina-3-O-galactosido **(28)**



Kaempferol-3-O-glucósido **(29)**



Kaempferol-3-O-rutinósido **(30)**

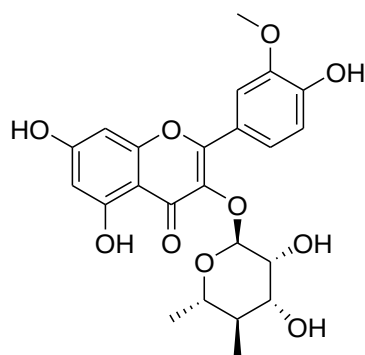
Tomado y modificado de Kunzemann, Herrmann, 1977.

El extracto metanólico de semillas de hinojo contiene ácido rosmarínico, ácido clorogénico como compuestos fenólicos principales (14,9% y 6,8%, respectivamente), así como quercetina y apigenina como los flavonoides principales (17,1% y 12,5%, respectivamente). Además, los

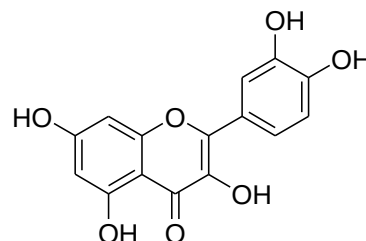
compuestos fenólicos totales en el extracto metanólico de hinojo fueron más altos que los compuestos flavonoides (Roby, Sarhan, Selim y Khalel, 2013).

Los flavonoides como isorhamnetina 3-O- α -rhamnosido (**31**), quercetina (**32**) y kaempferol (**33**), también se aislaron del extracto de acetato de etilo, mientras que quercetin 3-O-rutinosido, kaempferol 3-O-rutinosido y quercetin 3-O- β -glucosido (**34**) aislados del extracto de metanol (figura 12). Estos flavonoides exhiben una notable actividad antinociceptiva y antiinflamatoria (Nassar, Aboutabl, Makled, ElKhrisy y Osman, 2010). Además, se informó que la quercetina, la rutina y la isoquercitrina tienen actividades inmunomoduladoras (Cherng, Chiang y Chiang, 2008).

Figura 12. Flavonoides aislados del extracto de metanol de *Foeniculum vulgare*.

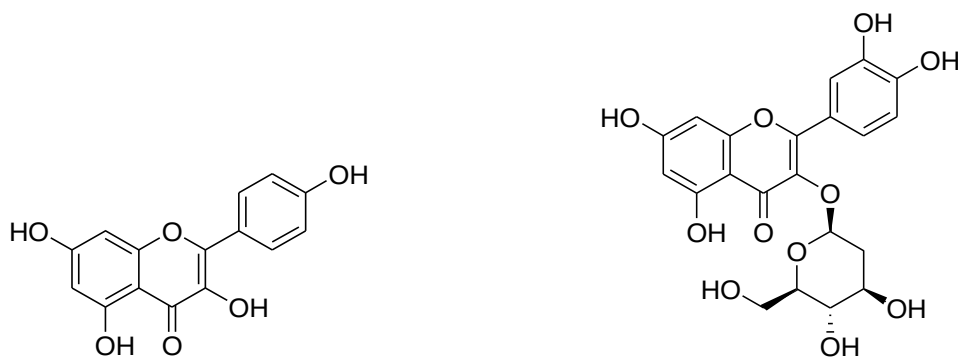


Isorhamnetina 3-O- α - rhamnosido (**31**)



Quercetina (**32**)

Figura 12. Flavonoides aislados del extracto de metanol de *Foeniculum vulgare*. (continuación)



Kaempferol **(33)**

Quercetin 3-O- β -glucosido **(34)**

Tomado y modificado de Kunzemann, Herrmann, 1977.

www.bdigital.ula.ve

Usos etnobotánicos

Dioscorides, médico y farmacólogo griego, en el siglo I, ya describía las propiedades carminativas, aperitivas y diuréticas del “hinojo” (Laguna, 1994).

Putz (2009), médico y alquimista suizo, en el siglo XVI, dijo de este que poseía unas propiedades parecidas a las del anís. Sus frutos exhalaban un olor agradable, siendo carminativos y útiles en la atonía digestiva, y estaban indicados en los cólicos nerviosos de los niños. Era considerado un buen medicamento para aumentar la secreción de leche en las mamas. La raíz se usaba como diurética y su corteza como aperitiva.

Font Quer (1979), le atribuyó a los frutos machacados en infusión propiedades carminativas, aperitivas y a la raíz fresca o en infusión,

propiedades diuréticas. El hinojo es un substituyente del fruto del anís (*Pimpinella anisum* L.) y con acción más duradera que la de éste. Los frutos entran a formar parte en diversos licores, destilados con alcohol dan un aguardiente (fenouillet) parecido al anisete. Por otra parte, los cogollitos de hinojo, tiernos, constituyen una excelente verdura para ensalada, y a menudo se mezclan con otros brotes tiernos como berros, taraxacum y acederas.

Duke (1985), indica que las semillas se usan para dar sabor a vinagres, pan, pastas, caramelos y conservas en vinagre. Las hojas y tallos a veces se emplean para preparar ensaladas y guisos. El hinojo es un importante condimento para cocinar pescado fuerte. El aceite esencial se usa en artículos culinarios y artículos de baño.

Además de ser abortivo, calmante, afrodisíaco, balsámico, cardiotónico, carminativo, diaforético, digestivo, diurético, emenagogo, expectorante, lactagogo, pectoral, reconstituyente, estimulante, estomático, tónico y vermicida, el hinojo es un antiguo remedio para la aerofagia, amenorrea, dolor de espalda, cólera, cólico, dispepsia, enteritis, enuresis, flujo, gas, gastritis, gonorrea, hernia, náusea, nefrosis, parto, mordedura de serpiente, úlcera, espasmos, dolor estomacal, angurria, pujo, dolor de muelas, y para aumentar la virilidad. Un emplaste de zumo de hinojo es un remedio tradicional para el endurecimiento de las glándulas mamarias, carcinomas, y heridas cancerosas (Duke, 1985).

Actividad biológica

Los extractos de las plantas han provocado un gran interés en la industria farmacéutica por sus propiedades como antioxidantes naturales y a sus actividades biológicas (Hussain, Anwar, Sherazi, Przybylski, 2008).

- **Actividad antimicrobiana:** Duško, Čomić y Solujić (2006) investigó el efecto antibacteriano del extracto acuoso de 12 plantas medicinales de la familia Apiaceae, incluida *F. vulgare*. El extracto acuoso de las partes aéreas de *F. vulgare* inhibió el crecimiento de *Agrobacterium radiobacter* pv. *tumefaciens*, *Erwinia carotovora*, *Pseudomonas fluorescens* y *Pseudomonas glycinea*. Así mismo Kaur y Arora, 2009 a través del extracto acuoso de las semillas observaron que inhibió el crecimiento de *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi*, *Salmonella typhimurium*, *Shigella flexneri* y *Bacillus cereus*.
- **Actividad antioxidante:** Los extractos de etanol y agua de hinojo mostraron actividad antioxidante, como se menciona en el aporte de Badgujar, Patel y Bandivdekar (2014), quienes destacan que al realizar el tamizaje fitoquímico de dichos extractos de frutos de hinojo, con el fin de identificar y comparar los metabolitos secundarios extraídos con cada disolvente de diferentes polaridades, dio como resultado extractos ricos en compuestos fenólicos, aunque los flavonoides son los metabolitos secundarios de mayor representatividad en los extractos acuosos. Consideran que al estar presentes estos componentes en *F. vulgare* se puede prevenir posibles enfermedades inducidas por estrés oxidativo como las enfermedades cardiovasculares, cáncer e inflamación.

- **Actividad hepatoprotectora:** Samadi, Hadjzadeh, Moradi, y Khajavi (2021), evaluó el efecto hepatoprotector de hinojo y el *trans*-anetol, en la lesión hepática inducida por estreptozocina en ratones, el estudio reveló que el *trans*-anetol redujo los niveles de glucosa en sangre, por lo tanto al ser un compuesto activo en el extracto, una parte de estos efectos beneficiosos podrían estar mediados por la presencia de dicho compuesto, evidenciando que el hinojo puede proteger al hígado contra la diabetes o alguna complicación relacionada.
- **Actividad hipoglucemiante:** El-Soud, El-Laithy, El-Saeed, Wahby, Khalil y cols (2011) estudiaron el efecto hipoglucemiante del aceite esencial de hinojo, en ratas expuestas a estreptozocina, las cuales se volvieron hiperglucémicas debido a la acumulación progresiva de glucosa plasmática, concluyendo que la ingestión de aceite esencial en ratas diabéticas corrigió la hiperglucemia y la actividad de la glutatión peroxidasa sérica, además mejoró los cambios patológicos notados en el riñón y el páncreas. Sugieren que puede ser una buena oportunidad para realizar investigaciones donde implementen medicamentos antidiabéticos a base del extracto de hinojo.
- **Actividad hipolipemiante:** Garg, Ansari, Khan y Garg, (2011), demostraron que los niveles de colesterol y triglicéridos que fueron alterados en animales mejoraron de manera significativa con el tratamiento a base de extracto metanólico y aceite esencial de fruta del *Foeniculum vulgare*. Mencionan que los compuestos fenólicos juegan un papel importante en el manejo y control de la obesidad, a través de la mejora del metabolismo de los lípidos.

- **Actividad antiulcerogénica:** Birdane, Buyukokuroglu, Cemek Gulcin y Birdane (2007), examinaron el efecto antiulcerogénico del extracto de hinojo y concluyeron que el pre tratamiento con el extracto redujo el daño gástrico inducido por etanol, complementando con lo que ya se mencionó en otras investigaciones, que la especie presenta un efecto protector contra las lesiones de la mucosa gástrica, mencionan que este efecto depende de la reducción de la peroxidación lipídica, para evitar el daño celular.
- **Actividad antiinflamatoria:** Choi y Hwang (2004), indican que la mayoría de medicamentos importantes pertenecen a anti-esteroides esteroides o no esteroides, a pesar de poseer una gran actividad, se necesita una administración durante mucho tiempo para tratar enfermedades crónicas, lo que puede provocar efectos adversos. Por lo que su investigación se ha centrado en agentes de origen natural como el hinojo, para evaluar sus efectos sobre reacciones inflamatorias y la nocicepción.

Al evaluar la actividad antiinflamatoria indicaron que el extracto metanólico de *F. vulgare* Mill. Inhibió aproximadamente el 70% de los edemas provocados en ratones y ratas, lo cual significa que el hinojo puede actuar tanto en las vías de la ciclooxigenasa como de la lipooxigenasa, factores claves que contribuyen al proceso inflamatorio. Además, determinaron los efectos analgésicos, para comprobar que inhibiera los receptores del dolor en el lugar de la inflamación y efectivamente inhibió la estimulación térmica de la placa caliente, por lo tanto concluyeron que puede reducir el riesgo de enfermedades relacionadas con la inflamación, sin embargo, concuerdan que se

necesitan más estudios para conocer completamente su mecanismo y los compuestos activos responsables (Choi y Hwang, 2004).

- **Reducción de síntomas de la menstruación:** Sarmiento y Torres (2019), determinaron los efectos de *F. vulgare* sobre los síntomas, intensidad del dolor y la duración de la menstruación en estudiantes que padecen de dismenorrea primaria, mediante el análisis estadístico concluyeron que el consumo del hinojo en cápsula de 226 mg durante tres días cada 4 horas antes de la menstruación hasta el quinto día, tiene efectos en la disminución de dichos síntomas, ya que los síntomas disminuyeron en los estudiantes que si las consumieron a diferencia de los que no lo hicieron.
- **Reducción de síntomas de la menopausia:** Datos preliminares sugieren que el hinojo podría ser eficaz para tratar los síntomas de la menopausia. Los resultados de Rahimikian, Rahimi, Golzareh, Bekhradi y Mehran (2017) revelaron que después de 8 semanas de tratamiento con cápsulas blandas que contenían 100 mg de hinojo (2 cápsulas por día) en mujeres posmenopáusicas, hubo una disminución significativa en la puntuación de Menopause Rating Scale (instrumento validado de medición de calidad de vida de las mujeres, para medir la severidad de los síntomas relacionados con la menopausia), lo que indicaría que *F. vulgare* Mill. es eficaz y seguro ya que tampoco presentaron efectos secundarios, sin embargo, recomiendan que se realicen más ensayos clínicos con poblaciones más extensas.
- **Efecto antienvjecimiento:** El proceso de envejecimiento involucra varios factores ambientales, aproximadamente el 80 % de las arrugas

faciales son debido a los rayos UV, tal y como Rasul, Naveed, Khan, Mahmood, Zaman y Khan (2012) lo mencionan en su estudio, donde formularon una emulsión agua/aceite (w/o) que contenía un 4 % de extracto concentrado de semillas de *F. vulgare*, para evaluar los diferentes parámetros relacionados con el envejecimiento de la piel, además realizaron pruebas en los voluntarios para observar la presencia de eritemas en la piel. La formulación mostró efectos significativos sobre la humedad de la piel y la pérdida de agua transepidérmica, sin presentar efectos nocivos en ningún voluntario, destacan que los resultados posiblemente se deban a la cantidad de componentes fenólicos extraídos de las semillas.

- **Actividad antitumoral y anticancerígeno/antimutagénico:**
Pradhan, Sribhuwaneswari, Karthikeyan, Minz, Claro y cols (2008), al evaluar la actividad citotóxica contra la línea celular de melanoma B16F10, evidenció que a la concentración de 200 $\mu\text{g/mL}$, mostró una disminución en el porcentaje de variabilidad celular, concluyendo que el extracto de frutos de hinojo mostró un gran efecto, indicando un buen funcionamiento de los futuros tejidos.

Radiación solar

Son ondas electromagnéticas emitidas por el sol, las cuales producen diversas reacciones fotobiológicas. De estas ondas los rayos ultravioletas constituyen aproximadamente un 10 %, mientras que la luz visible un 50 % y la infrarroja un 40 %; según la latitud, la posición del sol, la hora del día y nubosidad dichos porcentajes pueden variar (Zaragozano, Bueno y Moreno, 2016).

Los rayos del sol impactan en la tierra en forma de luz visible, infrarroja (IR) y radiación ultravioleta (RUV). Estas tres entidades son los componentes más importantes del espectro electromagnético el cual también incluye radioondas, microondas, rayos X y radiación gamma. La radiación visible es aquella percibida por el ojo humano, cada color de la luz visible representa un rango de longitud de onda diferente. Aproximadamente la mitad de la radiación solar es infrarroja y responsable del efecto calorífico el cual se siente en la exposición solar. La RUV es el área del espectro electromagnético que se considera biológicamente activo y por lo tanto de mayor impacto en la salud (Baron y Suggs, 2014).

Tipos de radiación solar

- **Radiación UVC:** Su longitud de onda es de 200-280 nm. La que el sol produce es absorbida por la atmósfera, y la que se produce de manera artificial es emitida por medio de lámparas. Esta radiación provoca eritemas y permite un bronceado mínimo en la piel; la desventaja es que irrita la conjuntiva y la córnea por lo que se recomienda el uso de gafas (Zaragozano, Bueno y Moreno, 2016).
- **Radiación UVB:** Su longitud de onda es de 280-320 nm, esta también irrita la conjuntiva y la córnea, pero en menor medida que la radiación UVC. Sus efectos biológicos son el eritema (quemadura solar) la cual aparece entre las 12 a 24 horas después de la exposición, el bronceado aparece entre las 48 a 72 horas. Entre los efectos tenemos el daño crónico de la piel, esto debido a los cambios que se producen a nivel de ADN, ARN, proteínas y membranas celulares, efectos

relacionados con mecanismos carcinogénicos. Si la dosis de radiación es mayor a las dosis mínima de eritema (DME) se producen alteraciones fototóxicas en los queratinocitos de la epidermis (Zaragozano, Bueno y Moreno, 2016).

- **Radiación UVA:** Su longitud de onda es de 320-400 nm. Sus efectos se incrementarían si se la asocia con la radiación UVB. La radiación UVA se la puede producir artificialmente, mediante lámparas fluorescentes, esto siempre con fines diagnósticos y terapéuticos. Si la exposición no es prolongada no irrita la conjuntiva (Zaragozano, Bueno y Moreno, 2016).

La radiación UVA alcanza aproximadamente el 90-99 % de la superficie de la tierra, no es filtrado por la capa de ozono en la atmósfera, tiene longitud de onda larga y de baja energía que penetra profundamente en la piel, provoca el envejecimiento de la piel, induce pigmentación inmediata y persistente (bronceado) (Narayanan, Saladi y Fox, 2010).

La Piel

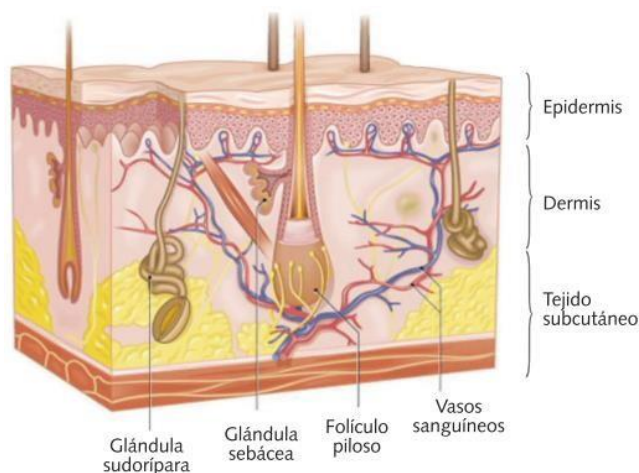
La piel, cuyo origen es ectodérmico y mesodérmico, es un órgano de vital importancia, de estructura compleja y múltiples funciones. Su superficie llega a 2 m² y lo hace el más extenso del cuerpo y su peso representa el 30 % del peso total de un adulto. Actúa como barrera protectora de traumatismos, quemaduras y manteniendo el medio interno. Regula la temperatura corporal, conserva el calor por vasoconstricción y enfría por vasodilatación y evaporación del sudor. Protege de los RUV, a través de los

melanocitos y de la barrera proteica córnea fabricada por los queratinocitos, que impiden la acción dañina sobre el ADN nuclear. Es un órgano de percepción a través de las múltiples terminaciones nerviosas distribuidas en la superficie. También Interviene en la absorción de la vitamina D (7-dehidrocoleciferol) y en la vigilancia inmunológica a través de las células de Langerhans. La piel consta de 3 capas, que se muestran en la figura 14 (Beatriz, 2017):

- **Epidermis:** De origen ectodérmico, que es el epitelio de cobertura, de espesor variable (0,04 a 1,5 mm) (Beatriz, 2017). Es un epitelio plano poliestratificado y queratinizado que cubre la totalidad de la superficie corporal. Es la capa de la piel con mayor número de células y con una dinámica de recambio extraordinariamente grande (Eisman, Blanca y Camacho 2018).
- **Dermis** o corion: De origen mesodérmico, con vasos, anexos y estructuras nerviosas (Beatriz, 2017). Es la estructura de soporte de la piel y le proporciona resistencia, elasticidad y capacidad de adaptación a movimientos y cambios de volumen (Eisman, Blanca y Camacho 2018).
- **Hipodermis** o tejido adiposo subcutáneo: De origen mesodérmico. Sus funciones son: protección contra traumatismos, como aislante del frío y reservorio de energía calórica ante el ayuno (Eisman, Blanca y Camacho 2018).

La piel consta de tres capas (figura 13) (MedlinePlus, 2023).

Figura 13. Estructura de la piel



Tomado y modificado de MedlinePlus, 2023.

Melanina

Las melaninas son biopolímeros opacos de estructura química compleja presentes en la epidermis de todas las personas; son los principales pigmentos responsables del color normal de la piel y el cabello. Existen dos tipos de melaninas, las cuales se combinan dando origen al gran espectro de colores y tonalidades de la piel existentes (Marín y del Pozo, 2005).

- **Eumelaninas:** Responsables de las coloraciones oscuras, contienen azufre y son de color pardo o negro. Aportan una mejor fotoprotección que las feomelaninas porque tienen mayor capacidad para absorber los rayos UV. Predominan en las personas de raza negra o con cabello negro o marrón. Tienen la capacidad de secuestrar electrones y radicales libres generados por la radiación (Pons, 2006).

- **Feomelaninas:** Responsables de las coloraciones claras, ya que contienen mayor cantidad de azufre que las eumelaninas; son amarillas o rojo-parduzcas. Predominan en las personas de raza blanca, especialmente las que tienen la tez muy clara y cabello rubio o rojizo. A diferencia de las eumelaninas, éstas no protegen frente a los radicales libres, sino que, por el contrario, generan especies reactivas de oxígeno (ERO) al captar fotones UV (Pons, 2006).

Además nos protegen de manera natural frente al Sol siendo capaces de dispersar y bloquear de manera física los rayos UV, convertir la energía que absorben en calor y hacer que los rayos UV y los de la luz visible penetren menos en la piel. A mayor grosor y pigmentación más oscura la piel, más fotoprotección aportarán las melaninas (Marín y del Pozo, 2005; Bernabéu, 2006; Jansen, Wang, Burnett, Osterwalder y Lim, 2013).

La síntesis de melanina es la principal respuesta fotoprotectora fisiológica de la piel. Es un mecanismo complejo regulado por la luz UV, estímulos hormonales y factores genéticos. Tiene lugar en los melanocitos que, como se ha mencionado anteriormente, se encuentran en el estrato córneo de la epidermis (Azcona, 2003; Marín y del Pozo, 2005; Gómez, 2008). La piel bronceada es el resultado visible de la síntesis de melanina, y se cree que reduce el daño producido por la luz en el ADN y que otorga un Factor de Protección Solar (FPS) entre 2 y 4 (Gilaberte y González, 2010).

Clasificación de los diferentes tipos de piel en función de su reacción a la luz del sol

Se debe conocer que la respuesta de la piel a la exposición solar depende del llamado "fototipo" que está determinado por la cantidad de

melanina presente en la piel. En otras palabras el fototipo es la capacidad innata que tiene cada persona de adaptarse al Sol (capacidad para producir melanina), y engloba el conjunto de características que determinan el perfil pigmentario; es decir, si una piel se broncea o no, y cómo y en qué grado lo hace (Garrote y Bonet, 2002; Marín y del Pozo, 2005). Existen seis fototipos distintos de acuerdo a la clasificación de **Fitzpatrick** (Sachdeva, 2009):

- Tipo I: Piel blanca: siempre se quema, nunca se broncea. Estos individuos presentan características tales como cabello y ojos muy claros, con abundantes pecas. Necesitan protección ultra máxima >15.
- Tipo II: Piel clara: generalmente se quema, a veces se broncea. Piel, cabello y ojos claros, con pecas. Piel habitualmente no expuesta al sol. Ameritan protección máxima de 8 – 15.
- Tipo III: Piel discretamente pigmentada: generalmente se broncea, a veces se quema. Razas caucásicas, piel blanca, poco bronceada. Protección adecuada extra de 6 – 8.
- Tipo IV: Piel pigmentada: siempre se broncea y nunca se quema. Piel habitualmente morena o algo amarronada, con pelo y ojos oscuros. Protección moderada de 4 – 6.
- Tipo V: Piel muy pigmentada: nunca se quema. Piel morena o amarronada. Protección mínima de 2 – 4.
- Tipo VI: Piel intensamente pigmentada (negra). Razas negras. Protección mínima, no precisa.

Los tipos I y II son extremadamente sensibles al daño solar o sea que son un grupo de riesgo. En la figura 14 presenta la clasificación de cada fototipo (Díaz, 2006).

Figura 14. Coloración de los diferentes fototipos



Tomado y modificado de Díaz, 2006.

www.bdigital.ula.ve

Efecto de la radiación solar sobre la piel

La presencia de la radiación solar asociada a la vida en una atmósfera rica en oxígeno produce efectos indeseados y perjudiciales sobre la piel. La consecuencia más severa del daño producido por la radiación solar es el cáncer de piel. Cambios menos severos, reflejo del fotoenvejecimiento cutáneo, son la presencia de arrugas, descamaciones, sequedad de la piel y anormalidades en la pigmentación cutánea como la hiper y la hipopigmentación. Para que ocurra una reacción fotoquímica en la epidermis, es necesario que la radiación ultravioleta sea absorbida por un cromóforo, iniciándose así una serie de reacciones fotoquímicas que desembocarán en un fotoenvejecimiento o incluso en un cáncer cutáneo (Trautinger, 2001).

Estas reacciones fotoquímicas pueden implicar cambios en el ADN, incluyendo la oxidación de los ácidos nucleicos. Las reacciones oxidativas

pueden también modificar proteínas y lípidos, produciendo, en consecuencia, cambios en la funcionalidad de las estructuras afectadas. La acumulación de dichas oxidaciones puede desembocar en envejecimiento tisular, y si la capacidad natural del organismo para contrarrestar este acumulo de oxidaciones se ve superada por el efecto de las radiaciones ultravioletas, asociadas a la presencia de otros generadores de radicales libres (humo del tabaco, polución), pueden aparecer daños oxidativos más graves (Trautinger, 2001).

Protector solar

Un protector solar se define como una sustancia química que aplicándose a la piel produce el mismo efecto que la melanina, previniendo que la radiación alcance a las células vivas de la piel. Los protectores solares deben absorber en las regiones apropiadas del espectro, deben absorber luz sin causar reacciones fotoquímicas, y deben hacerse pruebas de su fototoxicidad. Además, para que el protector solar sea efectivo, debe absorber radiación UV; una vez que la molécula que funciona como principio activo del protector solar sea excitada, la misma debe regresar a su estado fundamental para volver a estar disponible para absorber otro fotón. Por lo tanto, se capta la energía incidente y se la transforma a otro tipo de energía con longitud de onda diferente que sea inocua para la piel, siendo emitida al final como radiación térmica (Bunce, 1991).

Los denominados filtros solares tienen la propiedad de reflejar, absorber o dispersar los rayos solares, de modo que permiten una exposición solar más prolongada y con menor riesgo. Los productos de protección solar normalmente actúan frente a las radiaciones UVB y UVA.

Sin embargo, la capacidad fotoprotectora no es la única propiedad exigible a este tipo de ingredientes. También deben carecer de toxicidad aguda o crónica y no ser susceptibles de causar irritación ni ninguna otra reacción sensibilizante, ser compatibles con el resto de componentes de la formulación y ser estables frente al calor, la humedad, la luz intensa y el pH de la piel (Garrote y Bonet, 2008).

Origen de los bloqueadores solares

Según la Asociación Nacional de Perfumería y Cosmética, por sus siglas en inglés (STANPA), los protectores solares tienen su inicio desde los años 20 a raíz de las diferentes tendencias que habían en la moda, una de ellas el bronceado. Desde entonces se debían tomar medidas para la precaución ante daños y cuidado de la piel. En 1928 los farmacéuticos de aquel entonces hicieron los primeros protectores solares elaborados a base de aceite de oliva y almendras, aprovechando las propiedades de cada uno. A partir de estas investigaciones se lanza el primer fotoprotector en Estados Unidos hecho por el diseñador francés Jean Patou (STANPA, 2016).

Posteriormente a este lanzamiento, en 1933 Alemania hizo el primer fotoprotector, esta vez a base de un compuesto entre benceno e imidazol, lo cual dio como resultado el benzimidazol, esta innovación permitió, dos años más tarde que el 75 % de las personas en las playas de Florida, en Estados Unidos, usaran un aceite, una crema u otro preparado para evitar los efectos del sol. Aunque realmente se trataba más bien de ungüentos emolientes que de protectores, a raíz de este hecho la gente empezó a tener conciencia de lo que era la protección solar y cada vez fueron utilizando más estos productos (STANPA, 2016).

De esta manera progresivamente diferentes figuras históricas en lo que respecta a la industria química fue desarrollando diferentes tipos de fotoprotectores o filtros de rayos UVB a raíz de percatarse de este fenómeno en experiencias personales, tal es el caso de Eugéne Schuller (fundador de L'Oreal) en 1935, su invento permitía broncear 5 veces más rápido y sin quemaduras, lo que supuso una auténtica revolución. En 1938 el químico austriaco Franz Greiter tras sufrir una insolación mientras practicaba alpinismo en el monte Piz Buin, idea el desarrollo de un fotoprotector efectivo que saldría a la luz 8 años más tarde. En 1944 Benjamin Green, notó durante Segunda Guerra Mundial como los soldados desplazados en el Pacífico sufrían quemaduras debido a la exposición solar, fue entonces cuando descubrió que la parafina aplicada sobre la piel evitaba que los rayos ultravioleta traspasase la piel quemándola (STANPA, 2016).

www.bdigital.ula.ve

Factor de protección solar

El FPS refleja el grado de protección de un filtro solar e indica el tiempo que se puede prolongar la exposición al Sol sin riesgo de eritema en la piel respecto a si no se hubiera empleado el fotoprotector; y la capacidad del fotoprotector para proteger frente a la radiación UVB. Se expresa mediante un número cuyo valor es directamente proporcional a la protección que aporta frente a la radiación solar (Garrote y Bonet, 2002).

En términos técnicos el FPS se define como el cociente entre la dosis eritematígena mínima (DEM) en una piel protegida por un producto de protección solar y la DEM en la misma piel sin proteger. La DEM es la cantidad de energía necesaria para generar un eritema (Comisión de las comunidades europeas, 2006).

Las tendencias actuales, utilizan el método de la Asociación

Europea de Cosméticos y Perfumería (COLIPA) para clasificar los productos en varios tipos o categorías (tabla 5), en función del factor de protección solar (La Asociación Española contra el Cáncer, 1953).

Tabla 5. Clasificación según el índice de factor de protección solar

Categoría	FPS
Protección bajo	2,4,6
Protección Medio	8,10,12
Protección Alto	15,20,25
Protección Muy alto	30,40,50
Ultra	Superiores a 50

Tomado y modificado de Batle, 2005.

Clasificación de los filtros solares

Los filtros solares son los componentes activos de los fotoprotectores, cuya función principal es proteger frente a las radiaciones solares, generalmente la UVA y la UVB, y en algunos casos también la IR. Con ellos se intentan prevenir los efectos perjudiciales del Sol. Al ser diferentes en composición y características fisicoquímicas, presentan diferentes mecanismos de acción. Atendiendo a este criterio se clasifican en físicos, químicos o biológicos (Bernabéu, 2006; Bernabéu, 2007; Garrote y Bonet, 2008):

Filtros físicos: Son pigmentos minerales, de naturaleza inorgánica, inerte y atóxica que actúan desviando, reflejando y/o dispersando todo el espectro de la radiación solar sin interacción química entre el filtro solar y la radiación. Por ello se les conoce también con el nombre de pantallas solares. Al no ser específicos frente a ningún tipo de radiación ofrecen un alto nivel de

protección. Son fotoestables, muy resistentes al agua y no producen ninguna reacción de sensibilidad, ya que no atraviesan el estrato córneo de la piel y no se absorben a nivel sistémico, si no que se acumulan en los orificios pilosebáceos, donde forman una capa. Sus características los hacen altamente tolerantes, razón por la cual son los más recomendables durante la infancia. Los más utilizados son el dióxido de titanio, el óxido de zinc y la mica, aunque también pertenecen a este grupo el talco, el óxido de hierro, el mica-titanio, el mica-óxido de hierro y los silicatos, como el caolín (Bernabéu, 2006).

Antes tenían el inconveniente de que, al aplicarlos, dejaban sobre la piel una capa blanquecina antiestética. Pero actualmente se formulan como polvo micronizado, de manera que son transparentes a la luz visible, y por tanto a la vista, pero siguen ofreciendo la misma protección (Bernabéu, 2006).

Filtros químicos: Se trata de compuestos orgánicos aromáticos conjugados capaces de absorber la radiación solar, de cierta longitud de onda, y transformarla en otro tipo de energía, con distinta longitud de onda, que sea inocua para la piel. De esta manera se protegen los tejidos, ya que la radiación no los alcanza (Bernabéu, 2007; Garrote y Bonet, 2008).

Según la longitud de onda que la molécula pueda absorber se clasifican en (Bernabéu, 2007; Garrote y Bonet, 2008):

- **Filtros selectivos para la radiación UVA:** benzofenonas, merxil SX, derivados del dibenzoilmetano y octitriazol.
- **Filtros selectivos para la radiación UVB:** ácido para-amino benzoico (PABA) y sus derivados, salicilatos, cinamatos, derivados del alcanfor y benzimidazoles.

A diferencia de los filtros físicos, los químicos pueden dar lugar a reacciones de fotosensibilidad o dermatitis de contacto. Por ello no se aconseja su aplicación en niños. Aun así se suelen incluir en los fotoprotectores, ya que presentan muy buenas propiedades cosméticas. Normalmente se combinan diferentes filtros para cubrir el mayor espectro de absorción posible y proteger la piel, eficazmente, tanto de la radiación UVA como de la UVB (Bernabéu, 2007; Garrote y Bonet, 2008).

Filtros biológicos: No son realmente filtros solares, ya que no absorben, desvían, reflejan ni dispersan la radiación solar. Son moléculas de origen natural con actividad antioxidante que secuestran especies reactivas de oxígeno (ERO) y potencian el sistema inmunológico cutáneo. Neutralizan los efectos perjudiciales de la radiación solar, ya que eliminan las ERO antes de que lleguen a las células evitando los daños en el ADN, e incluso tienen la capacidad de reparar los daños producidos por el Sol. También mejoran el aspecto y la elasticidad de la piel (Esteve, 2009).

Los que más se utilizan son la vitamina C (ácido ascórbico), la vitamina E (tocoferol), la vitamina A y sus derivados. Se incorporan como aceite de oliva, de sésamo, de germen de trigo, de aguacate o extractos de aloe vera, caléndula o cáscara sagrada. Son coadyuvantes de los filtros físicos y químicos, pero no los sustituyen (Jansen, Wang, Burnett, Osterwalder y Lim, 2013).

Actividad Fotoprotectora

La fotoprotección es la prevención del daño que ocurre en la piel como resultado de una exposición a la radiación ultravioleta. Puede incluir el

desarrollo de protectores solares que permanecen en la superficie de la piel durante más tiempo y pueden incorporar antioxidantes que neutralicen las especies reactivas de oxígeno. Al desactivar los radicales libres, los antioxidantes pueden ayudar al efecto fotoprotector. Diversas revisiones se centran en la fotoprotección de la radiación UVB y analizaron posibles candidatos a base de plantas con propiedades fotoprotectoras que pueden servir como una barrera fuerte en cosmética para proteger la piel contra los daños de los rayos UVB (Fuentes, 2019).

Medición de la protección *in vitro*

Método de Mansur: El Factor de Protección Solar (FPS) se puede determinar siguiendo la metodología *in vitro* como el descrito por Mansur, Breder, Mansur y Azulay, (1986). Consiste en un método espectrofotométrico en el cual la formulación se diluye en etanol hasta una concentración de 0,2 mg/mL, condición establecido por el autor para establecer una correlación con el método *in vivo*. A través de la fórmula matemática (figura 15) desarrollada según el método, se relacionan los valores de absorbancia obtenidos de las muestras con el FPS de la formulación.

Figura 15. Fórmula matemática del método Mansur.

320

$$FPS = FC \times \sum_{290}^{\lambda} x(\lambda) \times (\lambda) \times (\lambda)$$

Tomado y modificado de Mansur, Breder, Mansur y Azulay (1986).

Donde:

FPS: Factor de Protección Solar

FC: 10 (factor de corrección)

EE (λ): Efecto eritemogénico de la radiación de longitud de onda λ

I (λ): Intensidad del sol en la longitud de onda λ

Abs (λ): Absorbancia de la solución en la longitud de onda λ .

La relación entre el efecto eritemogénico y la intensidad de la radiación de cada longitud de onda es una constante determinada por Sayre, Desrochers y Marlow (1980) como se observa en la tabla 6.

Tabla 6: Relación entre el efecto eritemogénico y la intensidad de la radiación de cada longitud de onda

Longitud de onda (nm)	290	295	300	305	310	315	320	TOTAL
$EE() I()$	0,0150	0,0817	0,2874	0,3278	0,1864	0,0839	0,0180	1,000

Tomado y modificado de Sayre, Desrochers y Marlow (1980).

Definición Operacional de Términos

Estambre: Hilo formado de las hebras largas del vellón de lana. Era usado también como femenino (Real Academia Española, 2023).

Endospermo: Tejido del embrión de las plantas fanerógamas que les sirve de alimento (Real Academia Española, 2023).

Fanerógamo: Conjunto de los órganos de la reproducción visible en forma de flor, en la que se efectúa la fecundación, como consecuencia de la cual se desarrollan las semillas, que contienen los embriones de las nuevas plantas (Real Academia Española, 2023).

Fitoquímicos: Los fitoquímicos corresponden a metabolitos secundarios sintetizados por las plantas, que incluyen terpenos, ácidos fenólicos y tiólicos, lignanos y flavanoides, siendo estos últimos los más relevantes en términos cualicuantitativos. Son responsables de proteger a las plantas frente a distintos tipos de estrés, tanto biótico como abiótico, incluyendo infecciones, depredadores, radiación ultravioleta, estrés hídrico o salino, además de entregarles colores y sabores a frutas y verduras (Eaton, 2006).

Gineceo: Conjunto de órganos femeninos de una flor; está formado por uno o más carpelos que pueden formar uno o varios pistilos independientes (Font Quer, 1985).

Perianto: Envoltura típica de la flor de las plantas fanerógamas, formada por dos verticilos de hojas florales, el cáliz y la corola (Real Academia Española, 2023).

Verticilo: Conjunto de tres o más ramos, hojas, flores, pétalos u otros órganos, que están en un mismo plano alrededor de un tallo (Real Academia Española, 2023).

Operacionalización de las Variables

La operacionalización especifica qué actividades u operaciones deben realizarse para medir una variable (Hernández, Fernández y Baptista, 2010). Polit y Hungler (1991), afirman que la definición debe ser precisa, esta debe especificar de qué manera se observará y medirá la variable en la situación de investigación real. En tal sentido, se operacionalizó la variable dependiente como Factor de protección solar de los extractos de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare* (tabla 7) y la variable independiente como la composición química de los extractos de los tallos y hojas del *Foeniculum vulgare* (tabla 8).

Tabla 7. Factor de protección solar de los extractos de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare*

Variable	Tipo de variable	Definición Conceptual ¿Qué es?
Factor de protección solar de los extractos de hojas y tallo del <i>Foeniculum vulgare</i>	Dependiente	Refleja el grado de protección de un filtro solar e indica el tiempo que se puede prolongar la exposición al Sol sin riesgo de eritema en la piel respecto a si no se hubiera empleado el fotoprotector (Garrote y Bonet, 2002; Esteva 2005; Esteva, 2009).
Definición operacional ¿Cómo se mide?	Dimensiones	Indicador
Método Espectrofotométrico de Mansur.	Metabolitos secundarios que absorben luz UV en el rango de 290-320 nm.	Factor de Protección Solar mayor a 2

Fuente: Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Tabla 8. Variable independiente: composición química de los extractos de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare*

Variable	Tipo de variable	Definición Conceptual ¿Qué es?
Composición química de los extractos de las hojas y tallo del <i>Foeniculum vulgare</i> .	Independiente	Sustancias que aportan al individuo que las produce una ventaja para responder a estímulos del entorno, ya sea como mecanismo de defensa contra predadores o como materia de almacenamiento. (Der Marderosian y Beutler, 2002; Dias, Urban y Roessner, 2012).
Definición operacional ¿Cómo se mide?	Dimensiones	Indicador
Pruebas químicas cualitativas preliminares también conocidas como tamizaje fitoquímico.	Alcaloides Dragendorff	Precipitado color naranja
	Alcaloides Mayer	Precipitado color blanco crema
	Alcaloides Wagner	Precipitado color marrón
	Fenoles FeCl_3 al 3%	Formación de una coloración que varía de verde a azul
	Flavonoides Shinoda	Coloración Rojiza
	Flavonoides NaOH al 10 %	Coloración naranja a marrón café
	Triterpenos Lieberman-Buchard	Precipitado color marrón
	Esteroles Lieberman-Buchard	Precipitado color marrón
	Quinonas H_2SO_4 [1]	Coloración roja
	Taninos Gelatina 1 %	Precipitado Blanco
Cuantificación de fenoles y flavonoides.	Fenoles Folin-Ciocalteu	Absorción de Fenoles a 760nm
	Flavonoides AlCl_3	Absorción de Fenoles a 420nm

.Fuente: Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Hipótesis

Estudios previos muestran que el *Foeniculum vulgare*, biosintetiza metabolitos secundarios como compuestos fenólicos, flavonoides, alcaloides, taninos, saponinas, glicócidos, triterpenos y/o esteroides, cumarinas y catequinas, entonces es de esperar que los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare* resulten ser una fuente de compuestos similares y que presenten actividad fotoprotectora.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

Tipo de Investigación

El tipo de investigación se refiere a la clase de estudio que se va a realizar. Orienta sobre la finalidad general del estudio y sobre la manera de recoger informaciones o datos necesarios (Palella y Martins, 2010). En tal sentido, esta investigación es de tipo confirmatoria ya que se quiere confirmar la relación que existe entre la composición química el factor de protección solar de los extractos de los tallos y hojas del *Foeniculum vulgare*.

www.bdigital.ula.ve

Diseño de Investigación

Hurtado (2010), describió que el diseño tiene relación con el dónde y cuándo se recopilará la información necesaria y la amplitud de la misma, con el fin de responder la interrogante planteada. De tal manera la presente investigación contó con un diseño experimental, de laboratorio, ya que las muestras fueron procesadas en el Instituto de Investigaciones “Dr. Alfredo Nicolás Usabillaga del Hierro” de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis, además fueron adquiridas en el Mercado Principal de Mérida. Por otra parte, la investigación fue contemporánea dado que la muestra fue obtenida durante el desarrollo de la investigación, transversal porque se recolectaron una sola vez y multivariable.

Población y Muestra

Unidad de Investigación

La población es el conjunto de elementos, de los cuales se quiere conocer o investigar algunas de sus características. La muestra es un subconjunto representativo de un universo o población (Arias, 2006). La unidad de investigación estuvo representada por la especie de *Foeniculum vulgare* perteneciente a la familia Apiaceae.

Selección del Tamaño de la Muestra

La “n” muestral estuvo representada por 315,73 g de hojas frescas y 687,35 g de tallos frescos, de la especie en estudio *Foeniculum vulgare*. El tipo de muestra utilizada no es probabilística, respecto a que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra (Hernández, Fernández y Baptista, 2010).

Sistema de Variables

Las variables de esta investigación fueron sistematizadas como: Variable dependiente (VD): Factor de protección solar de los extractos de hojas y tallos del *Foeniculum vulgare* y como Variable independiente (VI): composición química de los extractos de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare*.

Instrumentos de Recolección de Datos

En esta investigación los datos se recolectaron a través de fotografías y tablas donde se registraron los resultados de la composición química y determinación del factor de protección solar de los extractos estudiados.

Procedimientos de la Investigación

El investigador debe describir con detalle, paso por paso, el procedimiento que llevará a cabo durante la investigación, esta descripción permite, no sólo verificar que el procedimiento utilizado cumplió con los requerimientos metodológicos del proceso de investigación, sino además hará posible que otros investigadores puedan apoyarse en la información para investigaciones similares en otros contextos (Hurtado, 2010). El procedimiento de esta investigación corresponde a los siguientes pasos (Esquema 2):

Obtención del material vegetal

El material vegetal fue comprado en el Mercado Principal del Estado Mérida, Venezuela, proveniente de Tabay a 1708 msnm.

Obtención de los extractos

El material vegetal fresco (tallos y hojas) se dejó secar a temperatura ambiente, luego se sometió a molienda. Seguidamente se tomaron 124,34 g de los tallos secos y 87,04 g de hojas secas, para realizar el proceso de extracción en el sistema de reflujo utilizando como solvente etanol,

posteriormente se filtró y el solvente se dejó evaporar hasta completar sequedad en un rotavapor para obtener los respectivos extractos secos, logrando así, 4,72 g de extracto de tallos y 4,34 g de extracto de hojas, dichas muestras se conservaron en frascos ámbar para su posterior estudio.

Análisis fitoquímico: Con el fin de detectar los diversos metabolitos secundarios se realizó una serie de pruebas (esquema 2) cuyo procedimiento es el siguiente:

- **Ensayo con cloruro de hierro (III) (compuestos fenólicos):** La muestra se disolvió en agua y se agregaron unas gotas de solución de cloruro de hierro (III) (FeCl_3) diluido. La formación de una coloración roja, azul, verde, o púrpura indica la presencia de fenoles (Martínez, Valencia y Jiménez, 2004).
- **Ensayo de Dragendorff, Mayer y Wagner (alcaloides):** Se tomó una alícuota del extracto y se disolvió en 1 mL de HCl al 5 % en agua. Con la solución acuosa ácida se realizó el ensayo, para dividir en tres tubos y luego se añadió 0,5 mL del reactivo correspondiente (Dragendorff, Mayer, Wagner); para Dragendorff el resultado es positivo si hay precipitado naranja, con Mayer el precipitado es de color blanco crema y en el caso de Wagner el precipitado es de color marrón (Martínez, Valencia y Jiménez, 2004).
- **Ensayo de Shinoda (flavonoides):** Se procedió a tomar 1 mL del extracto, luego se añadieron algunas limaduras de magnesio (Mg) y se adicionó cuidadosamente por la pared del tubo unas gotas de ácido clorhídrico (HCl) concentrado. La aparición de coloraciones naranja o violeta, se considera prueba positiva (Martínez, Valencia y Jiménez, 2004).

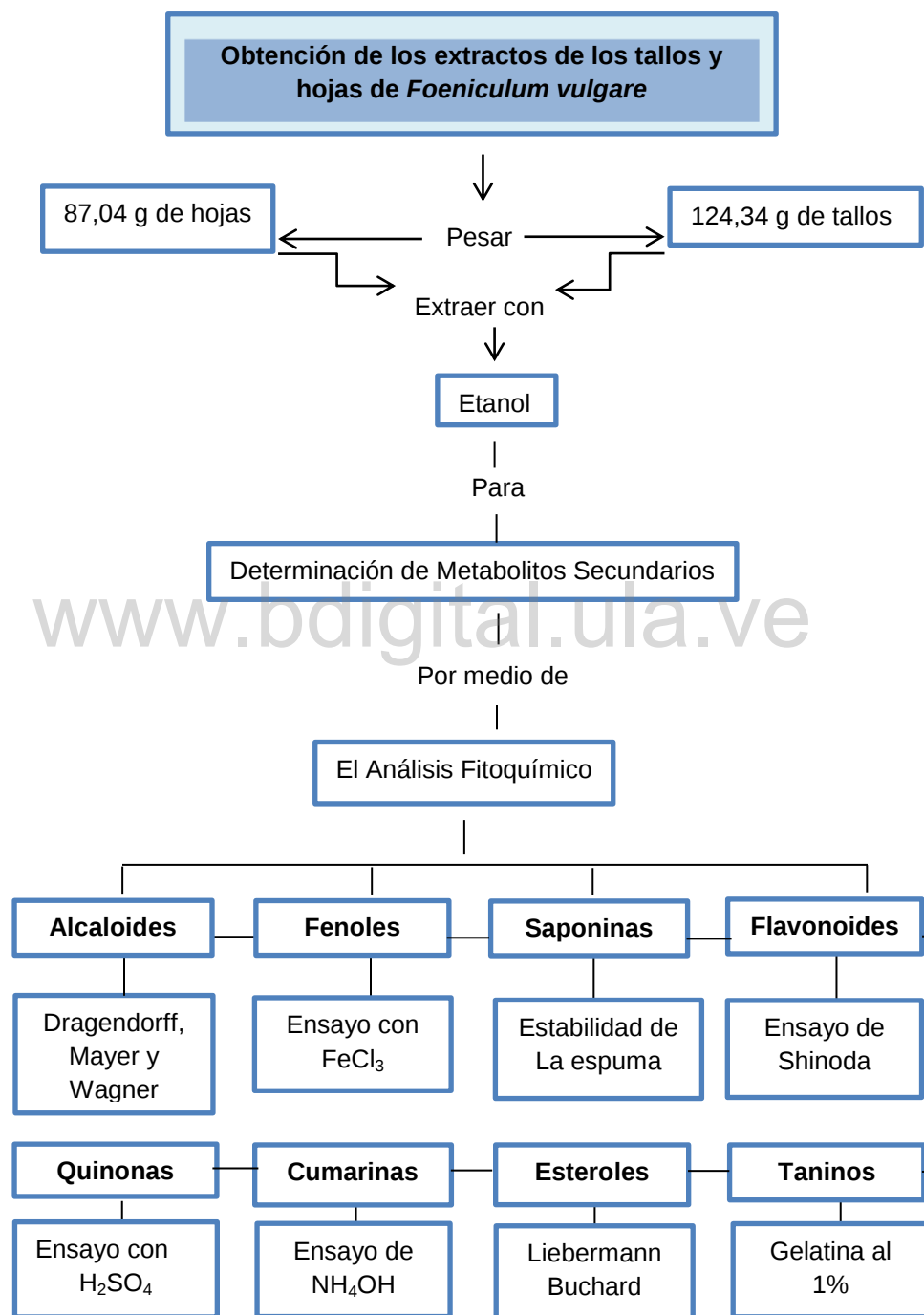
- **Ensayo con gelatina al 1% (taninos):** Se mantiene una relación por 1 mL del extracto 2 mL de agua destilada y 3 gotas de cloruro de sodio (NaCl) al 10 %. Se calentó hasta ebullición por 1 min, se dejó enfriar y filtrar. Posteriormente se agregaron dos gotas de reactivo de gelatina, y la formación de un precipitado blanco indica la presencia de taninos (Rivas, Oranday y Verde, 2016).
- **Ensayo de NH_4OH (cumarinas):** Se agregó unas gotas de hidróxido de amonio concentrado al tubo que contenía 1 mL del extracto, luego se llevó a la lámpara de luz ultravioleta (UV) a 365 nm, la ausencia de fluorescencia azul indicó la negatividad de la prueba (Marcano y Hasewaga, 2002).
- **Ensayo de Liebermann-Burchard (terpenos y/o esteroides):** Para el desarrollo de esta prueba en un tubo de ensayo limpio, seco y debidamente identificado, se tomaron pequeñas cantidades de los extractos previamente llevados a sequedad, y se adicionaron 0,5 mL de solución cloroformo (CHCl_3), luego se añadieron 0,5 mL de anhídrido acético (Ac_2O) y cuidadosamente por la pared del tubo una gota de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Se considera positiva la prueba por la aparición de una coloración roja, verde o azulada (Martínez, Valencia y Jiménez, 2004).
- **Ensayo con ácido sulfúrico (quinonas):** Se agregó una gota de H_2SO_4 concentrado al extracto. Una coloración roja indica la presencia de quinonas (Rivas, Oranday, y Verde, 2016).
- **Ensayo de altura y estabilidad de espuma (saponinas):** En un tubo de ensayo se colocó la muestra (1-2 mg) disuelta en 1 mL de agua, se

agitó vigorosamente, la positividad de la prueba es la resultante de la formación de una espuma abundante por 1 hora (Rivas, Oranday, y Verde, 2016).

- **Ensayo de ácido sulfúrico concentrado (glicósidos):** En un tubo de ensayo se agregó 5 mL extracto vegetal mas 2 mL ácido acético glacial, una gota del 5 % FeCl_3 y H_2SO_4 concentrado, la formación de un anillo marron indica que la prueba es positiva (Sheel, Nisha y Kumar, 2014).
- **Ensayo de Baljet:** Se adicionaron 4 gotas del reactivo al extracto vegetal, una coloración naranja o roja es positivo para esta prueba (Garcia, Cruz, Alarcón, Nieto y Gallegos, 2019).

www.bdigital.ula.ve

Esquema 2. Procedimiento empleado para la identificación de los metabolitos secundarios de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare*

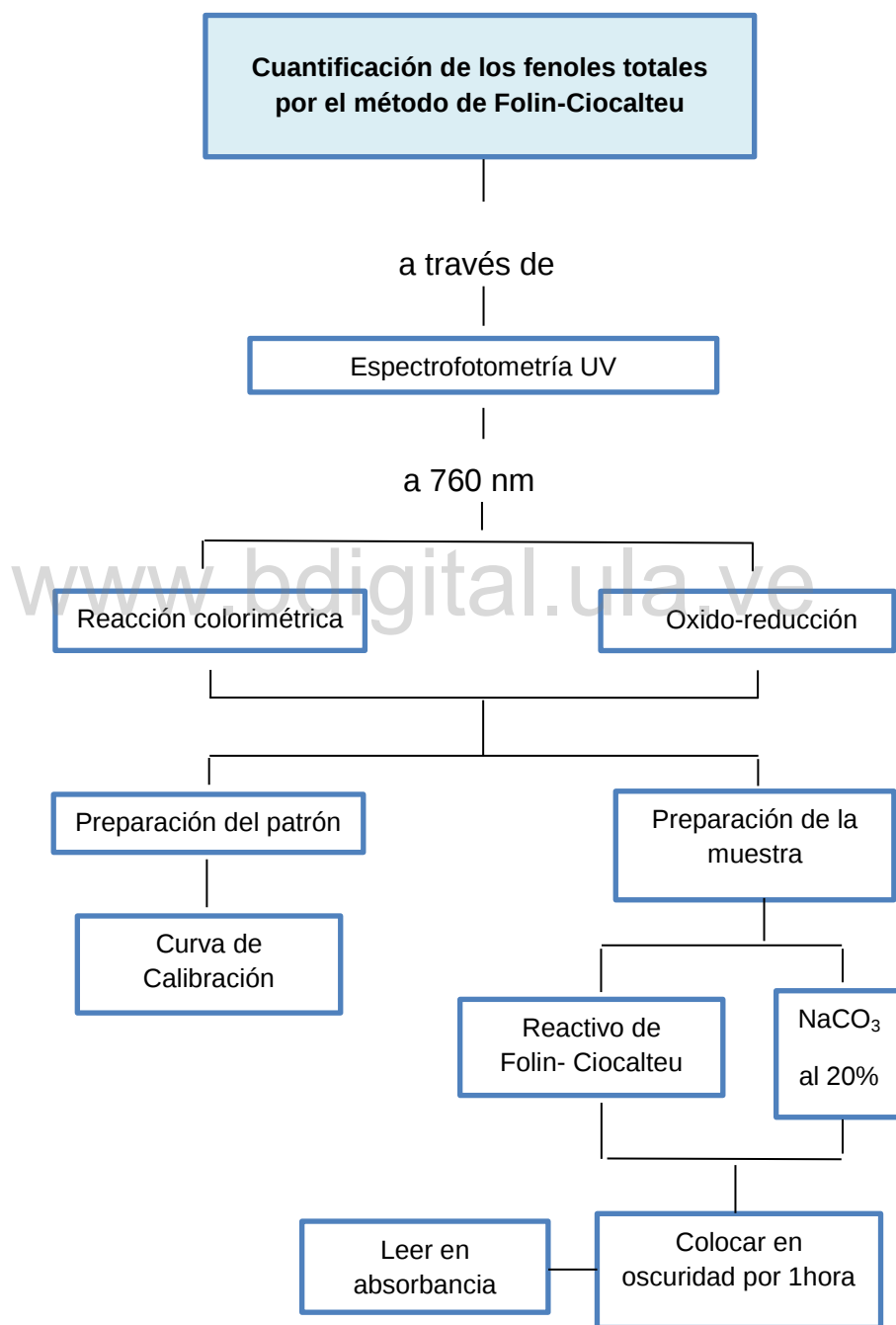


Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Cuantificación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu

La concentración de fenoles totales en el extracto fué medida por espectrofotometría UV a una longitud de onda de 760 nm, basándose en una reacción colorimétrica de óxido-reducción (esquema 3). Se pesaron las muestras por triplicado, estas se disolvieron y se aforaron con agua destilada obteniendo una concentración de 0,5 mg/mL. Posteriormente se tomó 1 mL de cada una, seguidamente se agregó el reactivo de Folin-Ciocalteu y luego de 5 minutos en reposo se adicionó el carbonato de sodio al 20 % a cada tubo, se aforó con agua destilada hasta un volumen de 4 mL, se agitó en el vortex y se guardó en un lugar oscuro a temperatura ambiente por una hora, finalmente se realizó las respectivas lecturas en el espectrofotómetro de luz UV, marca Termo Electron Corporation. Para calcular la concentración en μg de ácido gálico/mg de extracto. Se elaboró una curva de calibración (tabla 12 y figura 16) utilizando una solución estándar de ácido gálico de ($\mu\text{g/mL}$) con patrones de concentración de 0 a 50 $\mu\text{g/mL}$ (Rojas, Jaramillo y Lemus 2015).

Esquema 3. Procedimiento empleado para la cuantificación de fenoles de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare*

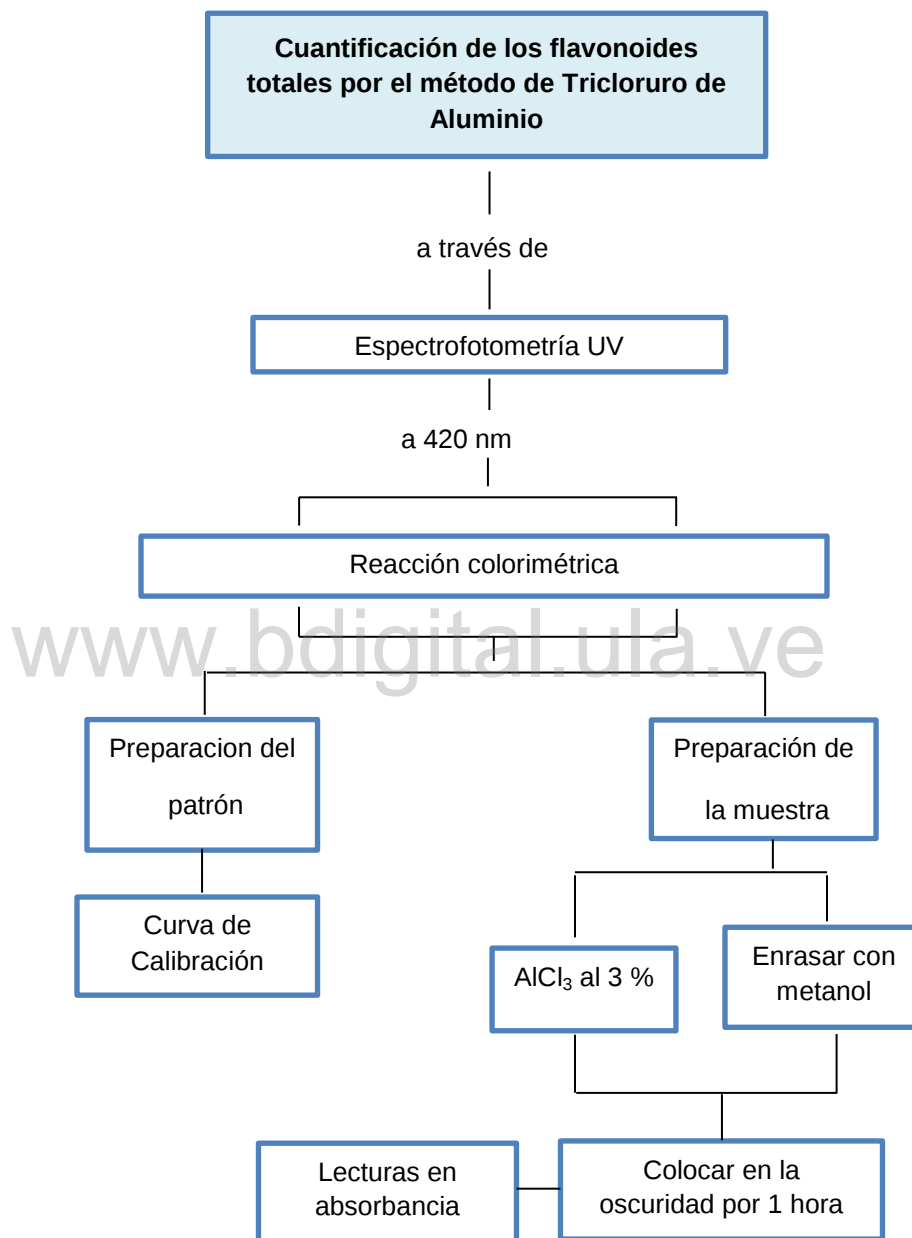


Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón (2024).

Cuantificación de flavonoides totales por el método de tricloruro de aluminio

La concentración de flavonoides totales en el extracto fué medida por espectrofotometría UV a una longitud de onda de 420 nm. Basado en una reacción colorimétrica (esquema 4). Se pesaron 5 mg de extracto etanólico de las muestras por triplicado, estas se disolvieron y se aforaron con metanol obteniendo una concentración de 0,5 mg/mL. Posteriormente se tomó 1 mL de cada una y se dispersó por duplicado en un tubo de ensayo graduado. Seguidamente se agregó 2 mL del reactivo de AlCl_3 al 3 % y se enrasó con metanol hasta completar 6 mL, se agitó en el vortex y se guardó en un lugar oscuro a temperatura ambiente por una hora, para finalmente realizar las respectivas lecturas en el espectrofotómetro UV, marca Termo Electron Corporation. Obteniéndose la concentración en μg de quercetina/mg muestra (μg Q/mg muestra). Estas mediciones se realizaron contra un blanco (metanol), para ello se elaboró una curva de calibración (tabla 14 y figura 17) utilizando una solución estándar de quercetina con patrones de concentración de 4-32 $\mu\text{g}/\text{mL}$ con intervalos de 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ a partir de los 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (Rojas, Jaramillo y Lemus 2015).

Esquema 4. Procedimiento empleado para la cuantificación de flavonoides de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare*



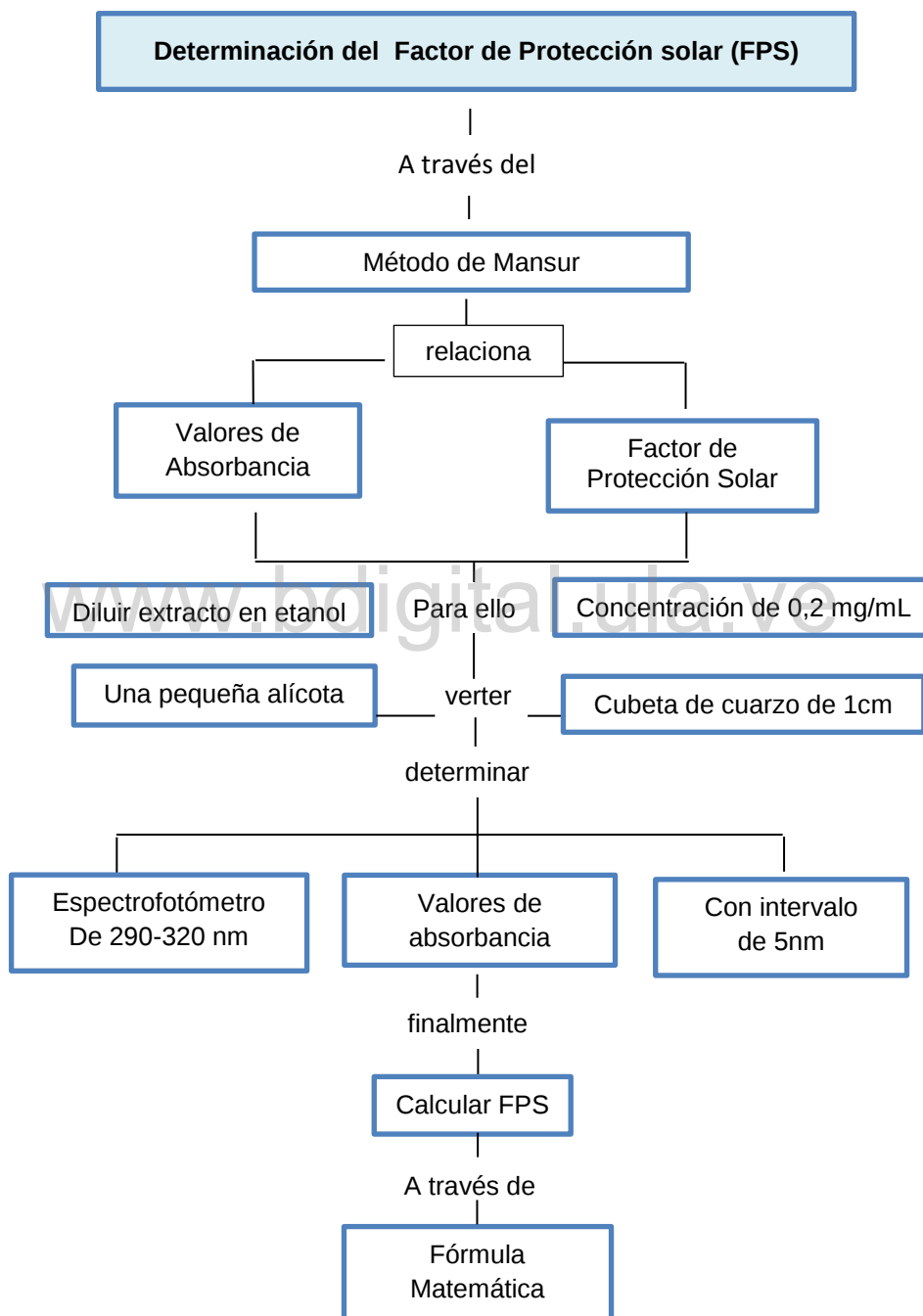
Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Determinación del factor de protección solar

El factor de protección solar (FPS) se determinó siguiendo la metodología *in vitro* de Mansur, las muestras fueron preparadas a una concentración de 0,2 mg/mL. Las absorbancias de las soluciones se determinaron en un espectrofotómetro Genesys Bio10 en el rango de 290 a 320 nm, con intervalos de 5 nm utilizando una cubeta de cuarzo de 1 cm (esquema 5). Los análisis fueron realizados por triplicado y el FPS fue calculado de acuerdo con la ecuación desarrollada por Mansur y cols (1986).

www.bdigital.ula.ve

Esquema 5. Procedimiento para determinar el factor de protección solar de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare* por el método de Mansur



Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Diseño de Análisis

El análisis de los datos del proceso de investigación tuvo un enfoque cuantitativo ya que se estudiaron numéricamente con el fin de medir el factor de protección solar de los extractos del *Foeniculum vulgare*, con una escala de medida de intervalo y de razón. Mientras que el enfoque cualitativo no se basa en mediciones ni expresiones numéricas, sino en características de la muestra, la cual estuvo representada por las propiedades químicas observadas en las pruebas preliminares de identificación, que se llevaron a cabo en el tamizaje fitoquímico. En tal sentido, las variables cualitativas tendrán una escala de medida nominal y ordinal.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención del Extracto

Los tallos y las hojas de *Foeniculum vulgare* fueron sometidas a un proceso de extracción en un sistema de reflujo, utilizando como solvente el etanol, de este modo se obtuvo un extracto para cada parte de la planta. En la tabla 9 se muestra el peso del maerial estudiado y porcentaje de rendimiento de cada extracto.

Tabla 9. Porcentaje de rendimiento de los extractos de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare*

Parte de la planta	Peso al seco (g)	Peso del extracto (g)	Rendimiento (%)
Tallos	124,34	4,72	3,79
Hojas	87,04	4,34	4,98

Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Tamizaje Fitoquímico

A cada extracto se le realizó el análisis fitoquímico, empleando diferentes técnicas con los respectivos reactivos químicos descritos para cada una, de esta manera se observaron reacciones de coloración, precipitación y formación de espuma. Con el fin de confirmar cualitativamente la presencia o ausencia de los diferentes metabolitos secundarios, señalados en la tabla 10 y 11.

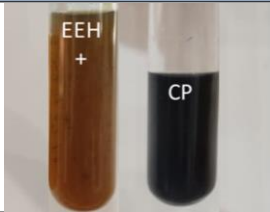
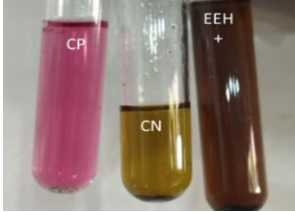
Tabla 10. Resultados del tamizaje fitoquímico realizado a los extractos obtenidos de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare*

Metabolitos	Ensayos	Resultados Obtenidos	EET	EEH
Compuestos Fenólicos	FeCl ₃ al 3 %	Ligera coloración verde	+	+
Alcaloides	Dragendorff	Precipitado de color anaranjado	+++	+++
	Mayer	Precipitado color blanco crema	+++	+
	Wagner	Precipitado color marrón	-	-
Flavonoides	Shinoda	Leve coloración rojiza	+	+
	NaOH al 10 %	Aparición de un color de naranja a marrón café	++	++
Taninos	Gelatina al 1 %	No precipitó la Gelatina	-	-
Cumarinas	Reacción de NH ₄ OH	No hubo fluorescencia bajo la luz UV	-	-
Triterpenos	Lieberman-Buchard	No hubo cambios de color	-	-
Esteroles		Coloración verde	+	+
Quinonas	Ensayo con H ₂ SO ₄ [1]	No hubo formación de color rojo	-	-
Saponinas	Ensayo de Espuma	No Hubo formación de espuma	-	-
Antraquinonas	Ensayo de Borntranger	No hubo formación de color rojo	-	-
Glicósidos	Ensayo con H ₂ SO ₄ [1]	No hubo formación de anillo marrón	-	-
Lactonas	Ensayo de Baljet	No hubo formación de color rojo	-	-

Leyenda: (EET) extracto etanólico de los tallos, (EEH) extracto etanólico de las hojas, (-) ausente, (+) escaso, (++) moderado y (+++) abundante.

Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

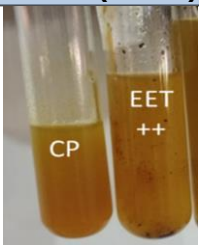
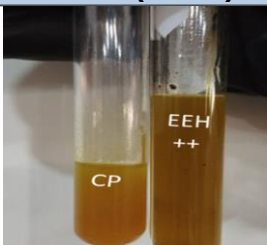
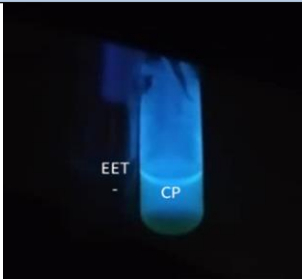
Tabla 11. Caracterización fitoquímica de los extractos de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare*

Compuestos fenólicos tallos	Compuestos fenólicos hojas
	
Ensayo de cloruro férrico: Positivo para tallos (leve color verde).	Ensayo de cloruro férrico: Positivo para hojas (leve color verde).
Alcaloides tallos	Alcaloides hojas
	
Ensayo de Dragendorff: positivo (precipitado de color anaranjado) Ensayo de Mayer: positivo (precipitado de color blanco crema). Ensayo de Wagner: negativo (no hubo precipitado de color marrón).	Ensayo de Dragendorff: positivo (precipitado de color anaranjado) Ensayo de Mayer: positivo (leve precipitado de color blanco crema). Ensayo de Wagner: negativo (no hubo precipitado de color marrón).
Flavonoides (Shinoda) tallos	Flavonoides (Shinoda) hojas
	
Ensayo de Shinoda : positivo para tallos (leve coloración rojiza).	Ensayo de Shinoda: positivo para hojas (leve coloración rojiza).

Leyenda: (CP) control positivo, (CN) control negativo, (EET) extracto etanólico de los tallos, (EEH) extracto etanólico de las hojas, (EETD) extracto etanólico de los tallos ensayo de Dragendorff, (EETW) extracto etanólico de los tallos ensayo de Wagner, (EETM) extracto etanólico de los tallos ensayo de Mayer, (EEHD) extracto etanólico de las hojas ensayo de Dragendorff, (EEHW) extracto etanólico de las hojas ensayo de Wagner, (EEHM) extracto etanólico de las hojas ensayo de Mayer.

Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

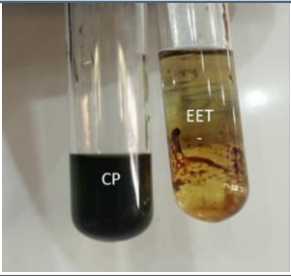
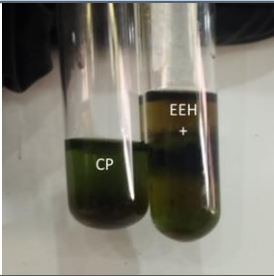
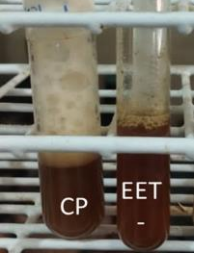
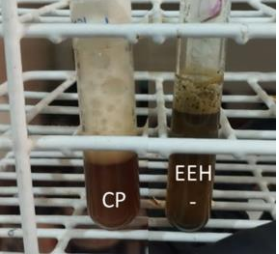
Tabla 11. Caracterización fitoquímica de los extractos de los tallos y hojas del *Foeniculum vulgare* (continuación)

Flavonoides (NaOH) tallos	Flavonoides (NaOH) hojas
	
Ensayo de hidróxido de sodio: positivo para tallos (coloración amarilla).	Ensayo de hidróxido de sodio: positivo para hojas (coloración amarilla).
Taninos tallos	Taninos hojas
	
Ensayo de reacción de la gelatina al 1 %: negativa para tallos (ausencia de precipitado blanco).	Ensayo de reacción de la gelatina al 1 %: negativa para hojas (ausencia de precipitado blanco).
Cumarinas tallos	Cumarinas hojas
	
Ensayo de hidróxido de amonio: negativo (no hubo fluorescencia).	Ensayo de hidróxido de amonio: negativo (no hubo fluorescencia).

Leyenda: (CP) control positivo, (CN) control negativo, (EET) extracto etanólico de los tallos, (EEH) extracto etanólico de las hojas.

Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Tabla 11. Caracterización fitoquímica de los extractos de los tallos y hojas del *Foeniculum vulgare* (continuación)

Esteroles tallos	Esteroles hojas
	
Ensayo de Lieberman-Bouchard: negativa (no hubo coloración verde).	Ensayo de Lieberman-Bouchard : positiva (coloración verde).
Quinonas tallos	Quinonas hojas
	
Ensayo de H₂SO₄ concentrado: negativa para tallos (no hubo coloración roja).	Ensayo de H₂SO₄ concentrado: negativa para hojas (no hubo coloración roja).
Saponinas tallos	Saponinas hojas
	
Ensayo de espuma: negativo para tallos (no hubo persistencia de espuma).	Ensayo de espuma: negativo para hojas (no hubo persistencia de espuma).

Leyenda: (CP) control positivo, (CN) control negativo, (EET) extracto etanólico de los tallos, (EEH) extracto etanólico de las hojas.

Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Cuantificación de Fenoles Totales

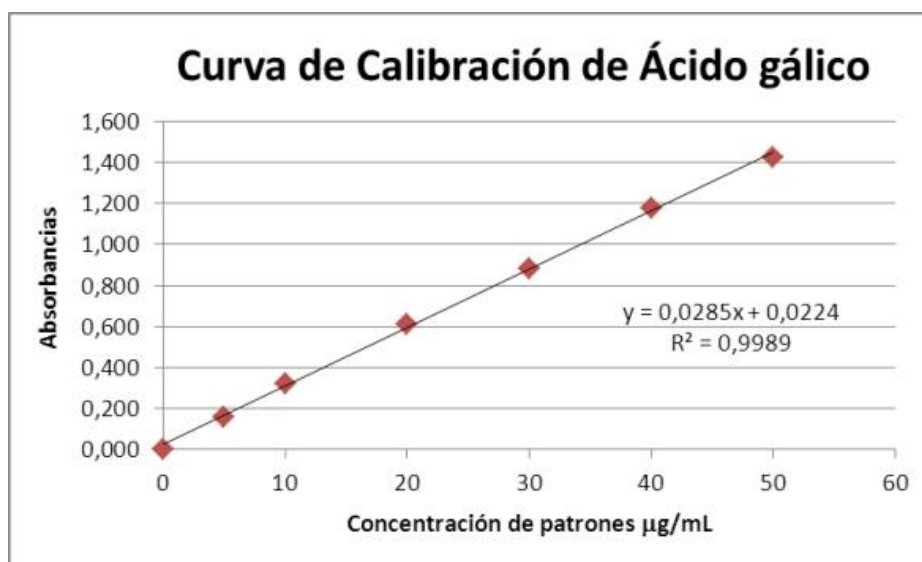
Para calcular la concentración en μg de ácido gálico/mg de extracto, se elaboró una curva de calibración (tabla 12 y figura 16) utilizando una solución estándar de ácido gálico de ($\mu\text{g/mL}$) con patrones de concentración de 0 a 50 $\mu\text{g/mL}$ (Rojas, Jaramillo y Lemus 2015).

Tabla 12. Datos para curva de calibración con ácido gálico

Muestra	Concentración de patrones	Absorbancias promedio	Desviación estándar
Ácido Gálico ($\mu\text{g/mL}$)	0	0,000	0,00
	5	0,159	0,00
	10	0,322	0,01
	20	0,612	0,00
	30	0,881	0,01
	40	1,175	0,01
	50	1,424	0,00

Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Figura 16. Curva de calibración de ácido gálico



Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

El contenido total de fenoles en el extracto etanólico de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare*, fue determinado espectrofotométricamente a 765 nm de acuerdo al método de Folin-Ciocalteu, fue expresado como microgramos equivalentes de ácido gálico por miligramos de extracto ($\mu\text{g AG/mg}$) (tabla 13).

Tabla 13. Resultados obtenidos del contenido total de compuestos fenólicos de la especie *Foeniculum vulgare*

Extracto Analizado	Concentración muestras (mg/mL)	Concentración en μg Ácido gálico/mg de extracto	Promedio $\pm\text{DE}$
<i>F. vulgare</i> Hojas Etanol	0,54	125,911	124,899 $\pm 0,912$
	0,54	124,646	
	0,54	124,140	
<i>F. vulgare</i> Tallos Etanol	0,52	80,364	80,786 $\pm 0,387$
	0,52	81,123	
	0,52	80,870	

Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Cuantificación de Flavonoides Totales

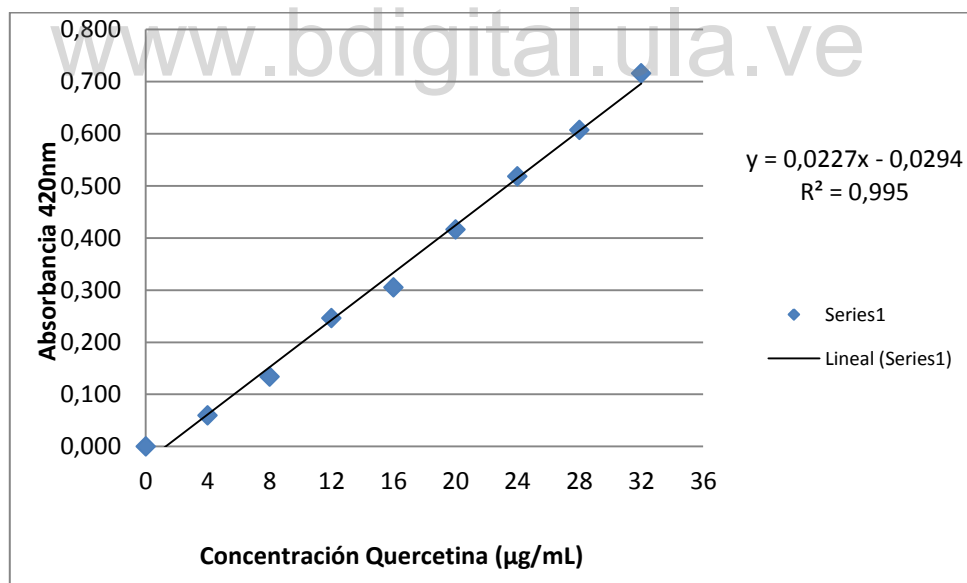
Para ello se elaboró una curva de calibración (tabla 14 y figura 17) utilizando una solución estándar de quercetina con patrones de concentración de 4-32 $\mu\text{g/mL}$ con intervalos de 10 $\mu\text{g/mL}$ a partir de los 10 $\mu\text{g/mL}$ (Rojas, Jaramillo y Lemus 2015).

Tabla 14. Datos para curva de calibración de quercetina

Muestra	Concentración	Absorbancias Promedio	Desviación Estándar
Quercetina (µg/mL)	0	0,000	0,000
	4	0,059	0,004
	8	0,134	0,003
	12	0,246	0,020
	16	0,305	0,010
	20	0,416	0,005
	24	0,518	0,005
	28	0,607	0,005
	32	0,715	0,008

Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Figura 17. Curva de calibración del patrón quercetina



Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

El contenido total de flavonoides en el extracto etanólico de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare*, fue determinado espectrofotométricamente a 420 nm de acuerdo al método de tricloruro de aluminio, expresado como microgramos equivalentes de quercetina por miligramos de extracto ($\mu\text{g Q/mg}$) (tabla 15).

Tabla 15. Resultados obtenidos del contenido total de flavonoides en los extractos de *Foeniculum vulgare*

Extractos de etanol	Concentración (mg/mL)	Promedio Concentración en μg Quercetina/mg Extracto $\pm$ DE
Hojas	0,5	27,632 $\pm$ 0,910
Tallos	0,5	10,227 $\pm$ 0,962

Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Factor de protección solar

El FPS de los extractos etanólicos de tallos y hojas de *Foeniculum vulgare* fueron determinados por medio del método de Mansur. Para los tallos se logró un FPS de 3,902 (tabla 16) y para las hojas de 4,885 (tabla 17).

Tabla 16. Factor de protección solar del extracto etanólico de los tallos de *Foeniculum vulgare*.

Longitud de onda	m1	m2	m3		EE * I	FC	FPS CALC	Desviación estándar
290	0,4580	0,4510	0,5030	0,471	0,015	10	0,071	0,0282
295	0,4290	0,4190	0,4700	0,439	0,0817	10	0,359	0,0270
300	0,4030	0,3920	0,4420	0,412	0,2874	10	1,185	0,0263
305	0,3760	0,3660	0,4150	0,386	0,3278	10	1,264	0,0259
310	0,3560	0,3430	0,3930	0,364	0,1868	10	0,680	0,0259
315	0,3330	0,3190	0,3680	0,340	0,0839	10	0,285	0,0252
320	0,3130	0,2990	0,3470	0,320	0,018	10	0,058	0,0247
							3,902	

Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

Tabla 17. Factor de protección solar del extracto etanólico de las hojas de *Foeniculum vulgare*.

Longitud de onda	m1	m2	m3		EE * I	FC	FPS CALC	Desviacion estándar
290	0,4990	0,5330	0,5770	0,536	0,015	10	0,080	0,0391
295	0,4760	0,5090	0,5310	0,505	0,0817	10	0,413	0,0277
300	0,4660	0,4990	0,5190	0,495	0,2874	10	1,422	0,0268
305	0,4570	0,4890	0,5070	0,484	0,3278	10	1,588	0,0253
310	0,4490	0,4830	0,5000	0,477	0,1868	10	0,892	0,0260
315	0,4480	0,4890	0,5000	0,479	0,0839	10	0,402	0,0274
320	0,4570	0,5120	0,5090	0,493	0,018	10	0,089	0,0309
							4,885	

Elaborado por Cobos, Chacón y Obregón, 2024.

www.bdigital.ula.ve

DISCUSIÓN

Las plantas son fuente de una gran diversidad de moléculas naturales útiles en la fotoprotección. Entre las más comunes se encuentran las flavonas, catequinas, antocianinas, carotenoides y terpenos. Algunas de estas moléculas naturales pueden actuar como filtros solares (Stevanato, Bertelle, Fabris, 2014).

Ahora bien, algunos de estos metabolitos mencionados en el párrafo anterior, se pueden evidenciar mediante la aplicación del método de extracción por reflujo, utilizando como solvente el etanol en los tallos y hojas del *Foeniculum vulgare*, tal como se realizó en esta investigación, cuyo producto fue sometido a un análisis fitoquímico, el cuál reveló cualitativamente la presencia de alcaloides, compuestos fenólicos, flavonoides y esteroides, cabe resaltar que la planta fue adquirida en el Mercado Principal de Mérida, Estado Mérida, Venezuela; cosechada en Tabay a 1708 msnm.

Los resultados alcanzados en el tamizaje fitoquímico se pueden comparar con los obtenidos por otros investigadores, entre los cuales podemos mencionar a Huamán, Campos, Cancino, Ávalos, Bracamonte y cols (2019), que realizaron extracción en medio acuoso de las hojas de *Foeniculum vulgare*, la cual demostró la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides, saponinas y alcaloides, dicha especie la adquirieron de Mollepata, La Libertad, Perú a una altura de 2680 msnm.

Asi mismo Crescenzi, D'Urso, Piacente y Montoro (2021), que a partir de los tallos y hojas del *Foeniculum vulgare* (especie localizada en Campomarino, Italia a 52 msnm) reportaron la existencia de ácidos fenólicos y glucósidos flavonoides por el método de extracción por sonicación

etanol/agua (80:20) y glucósidos fenólicos por el método de decocción de agua.

De acuerdo a cada uno de los casos expuestos se puede evidenciar que entre los compuestos en común a pesar del tipo de extracción, están los compuestos fenólicos flavonoides y alcaloides, que fueron reportados a través de los extractos con etanol y medio acuoso. A diferencia del método de extracción por etanol el cual reveló la presencia de esteroides, mientras que las saponinas fueron alcanzadas por extracción con agua. También se debe señalar la importancia que tiene el realizar extracciones con etanol/agua (80:20) como es el caso reportado por Crescenzi, D'Urso, Piacente y Montoro (2021), que lograron obtener fenoles y flavonoides glucosidos.

En relación a la cuantificación de compuestos fenólicos, el contenido de fenoles totales en el extracto etanólico reveló para los tallos $80,786 \pm 0,387 \mu\text{g AG/mg}$ de extracto y para las hojas $124,899 \pm 0,912 \mu\text{g AG/mg}$ de extracto. Con respecto al contenido de flavonoides totales, la cantidad alcanzada en los tallos fue de $10,227 \pm 0,962 \mu\text{g Q/mg}$ de extracto y en cuanto a las hojas un total de $27,632 \pm 0,962 \mu\text{g Q/mg}$ de extracto.

Si cotejamos estos resultados con Crescenzi, D'Urso, Piacente y Montoro (2021), se observan diferencias en la cantidad de flavonoides, dichos autores trabajaron con las hojas del *Foeniculum vulgare*, por el método de sonicación etanol/agua (80:20) dando como resultado $0,206 \pm 0,006 \text{ mg ERu/g}$ de extracto y por decocción de agua $0,263 \pm 0,006 \text{ mg ERu/g}$ de extracto.

Es de mencionar que la cantidad de metabolitos secundarios presentes en el *Foeniculum vulgare* es variable dentro de las diferentes

partes de la planta, apareciendo en distintas proporciones, esto es debido al lugar de cultivo y su desarrollo o incluso el tiempo de su recolección, además las diferencias entre los resultados obtenidos al contrastar con la literatura, tanto en el contenido de compuestos fenólicos como en los flavonoides, muchas veces, dependen de las condiciones ambientales donde se encuentre la planta, siendo la temperatura, las precipitaciones, el tipo de suelo, la humedad relativa, la exposición a los rayos UV del sol, la altura, la nutrición y prácticas agrícolas, siendo estos algunos fenómenos que afectan la producción de este tipo de metabolitos (Harborne, 1991; Soto, 2015).

También, las diferencias en el contenido de compuestos fenólicos se pueden atribuir a los diversos tipos de solventes utilizados en el proceso de extracción, la temperatura y el tiempo de exposición. Es importante señalar que, dependiendo del tipo de solvente utilizado en el proceso de extracción, va a depender la polaridad de los compuestos extraídos (Garrido, Ortiz y Pozo, 2013).

Por otra parte el FPS de los extractos etanólicos de este estudio reveló 3,902 para los tallos y 4,885 en el caso de las hojas. Tomando en cuenta la clasificación según el nivel de fotoprotección de acuerdo con el estándar de la Agrupación Europea de Fabricantes de Productos de Cosmética y Perfumería (COLIPA) este valor es considerado de baja protección (Batle, 2005).

Cabe resaltar que actualmente no se encuentran reportes de actividad fotoprotectora del *Foeniculum vulgare*, sin embargo diversos autores han señalado que esta especie presenta actividad antioxidante, siendo este su mecanismo de acción, por lo tanto es un filtro biológico ya que no absorben, desvían, reflejan ni dispersan la radiación solar, puesto que son moléculas de origen natural que secuestran las especies reactivas de

oxígeno, de tal manera que neutraliza los efectos perjudiciales de la radiación solar y evita el envejecimiento celular (Esteve, 2009; Montero, 2016; Fuentes, 2019; Badgujar, Patel y Bandivdekar 2014).

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

El análisis fitoquímico cualitativo de los extractos etanólicos de los tallos y hojas del *Foeniculum vulgare* obtenidos a través de método de extracción de reflujo permitió identificar la presencia de compuestos fenólicos, alcaloides, flavonoides y esteroides.

El contenido total de compuestos fenólicos fue ponderado, con un valor de 80,786 µg Ácido AG/mg de extracto para los tallos y 124,899 µg AG/mg de extracto para las hojas. El contenido total de flavonoides en el caso de los tallos fue de 10,227 µg Quercetina/mg de extracto y para las hojas 27,632 µg Quercetina/mg de extracto.

La actividad fotoprotectora del extracto etanólico de los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare* fue evaluada *in vitro* mediante el método de Mansur, alcanzando un FPS 3,902 para los tallos y 4,885 para las hojas, lo cual indica un factor de protección solar bajo.

Cabe destacar que esta es la primera investigación sobre tamizaje fitoquímico, cuantificación de fenoles y flavonoides dirigido a determinar factor de protección solar en los tallos y hojas de *Foeniculum vulgare*.

RECOMENDACIONES

- Efectuar ensayos de FPS *in vitro* haciendo uso de otras partes de la especie como las semillas y las flores de *Foeniculum vulgare*.
- Realizar el tamizaje fitoquímico, a partir de extractos obtenidos con otros disolventes, como el metanol y etanol/agua (80:20).
- Realizar pruebas con la recolección de la planta en distintas ubicaciones geográfica y épocas del año.
- Elaborar fórmulas farmacéuticas con los extractos de *Foeniculum vulgare* y evaluar su uso como antioxidante que acompañen o potencien los protectores solares derivados de la industria química.

REFERENCIAS BIBLIOHEMEROGRÁFICAS

- Accame, M. (2000). Compuestos fenólicos: Quinonas. *Panorama actual del medicamento*. 24, 778-782.
- Acimovic, M., Mérillon, J. y Ramawat, K. (2019). *In Bioactive Molecules in Food*. Springer International
- Acimovic, M. y Milicb, N. (2017). Perspectives of the Apiaceae Hepatoprotective Effects a Review. *Natural Product Communications*, 12 (2), 309–317.
- Aedo, C., y Castroviejo, S. (2012) *Sistema de información sobre plantas de España*. Anthos.
- Agati G., Galardi C., Gravano E., Romani A., y Tattini M. (2002). "Flavonoid Distribution in Tissues of *Phillyrea latifolia* L. Leaves as Estimated by Microspectrofluorometry and Multispectral Fluorescence Microimaging." *Photochem Photobiol*, 76 (3), 350-360.
- Aguayo, T., Ferreira, B., y Lima, C., (2021). *Photoprotective action, antioxidant activity, and toxicity of aqueous extracts of Campomanesia sessiliflora O. Berg.* *Revista Colombiana de Química*, 50(3), 10-15.
- Ahmad, B., Talou, T., Saad, Z., Hijazi, A., Merah, O. (2017). The Apiaceae: Ethnomedicinal Family as Source for Industrial Uses. *Industrial Crops and Products*, 109, 661–671.
- Ahmed, A., Shi, M., Liu, C. y Kang, W. (2019). Comparative analysis of antioxidant activities of essential oils and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seeds from Egypt and China. *Food science and human wellness*, 8(1), 67-72.
- Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., y Benítez, R. (2016). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto

- potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 438.
- Albanil, E., Ramírez R., y Jiménez, B. (2014). *Reporte del Clima en México*. Metrológico Nacional.
- Albornoz, A. (1980). *Productos naturales: estudio de las sustancias y drogas extraídas de las plantas*. Publicaciones de la Universidad Central de Venezuela.
- Alonso, S., Ramírez, N. y Taylor, P. (2012). El cambio climático y su impacto en la producción de alimentos de origen animal. *Revista electrónica de Veterinaria*, 13(11), 1-25.
- Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas-Venezuela, Editorial Episteme, C.A. 5ta Ed.
- Ávalos, A., y Pérez, E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Red Latinoamericana por la Educación (REDUCA)*, 2 (3), 119-145.
- Azcona, L. (2003). Problemas de pigmentación. Tratamiento. *Farmacia Profesional*. 17(1), 70-6.
- Azcona, L. (2003). Protección solar. Actualización. *Farmacia profesional*. 17(5), 66-75.
- Badgujar, S., Patel, V. y Bandivdekar, A. (2014). *Foeniculum vulgare* Mill: A Review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application and toxicology. *Biomed Research International*, (1), 1-32.
- Baron, E y Suggs, A. (2014). Introduction to Photobiology. *Dermatol Clinics*, 32 (3), 255–66.
- Basaga, H. (1989). Biomedical aspects of free radicals. *Biochemistry and Cell Biology*, 68(1), 989.
- Batle, C. (2005). Factor de protección solar. *Dermofarmacias*, 24(6), 65-72.
- Beckman, J., y Koppenal, W. (1996). Nitric oxide superoxide, and peroxynitrite. The good, the bad, and the ugly. *American physiologi*

- society*, 271(5), 1424-1437.
- Beatriz, S. (2017). *Dermatología pautas básicas para su aprendizaje*. Editorial de la Universidad Nacional de la Plata.
- Bernabéu, A. (2006) Fotoprotección pediátrica. Recomendaciones y productos específicos. *Farmacia y sociedad*, 25(6), 59-67.
- Bernabéu, A. (2007). La necesaria fotoprotección. Productos y consejos básicos. *Farmacia y sociedad*, 26(5), 51-6.
- Birdane, F., Cemek, M., Birdane, Y., Buyukokuroglu, M. y Gulcin, I. (2007). Beneficial effects of vulgare on ethanol-induced acute gastric mucosal injury in rats. *World Journal of Gastroenterology*, 13(4), 607-611.
- Blume, U., Bagot, M., Tennstedt, D., Saint, M., Stockfleth, E., Zlotogorski, A. y cols. (2019). Dermatology today and tomorrow: from symptom control to targeted therapy. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 33(1), 3-36.
- Bonatti, A. (1991). *The Medicinal Plant Industry*. New York Routledge , 1^a edición.
- Bonet, R. y Garrote, A. (2011). *Protección solar*. Nuevos activos. *Farmacia y sociedad*, 30(3), 51-58.
- Botella, A. (2003). *Manual del auxiliar de farmacia, Módulo*. Editorial Madrid España.
- Boulogne, I., Petit, P., Ozier, H., y Loranger-merciris, G. (2012) Insecticidal and antifungal chemicals produced by plants: A Review. *Environmental Chemistry letters*, 10(4), 325–347.
- Bowsher, C., Steer, M., Tobin, A. (2008). *Plant Biochemistry*. New York. USA. Garland Science.
- Briendl E. (1984). *Las buenas recetas de la abadesa. Entre los fogones con Santa Hildegarda. Trucos culinarios de la edad media*. Susaeta.

- Bunce, N. (1991). Environmental Chemistry. *Journal of Hazardous materials*, 33(1), 146-147.
- Bülent, C., Hakan O., Ahmet, C., Taşkin, P., Atilla D., Ebru, M., Erdoğan O., Melek E., (2010). Antimicrobial activities of essential oil and hexane extract of Florence fennel [*Foeniculum vulgare var. azoricum* (Mill.) Thell.] against foodborne microorganisms. *Journal of Medicinal food*, 13(1), 196-204.
- Cañigual, S. (2003). *Identidad y pureza de drogas vegetales y extractos*. Cartagena: Seminario Taller sobre Estandarización de Extractos vegetales y Garantía de Calidad de Productos Fitoterápicos.
- Cardoso, F. (2016). *Fenol*. Academia, 3.
- Carrasco, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *Revista de Agricultura en Zonas Áridas* (IDESIA), 27(3), 59-76.
- Casado, E. (2012). *Operaciones básicas de laboratorio*. Editorial Paraninfo. España.
- Castillo, E., y Martínez, I. (2007). *Manual de Fitoterapia*. Elsevier.
- Cefali, L., Ataide, J., Moriel, P., Foglio, M., Mazzola, P. (2016). Plant-based active photoprotectants for sunscreens. *International Journal of Cosmetic Science*, 38(4), 346- 353.
- Chang, H., y Rugman, A. (2006). The regional sales of multinationals in the word cosmetics industry. *European Management journales*, 24 (2), 163-173.
- Chamba A. y Morales J. (2024). Evaluación del factor de protección solar de la oleorresina del pimiento rojo (*Capsicum Annuum*) y hojas de té verde (*Camellia Sinensis*) En Una Fórmula Cosmética. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8 (1), 8500-8512.
- Chen, L., Hu, J., y Wang, S. (2012). The role of antioxidants in photoprotection: A critical review. *Journal of the American Academy of*

Dermatology, 67(5), 1013–1024.

Chen, F., Guo, Y., Kang, J., Yang, X., Zhao, Z., Liu, S., Ma, Y., Gao, W. y Luo, D. (2020). Insight into the essential oil isolation from *Foeniculum vulgare* Mill. Fruits using double-condensed hydrodistillation and evaluation of its antioxidant, antifungal and cytotoxic activity. *Industrial crops and products*, 144, 112052.

Cherng, J., Chiang, W. Chiang, L. (2008). Actividades inmunomoduladoras de vegetales y especias comunes de Umbelliferae y sus cumarinas y flavonoides relacionados. *Química de Alimentos*; 106(3), 944–950.

Choi, E. y Hwang, J. (2004). Antiinflammatory, analgesic and antioxidant activities of the fruit of *Foeniculum vulgare*. *Fitoterapia*, 75(6), 557-565.

Christensen, L., Brandt, K. (2006). *Bioactive Polyacetylenes in Food Plants of the Apiaceae Family: Occurrence, Bioactivity and Analysis*. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 41(3), 683–693.

Covington A. (1997). Modern tanning chemistry. *Chemical Society Reviews* 26(2), 111-126.

Comisión de las Comunidades Europeas. (2006). *Relativa a la eficacia de los productos de protección solar y a las declaraciones sobre los mismos*. Bruselas: Diario Oficial de la Unión Europea. Notificada con el número C4089.

Coohill, T. (1991). Action spectra again? *Photochemistry and Photobiology*, 54(5), 859-870.

Coronado, M., Vega, S., Gutiérrez, R., Vázquez, M. y Radilla, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chile de Nutrición*, 42(2), 206-212.

Coy, C., Parra, J., Cuca, L. (2014). Caracterización química del aceite esencial e identificación preliminar de metabolitos secundarios en

- hojas de la especie *raputia heptaphylla* (rutaceae). *Revista elementos*, 4(4), 31-39.
- Crescenzi, D'Urso, Piacente y Montoro (2021). LC-ESI/LTQOrbitrap/MS Metabolomic Analysis of Fennel Waste (*Foeniculum vulgare* Mill.) as a Byproduct Rich in Bioactive Compounds. *National Library of medicine. The National Center for Biotechnology Information*, 10(8).
- Croteau, R.; Kutchan, T. M.; Lewis, N. G. (2000). "*Chapter 24: Natural Products (Secondary Metabolites)*". Rockville, USA. American Society of Plants Physiologists.
- Damalas, C. (2011). Pesticide Exposure, Safety Issues, and Risk Assessment Indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1402–1419.
- Darr, D., y Fridovich, I. (1994). Free radicals in cutaneous biology. *Journal of Investigative Dermatology*, 102(5), 671- 675.
- Delgado, G., Olivares, M., Chávez, T. Ramírez E., Linares, R., y Espinosa, F. (2001). Antiinflammatory constituents from *Heterotheca inuloides*. *Journal of Natural Products*, 64(7), 861-864.
- Delporte, C. (2010). Farmacognosia, Trabajos prácticos. Departamento de farmacología y toxicología. Facultad de ciencias químicas y farmacéuticas. Universidad de Chile, 31.
- Der Marderosian, A. y Beutler, J. (2002). *The review of natural products: the most complete source of natural product information*. Facts and Comparisons 3ra edición.
- Dewick, P. (2002). *Medicinal natural products: a biosynthetic approach*. John Wiley y Sons. 3ra edición.
- Dias, D., Urban, S., y Roessner, U. (2012). A Historical Overview of Natural Products in Drug Discovery. *Metabolites*, 2(2), 303-336.
- Díaz, I. (2006). Fototipos de piel: ¿Cuál es el tuyo?

- Domínguez, X. (1979). *Métodos de Investigación Fitoquímica*. Editorial. Limusa, México.
- Duke, J. (1985). *Handbook of Medicinal Herbs*. CRC Press, Corporate Blvd. Boca Ratón, Florida, 2ª edición.
- Duško, B., Comiæ, L., Sukdolak, S. (2006). Antibacterial activity of some plants from family Apiaceae in relation to selected phytopathogenic Bacteria. *Kragujevac Journal of Science*, 28, 65–72.
- Dutton, B. (1980). *Berceo y la Rioja Medieval unos apuntes botánicos*. Instituto de Estudios Riojanos, Logroño.
- Eaton, S. (2006). The ancestral human diet: what was it and should it be a paradigm for contemporary nutrition? *Proceedings of the Nutrition Society*, 65(1), 1-6.
- Edreva A. (2005). "The importance of non-photosynthetic pigments and cinnamic acid derivatives in photoprotection." *Agriculture Ecosystems y Environment*, 106(2–3):135-146.
- El Ouariachi, E., Lahhit, N., Bouyanzer, A., Hammouti, B., Paolini, J., Majidi, L., Desjobert, JM. y Costa, J. (2014). Chemical composition and antioxidant activity of essential oils and solvent extracts of *Foeniculum vulgare* Mill. From Morocco. *Journal of chemical and pharmaceutical research*, 6(4), 743-748.
- El-Soud, N., El-Laithy, N., El-Saeed, G., Wahby, M., Khalil, M., Morsy, F. y Shaffie, N. (2011). Antidiabetic activities of *Foeniculum vulgare* Mill. Essential oil in streptozotocin-induced diabetic rats. *Macedonian Journal of Medical Sciences*, 4(2), 139-146.
- Eisman, A., Blanca, J. y Camacho F., (2018). Anatomía y fisiología de la piel. Manual de Dermatología. *Grupo Aula Médica* 2ª edición.
- Espinosa, W., Garzón, L. y Medina, O. (2016). Validación de una metodología analítica para la cuantificación de polifenoles totales, en

- procesos de extracción asistida por microondas sobre frutos de la especie colombiana *Vaccinium meridionale*. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(1), 109-126.
- Esteva E., (2009). Protección solar y melanoma. Ámbito de acción de la farmacia. *Farmacia y Sociedad*, 28(5), 73- 80.
- Evans W. (2009). *Trease and Evans Pharmacognosy*. Saunders Elsevier, 16th Edition.
- Faudale, M., Viladomat, F., Bastida, J., Poli, F., y Codina, C. (2008) Actividad antioxidante y composición fenólica de hinojo silvestre, comestible y medicinal de diferentes países mediterráneos. *Revista de Química Agrícola y Alimentaria*, 56(6), 1912–1920.
- Ferrie, A., y Caswell, K. (2016). *Chapter 13—Applications of Doubled Haploidy for Improving Industrial Oilseeds*. In *Industrial Oil Crops*.
- Font Quer, P. (1979): *Plantas Medicinales: El Dioscórides renovado*. Labor, Barcelona, 7^a edición.
- Font Quer, P. (1985). *Diccionario de Botánica*. Editorial Labor. Barcelona.
- Font Quer, P. (2005). *Plantas medicinales*. El Dioscórides renovado. 8^oed. Barcelona: Península.
- Fuentes, J. (2019). Las plantas como fuente de compuestos fotoprotectores frente al daño en el ADN producido por la radiación ultravioleta. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(168), 550-562.
- García, R., Cruz, F., Alarcón, A., Nieto, T. y Gallegos M. (2019). Análisis fitoquímico cualitativo de los extractos acuosos de *Thalassia testudinum* Banks ex Kőning et Sims de la localidad de Champotón, Campeche, México, durante el ciclo anual 2016-2017. *Polibotánica*, (48), 151-168.

- García, D. y López O. (2004) Los fitoestrógenos: ¿mito o amenaza para la alimentación animal en el trópico. *Pastos y Forrajes*, 27(4) 303.
- Garg, Ch., Ansari, S., Khan, S. & Garg, M. (2011). Effect of *Foeniculum vulgare* Mill. Fruits in Obesity and Associated Cardiovascular Disorders Demonstrated in High Fat Diet Fed Albino Rats. *Journal of pharmaceutical and biomedical sciences*, 8 (19).
- Garrido F., Ortiz M., Pozo P., (2013). Fenoles y flavonoides totales y actividad antioxidante de extractos de hojas de *Lampaya medicinalis*. *Journal of pharmacy y Pharmacognosy Research*, 1(1), 30-38.
- Garrote, A., y Bonet R. (2002). Consejo farmacéutico sobre fotoprotección. *OFFARM: farmacia y sociedad*, 21(5), 78-88.
- Garrote, A., y Bonet R. (2008). Fotoprotección: factores de protección y filtros solares. *OFFARM: farmacia y sociedad*, 27(5), 63-72.
- Gil, E. (2000). Diseño y montaje de un equipo para la extracción de aceites esenciales, a escala piloto. *Revista Facultad de Ingeniería*, 20 (1), 55-72.
- Gilaberte, Y., y González, S. (2010) Update on Photoprotection. *Actas Dermosifiliogr*; 101(8), 659-672.
- Gómez, A. (2008). Fotoexposición y enfermedad. Lesiones hiperpigmentadas. *Farmacia Comunitaria*, 22(7), 37-41.
- González, R., y Cardentey, J. (2016). Conocimiento sobre Medicina Natural y Tradicional por residentes de Medicina General Integral. *Revista Médica Electrónica*, 38(5), 689-696.
- González, L. (2003). Los efectos nocivos de la radiación solar y la forma de combatirlos. *OFFARM: Farmacia y sociedad*, 22(5), 68-76.
- Halliwell, B., y Aruoma, O. (1991). DNA damage by oxygen-derived species. Its mechanism and measurement in mammalian systems. *FEBS Letters*, 281(1-2), 9-19.

- Harborne J (1991) *Phytochemical Methods*. A guide to modern techniques of plant analysis. Chapman and Hall.
- Heldt, H-W. (2005). *Plant Biochemistry*, Third Edition. MA, USA. Elsevier
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2010). Metodología de la Investigación. México: McGraw Hill Educación.
- Heywood, V. (1985). Las plantas con flores. Reverté. España. 329.
- Huang Q., Liu X., Zhao G., Hu T. and Wang Y. (2018) Potential and challenges of tannins as an alternative to in-feed antibiotics for farm animal production. *Animal Nutrition*, 4(2) 137-150.
- Huamán J, Campos L, Cancino J, Avalos A, Bracamonte J, Aguilar C. (2019) Efecto *Foeniculum vulgare* en el perfil lipídico de adultos jóvenes con sobrepeso y obesidad. *Revista Médica de Trujillo*, [14\(3\), 135-146](#).
- Hurtado, M. (2015). *Caracterización fitoquímica de dos extractos alelopáticos obtenidos de Cinnamon canella y Piper angustifolium, mediante cromatografía y/o espectrofotometría*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Hussain, I., Anwar, F., Sherazi, S., y Przybylski, R. (2008). Chemical composition, antioxidant, and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. *Food Chemistry*, 108(3), 986-995.
- Ilić, D., Stanojević, L., Troter, D., Stanojević, J., Danilović, B., Nikolić, V. y Nikolić, L. (2019). Improvement of the yield and antimicrobial activity of fennel(*Foeniculum vulgare* Mill.) essential oil by fruit milling. *Industrial crops and products*, 142, 111854.
- Jansen R, Wang SQ, Burnett M, Osterwalder U, Lim HW., (2013). Photoprotection. Part I. Photoprotection by naturally occurring, physical, and systemic agents. *Journals of the American Academic Dermatology*, 69(6), 853.

- Kada, T., y Shimoj, K. (1987). Desmutagens and bio-antimutagens - Their modes of action. *BioEssays*, 7(3), 113-116.
- Kaur, G., y Arora, D. (2009). Antibacterial and phytochemical screening of *Anethum graveolens*, *Foeniculum vulgare* and *Trachyspermum ammi* *BMC Complementary and alternative Medicine*, 9(30), 2-10.
- Krishnamurthy, K. (2011). Plantas medicinales: Madhurikā, saunf o hinojo (*Foeniculum vulgare*, Gaertn). *Journal of New Approaches to Medicine and Health*, 19(1), 1-4.
- Kuklinski, K. (2003). *Farmacognosia: Estudio de las drogas y sustancias medicamentosas de origen natural*. Barcelona: Omega. España.
- Kunzemann, J., y Herrmann, K. (1977). Isolation and identification of flavon (ol) -O-glycosides in caraway(*Carum carvi* L.), fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), Anise (*Pimpinella anisum* L.) and coriander (*Coriandrum sativum* L.), and of flavon-C-glycosides in en anise. *I. Phenolics of spices*, 164(3), 194–200.
- Kumagai Y, Shinkai Y, Miura T. (2012). The chemical biology of naphthoquinones and its environmental. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 52, 221-247.
- La Asociacion Española contra el Cancer (1953). *Guía de protección solar, Recomendaciones para comprender el etiquetado de los fotoprotectores y elegir el producto adecuado*. Dale años a tu vida.
- Laguna, A. (1994): *Pedacia Dioscorides Anazarbeo. Acerca de la materia medicinal y de los venenos mortíferos*. Edition Facsímil, MRA, Madrid.
- Lago J., Toledo-Arruda A., Mernak M., Barrosa K., Martins M., Tibério I. and Prado C. (2014) Structure-Activity Association of Flavonoids in Lung Diseases. *Molecules*, 19(3), 3570-3595.
- Lemos T., Monte F., Kellen A., Fonseca A., Santos, H., Oliveira M., Costa S., Pessoa O., and Braz-Filho R. (2007) Structural diversity, chemical

- transformations, NMR data and biological activities. *Natural Product Research*, 21(6), 529-550.
- Leonora, F. y Figueroa G. (2022). *Fitoquímica*. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de estudios superiores Zaragoza.
- Linares, J. (2016). *Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-003-SAG/GAN-2016, Propóleos, producción y especificaciones para su procesamiento*. SAGARPA- Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Lock O, Cabello I, Doroteo V. (2006). *Análisis de flavonoides en plantas*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Londoño, J. (2012). Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. Corporación Universitaria La Sallista.
- López, L., y Stella, A. (2007). Aesthetic dermatology through the time. *Argentine journal of dermatology*, 88 (4), 227-233.
- Manniche, L. (2009). *Perfume*. UCLA: Los Angeles.
- Mansur, J.S., Breder, M.N.R., Mansur, M.C.A. and Azulay, R.D. (1986) Determination of sun protection factor by spectrophotometry. *Anais Brasileiros de Dermatologia Rio De Janeiro*, 61(3), 121-124.
- Maplestone, R., Stone, M., y Williams, D. (1992). The evolutionary role of secondary metabolites - a review. *Journal Gene*, 115 (1-2), 151-157.
- Marcano, D. y Hasegawa. (2002) *Fitoquímica orgánica*. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, 2^a edición.
- Marín, D., y del Pozo A. (2005). Pigmentación de la piel (I). Melaninas: conceptos generales e implicaciones cosméticas. *OFFARM: Farmacia y sociedad*, 24 (1), 116-8.
- Marín, I., Sayas-Barberá, E., Viuda-Martos, M., Navarro, C. y Sendra, E.

- (2016). Chemical composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity of essential oils from organic fennel, parsley, and lavender from Spain. *Foods*, 5(1) 18.
- Martínez, A., Valencia, G., y Jiménez, M. (2004). *Manual de prácticas de laboratorio de farmacognosia y fitoquímica*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquía, Departamento de Farmacia.
- Martinez, I., Periago M. y Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos latinoamericanos de nutrición*; 50 (1), 2309-5806.
- Miller y Philip (1754). *The Gardeners Dictionary*. 4^{ta} edition vol. 1.
- Montero, J. (2016). Fotoprotección: filtros solares. *Consejo General de Colegios Oficiales de Farmacéuticos*.
- Montes de Oca, M., Pearlman, R., McClees, S., Strickland, R., y Afaq, F. (2017). Phytochemicals for the prevention of photocarcinogenesis. *Photochem. Photobiol*, 93 (4), 956-974.
- Mota, M., da Boa Morte, A., Silva, L., y Chinalia, F. (2020). Sunscreen protection factor enhancement through supplementation with Rambutan (*Nephelium lappaceum* L) ethanolic extract. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 205, 111837.
- Muckensturm, B., Foechterlen, D., Reduron, J., Danton, P., y Hildenbrand, M. (1997). Estudios fitoquímicos y quimiotaxonómicos de *Foeniculum vulgare*. *Sistemática bioquímica y ecología*, 25 (4), 353–358.
- Narayanan, D., Saladi, R., y Fox, J. (2010). Ultraviolet radiation and skin cancer. *International Journal Dermatology*, 49(9), 978–986.
- Nassar, M., Aboutabl, E., Makled, Y., ElKhisy, E., y Osman, A. (2010). Metabolitos secundarios y farmacología de *Foeniculum vulgare* Mill. Subsp. *Piperitum*. *Revista Latinoamericana de Química*. 38 (2), 103-112.

Nicholson, T. (2000). *Ancient egyptian materials and technology*. Cambridge University Press.

Organización Mundial de la Salud (OMS). (1979) *The selection of essential drugs*. WHO Technical Report Series 641, 1-44

Osorio, E. (2009). *Aspectos Básicos de Farmacognosia*. Universidad de Antioquia.

Palella, S. y Martins, F. (2010). *Metodología de la investigación Cuantitativa*. Caracas: FEDUPEL.

Parejo, I., Jauregui, O., Sánchez, F., Viladomat, F., Bastida, J., y Codina, C. (2004). Separation and characterization of phenolic compounds in fennel (*Foeniculum vulgare*) using liquid chromatography-negative electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52 (12), 3679–3687.

Pradhan, M., Sribhuwaneswari, S., Karthikeyan, D., Minz, S., Claro, P., Chandu, A., Mishra, U., Kamalakannan, K., Saravanakumar, A. y Sivakumar, T. (2008). In-vitro cytoprotection activity of *Foeniculum vulgare* and *Helicteres isora* in cultured human blood lymphocytes and antitumour activity against B16F10 melanoma cell line. *Journal of Pharmacy and Technology*, 1(4), 450-452.

Pérez, T. (2009). *Obtención de extractos vegetales a partir de plantas medicinales*. Cuba: Academia.

Petretto, G., Fancello, F., Bakhy, K., Faiz, C., Sibawayh, Z., Chessa, M., Zara, S., Sanna, M., Maldini, M., y Rourke, J. (2018). Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from *Cuminum cyminum* L. Collected in Different Areas of Morocco. *Food Bioscience*, 22, 50–58.

Pietra, F. (2002), *Biodiversity and Natural Product Diversity*. Pergamon.

- Tetrahedron Organic Chemistry Series volumen 21, 1ª edición.
- Polit D, Humgler B. (1991). *Investigación científica en ciencias de la salud*. 3 ed. México: Interamericana McGraw-Hill.
- Pons, L. (2006). Agresión UVA: feomelanina y actividad catalasa. Pigmentación melánica. *OFFARM: Farmacia y Sociedad*, 25 (7), 91-2.
- Pozo B., Salazar C., (2011). *Reacción, Reactividad y Reconocimiento de Fenoles. Test de fenoles*. Laboratorio de Química Orgánica III. Departamento de Química. Facultad de Ciencias Naturales, Matemáticas y del Medio Ambiente. Universidad Tecnológica Metropolitana.
- Pujol, A., Tamargo, B., Salas, E., Calzadilla, C., y Acevedo, R. (2020). Tamizaje fitoquímico de extractos obtenidos de la planta *Sapindus saponaria L* que crece en Cuba. *Revista Bionatura*, 5 (3), 1209 - 1214.
- Punniamoorthy, T., Niroshan, G., Ashoka, G., Terrence, M., y Othmane, M. (2022). Apiaceae family as a valuable source of biocidal components and their potential uses in agriculture. *Horticultura*, 8 (7), 614.
- Putz, R. (2009). *Botánica oculta: las plantas mágicas según Paracelso*. Editorial Pons.
- Rahimikian, F., Rahimi, R., Golzareh, P., Bekhradi, R. y Mehran, A. (2017). Effect of *Foeniculum vulgare* Mill. (Fennel) on menopausal symptoms in postmenopausal women: a randomized, triple-blind, placebo-controlled trial. *Menopause*, 24(9), 1017-1021.
- Ramírez, N. (2017). Curso gratis de Fitoterapia básica.
- Rasul, A., Naveed, A., Khan, B., Mahmood, T., Zaman, S. y Khan, H. (2012). Desarrollo de la formulación de una crema que contiene extracto de hinojo: evaluación *in vivo* de los efectos antienvjecimiento. *Pharmazie*, 67(1), 54-58.
- Real Academia Española (2023). *Diccionario de la lengua española*.

Edición del tricentenario.

- Reylli, P., y Burkley, G. (1990). Tissue injury by free radicals and other toxic oxygen metabolites. *British Journal of Surgery*, 77(12), 1323-1324.
- Ringuelet, J., y Viña, S. (2013). *Productos Naturales Vegetales*. Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad Nacional de la Plata.
- Rivas, C., Oranday, M. y Verde, M. (2016). *Investigación en plantas de importancia médica*. México: Editorial OmniaScience.
- Roby, M., Sarhan, M., Selim, K., y Khalel, K. (2013). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and extracts of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) and chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) *Industrial crops and products*, 44, 437–445.
- Rojas L, Jaramillo C, Lemus M. (2015). *Métodos analíticos para la determinación de metabolitos secundarios*. Ediciones Utmach. Ecuador. 1era Edición.
- Rojas K, Calderón A. (2014). Efecto del extracto hidroalcohólico de *Foeniculum vulgare* mill. “hinojo” sobre *Rattus rattus* var. Albinus “ratas” dislipidémicas. *Sagasteguiana*, 2 (2), 139 - 144.
- Saewan, N., y Jimtaisong, A. (2015). Natural products as photoprotection. *Journal of Cosmetic Dermatology*. 14(1), 47-63.
- Sambandan, D., y Ratner, D. (2011). *Sunscreens: An overview and update*. *Journals of the American Academic Dermatology*, 64 (4), 748-758.
- Samadi, Z., Hadjzadeh, M., Moradi, M. y Khajavi, R. (2021). The hepatoprotective effects of fennel seeds extract and trans-anethole in Streptozotocin-induced liver injury in rats. *Food science y nutrition*. 9(2), 1121- 1131
- Sánchez, F. (2009). *II Congreso Nacional de Plantas Medicinales y Aromáticas*. Universidad Nacional de Colombia-Palmira. Extracción

de Aceites Esencial.

European Natural Additives. (2015). *Extractos vegetales y estrés*.

Sanz I. 2002. *Prácticas de química orgánica: experimentación y desarrollo*. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. España. 65

Sarmiento, E. y Torres, F. (2019). Efectos del *Foeniculum vulgare* (hinojo) en los síntomas, intensidad del dolor y la duración de la menstruación en estudiantes que padecen de dismenorrea primaria. *Revista internacional de salud materno fetal*, 4(1), 2519-9994.

Sayre R, Desrochers D, Marlow E. (1980). Sunscreen testing methods: *in vitro* predictions of effectiveness. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, 31 (1), 133-43.

Saxena, M., Saxena J., Nema, R., Singh, D., Gupta, A. (2013) Phytochemistry of medicinal plants. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1(6), 168-182.

Schalka, S., Steiner, D., Ravelli, F., Steiner, T., Terena, A., Marçon, C., y cols. (2014). Brazilian Consensus on Photoprotection. *An Bras Dermatology*, 89(6), 1-74.

Sharapin, N. (2000). *Fundamentos tecnología de productos fitoterapéuticos*. Bogotá Colombia: Convenio Andres Bello.

Sheel. R., Nisha, K., Kumar. J., (2014). Preliminary Phytochemical Screening of Methanolic. Extract of Clerodendron Infortunatum. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 7(1), 10-13.

Siew, Y., Zareisedehizadeh, S., Seetoh, W., Neo, S., Tan, C., y Koh, H. (2014). *Ethnobotanical survey of usage of fresh medicinal plants in Singapore*. *Journal of Ethnopharmacology*, 155(3),1450-1466.

- Soares, G., Ramos Paes, C, Furtado, A., Moreira, L. (2009). Preparación de un protector solar y evaluación de la acción fotoprotectora del propóleo verde del Vale do Aço, Minas Gerais, Brasil. *Boletín Latinoamericano- Caribe Plantas Medicinales Aromaticas*. 8(4), 282-288.
- Solís, P., De Solís, N., Gattuso, S., y Cáceres, A. (2003). *Manual de Caracterización y Análisis de Drogas Vegetales y Productos Fitoterapéuticos*. Organización de los Estados Americanos.
- Sousa, R., Cunha, A., Fernandes, M. (2021). The potential of Apiaceae species as sources of singular phytochemicals and plant-based pesticides. *Phytochemistry*, 187(14), 112714.
- Soto M., (2015). Metabolitos secundarios, cuantificación de fenoles y flavonoides de extractos etanólicos de propóleos de tres localidades del Perú. *In Crescendo*, 6(2), 37-47.
- Stanpa. (2016). *La historia de la protección solar*. STANPA, Asociación Nacional de Perfumería y Cosmética
- Stevanato, R., Bertelle, M. y Fabris, S. (2014). Photoprotective characteristics of natural antioxidant polyphenols. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 69(1), 71-77.
- Stringlis, I., Jonge R. y Pieterse C. (2019). The Age of Coumarins in Plant-Microbe Interactions. *Plant Cell Physiol*, 60(7), 1405-1419
- Tamayo, R., Verdecia, A., y Mojera, I. (2011). Tamizaje Fitoquímico de los extractos alcohólicos, etéreo y acuosos de las hojas y tallo de la *Isocarpha cubana* B. *Red de Revistas Científicas, MULTIMED*, 15(3), 1-8.
- Toca, T. (2011). Impacto ambiental empresarial y fallas de la acción pública:

- una realidad de las localidades bogotanas. *Argos*, 28(54), 244-269.
- Trautinger F. (2001). Mechanisms of photodamage of the skin and its functional consequences for skin aging. *Clinical and Experimental Dermatology*, 26(7), 573-577.
- Treybal, R. (1986). *Operaciones con Transferencia de masa*. McGraw-Hill 2ª edición.
- Tripp E., Zhuang Y., Schreiber M., Stone H. and Berar A. (2018) *Evolutionary and Ecological Drivers of Plant Flavonoids Across A Large Latitudinal Gradient*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 128(1), 147–161.
- Tropicos ORG., (2042). Connecting the world to botanical data since 1982
- Vibrans, H. (2009). *Foeniculum vulgare*. Malezas de México. CONABIO.
- Vidaurre, M., Querevalú, L., De los Ríos, E., y Ruiz, S. (2007). Características farmacognósticas de las hojas de *Capparis avicennifolia*. *Revista Medica Vallejana*, 4(2), 122 – 131.
- Villacís, G. (2021). Actividades biológicas de la especie *Foeniculum vulgare* Mill. (Hinojo). Facultad De Ciencias Químicas, Universidad Central Del Ecuador.
- Viuda, M., Mohamady, M., Fernández, J., Abd, K., Omer, E., Pérez, J. y Sendra, E. (2011). Actividades antioxidantes y antibacterianas *in vitro* de los aceites esenciales obtenidos de plantas aromáticas egipcias. *Control de alimentos*, 22(11), 1715-1722.
- Sachdeva S. (2009). Fitzpatrick skin typing: Applications in dermatology. *Indian Journal of Dermatology Venereology and Leprology*, 75(1), 93-6.
- Samadi, Z., Hadjzadeh, M., Moradi, M. y Khajavi, R. (2021). Los efectos hepatoprotectores del extracto de semillas de hinojo y el trans - Anetol en la lesión hepática inducida por estreptozotocina en ratas. *Food*

science y nutrition, 9(2), 1121-1131.

Stafford, H. (1991) Flavonoid Evolution: An Enzymic Approach. *Plant Physiology*, 96(3), 680-685.

Zaragozano, J., Bueno, M., y Moreno, L. (2016). Quemadura solar y fotodermatosis. Facultad de Ciencias de la Salud. *Boletín de la Sociedad de Pediatría de Aragón, La Rioja y Soria*, 46(2), 48-58.

Zaynab, M., Fatima, M., Abbas, S., Sharif, Y., Umair, M., Zafar, M.H., y Bahadar, K. (2018). Role of Secondary Metabolites in Plant Defense against Pathogens. *Microbial Pathogenesis*, 124(8), 198–202.

Zhang, W., y Björn, L. (2009). The effect of ultraviolet radiation on the accumulation of medicinal compounds in plants. *Fitoterapia*, 80(4), 207-218.

Zeng, H., Chen, X. & Liang J. (2014). In vitro antifungal activity and mechanism of essential oil from fennel (*Foeniculum vulgare* L.) on dermatophyte species. *Journal of Medical Microbiology Papers in Press*, 64(1), 93-103.

Zúñiga, B., y Caballero, A. (2016). La medicina tradicional, natural y los ensayos clínicos: un reto de las ciencias médicas en el siglo XXI. *MEDISAN*, 20(4), 578-85.