



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



**FACTOR DE PROTECCIÓN SOLAR Y TAMIZAJE FITOQUÍMICO DE LA**  
**CORTEZA DE *Pterocarpus acapulcensis* Rose**

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**Autoras:**

**Diana Beatriz El Masri Rodríguez**

**María Yelitza Márquez Fernández**

**Tutora:**

**Prof. Alida Pérez**

**Mérida, 5 de junio de 2023**

## DEDICATORIA

A Dios por darnos salud y asiduidad para alcanzar nuestras metas como persona y como profesionales.

A nuestros padres, por ser pilar fundamental en esta formación; y por todo su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

A nuestros hermanos, por estar siempre presentes, acompañándonos.

A los demás familiares, que han estado siempre presentes, apoyándonos.

A los amigos y hermanos que nos regaló la Universidad, que sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y tristezas; y por todo el apoyo incondicional brindado.

A todos ellos les dedicamos este trabajo de grado, por estar a nuestro lado durante estos años, apoyándonos; y que de alguna u otra manera han formado parte de su realización.

*Diana Beatriz El Masri Rodríguez  
María Yelitza Márquez Fernández*

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios todopoderoso, por ser el principal guía a lo largo de esta carrera y por permitirnos llegar hasta donde estamos.

A la ilustre Universidad de los Andes, por abrirnos sus puertas y permitir formarnos como Licenciadas 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.

A nuestra tutora, la profesora Alida Pérez, por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos. Y por guiarnos en todo momento.

A nuestros familiares y demás seres especiales, que con sus consejos nos llenaron de sabiduría y optimismo para alcanzar nuestros propósitos.

A todos gracias, por formar parte de este logro...

*Diana Beatriz El Masri Rodríguez*

*María Yelitza Márquez Fernández*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	pág.
Índice de figuras.....	viii
Índice de esquemas.....	ix
Índice de tablas.....	x
<b>RESÚMEN</b> .....	xi
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I. EL PROBLEMA</b> .....	3
Planteamiento del problema.....	3
Justificación de la investigación.....	5
Objetivos de la investigación.....	6
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos.....	6
Alcances y limitaciones de la investigación.....	7
Alcances de la investigación.....	7
Limitaciones de la investigación.....	7
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	8
Trabajos previos.....	8
Antecedentes históricos.....	11
Bases teóricas.....	12
Familia Fabaceae.....	12
Género <i>Pterocarpus</i> .....	14
Aspectos botánicos.....	14
Composición química del género <i>Pterocarpus</i> .....	15
Usos etnobotánicos de <i>Pterocarpus</i> .....	20
Actividad biológica del género <i>Pterocarpus</i> .....	21
<i>Pterocarpus acapulcensis</i> .....	25
Productos naturales.....	27

## ÍNDICE DE CONTENIDO (Continuación)

	pág.
Extractos vegetales.....	30
Tamizaje fitoquímico.....	32
La piel.....	35
Radiación solar.....	37
Protector solar.....	39
<i>Filtros solares</i> .....	44
Actividad fotoprotectora.....	45
<i>Factor de protección solar</i> .....	46
Definición operacional de términos.....	52
Operacionalización de las variables.....	53
Hipótesis.....	56
<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO</b> .....	57
Tipo de investigación.....	57
Diseño de la investigación.....	57
Población y Muestra.....	58
Sistema de variables.....	59
Instrumento de recolección de datos.....	59
Procedimientos de la investigación.....	59
Diseño de análisis de los datos.....	67
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	68
Obtención del extracto y tamizaje fitoquímico.....	68
Cuantificación total de fenoles.....	72
Determinación del factor de protección solar (FPS).....	75
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	79
Conclusiones.....	79
Recomendaciones.....	80

**ÍNDICE DE CONTENIDO (Continuación)**

	<b>pág.</b>
<b>BIBLIOHEMEROGRAFÍA.....</b>	<b>81</b>

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°		pág.
1	Algunos metabolitos secundarios reportados <i>Pterocarpus marsupium</i> .....	17
2	Algunos metabolitos secundarios reportados para <i>Pterocarpus erinaceus</i> .....	19
3	<i>Pterocarpus acapulcensis</i> .....	27
4	Algunos metabolitos secundarios de origen vegetal.....	29
5	Capas de la piel.....	35
6	Ecuación matemática de Mansur.....	48
7	Fórmula del índice PPD o porcentaje estimado de insatisfechos.....	49
8	Fórmula de la longitud de onda crítica.....	50
9	Fórmula de Vogelmann para la determinación del FPS.....	51
10	Caracterización fitoquímica de los extractos de la corteza de <i>Pterocarpus acapulcensis</i> .....	70
11	Curva de calibración de ácido gálico.....	73

## ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema		pág.
Nº		
1	Procedimiento empleado para la identificación de los metabolitos secundarios de la corteza de <i>Pterocarpus acapulcensis</i> .....	64
2	Procedimiento empleado para para la cuantificación de fenoles de la corteza de <i>Pterocarpus acapulcensis</i> .....	65
3	Procedimiento para determinar el factor de protección solar de la corteza de <i>Pterocarpus acapulcensis</i> por el método de Mansur.....	66

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°		pág.
1	Taxonomía del género <i>Pterocarpus</i> .....	15
2	Taxonomía de la especie <i>Pterocarpus acapulcensis</i> .....	26
3	Clasificación según el nivel de fotoprotección de acuerdo con el estándar de la Agrupación Europea de Fabricantes de Productos de Cosmética y Perfumería (COLIPA).....	43
4	Relación entre efecto eritemogénico (EE) versus intensidad de radiación (I) conforme la longitud de onda ( $\lambda$ ).....	48
5	Clasificación por estrellas de la longitud de onda crítica.....	50
6	Variable dependiente: Factor de protección solar de la corteza de <i>Pterocarpus acapulcensis</i> .....	54
7	Variable independiente: Composición química de la corteza de <i>Pterocarpus acapulcensis</i> .....	55
8	Metabolitos secundarios de la especie <i>Pterocarpus acapulcensis</i> .....	69
9	Resultados obtenidos en tamizaje fitoquímico de diferentes especies del género <i>Pterocarpus</i> .....	71
10	Datos para curva de calibración con ácido gálico.....	73
11	Resultados obtenidos del contenido total de compuestos fenólicos del extracto etanólico de la corteza de <i>Pterocarpus acapulcensis</i> .....	74
12	Resultados del FPS del extracto etanólico disuelto en etanol de la corteza de <i>Pterocarpus acapulcensis</i> .....	76
13	Resultados del FPS del extracto etanólico disuelto en agua de la corteza de <i>Pterocarpus acapulcensis</i> .....	76



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



FACTOR DE PROTECCIÓN SOLAR Y TAMIZAJE FITOQUÍMICO DE LA  
CORTEZA DE *Pterocarpus acapulcensis* Rose

**Autoras:**

**Diana Beatriz El Masri Rodríguez**

**María Yelitza Márquez Fernández**

**Tutora:**

**Prof. Alida Pérez**

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

**RESUMEN**

En la presente investigación se determinó la composición química, la cantidad de fenoles totales y el factor de protección solar (FPS) de los extractos obtenidos de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*. 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 actividad fotoprotectora *in vitro* se determinó empleando el método espectrofotométrico de Mansur. Con respecto a la composición química, se detectó la presencia de esteroides en el extracto de hexano y de alcaloides, compuestos fenólicos, taninos, y esteroides en el extracto etanólico. Por otra parte, el promedio de la cuantificación total de fenoles fue moderada con 163,613 µg de Ácido gálico/mg de extracto. En relación con la actividad fotoprotectora, el factor de protección solar para del extracto etanólico disuelto en etanol fue de 5,364. En este sentido, se logró determinar que el extracto etanólico de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* ofrece un nivel de protección baja contra las radiaciones UVB, siendo útil como coadyuvante para formulaciones fotoprotectoras con compuestos naturales.

**Palabras clave:** *Pterocarpus acapulcensis*, factor de protección solar, fotoprotección, tamizaje fitoquímico, cuantificación de fenoles.

## INTRODUCCIÓN

La radiación solar que llega a la piel en ocasiones es superior a la capacidad defensiva de la misma, por lo que con una protección inadecuada pueden llegar a producir múltiples daños. Partiendo de ello, diversos investigadores se basan en la capacidad de las plantas para acumular sustancias que absorben los rayos ultravioleta (UV) para elaborar formulaciones fotoprotectoras con compuestos naturales que brinden dicho beneficio sobre el ser humano (Mejía, Atehortúa y Puertas, 2014).

Por otra parte, se ha reportado en la literatura esquemas de trabajo que comprenden el uso de diferentes solventes de extracción para el desarrollo del análisis fitoquímico. Es importante señalar que, los resultados obtenidos mediante el tamizaje fitoquímico ofrecen solo una visión de la composición química de la planta a estudiar y no puede tomarse como un resultado indiscutible, debido a que al establecer la presencia o ausencia de un metabolito pueden influir ciertos parámetros, pueden ocurrir errores en la etapa de recolección, en la concentración de los metabolitos o la alteración de algunos metabolitos por influencia de la temperatura (Miranda y Cuellar, 2001).

Varias razones justifican la realización de esta investigación. Entre ellas que la especie seleccionada *Pterocarpus acapulcensis* ha sido poco estudiada. Por ello se quiere conocer más sobre las potencialidades que posee, en especial sobre la protección frente a la radiación ultravioleta, dado que, el uso de los productos naturales con fines fotoprotectores ha sido cada vez más frecuente. Asimismo, la ciencia moderna analizando y estudiando los efectos de las plantas quiere precisar, comparar y clasificar las diversas propiedades para agrupar aquellas que poseen efectos similares. Conocer los principios activos responsables de absorber los rayos UV, separar éstos

de las plantas que lo contienen para determinar sus estructuras químicas, sinterizarlos y realizar modificaciones estructurales en busca de una mayor actividad y así dar a conocer a la humanidad los resultados de los estudios (Lock, 1994).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el objetivo general de esta investigación fue confirmar la relación entre el factor de protección solar y la composición química de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*. El procedimiento a realizar para determinar el factor de protección solar fue el método espectrofotométrico *in vitro* descrito por Mansur, mientras que, para el tamizaje fitoquímico se llevaron a cabo reacciones químicas de coloración y precipitación con el fin de determinar los compuestos químicos que están presentes en la corteza de la planta.

Este proyecto de investigación ha sido ordenado en 5 capítulos: el primero, titulado: El Problema, subtítulo de la siguiente manera: Planteamiento del problema, justificación de la investigación, objetivos, alcances y limitaciones de la investigación. El segundo capítulo, titulado: Marco teórico, con sus respectivos subtítulos: Trabajos previos, antecedentes históricos, bases teóricas, definición operacional de términos, operacionalización de variables e hipótesis. El tercer capítulo, llamado: Marco Metodológico, presentado de la siguiente manera: Tipo de Investigación, diseño de investigación, población y muestra, sistema de variables, procedimientos de la investigación y diseño de análisis. El cuarto capítulo, denominado: Resultados y discusión. Y el quinto capítulo, titulado: Conclusiones y recomendaciones. Y bibliohemerografía.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **Planteamiento del problema**

La exposición a la luz ultravioleta puede ocurrir de forma natural o mediante fuentes artificiales, siendo el sol la principal fuente de exposición de luz natural para las personas y el medio ambiente (Villegas, Castillo, Sabatés, Curbelo y Ramos, 2005). Cuando la luz ultravioleta (UV) incide en la piel humana logra penetrar la dermis exponiendo gran variedad de células y estructuras, hecho que dependerá del grosor de la epidermis, la profundidad de la penetración y del tamaño de la longitud de onda incidente. Asimismo, la mínima exposición a una determinada banda de luz puede provocar eritema solar manifestándose como una respuesta inflamatoria de la piel. Si dicha exposición se mantiene por largo tiempo, puede penetrar con profundidad llegando a convertirse en una quemadura solar de 1<sup>er</sup> o 2<sup>do</sup> grado superficial, con formación de ampollas (Duro, Campillos y Causín, 2003).

Cabe destacar que, la piel es probablemente uno de los órganos que con mayor frecuencia sufre estrés oxidativo. Las radiaciones ultravioleta constituyen el principal factor generador de especies reactivas de oxígeno a este nivel (Álvarez, 1995). Una exposición prolongada a los rayos UV del sol puede causar diversas patologías en el ser humano como lo son: cáncer de piel, melanoma, no melanoma, cataratas y otros daños a los ojos, los cuales si no se tratan pueden ocasionar ceguera, así como la supresión inmune,

que conlleva a la pérdida del funcionamiento del sistema inmunológico del cuerpo y las defensas naturales de la piel (Elejalde, 2001).

Desde este punto de vista, la piel expuesta y desprotegida (cara, dorso de manos y antebrazos) sufre las consecuencias de la suma del envejecimiento natural más el ocasionado por el sol. Las radiaciones destruyen dos fibras importantes para la piel: la elastina y el colágeno, las cuales son fundamentales para la estructura y la elasticidad, al disminuir el número de estas sustancias, se promueve la aparición de arrugas en la piel, puede observarse; además, piel áspera, telangiectasias, léntigos solares o seniles e hipopigmentaciones; los poros se hacen más grandes y se ven como puntos negros, siendo de esta forma un factor de riesgo significativo del envejecimiento prematuro (Mora, Olivares, González y Castro, 2010).

En relación a lo expuesto anteriormente y luego de describir la situación actual del problema, las autoras conjuntamente con el equipo de investigación proponen el siguiente enunciado holopráxico:

¿Cuál es la relación entre el factor de protección solar y la composición química del extracto etanólico de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*?

## Justificación de la investigación

La presente investigación se fundamenta en base a las propiedades de los metabolitos secundarios de las plantas que tienen la capacidad de absorber o reflejar la luz UV. De igual modo, constituyen una alternativa terapéutica desde el punto de vista económico y con menos efectos secundarios (Carrasco, 2009).

En tal sentido, Raga, Ettiene, Pérez, Sandoval y Casas (2014), hacen referencia que metabolitos tales como flavonoides y polifenoles tienen la capacidad de bloquear la radiación UV, y por ende aumentan la tolerancia a altos niveles de radiación. En los últimos años se ha demostrado que estos compuestos no sólo reducen los efectos de los rayos UV, sino que cuentan con otros beneficios además de proteger del sol, nutren la piel y no obstruyen los poros, al contrario de los protectores solares químicos. Adicionalmente, las formulaciones elaboradas a base de estas sustancias naturales se absorben de mejor manera y son totalmente resistentes al agua, evitan el riesgo de reacciones alérgicas, además, no contaminan y son biodegradables (Fuentes, 2019).

En base a lo antes descrito, se planteó el estudio de los extractos de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*, en la búsqueda de nuevas fuentes de sustancias con propiedades fotoprotectoras y de este modo hacer un aporte al conocimiento químico y farmacológico del género *Pterocarpus*.

## Objetivos de la investigación

### Objetivo general

Confirmar la relación entre el factor de protección solar y la composición química del extracto etanólico de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.

### Objetivos específicos

Obtener los extractos de hexano y etanol de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* mediante la técnica de extracción en reflujo.

Identificar a través de pruebas químicas de coloración y/o precipitación los metabolitos secundarios presentes en los extractos previamente obtenidos.

Cuantificar el contenido total de fenoles en la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* por el método de Folin-Ciocalteu.

Determinar el factor de protección solar *in vitro* de la corteza de *P. acapulcensis*, por el método de Mansur.

## **Alcances y limitaciones de la investigación**

### **Alcances de la investigación**

Los alcances de la investigación se relacionan con la profundidad del conocimiento que los autores se proponen, tal como lo refieren Hernández, Fernández y Baptista (2010). Al respecto, el logro de esta investigación está relacionada con la identificación cualitativa de los metabolitos secundarios, así como la cuantificación de compuestos fenólicos presentes en la corteza de *P. acapulcensis*. Dichas moléculas representan una buena alternativa en la elaboración de fotoprotectores proporcionando una acción coadyuvante, para el tratamiento preventivo de los efectos producidos por la radiación solar. Así como también, siendo un gran aporte para la medicina natural debido a que es el primer estudio realizado de la especie.

### **Limitaciones de la investigación**

Según Arias (2012), las limitaciones son los obstáculos que eventualmente pudieran presentarse durante el desarrollo del estudio y que escapen del control del investigador. Tomando este autor como referencia podemos decir que las limitaciones en esta investigación estuvieron representadas por:

- Poca disponibilidad de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.
- La suspensión de actividades en la institución donde se realiza la investigación.
- Problemas de electricidad, transporte, internet, lo cual atrasa el desarrollo de la investigación.
- Costos elevados de materiales y reactivos para la elaboración de la tesis.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### Trabajos previos

Santos y cols (2021), realizaron un estudio titulado: Análisis fitoquímico y evaluación de la actividad fotoprotectora del extracto acuoso de *Tamarindus indica* L. (Tamarindo). Dicho estudio tuvo como objetivo examinar el extracto acuoso de las cáscaras del fruto de *Tamarindus indica* L. sobre su análisis fitoquímico y evaluación fotoprotectora. En el cual, se utilizó la metodología de Matos (1997) con modificaciones; indicando la presencia de metabolitos secundarios: alcaloides y taninos, siendo este un dato importante dado que los taninos muestran un gran potencial para absorber la radiación UV. Por otra parte, para el FPS fue utilizado el método de Mansur y cols (1986) se realizaron escaneos de 290 a 320 nm (a intervalos de 5 nm) demostrando valores relevantes para el estudio. El extracto arrojó absorbancias significativas en concentraciones de 50  $\mu\text{g. mL}^{-1}$  y 500  $\mu\text{g. mL}^{-1}$ , con un FPS de 6,54 y 12,77 respectivamente, indicando que el extracto en solución acuosa de cáscaras de frutos de *Tamarindus indica* L. podría ser útil para la realización de protectores solares, como una alternativa natural para el control y prevención de posibles daños causado por la luz solar.

Majeed, Majeed, Jainista, Mundkur, Muchacho y Neupane (2020), en su estudio titulado: Un estudio aleatorizado para determinar el factor de protección solar del pterostilbeno natural de *Pterocarpus marsupium*. Cuyo objetivo fue determinar el FPS *in vitro* e *in vivo* del pterostilbeno natural al 90 % extraído del duramen seco de *Pterocarpus*

*marsupium*. El FPS del pterostilbena purificado y una formulación que contenía pterostilbena al 0,4 % se determinó *in vitro* usando un espectrofotómetro UV. El pterostilbena tenía un FPS de  $21,73 \pm 0,06$ , mientras que la formulación en crema tenía un FPS de  $8,84 \pm 0,01$ . Se encontró que el FPS *in vivo* de la crema de pterostilbena al 0,4 % en humanos era de  $6,2 \pm 1,30$ . Las pruebas primarias de irritación de la piel en sujetos humanos mostraron que la formulación era segura y no tenía potencial de irritación. También se encontró que el pterostilbena tiene una actividad antioxidante significativa según lo determinado por ensayos de eliminación de radicales libres *in vitro*. Estos resultados sugieren el pterostilbena natural tiene potencial como ingrediente seguro y eficaz en formulaciones tópicas para filtros solares y protección UV. Pudiendo ser usado en combinación con otros ingredientes para aumentar el valor del FPS de las formulaciones de protección solar.

Por otra parte, Isla y cols. (2020), en su trabajo de investigación titulado: Perfil fitoquímico, actividad biológica y fotoprotectora de las flores de *Aldama dentata* La Llave et Lex. Cuyo objetivo fue utilizar las flores secas de *Aldama dentata* (Asteraceae), extraídas con etanol para la realización del tamizaje fitoquímico. Así como también la determinación de la actividad antioxidante mediante el método de Cuantificación del Poder Captador del Radical Libre DPPH y la determinación de FPS a través del método de Mansur. Se obtuvo que los principales metabolitos secundarios presentes en el extracto etanólico de *Aldama dentata* fueron: lactonas sesquiterpénicas, triterpenos, glicósidos cardiotónicos, taninos, compuestos fenólicos y flavonoides; siendo los dos últimos metabolitos con mayor importancia biológica y farmacológica. Estos se producen en la planta como respuesta a la acción de la radiación UV, demostrando tener una elevada actividad antioxidante y fotoprotectora, además de alcanzar un resultado del FPS de 15 que según la clasificación

de la European Cosmetic, Toiletry and Perfumery Association (COLIPA), está catalogado como de “Alta protección”. Cabe destacar que, los flavonoides poseen anillos aromáticos, que tienen dobles enlaces conjugados, permitiéndole a la molécula absorber la energía de la radiación UV, confiriendo de esta manera protección frente a los fenómenos de daño oxidativo al que se encuentra expuesto el cuerpo humano.

Hashemi, Ebrahimzadeh y Khalili (2019), evaluaron la correlación entre el factor de protección solar (FPS) y el contenido de fenoles y flavonoides y actividad antioxidante de plantas medicinales de Irán. Extrajeron con metanol diferentes partes de 9 plantas medicinales utilizando tres métodos de extracción (percolación, soxhlet y extracción asistida por ultrasonidos) para obtener 42 extractos crudos, entre ellas las partes aéreas de *Vicia faba* L. y la hoja y flor de *Albizzia julibrissin* Durazz pertenecientes a la familia Fabaceae. Para la cuantificación de fenoles utilizaron el reactivo de Folin-Ciocalteu, obteniéndose que el mayor valor de compuestos fenólicos fue el extracto de hoja de *A. julibrissin* preparado por extractor Soxhlet ( $688,97 \pm 23,3$  mg AG/mg de extracto). Por otra parte, para el FPS se determinó por el método espectrofotométrico *in vitro* por Gharavi et al. Así mismo, para el contenido de flavonoides y actividad antioxidantes utilizaron el método del cloruro de aluminio y la actividad de captación de radicales DPPH respectivamente. Finalmente correlacionaron los valores de FPS, con los contenidos de fenoles y flavonoides, así como con las actividades antioxidantes, cuyos resultados mostraron una correlación entre el FPS y el contenido de fenoles y flavonoides, pero no existieron correlaciones significativas entre el FPS y la actividad antioxidante en los extractos.

## Antecedentes históricos

Desde tiempos antiguos, los recursos vegetales han sido aprovechados por el hombre para uso alimenticio o medicinal. Esto es gracias al gran acervo de metabolitos secundarios que poseen las plantas, y han constituido un punto de partida para el descubrimiento de nuevas sustancias bioactivas (Beltrán, Díaz y Gómez, 2013). Desde este punto de vista, el uso de las plantas con fines medicinales se remonta al principio de la historia de la humanidad. Tal como refieren Piña, Perdomo, Marcel y Hernández (2015), tres mil años antes de Cristo se usaron las plantas con fines curativos llegando a conocer un poco más de 250 hierbas medicinales. Las plantas tienen una gran habilidad de sintetizar sustancias aromáticas, gran cantidad de ellas son fenoles o sus derivados de oxígenos sustituidos. Muchos además son metabolitos secundarios de los cuales por lo menos 12.000 han sido aislados.

Por otra parte, los primeros estudios sobre la resistencia de las plantas a los rayos UV-B se remontan a los años 80 y 90. Cuando se empezó a hablar por primera vez del agujero de la capa de ozono. Se descubrió entonces que los vegetales se protegen de los daños procedentes de la radiación solar gracias a una sustancia, compuesta por flavonoides, que recubre las hojas. Estos compuestos moleculares son capaces de filtrar y detener el componente dañino de los rayos ultravioleta, pero dejan pasar las longitudes de onda esenciales para la fotosíntesis (Barbieri, 2017).

Asimismo, los protectores solares tienen su inicio desde los años 20 debido a las diferentes tendencias que habían en la moda, una de ellas el bronceado. A partir de esta, se debían tomar medidas para la precaución, daños y cuidado a la piel. Los farmacéuticos de aquel entonces hicieron los primeros protectores solares a base de aceite de oliva y almendras,

aprovechando las propiedades de cada uno. Partiendo de estas investigaciones se lanza el primer fotoprotector en Estados Unidos. Posteriormente a este lanzamiento, en Alemania se hizo el primer fotoprotector a base de un compuesto entre benceno e imidazol, lo cual dio como resultado el benzimidazol. 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 (Ávalos, Ibarra, Ravello, Ríos y Rodríguez, 2018).

## **Bases teóricas**

### **Familia Fabaceae**

La familia Fabaceae para muchos científicos es una familia con abundantes e importantes especies. Está dividida en tres subfamilias, consideradas por algunos como familias: Faboideae, Caesalpinioideae y Mimosoideae. Presentan una amplia distribución en el mundo. A nivel mundial se han reportado 730 géneros y 19400 especies, siendo la más abundante la subfamilia Faboideae con 489 especies (Rodríguez y Gámez, 2010). Existen criterios biológicos que le dan importancia al estudio de las leguminosas venezolanas, además de la presencia de diversos metabolitos secundarios como lo son esteroides, terpenoides, fenoles totales y taninos que varían desde leves hasta cuantiosos (Ojeda, Obispo, Gil y Matute, 2015).

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, la familia Fabaceae constituye la tercera familia con mayor riqueza de especies después de las compuestas (Asteraceae) y las orquídeas (Orchidaceae) (Cabañas, De la Luz, Lamothe, Auárez y Domínguez, 2005). Comparada con dichas familias, y muchas otras, las fabaceas poseen una gran diversidad de formas de crecimiento

que varía desde enormes árboles a pequeñas efímeras; asimismo, son notables sus modos de reproducción y defensa. Aunque la familia se ha extendido prácticamente en todo hábitat terrestre, desde el ecuador a los límites de los desiertos secos y fríos, mucha de su diversidad está centrada en áreas de variada topografía con clima estacional (Moreno, 2007).

Las especies de la familia Fabaceae también son llamadas legumbres por sus frutos, puede emplearse para la fijación de nitrógeno, conservación de suelos y proporcionar madera, combustible, pesticidas, como también más carbohidratos, proteínas y aceites (Moreno, 2007). A su vez, los componentes químicos que se reportan con mayor frecuencia son los alcaloides, flavonoides y los proteoides (Pino, Prieto, Pérez y Molina, 2004). Dicha familia posee características extremadamente diversas, son utilizadas por humanos como cultivos, abonos verdes y forrajes. También se emplean para sintetizar una amplia gama de productos naturales incluyendo sabores, venenos, colorantes además de ser de gran importancia en fines medicinales (Ahmad, Anwar y Hira, 2016).

De igual forma, proporcionan una terapia efectiva para el tratamiento de numerosas enfermedades por lo que se han descrito diversas actividades farmacológicas como lo son: actividad antidiabética, antihiperlipidémica, antioxidante, hepatoprotectora, antidiarreica, antiinflamatoria, anticancerígena, antimicrobiana, antibacteriana, antifúngica, antihelmíntica, nootrópica, antiulcerosa, cardiotónica, analgésica, afrodisíaca así como su uso para estudios de toxicidad (Mohd, Mohd, Muhammad y Anayatullah, 2018).

## **Género *Pterocarpus***

El género *Pterocarpus* comprende aproximadamente 35 especies, en los trópicos de América, África y Asia. En tal sentido, en América se distribuye desde el Sureste de México a través de Centroamérica hasta los países amazónicos (Perú, Bolivia, Brasil, Colombia, Venezuela y Ecuador), así también en el Caribe e introducidos en Cuba y el Sur de Florida (EEUU), las Antillas y Guayanas (Canavides, 2001).

## **Aspectos botánicos**

Las especies de este género se caracterizan por ser árboles pequeños a grandes, siempre verdes o deciduos, con sabia roja. Las especies de *Pterocarpus* pueden llegar a medir 40 m de altura y hasta 1,5 m de diámetro normal, mostrando un tronco bastante derecho. El género provee una variedad de productos económicos, el principal es la madera seguido por la goma o resina conocida como Sangre de Drago (Canavides, 2001). A su vez, el género *Pterocarpus* consta de unas 35 especies; algunas de ellas son *P. acapulcensis*, *P. albopubescens*, *P. mildbraedii*, *P. amazonum*, *P. angolensis*, *P. antunesii*, *P. brenanii*, *P. claessensii*, *P. dalbergioides*, *P. erinaceus*, *P. echinatus*, *P. gilletii*, *P. hockii*, *P. homblei*, *P. indicus*, *P. lucens*, *P. macroca* y *P. marsupium* / (Abouelela, Abdelhami y Orabi, 2019). Taxonómicamente se clasifica de la siguiente forma (tabla 1) (Deepti, Vijender y Mohd, 2016):

**Tabla 1.** Taxonomía del género *Pterocarpus*.

<b>Dominio:</b>	<b>Eucariota</b>
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>Filo:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Orden:</b>	Fabales
<b>Familia:</b>	Fabaceae
<b>Género:</b>	<i>Pterocarpus</i>

Tomado y modificado de Deepti, Vijender y Mohd, 2016.

### **Composición química del género *Pterocarpus***

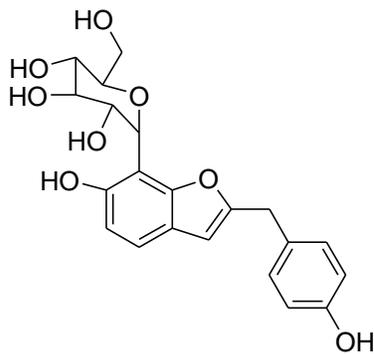
Diversas investigaciones fitoquímicas indican que varias especies poseen metabolitos secundarios como flavonoides, isoflavonoides, pterocarpanos, auronas, lignanos, estilbenos, esteroides, triterpenos y sesquiterpenos (Abouelela y cols., 2019). De igual modo, estudios realizados en extractos de *Pterocarpus indicus* reportan la presencia de alcanos, fenoles, alcoholes, ésteres, carboxilatos, alquenos, ácidos y compuestos aromáticos (Yang, Chen, Bi, Gu, Liu y Peng, 2006). Dado que, este género es una fuente de taninos y flavonoides, se utiliza como astringente influyente, anodina, agente refrescante y regenerador (Mohd y cols., 2018).

En las hojas del género *Pterocarpus*, específicamente en la especie *Pterocarpus soyauxii* (Oha) se han reportado algunos metabolitos como: alcaloides, glucósidos, saponinas y taninos. Estos hallazgos indican que las hojas de *P. soyauxii* son buenas fuentes de micronutrientes beneficiosos, minerales, elementos y metabolitos secundarios que se requieren para un crecimiento saludable (Okerulu, Onyema, Onwukeme y Ezeh, 2017).

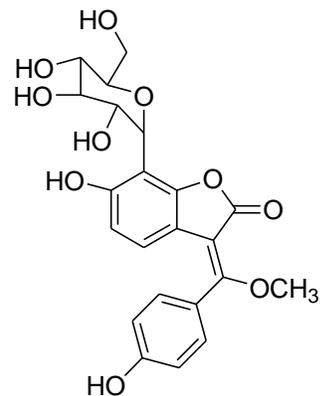
Asimismo, la corteza del tallo de *P. angolensis*, fue estudiada a partir de un extracto crudo, evaluado por su contenido fenólico utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu, determinándose la presencia de flavanonas, anillo dihidroxil fenilo de flavonoides, compuestos fenólicos y esterres (Anokwuru y cols., 2017).

En relación con lo expuesto anteriormente, en la corteza de *Pterocarpus marsupium* se describe en el extracto metanólico la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides, alcaloides, esteroides y glucósidos y en el extracto acuoso carbohidratos, proteínas, esteroides, saponinas, alcaloides y taninos (Londonkar y Hugar, 2017). De igual modo, Mauryaa, Singhb, Deepakb, Handab, Yadava y Mishraadel (2004), reportan el aislamiento y elucidación estructural de compuestos fenólicos como el pterósido (1), pteroisaurósido (2), marsupósido (3), vijayósido (4) y vijayosina (5), adicionalmente, del extracto etanólico de la madera de esta especie se han aislado la liquitergenina (6), pterosupina (7) y pterostilbeno (8) (figura 1) (Singha, Bajpaia, Guptab, Gaikwadb, Mauryac y Kumar, 2019).

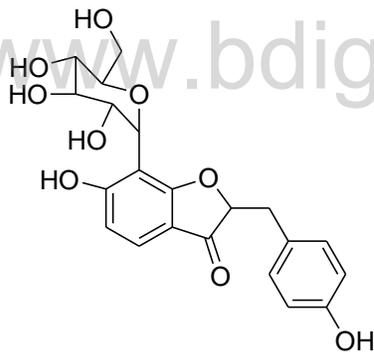
**Figura 1.** Algunos metabolitos secundarios reportados *Pterocarpus marsupium*.



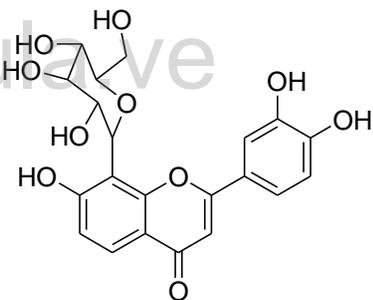
Pterósido (1)



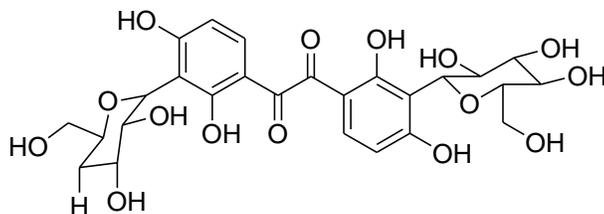
Pteroisaurósido (2)



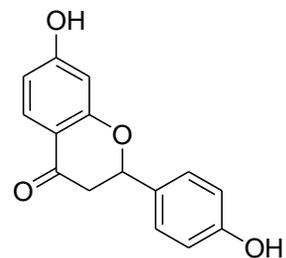
Marsupósido (3)



Vijayósido (4)



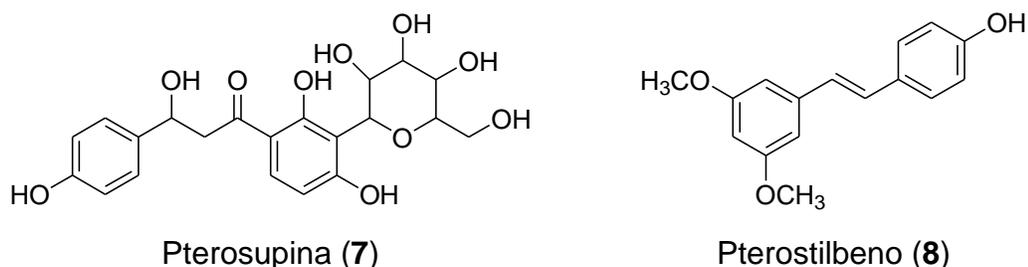
Vijayosina (5)



Liquitergenina (6)

Tomado y modificado de Singha, Bajpaia, Guptab, Gaikwadb, Mauryac y Kumar, 2019.

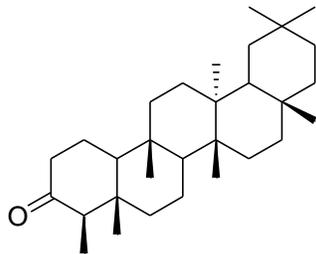
**Figura 1.** Algunos metabolitos secundarios reportados *Pterocarpus marsupium* (continuación).



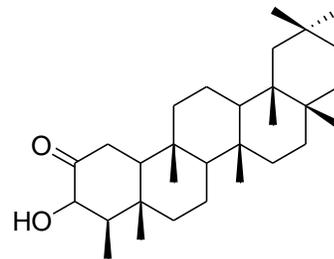
Tomado y modificado de Singha, Bajpaia, Guptab, Gaikwadb, Mauryac y Kumar, 2019.

Por otra parte, el análisis fitoquímico de la corteza de los tallos de *Pterocarpus erinaceus* muestra la presencia de compuestos fenólicos, taninos y flavonoides en el extracto metanólico, así como diversos triterpenos (figura 2) como la friedelina (9), 3 $\alpha$ -hidroxifriedelan-2-ona (10),  $\alpha$ -soforadiol (11), estigmasterol (12) y maltol-6-O-apiofuranosido-glucopiranosido (13) (Ouédraogo y cols., 2017). En este sentido, Tittikpina y cols (2018), también reportan el aislamiento de triterpenos entre los cuales se pueden mencionar la friedelina (9), estigmasterol (12),  $\beta$ -sitosterol (14), campesterol (15) y  $\beta$ -sitosteril- $\beta$ -D-glucopiranosido (16). De igual modo, Toukama y cols (2018), obtuvieron del extracto butanólico una nueva saponina llamada 3-O- $[\beta$ -glucopiranosil-(1 $\rightarrow$ 3)-O- $\beta$ -glucopiranosil]-estigmasterol (17) y del extracto de acetato de etilo un isoflavonoide denominado 3-(7,8-dimetoxi-[b,d]furan-2-il)-5-hidroxi-7-metoxi-6-((1R, 2R)-1,2,3-trihidroxipropil)-4H-cromen-4-ona (18) de la corteza de *P. erinaceus*.

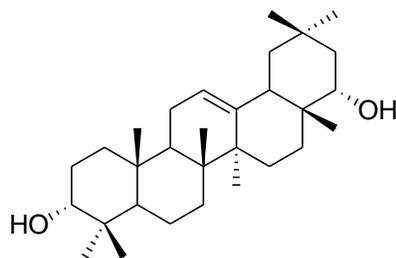
**Figura 2.** Algunos metabolitos secundarios reportados para *Pterocarpus erinaceus*.



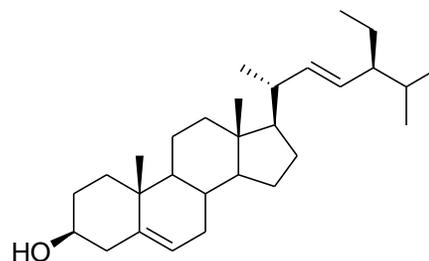
Friedelina (9)



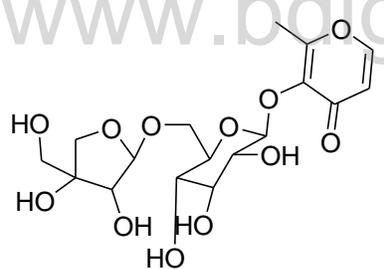
3α-hydroxifriedelan-2-ona (10)



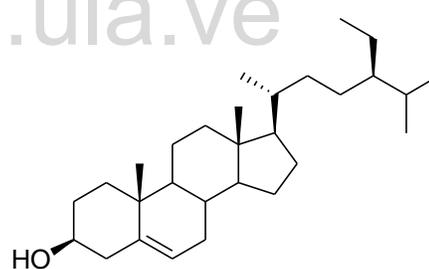
α-soforadiol (11)



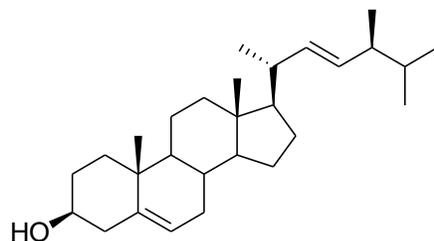
Estigmasterol (12)



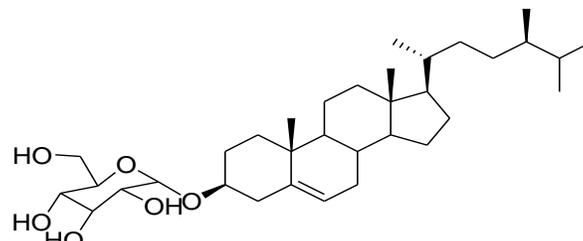
Maltol-6-O-apiofuranosido-glucopiranosido (13)



β-sitosterol (14)



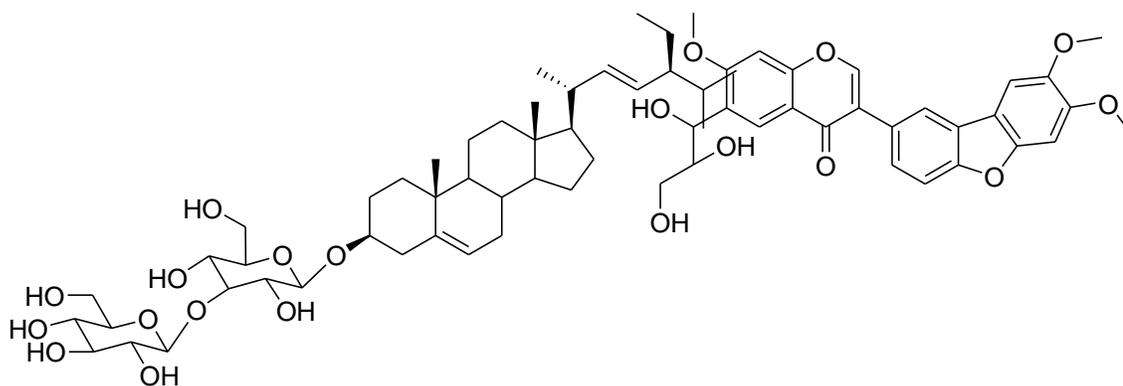
Campesterol (15)



β-sitosteril-β-D-glucopiranosido (16)

Tomado y modificado de: Ouédraogo y cols., 2017.

**Figura 2.** Algunos metabolitos secundarios reportados para *Pterocarpus erinaceus* (continuación).



3-O-[ $\beta$ -glucopiranosil-(1 $\rightarrow$ 3)-O- $\beta$ -glucopiranosil]-estigmasterol (**17**)

3-(7,8-dimetoxi-[b,d]furan-2-yl)-5-hidroxi-7-metoxi-6-((1R, 2R)-1,2,3-trihidroxipropil)-4H-cromen-4-ona (**18**)

Tomado y modificado de Ouédraogo y cols., 2017.

### **Usos etnobotánicos de *Pterocarpus***

Cabe resaltar que, muchas de las especies de *Pterocarpus* son utilizadas en el tratamiento de diversas dolencias como diarrea, fiebre, infecciones de la piel y para controlar el azúcar en la sangre. La corteza se usa para el tratamiento de tumores y tiña del cuero cabelludo, mejora la fuerza del cabello y promueve su crecimiento, de igual modo reduce los niveles de grasa y colesterol (Deepti, Vijender y Mohd, 2016).

Algunos de los ingredientes en el aroma de madera pueden mejorar la función respiratoria, adicionalmente desempeñan un papel en la promoción de la circulación sanguínea humana y en la mejora de la función inmunológica del cuerpo (Chen, Ni, Zhang, Wang, Liu y Peng, 2018). Los

usos tradicionales de este género varían de acuerdo a la parte de la planta utilizada (Mohd y cols., 2018):

- **Hojas:** Se emplean para tratar fracturas, estreñimiento, hemorragias, enfermedades de la piel, depurativas, oftalmología, lepra, rectalgia y leucoderma, artritis reumatoide, enfermedades de la piel, uso externo para llagas, forúnculos, dolor de estómago y trastornos gastrointestinales.
- **Corteza:** Es utilizada como diurético, así como para cólera, disentería, dolor de estómago, enfermedades de la lengua, del tracto urinario, dolor de muelas, como astringente, tratamiento de tumores de la glándula, descargas uretrales, úlceras crónicas y abortivo.
- **Vástago:** Para problemas neurológicos.
- **Duramen:** Usado para controlar el nivel de azúcar en la sangre. Como astringente, acre amargo, anti-inflamatorio, antihelmíntico y anodino.
- **Flor:** Para la fiebre.
- **Goma de mascar:** Útil en casos de diarrea, hemorragias pasivas, leucorrea y disentería.

### ***Actividad biológica del género Pterocarpus***

Investigaciones previas reportan que estas plantas poseen actividad antifúngica, antioxidante, analgésica, antiinflamatoria y cardiotónica (Abouelela y cols., 2019). Se ha constatado la presencia de varios fitoconstituyentes en el género *Pterocarpus* que le proporcionan gran

cantidad de actividades biológicas, entre las que destacan las siguientes (Mohd y cols., 2018):

- **Actividad antiinflamatoria:** El extracto metanólico y acuoso de *Pterocarpus marsupium* ha demostrado actividad antiinflamatoria evaluado a través del método de edema inducido de pata de rata. Los extractos metanólico y acuoso a una dosis de 100 mg/Kg exhibieron actividad antiinflamatoria, se presume que los flavonoides presentes puede ser los responsables de dicha actividad (Ahmad y Rajagopal, 2015).
- **Actividad analgésica:** Se evaluó la actividad analgésica de los extractos de acetato de etilo, éter de petróleo y metanol de las hojas de *P. marsupium* en ratones albinos suizos. El extracto metanólico a la dosis de 120 mg/Kg fue más efectivo que los extractos de acetato de etilo y éter de petróleo. Se evaluaron los efectos analgésicos centrales mediante el método de placa caliente (Sikdar, Biswas, Bhattacharya y Biswas, 2013).
- **Actividad antimicrobiana:** La actividad antibacteriana de los extractos acuosos y metanólicos de la corteza de *P. marsupium* fueron evaluados mediante el método de difusión de disco, las zonas de inhibición variaron entre 11 a 22 mm. El extracto de metanol mostró un efecto significativo al inhibir el crecimiento de *A. niger* en 25 µg/mL y *E. faecalis*, *S. typhi* a 12,5 µg/mL. Adicionalmente, se encontró que *P. marsupium* mostró una acción antimicrobiana significativa contra *Candida albicans*, *Vibrio cholera* y *Bacillus polymyxa*, los resultados revelaron un importante efecto antimicrobiano a diferentes dosis (Londonkar y Hugar, 2017).

- **Actividad antifúngica:** Se realizó un estudio durante 10 días en el que se obtuvieron dos extractos, alcohólico y acuoso, de la madera de *P. marsupium*. El extracto alcohólico se concentró hasta sequedad sobre un baño de agua y el extracto acuoso hasta 25 mL. Posteriormente se prepararon dos ungüentos, uno con cada extracto, para realizar la evaluación clínica. Después de 7 y 10 días de terapia en el extracto alcohólico se obtuvo una respuesta de buena a excelente (78 % y 93 %) en comparación con el 73 % del extracto acuoso. Por lo tanto, muestra que la pomada preparada a partir de extracto alcohólico es más efectiva que la del extracto acuoso. Además de no provocar efectos secundarios después del uso continuo por 10 días (Dhir, Mohan, Verma y Mishra, 1982).
- **Actividad antihelmíntica:** El efecto antihelmíntico de los extractos de acetato de etilo, etanol, *n*-butanol y petróleo *P. marsupium* se analizó utilizando lombrices de tierra indias como gusano de prueba. Diferentes concentraciones fueron evaluadas para determinar la parálisis y el tiempo de muerte del gusano. El albendazol (10 mg/mL) se usó como fármaco estándar. El resultado de este estudio mostró que los extractos de éter de petróleo y el etanol exhibieron actividad antihelmíntica significativa en relación con el fármaco de referencia albendazol (Thalkari y cols., 2019).
- **Actividad antiparasitaria:** El extracto hidroalcohólico de *P. santalinoides* fue evaluado contra *Trypanosoma brucei*, por medio de estudios *in vitro* e *in vivo*. Resultando ser seguro, con baja toxicidad y que puede constituir una alternativa terapéutica para el desarrollo de nuevas drogas con actividad tripanocida. Asimismo, el extracto de diclorometano:metanol 50 % de la corteza de *P. angolensis* exhibe

actividad frente a *Plasmodium falciparum* en estudios realizados *in vitro* (Zininga y cols., 2017).

- **Actividad antioxidante:** La actividad captadora de radicales libres mediante el método de DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo) fue evaluada utilizando los extractos de metanol, acetato de etilo y butanol de las raíces de *P. erinaceus* obteniendo una concentración inhibitoria media (CI<sub>50</sub>) de 0,5 µg/mL en todos los extractos, frente al control Trolox de 0,2 µg/mL, estos resultados sugieren una buena actividad antioxidante (Ouédraogo y cols., 2017).
- **Actividad antidiarreica:** El extracto etanólico de duramen de *Pterocarpus* (250 y 500 mg/Kg), disminuyó significativamente la gravedad y la frecuencia de las deposiciones inducidas por aceite de ricino, confirmando la fuerza del uso tradicional de esta planta como una alternativa terapéutica para la diarrea (Dilpesh, Patel y Soma, 2011).
- **Actividad nootrópica:** El extracto metanólico de *P. marsupium* (25 y 50 mg/Kg) fue administrado en ratones suizos albinos adultos para la prueba de neurotoxicidad para el aprendizaje y memoria. El extracto de *P. marsupium* mejoró la amnesia inducida por escopolamina y redujo la latencia de transferencia, de igual forma optimizó el deterioro de la memoria espacial inducida por escopolamina como indicado por la formación de referencias y memorias de trabajo (Mohd y cols., 2018).
- **Actividad cardiotónica:** El extracto acuoso de duramen de *Pterocarpus marsupium* presentó actividad cardiotónica utilizando el método de perfusión de corazón de rana aislada, a una concentración

de 0,25 mg/mL, produjo un aumento considerable en la fuerza de contracción y reducción frecuencia cardíaca en comparación con la digoxina estándar, a dosis más altas (4 mg/mL) se produjo un paro cardíaco. El resultado mostró que *P. marsupium* aumenta la fuerza de contracción del corazón (Mohire, Salunkhe, Bhise y Yadav, 2007).

### ***Pterocarpus acapulcensis***

*P. acapulcensis* (figura 3), se caracteriza por ser un árbol que crece alrededor de 8-20 metros de altura, su corteza es hendida, desconchada y áspera, que exuda una resina de color rojizo. Asimismo, sus frutos son tipo legumbre, casi circular a orbicular, con ala membranácea de mediano tamaño (Gil, Agostini y Xena 1987).

Esta especie se distribuye en México, Panamá, Colombia y Venezuela. Cabe resaltar que, en Venezuela está reportada para los estados Anzoátegui, Barinas (carretera hacia San Cristóbal), Bolívar (norte de Guayana), Carabobo, Cojedes (El Pao-El Baúl, Hato Parairnos, San Carlos), Guárico (Calabozo-Ortiz), Lara (La Mesa-Santa Inés), Miranda, Portuguesa (río Guanare), Táchira, Trujillo (Agua Viva-La Fría, Agua Santa-El Dividive) y Zulia (Maracaibo-Machiques), el cual, crecer en bosques húmedos, secos, deciduos, semideciduos y de galería, este a su vez, se propaga por semillas (Gil, Agostini y Xena 1987; Hoyos 1987). Taxonómicamente se clasifica de la siguiente manera (tabla 2).

**Tabla 2.** Taxonomía de la especie *Pterocarpus acapulcensis*.

<b>Reino</b>	Plantae
<b>Phylum</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Fabales
<b>Familia</b>	Fabaceae
<b>Género</b>	<i>Pterocarpus</i>
<b>Especie</b>	<i>Acapulcensis</i>
<b>Autor</b>	Rose
<b>Nombre científico</b>	<i>Pterocarpus acapulcensis</i> Rose

Tomado y modificado de Rivera, 2012.

En relación a *P. acapulcensis*, existen pocos reportes sobre la fitoquímica y actividad biológica, sin embargo, Mora y Encinas (2001), realizaron un estudio titulado Evaluación de la durabilidad natural e inducida de *Pterocarpus acapulcensis*, *Tabebuia serratifolia* y *Pinus caribaea* en condiciones de laboratorio, en este análisis se determinó en condiciones de laboratorio la resistencia natural e inducida de tres maderas venezolanas al ataque de dos hongos uno de pudrición blanca y un hongo de pudrición marrón. Se utilizó como método de evaluación de la durabilidad de la madera la pérdida de peso producto del ataque de los hongos en la madera, durante cuatro meses de incubación. Hallando como resultado que la mayor pérdida de peso de la madera de *Pterocarpus acapulcensis* fue causada por el hongo de pudrición blanca *Trametes versicolor* (53,32 %).

Según la revisión bibliográfica realizada con respecto a la composición química y actividad biológica de *Pterocarpus acapulcensis*, no se encontraron estudios previos publicados, de allí la importancia de la presente investigación que constituirá un aporte al conocimiento fitoquímico y biológico de dicha especie.

**Figura 3.** *Pterocarpus acapulcensis*.



Tomado y modificado de Fuentes, 2018.

### **Productos naturales**

Gran diversidad de metabolitos secundarios han sido y son utilizados por el hombre para aplicarlos en la industria farmacéutica, terapéutica de cultivos, perfumística, alimenticia (como suplementos, aditivos o colorantes), y en el curtido de cueros, etc. Éstos son los comúnmente llamados productos naturales vegetales y representan moléculas con variadas estructuras, diferentes propiedades de solubilidad y distintos orígenes biosintéticos (Ringuelet y Viña, 2013).

Todas las células vegetales realizan procesos metabólicos comunes y esenciales para la vida celular y de las plantas en general. Estos procesos constituyen, en su conjunto, a lo que se le denomina metabolismo primario. Por otra parte, se pueden desarrollar rutas que conducen a la formación de compuestos denominados metabolitos secundarios, las cuales comprenden aquellos procesos químicos que son únicos para una planta dada, en su gran mayoría actúan en la planta con una actividad antimicrobiana o con actividad antioxidante (Díaz, Ávila y Oyola, 2002).

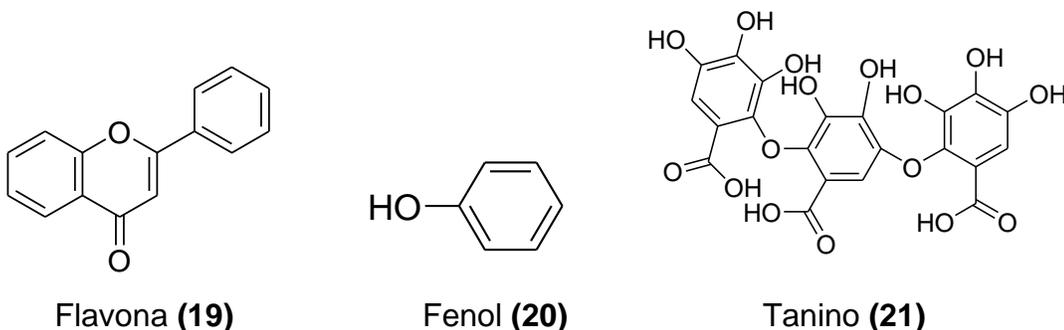
Asimismo, la gran mayoría de metabolitos secundarios desempeñan funciones de protección. Entre las que se pueden encontrar: son protectores contra la radiación ultravioleta, así como también contra posibles daños causados por cambios rápidos de temperatura, daño oxidativo, y contra el ataque de microorganismos (Almaraz, Ávila, Delgado, Naranjo y Herrera, 2006). A continuación, se presentan algunos metabolitos secundarios presentes en la naturaleza (figura 4):

- **Flavonoides:** Las flavonas **(19)** son pigmentos naturales presentes en los vegetales. Tienen la capacidad de proteger al organismo del daño producido por agentes oxidantes. Como los rayos ultravioletas, la contaminación ambiental, sustancias químicas presentes en los alimentos, entre otras (Martínez, González y Culebras, 2002).
- **Polifenoles:** Los fenoles **(20)** son moléculas naturales del metabolismo secundario de las plantas. Derivan de las vías de shiquimato y de los fenilpropanoides. En el reino vegetal se encuentran ampliamente distribuidos, de hecho, las plantas sintetizan miles de compuestos fenólicos diferentes (Valencia, Figueroa, Sosa, Bartolomé, Martínez y García, 2017).
- **Taninos condensados:** Son compuestos fenólicos poliméricos que se unen a proteínas desnaturalizándolas. Los taninos condensados **(21)** son polímeros de unidades de flavonoides unidas por enlaces C-C. Los cuales no pueden ser hidrolizados pero sí oxidados por un ácido fuerte para rendir antocianidinas (Ávalos y Pérez, 2009).
- **Alcaloides:** Los alcaloides **(22)** son una gran familia de más de 15.000 metabolitos secundarios. Estos tienen en común tres características: son solubles en agua, contienen al menos un átomo

de nitrógeno en la molécula, y exhiben actividad biológica (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).

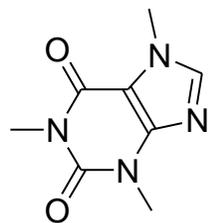
- **Esteroles:** Son alcoholes sólidos con 20 a 27 átomos de carbono, en cuya cadena lateral pueden insertarse radicales metilo o radicales etilo. Los esteroides (**23**) están caracterizados por la presencia de una función alcohólica en la posición 3. Tienen una cadena carbonada alifática insaturada y ramificada. Los esteroides vegetales están presentes de forma natural en pequeñas cantidades en muchas frutas como verduras, semillas, cereales, legumbres, aceites vegetales y otras fuentes similares. La importancia de los esteroides en fitoterapia radica en el potencial en disminuir el colesterol ya que reducen la absorción intestinal del colesterol (Albornoz, 1980).

**Figura 4.** Algunos metabolitos secundarios de origen vegetal.

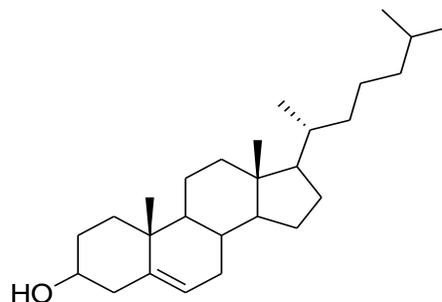


Tomado y modificado de Díaz, Ávila y Oyola, 2002.

**Figura 4.** Algunos metabolitos secundarios de origen vegetal (continuación).



Alcaloide (**22**)



Esterol (**23**)

Tomado y modificado de Díaz, Ávila y Oyola, 2002.

### Extractos vegetales

Los extractos son preparaciones de consistencia líquida (extractos fluidos y tinturas), semisólida (extractos blandos o densos) o sólida (extractos secos), obtenidos a partir de vegetales o tejidos animales en estado generalmente secos (Viveros, 1923). Según Gil (2000), los métodos extractivos de plantas más empleados son:

- **Extracción mecánica:** Permite obtener los principios activos disueltos en los fluidos propios de la planta, consiste en ejercer presión sobre la droga y así se obtiene un jugo.
- **Destilación:** Permite separar los componentes volátiles de una planta medicinal de aquellos activos que son menos volátiles.
- **Extracción con disolventes:** Consiste en poner en contacto la parte de la planta que contiene el principio activo, que es la droga medicinal con un disolvente que es capaz de solubilizar los principios activos.

Cabe resaltar que, para analizar las propiedades medicinales de una droga vegetal, en muchos casos se emplean métodos de extracción complejos, que permitan obtener procedimientos reproducibles, con cuantificación de principios activos en lo posible. Dentro de estos métodos extractivos se encuentran: maceración, lixiviación, soxhlet y por vapor de agua, tal como señalan Rivas, Oranday y Verde (2016). Estos mismos autores describen cada uno de los métodos de la siguiente manera:

- **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 continua, a temperatura ambiente.
- **Lixiviación:** En este método de extracción se produce el desplazamiento de sustancias solubles por medio de un disolvente líquido, este proceso se utiliza industrialmente para preparar elixires; el material vegetal fresco se coloca en un recipiente a temperatura ambiente, con acetona o algún otro solvente o mezcla de solventes, sin ser necesario cortar en trozos dicho material. Después de este tiempo se decanta y se evapora la acetona en un rotavapor.
- **Soxhlet:** Este es un proceso de extracción continua de un material sólido que contiene algunos de los compuestos deseados, se coloca dentro de un dedal de papel filtro grueso, que se carga en la cámara principal del extractor Soxhlet, donde se hace pasar el solvente, este ciclo puede repetirse muchas veces, durante horas o días.

- **Arrastre por vapor:** Se utiliza principalmente para aceites esenciales. Los aceites esenciales (AE) contienen compuestos orgánicos volátiles o aromáticas, que pueden ser alcoholes, cetonas, éteres, aldehídos, y que se produce mediante el uso de vapor saturado a presión atmosférica.

### **Tamizaje fitoquímico**

El tamizaje fitoquímico es una herramienta importante para la identificación cualitativa de los metabolitos secundarios presentes en los extractos de plantas. Entre los solventes empleados para obtener los extractos están el hexano y el etanol, por medio de los cuales se logra la extracción de acuerdo a la polaridad de los metabolitos (Castillo, Zavala y Carrillo, 2017). Posterior a la extracción se llevan a cabo reacciones de coloración y/o precipitación para la identificación de los distintos metabolitos. Según Marcano y Hasegawa (2002) algunas de ellas son:

**Reacciones de precipitación:** Con los reactivos de Dragendorff, Mayer y Wagner para la identificación de alcaloides y con gelatina para indicar la presencia de taninos.

Estas reacciones se basan 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 yoduro de bismuto (Dragendorff). La mayoría de los alcaloides reaccionan dando un precipitado blanco o amarillo claro, amorfo o cristalino. El reactivo Mayer se basa en la acidez de los alcaloides en su forma de sales debido a que en medios básicos el reactivo Mayer no

precipita. Por otra parte, todos los taninos dan un precipitado blanco con solución de gelatina (Coy, Parra y Cuca, 2014).

**Reacciones de coloración:** Algunas reacciones se fundamentan en los cambios de coloración entre las cuales destacan la de Lieberman-Buchard, para el reconocimiento de esteroides y/o triterpenos, de cloruro férrico al 1 % para la identificación de compuestos fenólicos y derivados del catecol, de Shinoda para identificar la presencia de flavonoides, de ácido sulfúrico para la identificación de quinonas e hidróxido de amonio para evidenciar la presencia de antraquinonas, estas reacciones se fundamentan en los siguientes procesos:

- **Prueba de Lieberman-Buchard:** Se basa en la reacción coloreada que dan aquellas sustancias que tienen como núcleo el ciclopentanoperhidrofenantreno. La coloración se torna verde en caso de esteroides o rosa en caso de triterpenos tras la presencia de anhídrido acético y ácido sulfúrico concentrado con temperatura (Coy, Parra y Cuca, 2014).
- **Prueba de cloruro férrico al 1 %:** 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).
- **Reacción de Shinoda:** Las coloraciones observadas en esta reacción se deben a los flavonoides con el núcleo benzopirona (flavonas, flavonoles, flavanonas, etc.) que producen coloraciones rojizas cuando

a sus disoluciones acuosas o alcohólicas se les adiciona magnesio seguido de HCl concentrado (Rengifo, 2013).

- **Prueba 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. La presencia de naftaquinonas y antraquinonas se puede identificar con la reacción de Bornträger, en la cual se obtienen dos fases: si la fase del benceno se decolora y la alcalina se pone roja, hay quinonas (Rivas, Oranday y Verde, 2016).

**Prueba de altura y estabilidad de espuma:** Se utiliza para la identificación de saponinas. Esta prueba se basa en la capacidad de las saponinas de producir una espuma persistente al entrar en contacto con el agua luego de agitarse, si ésta permanece por 1h, la prueba se considera positiva (Rivas, Oranday y Verde, 2016).

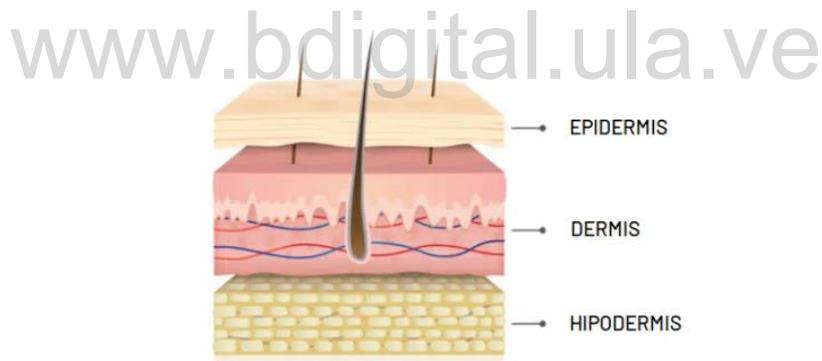
**Prueba de Fluorescencia:** Se utiliza para identificación de cumarinas. Consiste en exponer el papel a la luz UV (365 nm), si hay cumarinas volátiles se observa fluorescencia amarilla-verdosa (Ibarra, Gutiérrez y Robles, 2018).

**Cuantificación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu:** Este método se basa en el uso del reactivo de Folin-Ciocalteu, una solución acuosa de color amarillo que contiene fosfotungstato-molibdato capaces de capturar uno o dos electrones en reacciones redox y formar especies de color azul, con un máximo de absorción a 760 nm de longitud de onda. En el caso particular de los compuestos fenólicos, el medio se ajusta con bicarbonato de sodio, para que los fenolatos formados reduzcan el reactivo de Folin Ciocalteu (Espinosa, Garzon y Medina, 2016).

## La piel

Es la cubierta externa de los animales vertebrados y el órgano más grande del cuerpo humano, la cual sirve como protección contra el calor, la luz, las lesiones y las infecciones. La piel anatómicamente está formada por la epidermis (capa externa y delgada), la dermis (capa intermedia) y la capa de grasa subcutánea (capa más profunda o hipodermis) (figura 5). A su vez, existen cuatro tipos básicos de piel sana: normal, seca, grasa y mixta. Estos se determinan genéticamente, no obstante, pueden variar considerablemente según los diversos factores internos y externos a los que es sometida (Baumann, Amini y Weiss, 2005).

**Figura 5.** Capas de la piel.



Tomado y modificado de Baumann, Amini y Weiss, 2005.

Entre los factores externos que pueden influir sobre la piel se encuentra la radiación solar, cuyos efectos oscilan desde un leve bronceado hasta la producción de cáncer causado por una exposición prolongada a la misma. De acuerdo a la capacidad de la piel para asimilar la radiación solar se numeran en distintos fototipos. Se definen principalmente dos fototipos de piel: piel clara, con alta susceptibilidad a quemadura solar y escasa o

ninguna capacidad de broncearse. Y piel oscura, que no suele quemarse y siempre se broncea (Gray, Abreu, Bonito, Díaz y Martínez, 2014).

Así, los distintos tipos de piel permiten la clasificación o distinción de diferentes fototipos cutáneos. Estos fototipos indican el límite de la tolerancia cutánea a la radiación ultravioleta en función de las características propias de cada tipo de piel (González, 2003). De acuerdo al autor anterior se pueden distinguir los siguientes fototipos de piel:

- **Fototipo I:** Corresponde a una piel muy clara que no se broncea nunca y se quema con mucha facilidad (basta 10 minutos de sol). Corresponde a una persona pelirroja con piel lechosa, ojos claros y pecas. Este tipo de piel precisará utilizar un factor de protección extremo (FP de 60).
- **Fototipo II:** Se trata de una piel blanca con ojos azules o pardos y color de pelo rubio o castaño. También es una piel clara que se quema con facilidad (tras 15-20 minutos de sol) pero, en este caso, se broncea ligeramente. El factor de protección adecuado para este tipo de piel está por encima de 30.
- **Fototipo III:** Es una piel clara de ojos y cabellos castaños que casi nunca se queman o presentan quemaduras moderadas al principio de la exposición solar y se broncean con facilidad gradualmente. Necesita una protección moderada superior a 15.
- **Fototipo IV:** Se trata de una piel mediterránea, ojos y pelo castaños u oscuros. Se quema ocasionalmente y presenta una fácil e intensa pigmentación. Precisa de una protección entre 6 y 8 (aunque no se quema, es conveniente esa protección para evitar el fotoenvejecimiento).

- **Fototipo V:** Se caracteriza por una piel morena con ojos y cabello oscuros. Se queman raramente (el eritema pasa casi inadvertido) y el bronceado es muy intenso, rápido y persistente. Precisa de una protección mínima (entre 2 y 6).
- **Fototipo VI:** Es una piel de raza negra con ojos y cabello oscuro. Se trata de una piel que no se quema nunca y que ni tan siquiera se oscurece con el sol. Nunca presenta eritema y requieren una protección mínima o no precisan protección.

### **Radiación solar**

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. Estas radiaciones se distinguen por sus diferentes longitudes de onda en radiación ultravioleta (UV), luz visible y radiación infrarroja. La radiación UV a su vez se subdivide en tres segmentos UVA, UVB y UVC (Villegas, Castillo, Sabatés, Curbelo y Ramos, 2005).

Los rayos UVC son absorbidos por la capa de ozono antes de llegar a la tierra. La radiación UVA constituye el 95 % de la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre, son capaces de atravesar la capa externa de la piel (la epidermis) generando radicales libres que provocan la mayor parte de alteraciones celulares. Mientras que la radiación UVB representa el 4-5 % del total de la UVR, es más energética que la UVA. Por tanto tiene más poder de penetración en la piel y puede alterar el ADN celular, que causan principalmente carcinoma basocelular. Se le atribuyen efectos de inmunosupresión frente a la exposición prolongada a la radiación UV (Velasco, Sarruf y Salgado, 2008).

Los rayos ultravioletas estimulan a los melanocitos para que produzcan melanosomas de forma más rápida, favorecen el engrosamiento e inducen el bronceado de la piel; estos dos factores son los responsables de la defensa parcial contra la radiación posterior. La melanina es una sustancia que evita en gran medida la aparición de quemaduras solares, pero no impide los daños que, a mediano y largo plazo, ejercen los rayos del sol sobre la piel (Mora, Olivares, González y Castro, 2010).

Por lo tanto, una exposición incontrolada, bajo la radiación solar sin protección y por largo tiempo, puede ocasionar graves consecuencias para la salud. La radiación UVA, pese a no producir quemaduras solares, a largo plazo es responsable del envejecimiento cutáneo prematuro de la piel. El envejecimiento precoz se caracteriza por una elasticidad cutánea en las zonas de la cara, cuello, escote y aquellas que han sido objeto de una mayor exposición solar durante la vida. Estas zonas presentan una piel engrosada, con gran sequedad cutánea y profundas arrugas (González, 2003).

Asimismo, la radiación UVB, aparte de ser la responsable del eritema solar (o quemaduras solares) disminuye la capacidad de defensa del sistema inmunitario. Tanto en la zona afectada directamente por la radiación solar como en general todo el organismo. También produce una alteración de la función de las células presentadoras de antígenos. Un incremento en la formación de los mediadores inmunorreguladores (citocinas). Cambios en la recirculación de los linfocitos y una activación de los linfocitos T supresores específicos de antígenos (González, 2003).

## **Protector solar**

Hace referencia a cualquier preparado (como crema, aceite, gel o aerosol) de aplicación sobre la piel humana con la finalidad principal de proteger contra la radiación UV absorbiéndola, dispersándola o reflejándola. Inicialmente, el protector solar se usó para contrarrestar los efectos agudos de la radiación ultravioleta. Actualmente, se busca disminuir los efectos crónicos, para prevenir la aparición de carcinomas de piel y disminuir la formación de dímeros de pirimiditas, y además, proteger de la inmunosupresión cutánea desencadenada por la depleción de células de Langerhans (Montero, 1996).

De acuerdo a lo señalado por Beltrán (2015) las características que se consideran más deseables en un protector solar son:

- Que sea eficaz, ofreciendo una amplia protección UVA/UVB y protección frente a rayos infrarrojos. Con un coeficiente de absorción activo que prevenga el daño por el sol, debe tener un FPS igual o superior a 30.
- Anti-radicales libres, para prevenir el fotoenvejecimiento y los daños sobre el ADN.
- Que sea seguro, y no produzca irritaciones, ni alergias. Debe ser no tóxico, no comedogénico, termoestable y con un pH adecuado.
- Que no contamine el medio ambiente (bajo o nulo contenido en siliconas).
- Que sea resistente al agua. Se consideran productos resistentes al agua cuando permiten con una aplicación tomar dos baños de 20 minutos, manteniendo al menos el 70 % del FPS y productos

impermeables al agua si resisten cuatro baños de 20 minutos (Sánchez, Lanchipa, Pancorbo, Regis y Sánchez, 2002).

- Que sea fotoestable (que su eficacia no se vea disminuida con la luz). Esta constituye un problema potencial en todos los filtros químicos. Los filtros físicos en contraste con los químicos son altamente fotoestables (Sánchez, Lanchipa, Pancorbo, Regis y Sánchez, 2002).
- Que sea fácil de extender y con buenas características cosméticas. Productos con FPS alto requieren una formulación que permita una película uniforme y gruesa, con interacción mínima entre sus componentes. La duración y la resistencia al agua dependen del vehículo. Con mayor frecuencia se utilizan las lociones y cremas, en ocasiones geles, barras y aerosoles (Sánchez, Lanchipa, Pancorbo, Regis y Sánchez, 2002).
- Que sea versátil. Debe ser cosméticamente aceptable, que no manche y pueda formularse en diferentes tipos de excipientes.

Por otra parte, no existe una única clasificación que contemple los diferentes aspectos de las sustancias fotoprotectoras. Tal como lo refieren Sánchez, Lanchipa, Pancorbo, Regis y Sánchez (2002) estos se pueden clasificar:

- **De acuerdo su espectro UV de protección:**
  - **Reducido:** Que protege contra los rayos UVB o UVA.
  - **Amplio:** Que protege contra ambos a la vez (UVB y UVA).
- **De acuerdo a su mecanismo de acción:**

- **Protectores químicos:** Son compuestos aromáticos conjugados con un grupo carbonilo. Absorben los rayos UV de alta energía (Longitud de onda corta) con excitación a un estado de energía superior. Al retornar al estado basal, la energía liberada es de menor magnitud (Longitud de onda más larga) e inocua.
- **Pantallas o protectores físicos:** Son sustancias minerales en forma de suspensión con elevado poder protector. Actúan mediante reflexión, dispersión y absorción, bloqueando la acción deletérea de las radiaciones (RUV).
- **De acuerdo a su utilización:**
  - **Primarios:** Uso en la playa.
  - **Secundarios:** Uso en cosméticos y a diario.
- **De acuerdo a su acción fundamental:**
  - **Bronceadores:** Se produce pigmentación con un mínimo de quemadura. Filtran las UVB que tienen acción eritematogénica y permiten el paso de las UVA que tienen acción bronceadora.
  - **Pantallas:** Bloquean completamente las RUV sin producir bronceado ni eritema.
- **De acuerdo a sus texturas y formatos (Ramírez, 2019):**
  - **Crema:** Su textura es la adecuada para pieles secas, ya que tiene una composición más enriquecida.

- **Emulsión:** Tiene una textura más ligera y menos untuosa. Se ajusta muy bien a las necesidades de las pieles mixtas y grasas.
- **Gel:** Es muy ligero y aporta una sensación de frescor muy agradable. Además, se extiende muy bien. Se absorbe rápidamente y no aporta grasa a la piel. Son adecuadas para pieles mixtas, grasas o con tendencia a acné.
- **Aceite:** Este formato es muy adecuado para el uso corporal, no para la cara. Deja un sutil brillo satinado sobre la piel, embelleciéndola y protegiéndola.
- **Leche protectora:** Este tipo de protector también tiene una textura suave, aunque su uso solo se recomienda a nivel corporal.
- **Protector solar spray y bruma protectora:** Se aplican con dispositivos especiales que dispersan el contenido de forma muy ligera, a modo de bruma. Por su rapidez en la aplicación, es el tipo de protector solar más aconsejable para utilizarlo con niños.
- **De acuerdo al nivel de fotoprotección (Batlle, 2005. Tabla 3):**
  - **Protección ultra (FPS 50+):** Es el adecuado para niños a partir de seis meses y personas muy blancas.
  - **Protección alta (FPS 50):** Este es el factor que se debe utilizar para la piel muy blanca y delicada. Que tienen tendencia a ponerse rojos y con poca capacidad de bronceado.

- **Protección media (FPS 20-30):** Para piel ligeramente morena. Una protección media podría ser suficiente.
- **Protección baja (FPS 15):** Piel morena o muy bronceada. Se pueden utilizar protectores solares con un SPF inferior.

**Tabla 3.** Clasificación según el nivel de fotoprotección de acuerdo con el estándar de la Agrupación Europea de Fabricantes de Productos de Cosmética y Perfumería (COLIPA).

<b>Categoría</b>	<b>FPS</b>
Protección baja	2,4,6
Protección media	8,10,12
Protección alta	15,20,25
Protección muy alta	30,40,50
Protección ultra	Superior a 50

El valor numérico que se indica en el envase de un fotoprotector solar se refiere al efecto protector frente a la radiación UVB.

Tomado y modificado de: Batlle, 2005.

Para poder efectuar la elección más adecuada de un protector solar se debe determinar la tipología cutánea. La especial sensibilidad que presenta la piel frente a la radiación y el tiempo que puede exponerse sin riesgo a quemaduras. Otro factor importante es la edad, las pieles maduras, especialmente a partir de los 50 años de edad, son muy sensibles a las radiaciones solares por lo que necesitan un factor de protección elevado, generalmente por encima de 30. Además, en este tipo de piel, debe prestarse una atención especial a la hidratación por presentar un menor

grado de hidratación, menor elasticidad y disminuida capacidad de regeneración. Alrededor de la boca y los ojos, son zonas especialmente sensibles y con mayor tendencia a la producción de arrugas (González, 2003).

### ***Filtros solares***

Por otra parte, los filtros solares son sustancias que, en función de su naturaleza y de su mecanismo de acción, son capaces de absorber las radiaciones solares o de reflejarlas. Los filtros solares, para que sean efectivos, deben ser capaces de proteger la piel de las radiaciones UVB, UVA e incluso de la radiación infrarroja. En función de su naturaleza, los filtros solares pueden clasificarse de la siguiente manera (González, 2003; Castañedo, Torres, Araujo, Castañedo y Moncada, 2008):

- **Físicos:** Reflejan toda la radiación solar, impidiendo que esta penetre en la piel y produzca quemaduras. Es decir, son pigmentos minerales que reflejan y difunden las radiaciones ultravioletas (UVA y UVB), pero también las infrarrojas y visibles. Además, al ser opacos a la luz producen un efecto pantalla. Por tanto, son sustancias que proporcionan una amplia protección y reducen el riesgo de sensibilización y contacto que aparecen en algunos de los filtros químicos. Asimismo, son moléculas fotoestables y presentan una gran resistencia al agua. Entre los filtros solares de naturaleza física destacan el dióxido de titanio, óxido de cinc y mica (González, 2003).
- **Químicos:** Absorben la radiación solar y la transforman en otro tipo de energía no nociva a la piel, poseen una estructura química compleja. Habitualmente, presentan grupos bencénicos que les permiten actuar

como cromóforos, es decir, moléculas capaces de absorber la energía de fotones de una longitud de onda determinada y que cambian de estructura química a consecuencia de la captura de estos fotones UV. Su capacidad protectora está condicionada por el espectro de absorción del filtro (González, 2003).

- **Biológicos:** Son agentes antioxidantes que frenan o reparan los procesos oxidativos producidos por la radiación UVA y actúan junto a los dos anteriores. Estos incluyen principios activos cuyo mecanismo se basa en una actividad antioxidante, secuestradora de electrones o radicales libres, e incluso reparadora de los daños producidos por el sol. Asimismo, tiene una función coadyudante de la actividad fotoprotectora de los otros filtros. En este grupo se encuentran básicamente las vitaminas A, B5, C, E y sus derivados, aguacate, germen de trigo y extractos de caléndula, aloe y cáscara sagrada (Batlle, 2005).

### **Actividad fotoprotectora**

La fotoprotección hace referencia a la prevención del daño que ocurre en la piel como resultado de su 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 de fotoprotección. Diversas revisiones se centran en la fotoprotección de la radiación UVB y analizan posibles candidatos a base de plantas con propiedades fotoprotectoras que pueden servir como una barrera fuerte en los cosmecéuticos para proteger la piel contra los dañinos rayos UVB (González y Bravo, 2017).

### **Factor de protección solar**

El Factor de Protección Solar (FPS) es el índice que mide la capacidad protectora de un filtro solar frente a los efectos nocivos de la radiación sobre la piel. Este índice se obtiene basándose en el cociente entre dosis eritemógena en una piel protegida por un fotoprotector y en la dosis eritemógena en una piel no protegida. Es decir, indica el múltiplo de tiempo que se puede exponer una piel al sol sin experimentar eritema, en relación al que se podría experimentar sin filtro solar (Castañedo y cols., 2008).

El FPS permite conocer el tiempo que se puede permanecer expuesto al sol sin riesgo (López, 2012). Por ejemplo, con un FPS 8 se puede estar expuesto al sol 8 veces más que sin ningún tipo de protección contra los rayos UVB. Su medición se puede realizar por: medición de la protección UVB *in vivo* y medición de la protección UVB *in vitro* (Castañedo y cols., 2008).

- **Medición del FPS por el método *in vivo*:** El factor de protección frente a los rayos UVB de un fotoprotector se determina desde 1997 de acuerdo con el estándar de la Agrupación Europea de Fabricantes de Productos de Cosmética y Perfumería (COLIPA). Por ello es conocido como método COLIPA (Batlle, 2005). Esto permite una clasificación según el nivel de foto protección que se presenta en la tabla 3.

La determinación del FPS *in vivo* es de gran importancia debido a posibles errores atribuibles a una interacción de los excipientes de la formulación y los filtros, reacciones del filtro con el envase y liberación del filtro solar. Esta se calcula mediante la relación:  $FPS = DEM \text{ piel protegida} / DEM \text{ piel no protegida}$ , donde DEM representa la determinación de la dosis eritematosa mínima, para su determinación

se selecciona una zona de la piel a ser irradiada aplicando la radiación en diferentes dosis, dependiendo del fototipo del voluntario (Costa, Villegas, Donoso y Correa, 2007).

- **Medición del FPS por el método *in vitro*:** La prueba *in vitro* no puede considerarse una alternativa al método *in vivo*, pero puede ser útil como cribado para la selección entre los productos (Lionetti, Rigano, Cartigliani, y Bonfigli, 2014). Los métodos *in vitro* son en general de dos tipos; Métodos que implican la medición de la absorción o la transmisión de radiación UV a través de películas de productos de filtro solar en placas de cuarzo o biomembranas y métodos en los que las características de absorción de los agentes de filtro solar se determinan en base al análisis espectrofotométrico de soluciones diluidas. Dentro de los principales métodos *in vitro* se encuentran:

- **Método de Mansur:** Consiste en un método espectrofotométrico en el cual la formulación se diluye en etanol hasta una concentración de 0,2 mg/mL, condición establecida por el autor para establecer una correlación con el método *in vivo*. A través de la fórmula matemática desarrollada según el método, se relacionan los valores de absorbancia obtenidos de las muestras con el FPS de la formulación. Mansur desarrolló la siguiente ecuación matemática (figura 6) (Mansur, Breder, Mansur y Azulay, 1986):

**Figura 6.** Ecuación matemática de Mansur.

$$\text{FPS} = \text{FC} \times \{ \text{EE}(\lambda) \times \text{I}(\lambda) \times \text{Abs}(\lambda) \}$$

Dónde: **FPS**: Factor de Protección Solar; **FC**: 10 (factor de corrección); **EE (λ)**: Efecto eritemogénico de la radiación de longitud de onda; **Abs (λ)**: Absorbancia de la solución en la longitud de onda.

Tomado y modificado de Dutra, Oliveira, Kedor-Hackmann y Santoro, 2004.

La relación entre el efecto eritemogénico y la intensidad de la radiación de cada longitud de onda es una constante (tabla 4). Este método evalúa el FPS en el rango de 290 a 320 nm (rango UVB), mas no en el rango UVA ni UVC (Dutra, Oliveira, Kedor-Hackmann y Santoro, 2004).

**Tabla 4.** Relación entre efecto eritemogénico (EE) versus intensidad de radiación (I) conforme la longitud de onda (λ).

λ (nm)	EE X I	λ (nm)	EE X I
290	0,0150	310	0,1864
295	0,0817	315	0,0839
300	0,2874	320	0,0180
305	0,3278		

Tomado y modificado de Dutra, Oliveira, Kedor-Hackmann y Santoro, 2004.

- **Método de longitud de onda crítica:** También conocido como IPD o factor PPD “índice de oscurecimiento pigmentario persistente”. Indica el nivel de protección del protector solar frente a los rayos UVA a diferencia del factor de protección solar que indica la protección frente

a los rayos UVB. Para su determinación se divide el índice FPS entre el índice PPD, si la relación es menor de 3 el protector está equilibrado ( $FPS/PPD < 3$ ). Así pues, para un FPS 30, el PPD nunca podrá ser menor de 10 de tal forma que el protector solar brinde protección por igual de los rayos UVA y UVB (González, 2013).

El índice PPD o porcentaje estimado de insatisfechos establece una previsión cuantitativa del número de personas insatisfechas con el ambiente térmico. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula (figura 7):

**Figura 7.** Fórmula del índice PPD o porcentaje estimado de insatisfechos.

$$PPD = 100 - 95 \times e^{-(0,03353 \times PMV4 + 0,2179 \times PMV2)}$$

Donde: PMV es un índice de valor medio de la sensación térmica de un grupo.

Tomado y modificado de González, 2013.

Para su cálculo pueden emplearse las tablas que acompañan al método o hacer uso de un programa de cálculo cuyo código fuente esta descrito en la propia norma (González, 2013).

Cabe destacar que, la longitud de onda crítica  $\lambda_c$ , no es una magnitud absoluta, sino una relacionada con el FPS del protector solar. Porque ambas magnitudes se obtienen de la misma curva de extinción, leída por el equipo entre 290 y 400 nm (De Los Santos, 2009). La longitud de onda crítica ( $\lambda_c$ ), se refiere al 90 % del área bajo la curva de extinción para la zona espectral UVB-UVA (290-400 nm) alcanzada para una muestra dada. La eficacia de este índice se evalúa de acuerdo con las recomendaciones de Diffey (1994) y siguiendo un sistema de clasificación por estrellas (tabla 5).

**Tabla 5.** Clasificación por estrellas de la longitud de onda crítica.

Estrellas	Valor $\lambda_c$
<b>Cero</b> estrellas	$\lambda_c$ menor a 325 nm
<b>Una</b> estrella	$\lambda_c$ entre 325 – 334 nm
<b>Dos</b> estrellas	$\lambda_c$ entre 335 – 349 nm
<b>Tres</b> estrellas	$\lambda_c$ entre 350 – 369 nm
<b>Cuatro</b> estrellas	$\lambda_c$ mayor o igual a 370 nm

Tomado y modificado de Diffey, 1994.

El parámetro mínimo aceptado es aquel que alcanza los 370 nm de longitud. Este valor se obtiene mediante la siguiente fórmula (figura 8) (Castañedo, Torres, Valdés y Ehnis, 2013):

www.bdigital.ula.ve

**Figura 8.** Fórmula de la longitud de onda crítica.

$$\int_{290}^{C\lambda} A(\lambda) d\lambda = 0.9 \int_{290}^{400} A(\lambda) d\lambda$$

Donde  $C\lambda$  la longitud de onda crítica

$A$  es la absorción y  $\lambda$  la longitud de onda.

Para cada espectro de absorción, las integrales ( $\int$ ), que representan la curva de absorbancia, área bajo la curva, se estima por integración trapezoidal.

Tomado y modificado de Castañedo, Torres, Valdés y Ehnis, 2013.

- **Método de Vogelmann:** En este método se determina el FPS *in vitro*, las lecturas se realizan tomando en cuenta el espectro de absorción UVB y la longitud de onda crítica (308 nm)

establecida en el Método Internacional para la determinación del FPS (figura 9) (Vogelman, Nieves, Brind, Nash y Orentreich, 1985):

**Figura 9.** Fórmula de Vogelmann para la determinación del FPS.

$$FPS \text{ in vitro} = \frac{FPS \text{ patrón} \times \sum A \text{ muestra (260 - 360 nm)}}{A \text{ patrón (260 - 360 nm)}}$$

Dónde: **FPS patrón** = Protector solar con FPS conocido;  $\sum A$  muestra = Sumatoria de picos de absorbancia en el rango 260–360 nm.; **A patrón** = Absorbancia del protector solar con FPS conocido.

Tomado y modificado de Vogelmann, Nieves, Brind, Nash y Orentreich, 1985.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## Definición operacional de términos

**Fitoquímicos:** Son componentes químicos biológicamente activos de las plantas. Tales sustancias actúan como sistemas de defensa naturales para las plantas, protegiéndolas de infecciones y de invasiones microbianas y confiriéndoles color, aroma y sabor (Bruneton, 2001).

**Coadyuvantes:** Con sustancias (farmacológicas o no) utilizadas para ayudar en el tratamiento de una enfermedad y que se proporciona junto con un medicamento principal. Puede, entre otras cosas, aumentar la potencia del medicamento principal o disminuir los efectos indeseables de los mismos o también aliviando síntomas asociados a la propia enfermedad (Ibáñez, Morales, Calleja, Moreno y Gálvez, 2020).

**Antioxidantes:** Son compuestos químicos que las células utilizan para neutralizar a los radicales libres. Los antioxidantes son sintetizados por el organismo o aportados por la dieta, los más importantes en los alimentos cabe destacar la vitamina C, los carotenoides, la vitamina E y los flavonoides (Vallejo, Rojas y Torres, 2017).

**Radicales libres:** Son todas aquellas especies químicas, cargadas o no, que en su estructura atómica presentan un electrón desapareado o impar en el orbital externo, dándole una configuración espacial que genera gran inestabilidad (Venereo, 2002).

**Tintura:** Preparación líquida, obtenida a temperatura ambiente dejando reposar durante unos días plantas en polvo o extractos secos o drogas de origen animal en un solvente hidroalcohólico o vino, que posteriormente se filtra (Bagué y Segundo, 2017).

**Melaninas:** Son biopolímeros de estructura química compleja y son el principal pigmento responsable del color normal de piel y cabello. La melanina es una sustancia que evita la aparición de quemaduras solares, dado que las radiaciones absorbidas se enfrentan a una fotoprotección natural cutánea que ocurre en el estrato córneo - cutáneo proporcionada por la melanina epidérmica (Mora, Olivares, González y Castro, 2010).

**Carcinoma basocelular:** Es un tumor de invasión local y crecimiento lento, que rara vez produce metástasis; cuyo origen son las células epidérmicas de los folículos pilosos o las células basales de la epidermis. El factor involucrado más importante, es la exposición a las radiaciones ultravioletas (Negrin, 2008).

## www.bdigital.ula.ve

### Operacionalización de las variables

Las variables de estudio y por tanto el evento, así como, los criterios de análisis están representados por conceptos abstractos. Estos conceptos deben transformarse en empíricos para que se puedan medir. Este proceso de transformación es denominado operacionalización, y el fin es identificar los indicadores que muestren la presencia del evento de estudio (Palella y Martins, 2010). En tal sentido, se operacionalizó la variable dependiente como Factor de protección solar de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* (tabla 6) y la variable independiente como la composición química de los extractos de *Pterocarpus acapulcensis* (tabla 7).

**Tabla 6.** Variable dependiente: Factor de protección solar de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.

<b>Variable</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Definición Conceptual ¿Qué es?</b>
Factor de protección solar de la corteza de <i>Pterocarpus acapulcensis</i>	Dependiente	Indica el tiempo durante el que un protector solar aumenta la capacidad de defensa natural de la piel antes de quemarse (Castañedo, Torres, Araujo, Castañedo y Moncada, 2008).
<b>Definición operacional ¿Cómo se mide?</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>
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: El Masri, Márquez y Pérez, 2022.

**Tabla 7.** Variable independiente: Composición química de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.

<b>Variable</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Definición Conceptual ¿Qué es?</b>
Composición química de la corteza de <i>Pterocarpus acapulcensis</i> .	Independiente	Los metabolitos secundarios son compuestos químicos sintetizados por las plantas que cumplen funciones no esenciales en ellas (Díaz, Ávila y Oyola, 2002).
<b>Definición operacional ¿Cómo se mide?</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>
Tamizaje Fitoquímico mediante pruebas químicas de coloración y/o precipitación	Alcaloides Fenoles Flavonoides Triterpenos / Esteroles Quinonas Taninos	-Aparición de turbidez y un precipitado. -Formación de una coloración que varía de verde azul. -Coloración naranja o violeta se considera prueba positiva. -Coloración roja o verde se considera prueba positiva. -Coloración roja -Coloración negro azulado o verdosa
Cuantificación de fenoles por el método de Folin-Ciocalteu	-Fenoles	Espectrofotométrico. Absorción a 760nm

Fuente: El Masri, Márquez y Pérez, 2022.

## Hipótesis

Investigaciones previas han demostrado que especies del género *Pterocarpus* biosintetizan metabolitos secundarios con actividad biológica; por lo cual, es de esperar que los extractos de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* contengan compuestos estructuralmente relacionados y con actividad fotoprotectora.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **Tipo de investigación**

Según Hurtado (2010), los tipos de investigación están relacionados con el logro esperado durante el proceso de investigación. Específicamente pueden ser: investigativa, exploratoria, descriptiva, analítica, comparativa, explicativa, predictiva, proyectiva, interactiva, confirmatoria y evaluativa. En tal sentido, esta investigación es de tipo confirmatoria ya que se verifica una hipótesis, la cual requiere explicación y predicción. Se confirmó la relación que existe entre el factor de protección solar y la composición química de los extractos de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.

#### **Diseño de la investigación**

Hace referencia a las diferentes estrategias que utilizan los investigadores para responder a la pregunta de investigación (Palella y Martins, 2010). Adicionalmente, 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. Además que, existen diseños que son específicos de las investigaciones de nivel integrativo, en especial de las confirmatorias y las evaluativas, las mismas

responden a dos criterios que no aplican a los demás tipos de investigación que son: el grado de intervención del investigador y la rigurosidad del control de variables extrañas. De la combinación de estos criterios resultan dos diseños: cuasiexperimental y experimental.

La investigación realizada tiene un diseño de campo, contemporáneo, multivariable y experimental, la cual realiza manipulación de la variable dependiente y control estricto de las variables extrañas (Hernández, Fernández y Batista, 2010). Las muestras fueron procesadas en el Instituto de Investigaciones “Dr. Alfredo Nicolás Usubillaga del Hierro” de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis.

## **Población y muestra**

### **Unidad de investigación**

La población, definida por Hernández, Fernández y Baptista (2010), como el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. Y la muestra, como un subgrupo de la población que debe ser representativo de ésta, del cual se recolectan los datos. La unidad de investigación está representada por la especie *Pterocarpus acapulcensis*, perteneciente a la familia Fabaceae.

### **Selección del tamaño muestral**

La “n” muestral estuvo representada por 100 g de corteza de *Pterocarpus acapulcensis* proveniente del estado Bolívar. El tipo de muestra utilizada es no 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 una investigación son características presentes en la unidad de investigación y se pueden medir (Pérez, 2007). Existen diferentes tipos de variables según su función, se clasifican en: variable dependiente, variable independiente y variable interviniente. En el caso de la variable dependiente es aquella que se modifica por acción de la variable independiente, en ella se miden los efectos o consecuencias para luego dar los resultados en la investigación. En relación a la variable independiente es la causa que genera y explica los cambios en la variable dependiente y en cuanto a la variable interviniente es la que se interpone entre la variable independiente y la variable dependiente pudiendo influir en la modificación de esta última (Buendía, Colás y Hernández, 2001).

Las variables relacionadas con el sistema de investigación son las siguientes: Variable dependiente (VD): Factor de protección solar de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* y como Variable independiente (VI): composición química de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.

## **Instrumento de recolección de datos**

Los instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos fueron 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 seguido en esta investigación comprende lo siguiente:

- **Recolección y preparación del material vegetal:** Las muestras de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* fueron recolectadas en los alrededores de la Ciudad de Upata, al nor-este del Edo. Bolívar por el Prof. Jesús Velásquez (Laboratorio de Anatomía de la Madera. Universidad Nacional Experimental de Guayana, UNEG).
- **Obtención de los extractos:** El material vegetal seco con un peso inicial de 3000g se molió utilizando un equipo especial de carpintería, obteniéndose 2500g. Luego se tomaron 100 g y se realizó un proceso de extracción en un sistema de reflujo usando como solventes hexano y etanol, en cada caso, se filtró y el solvente se evaporó hasta completa sequedad en un rotavapor para obtener los respectivos extractos secos (esquema 1).
- **Análisis fitoquímico:** Con el fin de detectar los diversos metabolitos secundarios se realizaron una serie de pruebas (esquema 1) cuyo procedimiento es el siguiente:
  - **Ensayo de Liebermann-Burchard (terpenos y/o esteroides):** Para el desarrollo de esta prueba en dos tubos de ensayos limpios, secos y debidamente identificados, se tomaron pequeñas cantidades de los extractos previamente llevados a

sequedad, y se adicionó 0,5 mL de solución clorofórmica anhidra, luego se añadió 0,5 mL de anhídrido acético y cuidadosamente por la pared del tubo una gota de ácido sulfúrico concentrado. Se considera positiva la prueba por la aparición de una coloración roja, verde o azulada (Martínez, Valencia y Jiménez, 2004).

- **Ensayo de Shinoda (flavonoides):** Se procedió a tomar 1 mL del extracto, luego se añadió algunas limaduras de magnesio (Mg) y se adicionó cuidadosamente por la pared del tubo unas gotas de HCl concentrado. La aparición de coloraciones naranja o violeta, se considera prueba positiva (Martínez, Valencia y Jiménez, 2004).

www.bdigital.ula.ve

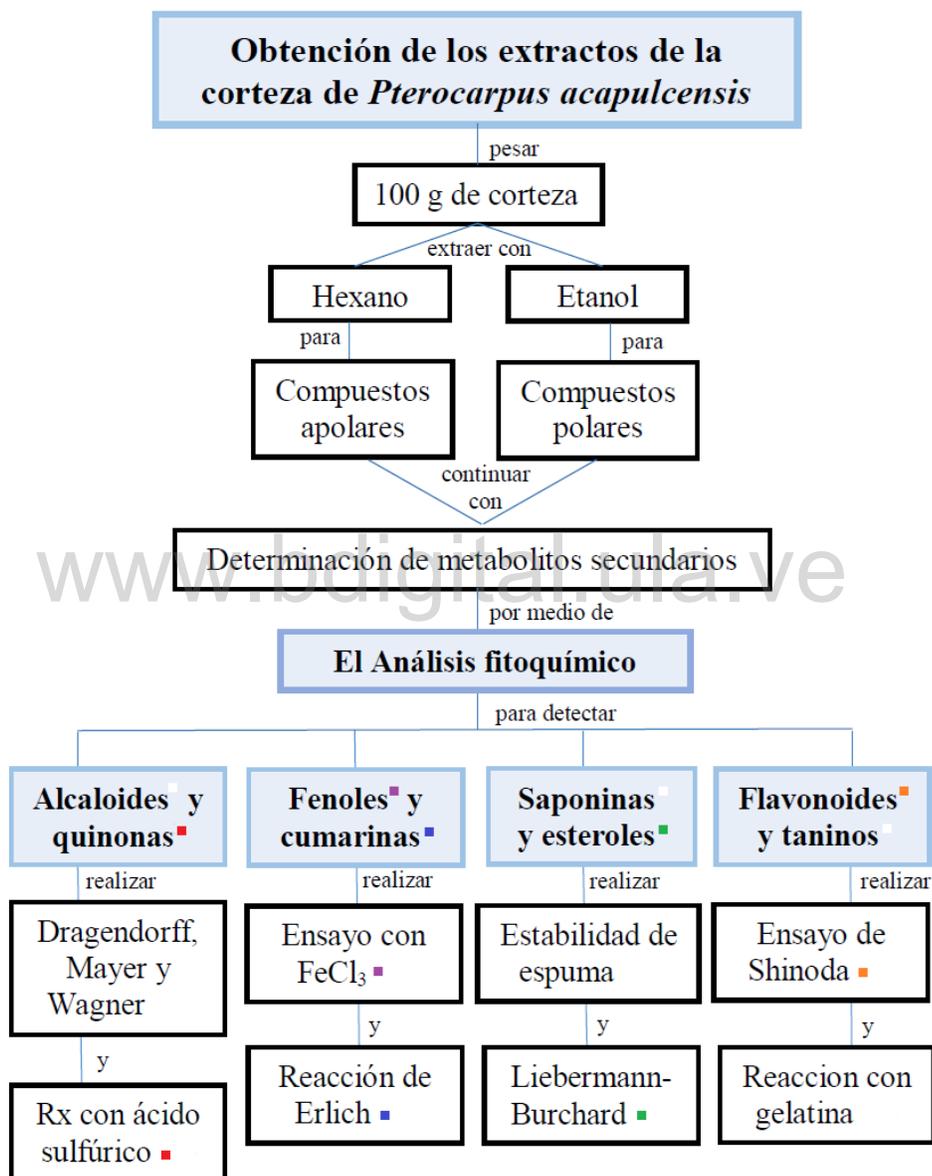
- **Ensayo de Dragendorff, Mayer y Wagner (alcaloides):** Se tomó una alícuota del extracto y se disolvió en 1 mL de HCl al 5 % en agua. Con la solución acuosa ácida se realizó el ensayo, se dividió en tres tubos y luego se añadieron 0,5 mL del reactivo correspondiente (Dragendorff, Mayer, Wagner); para Dragendorff el resultado es positivo si hay precipitado naranja (Martínez y cols., 2004).
- **Ensayo con FeCl<sub>3</sub> (compuestos fenólicos):** La muestra se disolvió en agua y se agregaron unas gotas de solución de cloruro de hierro (III) diluido. La formación de una coloración roja, azul, verde, o púrpura indica la presencia de fenoles (Martínez y cols., 2004).

- **Reacción con gelatina (taninos):** Se mantiene una relación por 1 mL del extracto 2 mL de agua destilada y 3 gotas de NaCl al 10 %. Se calentó a ebullición por 1 min, se enfrió y filtró. Posteriormente se agregaron dos gotas de reactivo de gelatina, y la formación de un precipitado blanco indica la presencia de taninos (Rivas y cols., 2016).
- **Reacción de Erlich (cumarinas):** Se agregaron 0,5 mL del extracto en una capsula de porcelana, se concentró y se adicionaron dos gotas de reactivo de Erlich y una gota de HCl concentrado. Los componentes que contengan el anillo furánico, las manchas se pueden colorear de naranja, morado o azul (Rivas y cols., 2016).
- **Reacción con ácido sulfúrico (quinonas):** Se agregó una gota de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado al extracto. Una coloración roja indica la presencia de quinonas (Rivas y cols., 2016).
- **Pruebas 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 sacudió, la positividad de la prueba es la resultante de la formación de una espuma abundante por 1 hora (Rivas y cols., 2016).
- **Cuantificación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu:** La concentración de fenoles totales en el extracto fue medida por espectrofotometría a una longitud de onda de 760 nm,

basándose en una reacción colorimétrica de óxido-reducción. Se pesaron las muestras por triplicado y estas se disolvieron y aforaron con agua destilada obteniendo una concentración de 0,5 mg/mL. Posteriormente se tomó 1 mL de cada una y se dispuso por duplicado respectivamente. Seguidamente se agregó el reactivo de Folin-Ciocalteu y luego de 5 minutos en reposo se adicionó el carbonato de sodio a cada tubo, se aforo con agua destilada hasta un volumen de 4 mL, se agito 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. Obteniéndose la concentración en  $\mu\text{g}$  de ácido gálico/mg, para ello se elaboró una curva de calibración utilizando una solución estándar de ácido gálico de (mg/mL) con patrones de concentración de 0 a 50 mg/mL con intervalos de 5 mg/mL (Espinosa, Garzon y Medina, 2016).

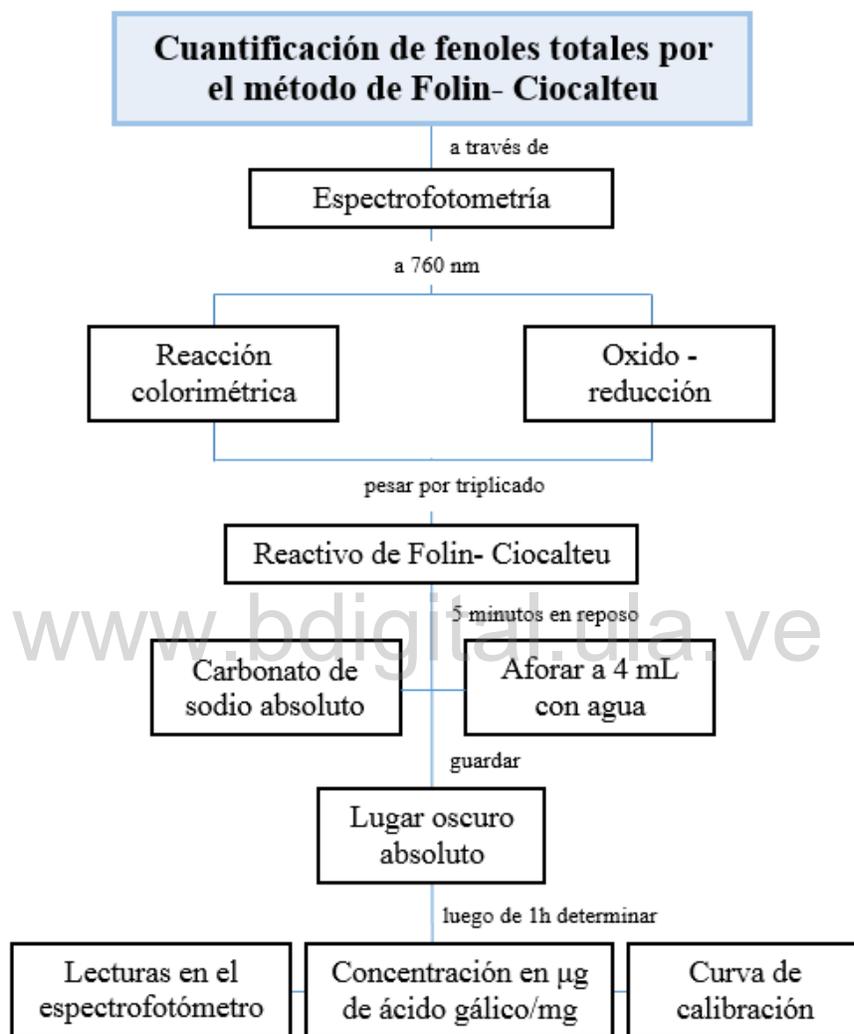
- **Determinación del factor de protección solar:** El factor de protección solar (FPS) se determinó siguiendo la metodología *in vitro* de Mansur y cols., 1986:
  - **Método de Mansur:** Las muestras fueron preparadas a una concentración de 0,2 mg/mL. Las absorbancias de las soluciones se determinaron 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 2). Los análisis fueron realizados por triplicado y el FPS fue calculado de acuerdo con la ecuación desarrollada por Mansur y cols., (1986).

**Esquema 1.** Procedimiento empleado para la identificación de los metabolitos secundarios de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.



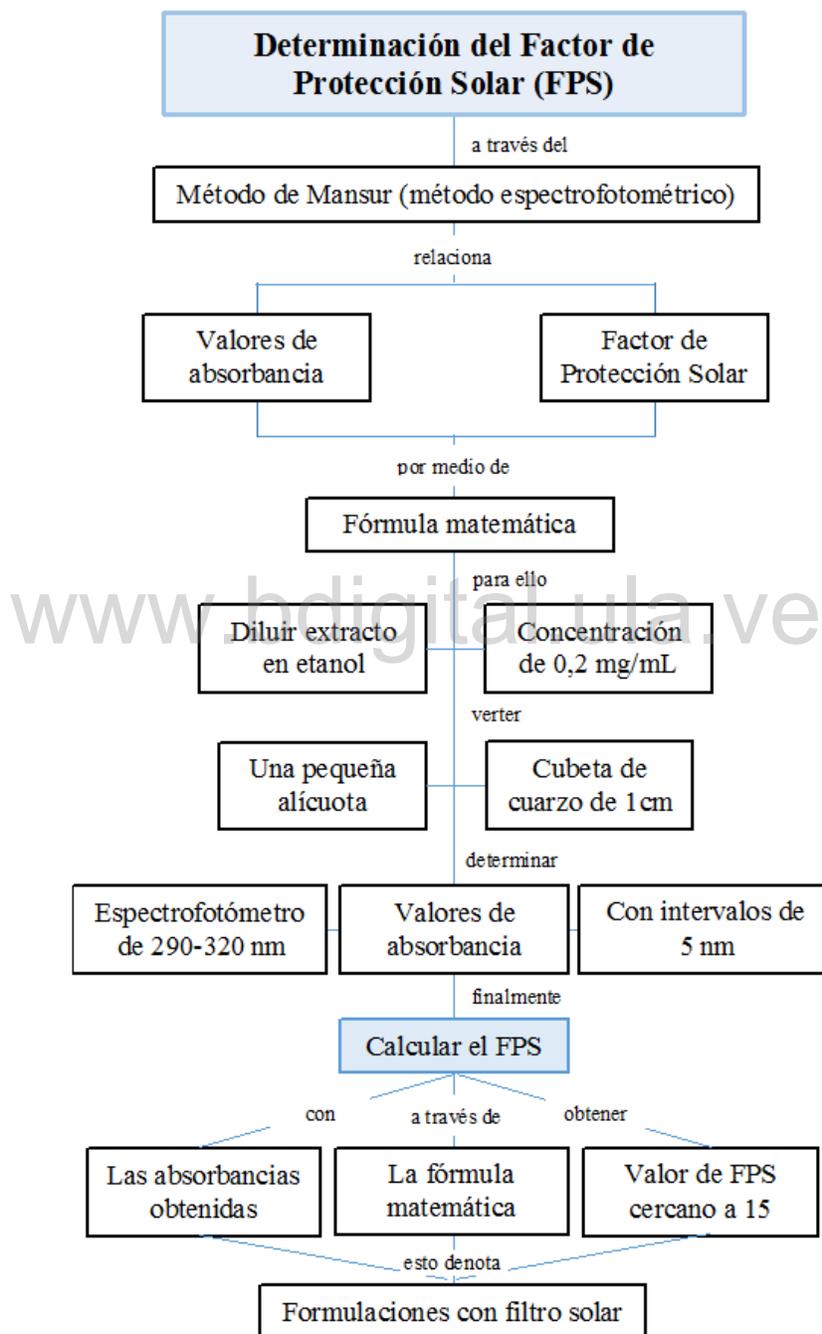
Fuente: El Masri, Márquez y Pérez, 2022.

**Esquema 2.** Procedimiento empleado para la cuantificación de fenoles de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.



Fuente: El Masri, Márquez y Pérez, 2022.

**Esquema 3.** Procedimiento para determinar el factor de protección solar de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* por el método de Mansur.



Fuente: El Masri, Márquez y Pérez, 2022.

## Diseño de análisis de los datos

Los datos recolectados en un proceso de investigación pueden ser analizados a través de dos enfoques: cualitativo y cuantitativo (Hurtado, 2010). Los datos fueron analizados a través de un enfoque cuantitativo, ya que se analizaron numéricamente los datos recolectados de la unidad de estudio con el fin de medir el factor de protección solar en la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* (Palella y Martins, 2010).

Posteriormente, se relacionó el factor de protección solar y la composición química de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*. Los valores de factor de protección solar que se obtuvieron fueron interpretados mediante el método *in vitro* descrito por Mansur, tratando de confirmar la relación causa-efecto y las variables asociadas al problema planteado. En tal sentido, las variables cualitativas tienen una escala de medida nominal y ordinal. Mientras que las variables cuantitativas tienen una escala de medida de intervalo y de razón.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### ***Obtención del extracto y tamizaje fitoquímico***

El extracto de *Pterocarpus acapulcensis* Rose se obtuvo a partir de la corteza del árbol, la cual, se sometió a un proceso de extracción en un sistema de reflujo usando como solventes hexano y etanol, en cada caso, se filtró y el solvente se evaporó hasta completa sequedad en un rotavapor, obteniendo así los respectivos extractos secos. Seguidamente, se procedió a efectuar el análisis fitoquímico de los mismos, empleando diferentes técnicas con los respectivos reactivos químicos descritos para cada una, observándose reacciones de coloración, precipitación y formación de espuma. Con el fin de confirmar la presencia o ausencia de los diversos metabolitos secundarios, señalados en la tabla 8 y figura 10.

**Tabla 8.** Metabolitos secundarios de la especie *Pterocarpus acapulcensis*.

<b>Metabolitos</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Resultados</b>	<b>EH</b>	<b>EE</b>
<b>Alcaloides</b>	Dragendorff Mayer Wagner	Formación de precipitado Naranja	<b>ND</b>	<b>+</b> <b>+</b> <b>+</b>
<b>Flavonoides</b>	Shinoda	Aparición de coloración rojiza	-	-
<b>Cumarinas</b>	Reacción de Erlich	No hubo fluorescencia bajo la luz UV	-	-
<b>Compuestos Fenólicos</b>	FeCl <sub>3</sub> al 3 %	Coloración verde	<b>ND</b>	<b>+</b>
<b>Taninos</b>	Gelatina 1 %	Precipitado leve de la gelatina	<b>ND</b>	<b>+</b>
<b>Triterpenos y Esteroles</b>	Liebermann-Burchard	Cambio a rojo intenso (hexano) Cambio a rojizo en el fondo del tubo (etanol)	<b>+</b>	<b>+</b>
<b>Saponinas</b>	Altura y estabilidad de espuma	Formación de espuma que desaparece rápidamente	<b>ND</b>	-
<b>Quinonas</b>	Reacción con ácido sulfúrico	Formación de color rojo	-	-

Fuente: El Masri, Márquez y Pérez, 2022.

**Figura 10.** Caracterización fitoquímica de los extractos de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.



**EH:** Extracto de hexano, **EE:** Extracto de etanol, **CP:** Control positivo.  
Fuente: El Masri, Márquez y Pérez, 2023.

Estos resultados se pueden comparar con los obtenidos por otros autores dentro de los cuales tenemos a Okerulu, Onyema y Onwukeme, (2017), que a partir de las hojas de la especie *Pterocarpus soyauxii* (Oha) reportaron metabolitos como: alcaloides, glucósidos, saponinas y taninos. Por otra parte, el análisis fitoquímico de la corteza y los tallos de *Pterocarpus erinaceus* muestra la presencia de compuestos fenólicos, taninos y flavonoides en el extracto metanólico, así como diversos triterpenos. En el caso de *Pterocarpus marsupium* haciendo uso de las hojas y corteza, en el

extracto metanólico se evidenció la presencia de compuestos fenólicos, flavonoides, alcaloides, esteroides y glucósidos, en el extracto acuoso carbohidratos, proteínas, esteroides, saponinas, alcaloides y taninos (Londonkar y Hugar, 2017).

De igual forma, en hojas de Ntururopa (*Pterocarpus santalinoides*) en el resultado de la prueba cualitativa para el análisis fitoquímico se evidenciaron: alcaloides, saponinas, taninos, flavonoides, fenoles, esteroides y glucósidos cianogénicos (Ndukwe y Ikpeama, 2013).

**Tabla 9.** Resultados obtenidos en tamizaje fitoquímico de diferentes especies del genero *Pterocarpus*.

Autor	Especie	Alc. (Alcaloides)	Flav. (Flavonoides)	Tan. (Taninos)	C. Fen. (Compuestos fenólicos)	Sap. (Saponinas)	Trif. (Triterpenos)	Est. (Esteroides)
Okerulu, Onyema y Onwukeme (2017)	<i>P. soyauxii</i> (hojas)	+		+		+		
Okerulu, Onyema y Onwukeme (2017)	<i>P. erinaceus</i> (tallos)		+	+	+		+	
Londonkar y Hugar (2017)	<i>P. marsupium</i> (hojas)	+	+	+	+	+		+
Ndukwe e Ikpeama (2013)	<i>P. santalinoides</i> (hojas)	+	+	+	+	+	+	+
El Masri y Márquez (2023)	<i>P. acapulcensis</i> (corteza)	+	-	+	+	-	+	+

Fuente: El Masri, Márquez y Pérez, 2023.

Como se puede apreciar, en los trabajos previos el estudio fitoquímico del género *Pterocarpus*, en su mayoría se centró en el análisis de las hojas de la planta siendo los componentes principales: compuestos fenólicos, taninos, alcaloides, triterpenos y flavonoides. Mientras que, en la presente

investigación se realizó el análisis de la corteza de *P. acapulcensis* obteniéndose los compuestos anteriormente mencionados en el extracto etanólico a excepción de los flavonoides y para el extracto con hexano se evidenció la presencia de esteroides.

### **Cuantificación total de fenoles**

Según Castro, Mota y Cazedey (2022), los compuestos fenólicos, también llamados polifenoles o fenilpropanoides se caracterizan por poseer un anillo aromático con un grupo hidroxilo que tienen la capacidad de absorber la energía ultravioleta y reducir la formación de radicales libres. Estos poseen fuertes propiedades antioxidantes que les permiten eliminar los radicales libres, donar hidrógeno, quelar iones metálicos, romper reacciones en cadena de radicales y extinguir el oxígeno (Quiñones y Aleixandre, 2012).

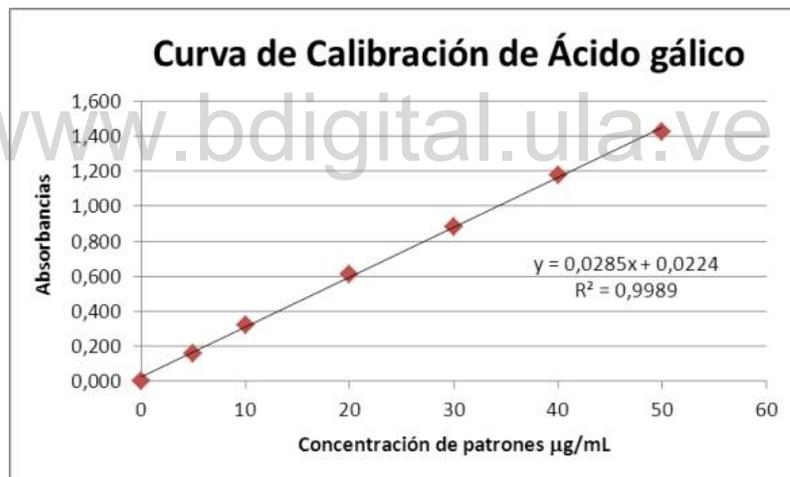
El contenido total de fenoles en el extracto etanólico de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*, fue determinado espectrofotométricamente de acuerdo al método de Folin-Ciocalteu, basándose en una reacción colorimétrica de óxido-reducción, siendo el agente oxidante el reactivo de Folin-Ciocalteu, y para la elaboración de la curva de calibración se utilizó una solución estándar de ácido gálico con patrones de concentración de 0 a 50 mg/mL con intervalos de 5 mg/mL tal como se observa en la tabla 9 y figura 11.

**Tabla 10.** Datos para curva de calibración con ácido gálico.

<i>Muestras</i>	<b>Concentración de Patrones</b>	<b>Absorbancias Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>
<b>Ácido gálico (mg/mL)</b>	<b>0</b>	0,000	0,00
	<b>5</b>	0,159	0,00
	<b>10</b>	0,322	0,01
	<b>20</b>	0,612	0,00
	<b>30</b>	0,881	0,01
	<b>40</b>	1,175	0,01
	<b>50</b>	1,424	0,00

Fuente: El Masri, Márquez, Pérez y Obregón 2023.

**Figura 11.** Curva de calibración de ácido gálico.



Fuente: El Masri, Márquez, Pérez y Obregón 2023.

Para el análisis de las muestras, se pesó por triplicado 5 mg de la muestra y se disolvió y enrasó con agua destilada en un matraz de 25 mL, posteriormente, se tomó una alícuota de 1 mL por duplicado de cada solución y se dispuso a 6 tubos de ensayo respectivamente. Se les agregó 0,5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu, se dejó en reposo 5 minutos y se le agregó 1,5 mL de carbonato de sodio ( $H_2CO_3$ ) a cada tubo; seguidamente se

aforo con agua destilada a 4 mL, la solución se agitó en un vortex y se guardó en un lugar oscuro a temperatura ambiente por 1 hora. Las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 760 nm, obteniéndose la concentración en  $\mu\text{g}$  de ácido gálico/mg tal como se muestran en la tabla 10.

**Tabla 11.** Resultados obtenidos del contenido total de compuestos fenólicos del extracto etanólico de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.

Extracto Analizado	Concentración muestras (mg/mL)	Concentración en $\mu\text{g}$ Ácido gálico/mg Muestra $\pm$ DE
Etanol		165,945 $\pm$ 0,757
	0,5	161,278 $\pm$ 0,838
		163,617 $\pm$ 0,797
<b>Promedio</b>		<b>163,613</b>

Los resultados son el promedio de tres mediciones por separado la Concentración en  $\mu\text{g}$  de Ácido gálico/mg Muestra  $\pm$  Desviación Estándar (DE).

Fuente: El Masri, Márquez, Pérez y Obregón 2023.

Los resultados obtenidos se pueden comparar con reportes previos de otras especies del género *Pterocarpus*, como el que refiere los autores Toukam, Flora, Tiabou y Tanyi (2016). Ellos efectuaron una investigación sobre la actividad antioxidante y el contenido de fenoles y flavonoides de extractos de hexano, acetato de etilo, n-butanol y metanol de la corteza y tallo de *Pterocarpus erinaceus*, en el cual, obtuvieron el contenido de fenoles por el método de Folin-Ciocalteu para el extracto de n-butanol fue de 490,03 $\pm$ 4,02  $\mu\text{g}$  equivalentes de Ácido gálico / mg de muestra siendo mayor que para el extracto de metanol 450,50 $\pm$ 1,52  $\mu\text{g}$  equivalentes de Ácido gálico / mg. Del mismo modo, García, Bolaños, Lagunes, Ramos y Osorio (2016),

estudiaron la concentración de compuestos fenólicos en las fabáceas, haciendo uso del método de Folin-Ciocalteu, y ácido gálico como estándar en muestras libres de grasa. La absorbancia se midió a 765 nm en un espectrómetro, observando que las concentraciones mayores fueron en los meses sin lluvias (155.4, 40.1, 16.9, 98.4 y 115.3  $\mu\text{g}$  equivalentes de Ácido gálico / mg).

En tal sentido, no existe una categorización que permita establecer si los contenidos de fenoles totales son altos o bajos, pero si existen algunas referencias en la literatura respecto a un contenido aceptable de fenoles. Por ejemplo valores finales de 60  $\mu\text{g}$  Eq AG / mg de muestra son considerados “contenido moderado” de fenoles cuando se usa el reactivo de Folin-Ciocalteu, por lo cual se puede decir que el extracto etanólico de la corteza de *P. acapulcensis* tiene un contenido moderado de fenoles con un valor de 163,61  $\mu\text{g}$  Eq AG / mg de muestra (Michelle, Madjarof, Tasca, Teixeira, Ferreira, de Oliveira, Foglio y De Carvalho, 2008).

### ***Determinación del factor de protección solar (FPS)***

Para la determinación del FPS, se tomó como referencia la metodología *in vitro* descrita por Mansur y cols (1986), para lo cual se prepararon 3 muestras del extracto etanólico de la corteza de *P. acapulcensis* a una concentración de 0,2 mg/mL, que representa el estándar de concentración descrita en el método de Mansur, las muestras fueron analizadas en un espectrofotómetro en el rango de 290 a 320 nm con intervalos de 5 nm, usando una celda de cuarzo y realizando la lectura contra etanol como blanco. Se observó que el extracto no se solubilizo por completo por lo cual se llevó a cabo el mismo procedimiento haciendo uso de agua destilada como solvente, con los datos

de absorbancias obtenidos se aplicó la fórmula matemática desarrollada según el método (Mansur y cols., 1986), en las tablas 11 y 12 se presentan los resultados.

**Tabla 12.** Resultados del FPS del extracto etanólico disuelto en etanol de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.

Longitud de onda	m1	m2	m3	$\bar{X}$	EE * I	FC	FPS CALC	Desviación estándar
290	0,934	1,162	1,202	1,099	0,015	10	0,165	0,1446
295	0,528	0,693	0,732	0,651	0,0817	10	0,532	0,1083
300	0,442	0,591	0,629	0,554	0,2874	10	1,592	0,0988
305	0,410	0,552	0,586	0,516	0,3278	10	1,691	0,0934
310	0,389	0,526	0,558	0,491	0,1868	10	0,917	0,0898
315	0,367	0,500	0,528	0,465	0,0839	10	0,390	0,0860
320	0,335	0,458	0,485	0,426	0,0180	10	0,077	0,0800
							<b>5,364</b>	

Fuente: El Masri, Márquez y Pérez, 2023.

**Tabla 13.** Resultados del FPS del extracto etanólico disuelto en agua de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.

Longitud de onda	m4	m5	m6	$\bar{X}$	EE * I	FC	FPS CALC	Desviación estándar
290	0,529	0,562	0,435	0,509	0,015	10	0,076	0,0659
295	0,359	0,429	0,291	0,360	0,0817	10	0,294	0,0690
300	0,321	0,382	0,265	0,323	0,2874	10	0,927	0,0585
305	0,302	0,347	0,248	0,299	0,3278	10	0,980	0,0496
310	0,288	0,326	0,235	0,283	0,1868	10	0,529	0,0457
315	0,275	0,313	0,223	0,270	0,0839	10	0,227	0,0452
320	0,257	0,299	0,208	0,255	0,018	10	0,046	0,0455
							<b>3,079</b>	

Fuente: El Masri, Márquez y Pérez, 2023.

En base a lo expuesto en las tablas anteriores se puede observar que, el FPS para la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* Rose fue de 5,364 para el extracto disuelto en etanol y 3,079 con el extracto disuelto en agua. Siguiendo 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 protección baja (Afonso, Horita y Sousa, 2014).

Este resultado se relaciona directamente con la composición química del extracto etanólico de la corteza *Pterocarpus acapulcensis*, el tamizaje fitoquímico realizado demostró que contiene compuestos fenólicos, taninos, alcaloides, triterpenos y esteroides, así como la ausencia de flavonoides.

Desde este punto de vista, se considera que la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* contiene una cantidad significativa de compuestos fenólicos, deduciéndose que estos, más que una capacidad fotoprotectora, puedan tener una mayor capacidad antioxidante, tal como lo describen Hashemi, Ebrahimzadeh y Khalili (2019), que los compuestos fenólicos son capaces de actuar en cascadas de señalización sensibles a oxido-reducción para inhibir el daño del ADN, así como también pueden ser beneficiosos para prevenir la generación de radicales libres de oxígeno inducida por rayos UV y peroxidación de lípidos.

Por otra parte, puede considerarse que el valor bajo de FPS obtenido se debe a la ausencia de flavonoides, tal como lo refieren Mejía, Atehortúa y Puertas (2014) estos metabolitos proporcionan una protección doble frente a los efectos nocivos de los rayos UV, actuando como especies captadoras de radicales libres y como filtros solares capaces de absorber rayos UV. Confiando de esta manera protección frente a los fenómenos de daño oxidativo al que se encuentra expuesto el cuerpo humano (Isla y cols, 2020).

Es por ello que, los extractos de plantas ricos en flavonoides son capaces de absorber la luz ultravioleta, y lo realizan usualmente en dos picos máximos de absorción ultravioleta en las regiones UVB y UVA, lo que posibilita la utilización de dichos extractos en el desarrollo de formulaciones de protección solar (Agati, Brunetti, Di Ferdinando, Ferrini, Pollastri y Tattini, 2013).

Cabe señalar que, el valor de FPS de 5,364 en teoría proporciona un efecto protector frente a la radiación UVB, es decir, que una persona tendrá una protección a la radiación UV hasta 5 veces más en comparación con la piel sin protección. Por lo tanto, una opción podría ser incluirse en las nuevas formulaciones solares con el fin de proporcionar una acción coadyuvante de la actividad fotoprotectora de los filtros físicos y químicos, mejorando el aspecto y elasticidad de la piel, además de potenciar el subsistema inmunológico cutáneo (Garrote y Bonet, 2008).

Por lo anterior, se infiere que las moléculas fotoactivas solas o combinadas representan una buena alternativa para elaborar fotoprotectores biológicos eficientes y seguros para las personas y el ambiente. Aunque hace falta más investigación para mejorar la eficiencia y estabilidad de las biomoléculas con fotoactividad, la evidencia indica que pueden potenciar y en algunos casos sustituir a los fotoprotectores físicos y químicos tradicionales.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

El análisis fitoquímico cualitativo de los extractos de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* obtenidos mediante la técnica extracción en reflujo permitió identificar la presencia de esteroides en el extracto de hexano y alcaloides, triterpenos, compuestos fenólicos y taninos en el extracto etanólico.

El contenido de compuestos fenólicos fue moderado, con un valor de 163,613 mg Ácido gálico/mg de extracto.

La actividad fotoprotectora del extracto etanólico de la corteza de *P. acapulcensis* fue evaluada *in vitro* mediante el método de Mansur, obteniendo un FPS 5,364 lo cual indica un factor de protección solar bajo.

Cabe destacar que esta es la primera investigación sobre tamizaje fitoquímico, cuantificación de fenoles y factor de protección solar de la corteza de *Pterocarpus acapulcensis* Rose, y se puede considerar que sus extractos constituyen una alternativa terapéutica natural y de bajo costo proporcionando una acción coadyuvante para la protección solar, debido al contenido de compuestos bioactivos que posee. Estos pueden ser utilizados en productos tópicos, ya sea de manera exclusiva o en combinación con los filtros solares convencionales.

## RECOMENDACIONES

- Continuar con los ensayos de FPS *in vitro* haciendo uso de otras partes del árbol como las hojas de *Pterocarpus acapulcensis* Rose.
- Realizar el tamizaje fitoquímico, a partir de extractos obtenidos con otros disolventes.
- Realizar formulaciones farmacéuticas en base a los metabolitos secundarios, con capacidad de fotoprotección de *Pterocarpus acapulcensis* que acompañen o potencien los protectores solares derivados de la industria química.
- Evaluar a profundidad la actividad antioxidante que pueda presentar la corteza de *Pterocarpus acapulcensis*.
- Estudiar otras propiedades y/o actividades que pueda presentar el *Pterocarpus acapulcensis*; actividad antimicrobiana, antifúngica, entre otras.

## BIBLIOHEMEROGRAFÍA

- Abouelela, M., Abdelhamid, R., y Orabi, M. (2019). Constituyentes fitoquímicos de especies vegetales de *Pterocarpus* (F: Leguminosae). *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 11 (4), 264-281.
- Afonso, S., Horita, K., y Sousa, J. (2014) Fotodegradación de avobenzona: efecto estabilizador de los antioxidantes. *Revista de fotoquímica y fotobiología*, 140 (1), 36-40.
- Agati, G., Brunetti, C., Di Ferdinando, M., Ferrini, F., Pollastri, S., y Tattini, M. (2013). Papeles funcionales de los flavonoides en la fotoprotección. Nueva evidencia, lecciones del pasado. *Bioquímica fisiológica vegetal*, 30 (1), 1–11.
- Ahmad, F., Anwar, F., y Hira, S. (2016). Revisión sobre la Importancia Medicinal de la Familia Fabaceae. *Revista de farmacología en línea*, 3 (1), 151-156.
- Ahmad, H., y Rajagopal, K. (2015). Farmacología de *Pterocarpus marsupium* Roxb. *Medicinal Plant Research*, 5 (3), 1-6.
- Albornoz, A. (1980). **Productos naturales: estudio de las sustancias y drogas extraídas de las plantas**. Caracas: Publicaciones de la Universidad Central de Venezuela.
- Almaraz, N., Ávila, J., Delgado, E., Naranjo, N., y Herrera, J. (2006). El metabolismo secundario de las plantas, un nuevo concepto. *Vidsupra*, 1 (2), 39-50.

- Álvarez, E. (1995). Consecuencias del estrés oxidativo de la piel por radiaciones ultravioleta. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 14 (1), 1-5.
- Anokwuru, C., Sigidi, M., Zininga, T., Tshisikhawe, M., Shonhai, A., Ramaite, I., Traoré, A., y Potgieter, N. (2017). Contenido fenólico, actividad antioxidante y características espectroscópicas de *Pterocarpus angolensis* DC. Fracciones de la corteza del tallo. *Indian journal of traditional knowledge*, 16 (3): 400-406.
- Arias, F. (2012). ***El proyecto de investigación, introducción a la metodología científica***. Caracas: Editorial Episteme.
- Ávalos, J., Ibarra L., Ravello L., Ríos V., y Rodríguez, R. (2018). *Diseño de Proceso de Producción de Protectores Solares a partir de Materiales Orgánicos y Biodegradables* (Trabajo de Investigación). Universidad de Piura, Perú.
- Ávalos, A., y Pérez, E. (2009). Metabolismo secundario de plantas. *Red Latinoamericana por la Educación (REDUCA)*, 2 (3), 119-145.
- Bagué, A., y Segundo, N. (2017). ***Tecnología farmacéutica***. Alicante, España: Editorial Club Universitario.
- Barbieri, A. (2017). Cómo las plantas producen su propia crema solar. *La Vanguardia*.
- Battle, C. (2005). Factor de protección solar. *Revista de la oficina de farmacia*, 24 (6), 65-72.
- Baumann, L., Amini, S., y Weiss, E. (2005). Nueva clasificación de los tipos de piel y sus implicaciones en dermatología cosmética. *Dermatología Venezolana*, 43 (4), 4-7.

- Beltrán, S. (2015). ¿Qué debemos pedirle a un protector solar? Recuperado de <http://www.farmacialavapies.com/cosmetica/que-debemos-pedirle-a-un-protector-solar>
- Beltrán, C., Díaz, F., y Gómez, H. (2013). Tamizaje fitoquímico preliminar de especies de plantas promisorias de la costa atlántica colombiana. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18 (4), 619-631. Recu
- Bruneton, J. (2001). **Farmacognosia y Fitoquímica de Plantas Medicinales**. Zaragoza: Acribia.
- Buendía, L., Colas, P., y Hernández, F. (2001). **Métodos de investigación en psicopedagogía**. Madrid: McGraw Hill Educación.
- Cabañas, M., de la Luz, M., Lamothe, A., Auárez, D., y Domínguez, Y. (2005). Prácticas de Botánica Morfológica y Sistemática. *Ecured*.
- Canavides, J. (2001). *Estudio ecológico, silvícola y de utilización del Sangre, Pterocarpus rohrii Vahl, en bosques latifoliados de Honduras* (Trabajo de investigación). Universidad Zamorano, Honduras.
- Carrasco, L. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *Revista de Agricultura en Zonas Áridas (IDESIA)*, 27 (3), 59-76.
- Castañedo, J., Torres, B., Araujo, C., Castañedo, M., y Moncada, B. (2008). Absorción ultravioleta de los protectores solares. *Revista Gaceta Médica de México*, 144 (1), 35-38.
- Castañedo, J., Torres, B., Valdés, G., y Ehnis, A. (2013). Evaluación *in vitro* de la protección UVA de los bloqueadores solares para prescripción en México. *Gaceta Médica de México*, 149 (1), 292-298.

- Castillo, G., Zavala, D., y Carrillo, M. (2017). Análisis Fitoquímico: Una herramienta para develar el potencial biológico y farmacológico de las plantas. *Revista académica de investigación*.
- Castro, T., Mota, M., y Cazedey, E. (2022). Actividad fotoprotectora y antioxidante de compuestos fenólicos: una revisión sistemática de ensayos *in vitro*. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas*, 51 (2), 557-588.
- Chen, J., Ni, C., Zhang, Z., Wang, L., Liu, Z., y Peng, W. (2018). CG – EM explora los componentes de atención médica en el extracto de *Pterocarpus macarocarpus* Kurz. *Revista Saudita de Ciencias Biológicas*, 25 (6), 1196-1201.
- Costa, E., Villegas, C., Donoso, L., y Correa, O. (2007). Determinación del Factor de Protección Solar de dos protectores solares elaborados en un recetario magistral. *Latin American Journal of Pharmacy*, 26 (4), 567-570.
- Coy, C., Parra, J., y 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.
- Deepti, K., Vijender S., y Mohd. A. (2016). Perfil fitoquímico y farmacológico de *Pterocarpus marsupium*: una revisión. *Revista de Innovación Farmacéutica*, 5 (4), 31-39.
- De Los Santos, C. (2009). Tendencias internacionales en fotoprotección. *Tendencias en Medicina*.

- Dhir, G., Mohan, G., Verma, R., y Mishra, S. (1982). Estudios sobre la actividad antifúngica de *Pterocarpus Marsupium*: una evaluación clínica. *Indian Journal of Dermatology*, 48 (3), 154-156.
- Díaz, J., Ávila, L., y Oyola, J. (2002). *Análisis del Mercado Internacional de Aceites Esenciales y Aceites Vegetales*. (Trabajo de investigación). Universidad de Bogotá, Bogotá.
- Diffey, B. (1994). Un método para la clasificación de amplio espectro de protectores solares. *International Journal of Cosmetic Science*, 16 (2), 47-52.
- Dilpesh, J., Patel, I., y Soma, R. (2011). Actividad antidiarreica del extracto de duramen etanólico de *Pterocarpus marsupium*. *Pharmacology online*, 1, 552-559.
- Duro, E., Campillos, M., y Causín, S. (2003). El sol y los filtros solares. *Medifam Revista de Medicina Familiar y Comunitaria*, 13 (3), 39-45.
- Dutra, E., Oliveira, D., Kedor-Hackmann, E., y Santoro, M. (2004). Determinación del factor de protección solar (FPS) de los protectores solares mediante espectrofotometría ultravioleta. *Revista Brasileira de Ciencias Farmacéuticas*, 40 (3), 381-385.
- Elejalde, J. (2001). Estrés oxidativo, enfermedades y tratamientos antioxidantes. *Anales de Medicina Interna*, 18 (6), 50-59.
- Espinosa, W., Garzon, 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.

- Fuentes, D. (2018). *Pterocarpus acapulcensis* Rose. Recuperado de <https://www.gbif.org/es/occurrence/2005256257>
- 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. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082019000300550&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082019000300550&lang=es)
- García, L., Bolaños, E., Lagunes, L., Ramos, J., y Osorio, M. (2016). Concentración de compuestos fenólicos en fabáceas forrajeras tropicales en edad diferente del rebrote. *Agrociencia*, 50 (4), 429-440.
- Garrote, A., y Bonet, E. (2008). Fotoprotección. Factores de protección y filtros solares. *Revista Offarm*, 27 (5), 63-73.
- Gil, C., Agostini, G., y Xena, N. (1987). Revisión taxonómica del género *Pterocarpus* Jacq. *Acta Botánica Venezuela*, 15(2), 65-98.
- 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.
- González, L. (2003). Los efectos nocivos de la radiación solar y la forma de combatirlos. *OFFARM Revista de la oficina de Farmacia*, 22 (5), 68-76.
- González, S. (2013). La importancia del PPD y la longitud de onda en un protector solar.

- González, F., y Bravo, L. (2017). Historia y actualidad de productos para la piel, cosméticos y fragancias. Especialmente los derivados de las plantas. *Ars Pharmaceutica (Internet)*, 58 (1), 5-12.
- Gray, O., Abreu, A., Bonito, D., Díaz, O., y Martínez, E. (2014). Fotoeducación: información básica. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 30 (4), 481-486.
- Hashemi, Z., Ebrahimzadeh, M., y Khalili, M. (2019). Factor de protección solar, fenoles totales, contenido de flavonoides y actividad antioxidante de plantas medicinales de Irán. *Revista Tropical Journal of Pharmaceutical*, 18 (7), 1443-1448.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). **Metodología de la Investigación**. México: McGraw Hill Educación.
- Hoyos, J. (1987). **Guía de árboles de Venezuela**. Caracas: Sociedad de Ciencias Naturales La Salle.
- Hurtado J. (2010) **El proyecto de investigación, comprensión holística de la metodología y la Investigación**. Bogota-Caracas: Ediciones Quirón.
- Ibarra, G., Gutiérrez, M., y Robles, M. (2018). Análisis fitoquímico y actividad antibacteriana del extracto metanólico de hojas de *Plumbago auriculata* LAM. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 20 (1), 53-60.
- Ibáñez, S., Morales, C., Calleja, M., Moreno, P., y Gálvez, R. (2020). Terapéutica: tratamiento del dolor. *Formación Continuada para Farmacéuticos de Hospital*, 2 (6), 118-149.

- Isla, M., Pérez, A., Obregon, Y., Aparicio, R., Cordero, Y., Díaz, C., Isla, J., Chacón, C., Fernández, J. y Rojas L. (2020). Perfil fitoquímico, actividad biológica y fotoprotectora de las flores de *Aldama dentata* La Llave et Lex. *Revista de la Facultad de Farmacia*. 62 (1), 4-14.
- Lionetti, N., Rigano, L., Cartigliani, C., y Bonfigli A. (2014). Métodos de evaluación *in vivo* e *in vitro*: una comparación.
- Lock, O. (1994). ***Investigación Fitoquímica. Métodos en el estudio de productos Naturales.*** Pontificia Universidad Católica del Perú: Fondo Editorial.
- Londonkar, R., y Hugar, A. (2017). Perfil fisicoquímico, fitoquímico y actividad antimicrobiana de *Pterocarpus marsupium*. *Revista Internacional de Ciencias e Investigación Farmacéutica*, 8 (5), 2177-2183.
- López, R. (2012). *Guía para el uso y elección de protectores solares y componentes para la industria cosmética y consumidores finales.* (Trabajo de investigación). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Majeed, M., Majeed, S., Jainista, R., Mundkur, L., Muchacho, P., y Neupane, P. (2020). Un estudio aleatorizado para determinar el factor de protección solar del pterostilbeno natural de *Pterocarpus marsupium*. *Cosméticos*, 7 (1), 1-13.
- Mansur, J., Breder, M., Mansur, M., y Azulay, R. (1986). Determinación del factor de protección solar por espectrofotometría. *Anales Brasileños de Dermatología*, 61 (1), 121-124.
- Marcano, D., y Hasegawa M. (2002). ***Fitoquímica orgánica.*** Venezuela: Consejo de desarrollo científico y humanístico.

- Martínez, J., González, J., y Culebras, M. (2002) Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición. Hospitalaria*, 17 (6), 271-278.
- 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.
- Matos, F. (1997). **Introducción a la fitoquímica experimental**. Brasil: Ediciones UFC, Fortaleza.
- Mauryaa, R., Singhb, R., Deepakb, M., Handab, S., Yadava, P., y Mishraa, P. (2004). Constituyentes de *Pterocarpus marsupium*: una droga cruda ayurvédica. *Phytochemistry*, 65 (1), 915–920.
- Mejía, J., Atehortúa, L., y Puertas, M. (2014). Foto-protección: mecanismos bioquímicos, punto de partida. *Revista de Dermatología Cosmética, Médica y Quirúrgica*, 12 (4), 272-281.
- Michelle, J., Madjarof, C., Tasca, A., Teixeira, A., Ferreira, R., de Oliveira, I., Foglio, M., y De Carvalho, E. (2008). Evaluation of wound healing properties of *Arrabidaea chica* Verlot extract. *Journal of Ethnopharmacology*, 118 (1), 361-366.
- Miranda, M., y Cuellar A. (2001). **Farmacognosia y química de los productos naturales**. Ciudad de La Habana: Editorial Félix Varela.
- Mohd, M., Mohd, A., Muhammad, S., y Anayatullah A. (2018). Usos etnobotánicos, fitoquímicos y farmacológicos. Actividades de *Pterocarpus marsupium*: una revisión. *Revista de farmacognosia*, 10 (6), 1-8.

- Mohire, N., Salunkhe, V., Bhise, S., y Yadav, A. (2007). Actividad cardiotónica del extracto acuoso de duramen de *Pterocarpus marsupium*. *Indian Journal of Experimental Biology*, 45 (6), 532-7.
- Montero, J. (1996). Método COLIPA. Nuevo método de evaluación del factor de protección solar FPS. *Revista de la distribución farmacéutica cooperativista*, 343 (1), 46-53.
- Mora, N., y Encinas, O. (2001). Evaluación de la durabilidad natural e inducida de *Pterocarpus acalpuensis*, *Tabebuia serratifolia* y *Pinus caribaea* en condiciones de laboratorio. *Revista Forestal Venezolana*, 45 (1), 23-31.
- Mora, M., Olivares, A., González, T., y Castro, I. (2010). El sol: ¿enemigo de nuestra piel?. *MEDISAN Revista de los profesionales de la Salud*, 14 (6), 825-837.
- Moreno, C. (2007). Fabaceae potencialmente útiles de la provincia de huánuco. *Revista Científica Investigación Valdizana (UNHEVAL)*, 1 (1), 30-34.
- Ndukwe, O., y Ikpeama, A. (2013). Evaluación comparativa de los componentes fitoquímicos y próximos de las hojas de Oha (*Pterocarpus soyansii*) y Ntururopa (*Pterocarpus santalinoides*). *Revista internacional de investigación académica en educación progresiva y desarrollo*, 2 (2), 68–77.
- Negrin, M. (2008). Carcinoma Basocelular. *Dermatología Venezolana*, 46 (1), 4-16.
- Ojeda, A., Obispo, N., Gil, J., y Matute, I. (2015). Perfil cualitativo de metabolitos secundarios en la fracción comestible de especies leñosas

seleccionadas por vacunos en un bosque semicaducifolio. *Pastos y Forrajes*, 38 (1), 64-72.

Okerulu, I., Onyema, C., Onwukeme, V., y Ezeh, C. (2017). Evaluación de fitoquímicos, composición próxima y elemental de hojas de *Pterocarpus soyauxii* (Oha). *Revista Internacional de Química Analítica*, 8 (1), 406-415.

Ouédraogo, N., Hay, A., Ouédraogo, J., Sawadogo, W., Tibiri, A., Lompo, M., Nikiema, J., Koudou, J., Dijoux, M., y Guissou, I. (2017). Biological and phytochemical investigations of extracts from *Pterocarpus erinaceus* poir (Fabaceae) root barks. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 14 (1), 187-195.

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

Pérez, J. (2007). Las variables en el método científico. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73 (3), 171-177.

Pino, S., Prieto S., Pérez, M., y Molina J. (2004). Género *Erythrina*: fuente de metabolitos secundarios con actividad biológica. *Acta Farmacéutica Bonaerense*, 23 (2): 252-258

Piña, G., Ortiz, S., Perdomo, R., Marcel, L., y Hernández G. (2015). Comparación de los resultados del tamizaje fitoquímico de tinturas obtenidas a partir de hojas y corteza de *Spondias mombin* (jobo) por distintos métodos. *Multimed Revista Médica. Granma*, 19 (5), 1-9.

Pozo, B., y Salazar, C. (2011). Reacción, Reactividad y Reconocimiento de Fenoles. Test de Fenoles.

- Quiñones, M., y Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Revista nutrición hospitalaria*, 27 (1), 557-588.
- Raga, J., Ettiene, G., Pérez, E., Sandoval, L., y Casas, J. (2014). Efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la capacidad antioxidante del mesocarpio homogeneizado y troceado de lechosa (*Carica papaya* L.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 15 (2), 135-144.
- Ramírez, C. (2019). Tipos de protectores solares y como usarlos.
- Rengifo, R. (2013). Cuantificación de flavonoides en el extracto etanólico de propóleo. *Revista Farmaciencia*, 1 (2), 51-56.
- Ringuelet, J. y Viña, S. (2013). **Productos Naturales Vegetales**. La Plata, Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad de La Plata.
- Rivas, C., Oranday, M. y Verde, M. (2016). **Investigación en plantas de importancia médica**. México: Editorial OmniaScience.
- Rivera, O. (2012). *Pterocarpus acapulcensis* Rose - Fabaceae.
- Rodríguez, S., y Gámez, L. (2010). Clave vegetativa para la identificación de árboles de La Familia Fabaceae de la Ciudad de Mérida, Venezuela. *Pittieria*, 34 (1), 89-111.
- Sánchez, L., Lanchipa, P., Pancorbo, J., Regis, A., y Sánchez, E. (2002). Fotoprotectores Tópicos. *Revista Peruana de Dermatología*, 12 (2), 1-10.
- Santos, B., Alves, E., Marques, F., Medeiros, M., Ramalho, M., Leite, M., Simões, M., Souza, O., Lima, R., Medeiros, T., Anjos, R., Brito J.,

- Guênes, G., Sousa, A., y Oliveira, A. (2021). Analisis fitoquimico y evaluacion de la actividad fotoprotectora del extracto acuoso de *Tamarindus indica* L. (Tamarindo). *Research, Society and Development*, 10 (9), 1-7.
- Sikdar, A., Biswas, A., Bhattacharya, S., y Biswas, M. (2013). Evaluación de la actividad analgésica de extractos de hojas de *Pterocarpus marsupium* en ratones albinos suizos. *Journal of Advanced Pharmacy Education and Research*, 3 (1), 42-5.
- Singha, P., Bajpaia, V., Guptab, A., Gaikwadb, A., Mauryac, R., y Kumar, B. (2019). Identificación y cuantificación de metabolitos secundarios de *Pterocarpus marsupium* mediante técnicas LC-MS y su actividad reductora de lípidos *in vitro*. *Industrial Crops & Products*, 127 (1), 26–35.
- Thalkari, B., Karwa, N., Shaikh, S., Zambare, K., Thorat, M., Jaiswal, R., y Gawli, C. (2019). Una revisión sistémica sobre *Pterocarpus marsupium* Roxb. *Revista de investigación de farmacognosia y fitoquímica*, 11 (4), 222-228.
- Tittikpina, N., Nana, F., Fontanay, S., Philippot, S., Batawila, K., Akpagana, K., Kirsch, G., Chaimbault, P., Jacob, C., y Duval, R. (2018). Actividad antibacteriana y citotoxicidad de extractos de *Pterocarpus erinaceus* Poir, fracciones y compuestos aislados. *Journal of Ethnopharmacology*, 212 (1), 200-207.
- Toukam, P., Flora, C., Tiabou, A., y Tanyi, J. (2016). Actividad antirradicalaria, contenido total de fenólicos y flavonoides de extractos de corteza de tallo de *Pterocarpus erinaceus*. *Revista Académica de Biociencias*, 4 (6), 473-477.

- Toukama, P., Tagatsingb, M., Tchokouaha, L., Baishyac, G., Baruac, N., Tchindaa, A., y Mbaforb. J. (2018). Novedosos isoflavonoides de saponina y benzofurano con actividades antiinflamatorias y depuradoras de radicales libres *in vitro* de la corteza del tallo de *Pterocarpus erinaceus* (Poir). *Phytochemistry Letters*, 28 (1), 69–75.
- Valencia, E., Figueroa, I., Sosa, E., Bartolomé, M., Martínez, H., y García, M. (2017). Polifenoles: propiedades antioxidantes y toxicológicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 173 (16), 15-29.
- Vallejo, E., Rojas, A., y Torres, O. (2017). Una poderosa herramienta en la medicina preventiva del cáncer: los antioxidantes. *El Residente*, 12 (3): 104-111.
- Velasco, M., Sarruf, F., y Salgado, I. (2008). Protectores solares bioactivos de amplio espectro. *International Journal of Pharmaceutics*, 363 (1–2), 50-57.
- Venereo, R. (2002). Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 31 (2), 126-33.
- Villegas, E., Castillo, M., Sabatés, M., Curbelo, M., y Ramos, N. (2005). Radiación ultravioleta. Fotoenvejecimiento cutáneo. *MediSur Revista Electrónica de Ciencias Médicas de Cienfuegos*, 3 (1), 14-33.
- Viveros, P. (1923). **Extractos Medicinales de Plantas**. Santiago de Chile: Nova Casa Editorial.
- Vogelman, J., Nieves, E., Brind, J., Nash, R., y Orentreich, N. (1985). Método espectrofotométrico para determinar los valores relativos de FPS de las preparaciones de protector solar. *Cosmetología*, 3 (1), 1-11.

Yang, J., Chen, J., Bi, H., Gu, H., Liu, Z., y Peng, W. (2006). Moleculas y Funciones de Rosewood: *Pterocarpus indicus*. *Thermal Science*, 24 (3), 1869-1876.

Zininga, T., Anokwuru, C., Sigidi, M., Tshisikhawe, M., Ramaite, I., Traoré, A., Hoppe, H., Shonhai, A., y Potgieter N. (2017). Extracts Obtained from *Pterocarpus angolensis* DC and *Ziziphus mucronata* exhibit antiplasmodial activity and inhibit heat shock protein 70 (Hsp70) Function. *Molecules*. 22 (8): 1-13.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)