



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
CIENCIAS EXPERIMENTALES

**COLORANTES NATURALES DE ESPECIES VEGETALES Y ANIMALES DE MÉXICO Y SU
POSIBLE APLICACIÓN EN CELDAS FOTOVOLTÁICAS**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA:
ITZEL SÁNCHEZ GALDOZ

TUTOR PRINCIPAL DE TESIS: DR. RICARDO REYES CHILPA.
INSTITUTO DE QUÍMICA, UNAM

COMITÉ TUTOR: DR. MANUEL JIMÉMEZ ESTRADA
INSTITUTO DE QUÍMICA, UNAM
DR. JOSÉ GUILLERMO ÁVILA ACEVEDO
FES IZTACALA, UNAM

C.D. MX, DICIEMBRE, 2018.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

OFICIO FCIE/DAIP/1119/2018

ASUNTO: Oficio de Jurado

M. en C. Ivonne Ramírez Wence
Directora General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 01 de octubre de 2018 se aprobó el siguiente jurado para el examen de grado de **MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS** en el campo de conocimiento de **Biología Experimental** de la alumna **SÁNCHEZ GALDOZ ITZEL** con número de cuenta **300107232** con la tesis titulada **"Colorantes naturales de especies vegetales y animales de México y su posible aplicación en celdas fotovoltaicas"**, realizada bajo la dirección del **DR. RICARDO REYES CHILPA**:

Presidente:	DRA. RACHEL MATA ESSAYAG
Vocal:	DRA. HELIA REYNA OSUNA FERNANDEZ
Secretario:	DR. MANUEL JIMÉNEZ ESTRADA
Suplente:	M. EN C. JORGE IVAN CASTILLO ARELLANO
Suplente:	DR. JOSÉ GUILLERMO ÁVILA ACEVEDO

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Ciudad Universitaria, Cd. Mx. a 20 de noviembre de 2018


DR. ADOLFO GERARDO NAVARRO SIGÜENZA
COORDINADOR DEL PROGRAMA



AGNS/VMVA/ASR/mnm

AGRADECIMIENTOS

A la UNAM por ser hacerme sentir como en casa, brindarme la oportunidad y las herramientas para seguir aprendiendo y crecer profesionalmente, encontrando dentro de aulas y laboratorios amabilidad y fraternidad en todos los compañeros universitarios.

Al posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM por aceptarme en el programa y por todo el apoyo ofrecido.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico recibido por medio de la beca recibida para realizar los estudios de maestría, CVU/becario 364875/269703.

A los miembros del comité tutor por sus invaluable aportaciones a este trabajo, paciencia, pero sobre todo por compartir conmigo sus amplios conocimientos:

Dr. Manuel Jiménez Estrada

Dr. José Guillermo Ávila Acevedo

Al Dr. Ricardo Reyes Chilpa por ser además de mi tutor, una excelente persona y guía dentro de las ciencias.

Al Instituto de Química por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

A mi familia por estar siempre presente, aconsejándome y ayudándome a seguir mis estudios.

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	v
INDICE DE ESPECTROS.....	v
1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	3
3. INTRODUCCIÓN.....	5
4. ANTECEDENTES.....	7
4.1. Uso tradicional de colorantes en México.....	7
4.2. Biología y Química de Colorantes tradicionales en México.....	9
4.3. Radiación Solar.....	28
4.4. Celdas solares sensibilizadas por colorantes naturales.....	31
4.5. Uso de colorantes como fotoprotectores contra la RUV.....	33
5. OBJETIVOS.....	35
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
6.1 Colecta de material biológico.....	37
6.2 Pruebas en celdas Solares.....	38
6.3 Evaluación de efecto fotoprotector.....	40
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
8. CONCLUSIONES.....	65
9. BIBLIOGRAFÍA.....	66
10. APÉNDICE.....	71
10.1 ESPECTROS.....	71

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Esquema de cochinilla y su hábitat.....	9
Figura 2.	Estructuras de la Antraquinona, Ac. Karmesico, Ac. Carmínico.....	10
Figura 3.	<i>Indigofera suffruticosa</i>	11
Figura 4.	Estructura química de la indigotina e Indirubina.....	12
Figura 5.	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	13
Figura 6.	Estructura de la jaracanona e hidroquinona aislado de jacaranda.....	14
Figura 7.	Estructuras de flavonoides reconocidos en jacaranda.....	15
Figura 8.	<i>Cuscuta</i>	16
Figura 9.	Estructuras químicas de los flavoniodes encontrados en especies Mexicanas de <i>Cuscuta</i>	17
Figura 10.	<i>Tagetes erecta</i>	18
Figura 11.	Compuestos encontrados en las flores de <i>Tagetes erecta</i>	19
Figura 12.	<i>Tagetes patula</i>	20
Figura 13.	<i>Tagetes lucida</i>	21
Figura 14.	Estructuras de compuestos mayoritarios en el aceite esencial de <i>Tagetes lucida</i> ...	22
Figura 15.	<i>Justicia spicigera</i>	23
Figura 16.	Estructuras de compuestos mayoritarios en <i>Justicia spicigera</i>	24
Figura 17.	<i>Ceroplastes albolineatus</i>	24
Figura 18.	Alcaloides encontrados en <i>Pittocaulon praecox</i>	26
Figura 19.	<i>Dahlia coccinea</i>	27
Figura 20.	Radiación promedio anual en la República Mexicana.....	30
Figura 21.	Principales longitudes de onda del espectro electromagnético.....	31
Figura 22.	Estrategia metodológica.....	36
Figura 23.	Ensamblaje de CSSCN.....	40
Figura 24.	Prueba de fotoprotección en colonias de <i>E. coli</i>	42

Figura 25.	Columna cromatográfica de Sephadex 15.....	43
Figura 26.	Cromatografía Capa Fina fase reversa para las fracciones obtenidas en la Cromatografía en columna.....	44
Figura 27.	Placa preparativa en onda larga y onda corta.....	45
Figura 28.	Espectro de UV-Vis jacaranda fresca.....	50
Figura 29.	Espectro UV-Vis jacaranda seca.....	50
Figura 30.	Espectro UV-Vis cochinilla.....	51
Figura 31.	Prueba de exposición a RUV-B sin protección en colonias de <i>E. coli</i>	52
Figura 32.	Prueba de fotoprotección usando añil como protector para RUV-B.....	53
Figura 33.	Prueba de fotoprotección usando jacaranda fresca como protector para RUV- B.....	53
Figura 34.	Prueba de fotoprotección usando <i>Cuscuta</i> como protector para RUV-B.....	54
Figura 35.	Prueba de fotoprotección usando dalia fresca como protector para RUV-B.....	54
Figura 36.	Prueba de fotoprotección usando cochinilla como protector para RUV-B.....	55
Figura 37.	Prueba de fotoprotección usando dalia seca como protector para RUV-B.....	55
Figura 38.	Prueba de fotoprotección usando jacaranda seca como protector para RUV-B.....	55
Figura 39.	Espectro de RMN- ¹ H de los cristales de sacarosa registrado en D ₂ O.....	57
Figura 40.	Espectro de RMN- ¹ H de apigenina-7-O-glucuronido en jacaranda (flores secas) (1).....	58

Figura 41.	Espectro de RMN- ¹ H de apigenina-7-O-glucuronido en jacaranda (flores secas) (2).....	59
Figura 42.	Espectro Infrarojo de apigenina-7-O-glucuronido del extracto de jacaranda (flores secas).....	60
Figura 43.	Espectro de masas (ESI-) de apigenina-7-O-glucuronido (1).....	61
Figura 44.	Espectro de masas (ESI-) de apigenina-7-O-glucuronido (2).....	62

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Determinación de fase móvil. (Fase estacionaria Silica gel C-18).....	41
Cuadro 2.	Medición de milivolts generados en celdas solares.....	46
Cuadro 3.	Extractos con mayor eficiencia fotovoltaica.....	47
Cuadro 4.	Picos máximos de absorción en la región UV – Vis (nm) de los extractos coloridos.....	49
Cuadro 5.	Coefficientes de determinación (R ²) y constantes de mortalidad (K) de los Experimentos de irradiación bacteriana con protección por extractos coloridos. Control (solo metanol).....	56
Cuadro 6.	Señales de RMN- ¹ H para apigenina-7-O-glucuronido.....	59

INDICE DE ESPECTROS

Espectro 1.	UV-Vis jacaranda fresca.....	71
Espectro 2.	UV-Vis jacaranda seca.....	71

Espectro 3.	UV-Vis cochinilla.....	72
Espectro 4.	UV-Vis añil seco.....	72
Espectro 5.	UV-Vis <i>Cuscuta</i>	73
Espectro 6.	UV-Vis dalia fresca.....	73
Espectro 7.	UV-Vis dalia seca.....	74
Espectro 8.	UV-Vis muicle fresco.....	74
Espectro 9.	UV-Vis muicle seco.....	75
Espectro 10.	UV-Vis compasúchil.....	75
Espectro 11.	UV-Vis pericón.....	76
Espectro 12.	UV-Vis clavel del moro.....	76

1. RESUMEN

México es un país que cuenta con una amplia diversidad biológica y de culturas indígenas. Estas han conocido y aprovechado desde hace siglos numerosos productos naturales vegetales y animales, entre otros, los colorantes naturales. En las culturas precolombinas era común su empleo en murales, textiles, códices y pintura corporal, varios colorantes han demostrado tener una alta resistencia a la exposición al ambiente durante largos periodos de tiempo y su uso ha persistido en los grupos indígenas y campesinos, por esta razón es importante estudiarlos. Desde otra perspectiva, diversos grupos de investigación alrededor del mundo han tenido inquietud en determinar los compuestos existentes en los colorantes de origen vegetal y animal para su posible uso en ciencia y tecnología. La situación geográfica de nuestro país nos ofrece una alta incidencia de radiación solar durante la mayor parte del año, por lo cual el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de este recurso es fundamental. Una opción para la generación de electricidad a partir de luz solar son las celdas solares sensibilizadas por colorantes naturales (CSCCN) o tipo Graetzel, que son de bajo costo, razonablemente eficientes y amigables con el ambiente. Adicionalmente, debido a la alta incidencia de luz solar en nuestro país, se ha propuesto el desarrollo de protectores contra la radiación ultravioleta a partir de extractos y compuestos presentes en colorantes naturales.

Teniendo en cuenta la amplia diversidad de nuestro país y considerando que existe una gran cantidad de fuentes de pigmentos naturales, en el presente proyecto se evaluaron 13 extractos coloridos obtenidos de 10 especies vegetales y animales, algunos de estos recursos usados tradicionalmente como pigmentos. Los trece extractos fueron aplicados en las celdas solares tipo Graetzel para evaluar su capacidad como foto convertidores de energía lumínica en energía eléctrica. Adicionalmente se determinaron sus espectros de absorción UV-VIS, en especial en la región UV-B (250-280 nm) para seleccionar aquellos que fueran candidatos a pruebas de fotoprotección contra radiación ultravioleta (RUV) en colonias de *Escherichia coli* expuestas a RUV-B con y sin protección.

Los extractos que tuvieron mayor eficiencia fotovoltaica fueron cochinilla (*Dactylopius coccus*), jacaranda seca (*Jacaranda mimosifolia*) y cempasúchil (*Tagetes erecta*). Mientras que los extractos con mayor eficiencia fotoprotectora fueron añil seco (*Indigofera suffruticosa*), jacaranda fresca (*Jacaranda mimosifolia*) y zacatlaxcalli (*Cuscuta sp.*).

De acuerdo con la bibliografía consultada, los tres extractos con mayor eficiencia fotovoltaica tienen una serie de compuestos aromáticos, en especial quinonas e hidroquinonas (cochinilla y jacaranda) (Ferreira et al., 2004), así como flavonoides (jacaranda y cempasúchil). La presencia de grupos carbonilos e hidroxilos pueden ser importantes para la adsorción, sensibilización e interacción con el TiO₂. La eficiencia fotoprotectora de colorantes naturales puede darse por la presencia de compuestos con propiedades antioxidantes como son los polifenoles, flavonoides, isoflavonas, fenoles, antocianidinas y carotenos principalmente.

Puesto que el extracto de Jacaranda fue el de mayor eficiencia en ambos ensayos se sometió a cromatografía (Silica Gel C-18) logrando aislar un flavonoide glicosilado el cual fue identificado por medio de RMN¹H, IR, espectroscopía de masas por electrospray modo negativo, con base en estos analisis se estableció que se trataba de la apigenina-7-O-glucuronido, previamente aislada de las flores de jacaranda (Moharram et al., 2007).

2. ABSTRACT

México is a country with wide biological diversity and a rich heritage of native cultures. These have known and used for centuries natural products from vegetal and animal species, among others, natural dyes. In pre-Columbian cultures, it was common to use them in murals, textiles, codices, and body painting. Several dyes have been shown to have a high resistance to exposure to the environment for long periods of time and its use has persisted in indigenous and peasant groups; therefore, it is important to study them. From another perspective, various research groups around the world have been interested in determining the compounds present in dyes of plant and animal origin for their possible use in science and technology.

The geographical location of Mexico offers a high incidence of solar radiation during most of the year, so the development of technologies for using of this resource is essential. An option for generation of electricity from sunlight are the solar cells sensitized by natural dyes or Graetzel Solar Cells, which are inexpensive, reasonably efficient and environmentally friendly. Additionally, due to the high incidence of sunlight in our country, it has been proposed to develop skin protectors against ultraviolet radiation from extracts and compounds present in natural dyes.

In this project, we evaluated 13 colorful extracts obtained from 10 plant and animal species, some of these resources traditionally used as pigments. The thirteen extracts were applied in Graetzel type solar cells to evaluate their capacity as photo converters of light energy into electrical energy. Additionally, their UV-VIS absorption spectra were determined, especially in the UV-B region (250-280 nm) to select those candidates for ultraviolet radiation (UV) photoprotection tests in colonies of *Escherichia coli* exposed to UVR- B with and without protection.

The extracts that had greater photovoltaic efficiency were cochineal (*Dactylopius coccus*), jacaranda dried flowers. While the extracts with greater photoprotective efficiency were, añil (*Indigofera suffruticosa*), fresh flowers of jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*) and *Cuscuta* sp.

According to the consulted bibliography, the three extracts with the highest photovoltaic efficiency contain aromatic compounds, especially quinones and hydroquinones (*Dactylopius coccus*, *Jacaranda mimosifolia*) (Ferreira et al., 2004), as well as flavonoids (*Jacaranda mimosifolia*, and *Tagetes erecta*). The existence of carbonyl and hydroxyl groups could be important for the adsorption, and interaction with TiO₂. While the photoprotective efficiency of natural dyes could be given by compounds with antioxidant properties such as polyphenols, flavonoids, isoflavones, phenols, anthocyanidins and carotenoids mainly. Since the jacaranda extract was the most efficient in both tests, it was subjected to chromatography (Silica Gel C-18), isolating a glycosylated flavonoid which was identified by means of NMR-¹H, IR, mass spectroscopy by electrospray, negative mode, based on these analyzes it was established that it was apigenin-7-O-glucuronide, previously isolated from jacaranda flowers (Moharram et al., 2007).

3. INTRODUCCIÓN

El uso del color y colorantes ha sido parte importante en el desarrollo de las antiguas culturas de Mesoamérica. Los hombres que pertenecieron a estas culturas conocieron las propiedades de las plantas y animales, empleándolas con fines curativos, tintoreros y religiosos. Los tintes se usaron en la preparación de colores para pintar murales, códices y el cuerpo. Las pinturas y códices que subsistieron a la destrucción de los conquistadores, así como las tradiciones que aún persisten en algunos pueblos indígenas dan también testimonio (Roquero, 1981).

En la actualidad la utilidad de los pigmentos naturales ha ido más allá del arte, la industria textil, gastronómica y cosmética; dichos materiales han sido utilizados para producir un nuevo tipo de celdas solares sensibilizadas por colorantes (CSSCN). Las celdas solares sensibilizadas por colorantes son uno de los sistemas más atractivos y promisorios para la conversión de energía solar en energía eléctrica debido a su razonable eficiencia, bajo costo y cuidado del ambiente (Carta et al., 2009). El funcionamiento de las CSSCN se basa en los principios similares a la fotosíntesis, ya que unas películas de nanopartículas interconectadas de dióxido de titanio reemplazan al fosfato de nicotinamida adenina dinucleótido (NADP^+) y al dióxido de carbono de los sistemas fotosintéticos naturales como el aceptor de electrones, mientras que los iones yoduro y triyoduro reemplazan al agua y al oxígeno como el donador de electrones y el producto de oxidación respectivamente (Graetzel, 2001).

Por otra parte, se ha propuesto que los pigmentos pueden ser uno de los mecanismos de defensa de los organismos, especialmente aquellos sésiles, como las plantas, contra la radiación ultravioleta (RUV), pues actúan como filtros de la radiación solar. Un ejemplo es la inducción de la síntesis de compuestos aromáticos y polifenoles en plantas expuestas a la RUV (Day, 2001; Ávila et al., 2005).

En el presente proyecto se evaluaron 13 extractos coloridos obtenidos de 10 especies vegetales y animales, abarcando la gama completa del espectro de la luz visible (400-800 nm), con el fin de identificar aquellos que presentaron mayor eficiencia fotovoltaica y fotoprotectora, así como la determinación de sus componentes químicos.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad fotovoltaica y fotoprotectora de extractos coloridos de plantas y animales usadas en culturas indígenas de México. Se prepararon 13 extractos metanólicos de cochinilla seca (*Dactylopius coccus*), añil seco (*Indigofera sufruticosa*) cuscuta fresca (*Cuscuta ssp*), dalia fresco y seco (*Dahlia coccinea*), jacaranda fresco y seco (*Jacaranda mimosifolia*), muicle fresco y seco (*Justicia spicigera*). En el caso de cempasúchil fresco (*Tagetes erecta*), clavel del moro fresco (*Tagetes patula*), pericón fresco (*Tagetes lucida*) y cochinilla del palo loco fresco (*Ceroplastes albolineatus*) se prepararon extractos con acetato de etilo/metanol 1:1. Los trece extractos fueron aplicados en las celdas solares tipo Graetzel para evaluar su capacidad como foto convertidores de energía lumínica en energía eléctrica. También se determinaron sus espectros de absorción UV-VIS, en especial en la región UV-B (250-280 nm) para seleccionar aquellos que se sometieron a pruebas de fotoprotección contra radiación ultravioleta (RUV) en colonias de *Escherichia coli* expuestas a RUV-B con y sin protección.

4. ANTECEDENTES

4.1. Uso tradicional de colorantes en México

México forma parte de un selecto grupo de países considerados como megadiversos, en el territorio nacional se encuentran cerca del 10 al 12% del total de las especies vegetales en el mundo (Toledo y Ordoñez, 1998), las cuales constituyen una fuente enorme de productos naturales utilizados en diversas culturas prehispánicas como remedios tradicionales, pintura para sus telares y códices, o en su gastronomía.

Algunos cronistas españoles que arribaron durante y después de la conquista del continente americano, como Fray Bernardino de Sahagún quedaron asombrados al observar la vida y las costumbres de las culturas indígenas y constatar la importancia que tenía en dichas culturas el respeto y el uso de la diversidad de los recursos naturales con los que contaban. En este caso debe hacerse hincapié en la importancia de las plantas tintóreas, que en algunas o en la mayoría de las culturas prehispánicas se convirtieron en mercancías que representaban riqueza, lujo o una alta jerarquía social; llegando incluso a convertirse en un recurso tan apreciable como el oro, la plata o algunas piedras preciosas (Ivic y Berger, 2008).

En la actualidad sobreviven diversas técnicas por las cuales se extraían los tintes naturales para aplicarlos sobre el cuerpo y otras artesanías que van desde textiles hasta vasijas. La mayoría de los tintes extraídos se obtenían de plantas o insectos de origen americano, sin embargo, con la llegada de los españoles se introdujeron algunos otros organismos con alto potencial tintorero. Los materiales colorantes fueron diversos, sin embargo, los colores mayormente usados eran los rojizos, amarillos, azules y verdes; los cuales podían extraerse de manera sencilla de semillas, flores, raíces y tallos, para poder elaborar otros colores era necesaria la combinación de tintes o la realización de una extracción un poco más elaborada de otros organismos (Rossignon, 1859).

Los artistas Mayas contaban con una gama cromática de más de 30 colores, los cuales utilizaron para la creación de obras como códices, murales y vasijas. Existen varios tipos de procedimientos que se utilizan para teñir con cochinilla y que eran usados en estas culturas, en su mayoría para teñir telas.

El tipo de color que se deseaba obtener usando cochinilla variaba de acuerdo a la cantidad de agua usada, así como a la combinación con otros elementos, por ejemplo la combinación de agua caliente, cochinilla y ácido cítrico permitía obtener colores crema, naranja y ocre (Arroyo, 2008).

Los mayas se destacaron en el ámbito del arte no solo por la creación de hermosas pinturas, sino que además lograron técnicas innovadoras y duraderas para la preservación de los colorantes, por medio de sustancias inorgánicas como la arcilla, lograron la fijación de compuestos orgánicos, como en este caso son los colorantes provenientes de plantas y animales (Magaloni, 2001).

Dentro de las plantas más utilizadas en el periodo Maya está el añil o jiquilite (*Indigofera suffruticosa*), esta planta produce un tinte de color azul brillante, que mediante cambios en el pH y combinaciones con otras plantas se logran tonalidades amarillas, verdes y hasta cafés (Cabezas, 2005).

Mucha de la información acerca del uso de la biodiversidad como productos tintóreos se perdió debido a la llegada de los colonizadores españoles, sin embargo, existe el trabajo de Fray Bernardino de Sahagún, el cual tiene como nombre “Historia general de las cosas de la nueva España” escrita entre 1570 y 1582; este escrito narra el pensamiento y la vida del mundo prehispánico, sus costumbres y tradiciones. Con la ayuda de escribanos indígenas, en el libro de Sahagún se pueden encontrar referencias detalladas de la flora y fauna de México, así como de los colores y el teñido de fibras (Lozoya, 1984).

La mayoría de los colorantes naturales utilizados por culturas prehispánicas provenían de fauna y flora que fuesen abundantes o que se reprodujeran con facilidad, ya que las culturas indígenas tenían un gran respeto por la naturaleza, por lo que solo tomaban de ella los elementos necesarios sin agotarla. Algunos de los organismos de los cuales se podían extraer colorantes con facilidad, que fuesen duraderos y abundantes son el zacatlaxcalli (*Cuscuta* sp) que es una hierba parásita del cual se obtiene un color amarillo intenso; el muicle (*Justicia spicigera*) un arbusto pequeño sumamente abundante en México y del cual se obtienen tonalidades azules, grises, violetas, ocre y verdes; la nochestli o grana cochinilla (*Dactylopius coccus*) un insecto parásito del nopal que mide de 4-5 mm y que al ser molido o triturado se obtiene un color rojo-carmín intenso; el jicamate o dalia (*Dahlia coccinea*) es una planta herbácea que tiene flores amarillas y rojas de las

cuales se puede obtener colores amarillos, naranjas y rojos; y por último el cempasúchil (*Tagetes erecta*) que también es una planta herbácea la cual presenta flores de color anaranjado de olor penetrante, de estas flores se puede obtener un color amarillo ocre (Arroyo, 2008).

4.2 Biología y Química de Colorantes de uso tradicional en México

Cochinilla

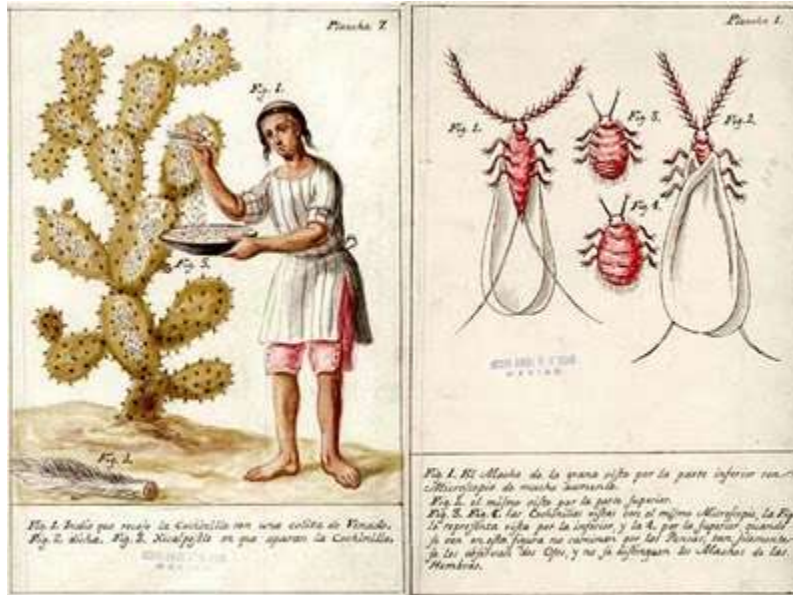


Figura 1. Cochinilla y su hábitat.

La cochinilla o *Dactilopyus coccus* es un insecto perteneciente a la familia de las Coccidea, es un organismo parásito que se encuentra adherido en las pencas de nopal (*Opuntia* sp) (Reyes-Chilpa et al., 1980) (Fig.1). En México este organismo puede localizarse en las regiones cálidas de la Ciudad de Oaxaca, Distrito Federal, Hidalgo, Puebla y en algunas ciudades de la región norte del país. La cochinilla tiene un gran valor cultural e histórico ya que contiene un tinte de color escarlata el cual ha sido usado desde tiempos ancestrales en culturas indígenas, se utilizaba principalmente en la tinción de textiles, pintura corporal, códices y murales, cabe mencionar que el uso de este tinte solo se permitía en la elite social. En la actualidad el tinte de cochinilla es usado para realizar pruebas biológicas, cosméticos, gastronomía y tiene aún auge en la industria textil.

El pigmento de la cochinilla se extrae retirando a los organismos de las pencas de nopal limpiándolos de manera meticulosa evitando que se queden adheridos residuos al animal, una vez que están limpios se dejan secar en un horno a 60° C para eliminar el agua que puedan contener; la cochinilla seca se muele en un mortero de porcelana para obtener un polvo de color rojo-purpura que se puede utilizar en diversas industrias (González et al., 2002).

En la mayoría de las cochinillas el principal componente es el ácido carmínico, algunas otras solo presentan huellas características de antraquinonas (Fig.2). Pruebas realizadas en *Dactilopyus coccus* nos demuestran que en su mayoría contiene ácido carmínico, aunque también pueden encontrarse sustancias como ácido carmésico y ácido flavocarmésico (Ferreira et al., 2004).

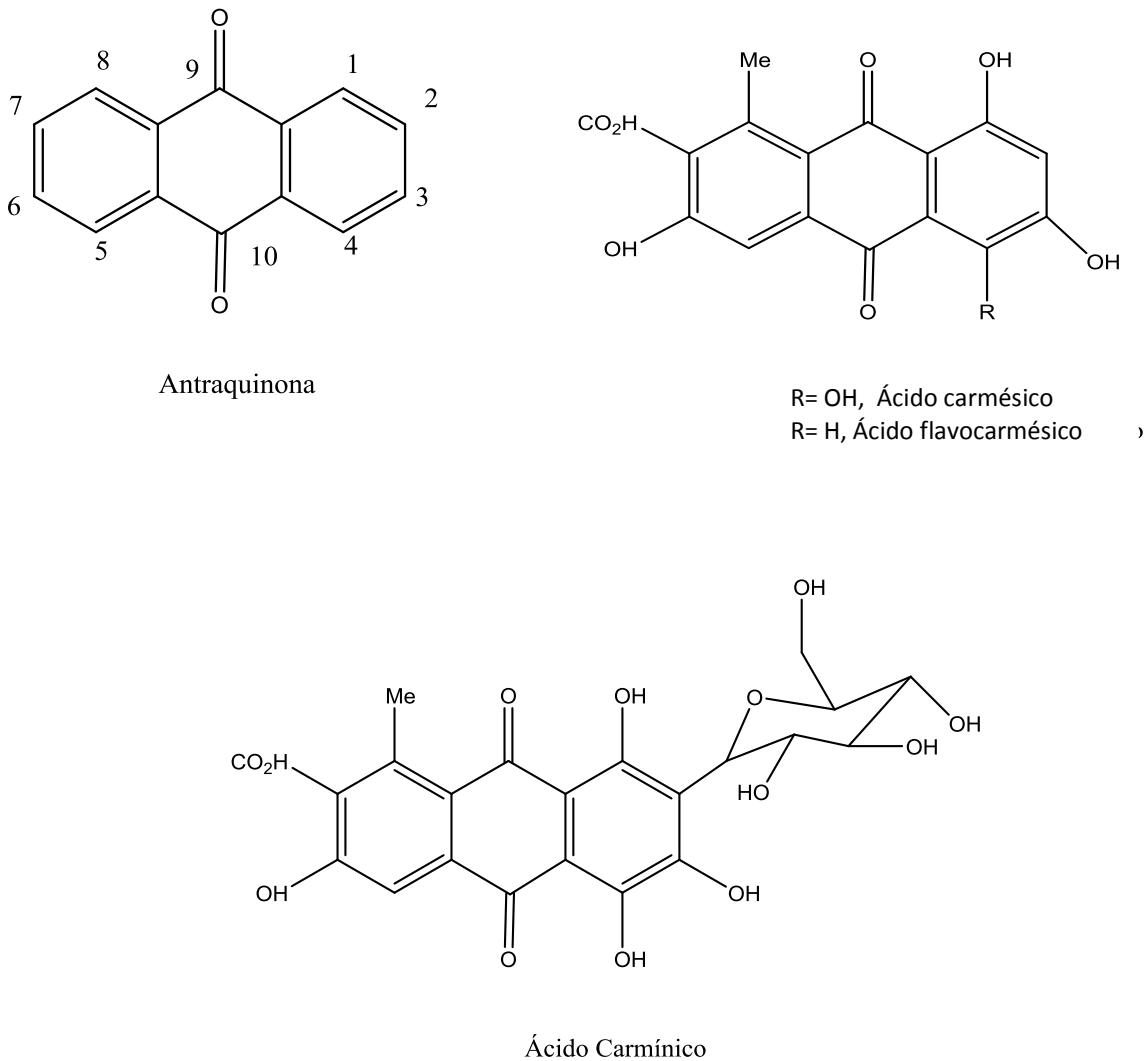


Figura 2: Estructuras de la Antraquinona, Ac. Carmésico, Ac. Carmínico.

Añil



Figura 3. *Indigofera suffruticosa*

El añil o Ch'oh como se le conoce en lengua Maya (*Indigofera suffruticosa*) pertenece a la familia Fabaceae, es un arbusto de entre 1- 1.5 m de altura generalmente muy ramificado con hojas de entre 11 a 17 foliolos (Fig. 3), es originario de América tropical continental y las Antillas, su distribución se da principalmente en zonas tropicales y crece con mucha facilidad en terrenos baldíos. Esta planta se encuentra distribuida a lo largo de la República Mexicana en estados que presentan clima tropical a cálido (Martínez, 1971; Andreotti, 2004).

El añil es muy apreciado por el tinte de color índigo que es producido por la planta *Indigofera suffruticosa*, esta planta fue cultivada en el México antiguo y colonial para su uso en la pintura de textiles, murales y pintura corporal.

El pigmento puede ser extraído tanto de hojas secas como frescas. En extracciones realizadas en soluciones de agua/acetonitrilo/ácido fórmico (75/25/0.1) se han encontrado como compuestos mayoritarios en esta planta a la indigotina e indirubina (Fig.4) (Angelini et al., 2006).

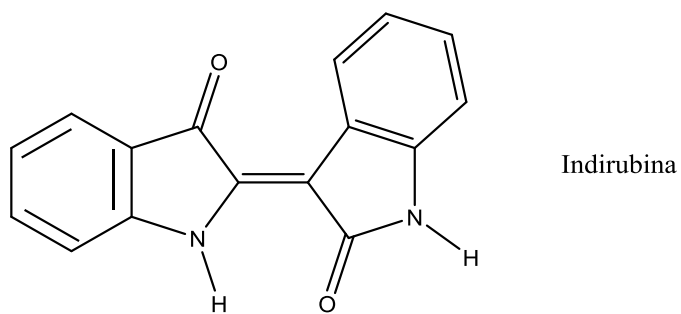
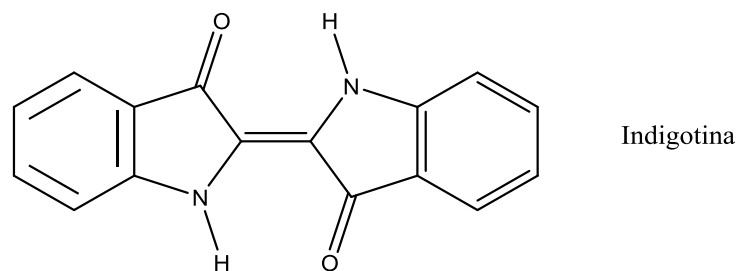


Figura 4: Estructura química de la indigotina e indirubina.

Jacaranda



Figura 5. *Jacaranda mimosifolia*

La jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*) es un árbol ornamental que pertenece a la familia Bignonaceae, son árboles frondosos de gran tamaño (1- 45 metros de altura) (Fig.5), muy conocidos en culturas latinoamericanas por su uso en la medicina tradicional en la cual ha sido utilizado por sus propiedades antimicrobianas, antivirales, anti parasitario y anti-cancerígeno. La especie es un árbol originario de Brasil y Argentina, sin embargo, se distribuye alrededor del mundo en países que cuentan con un clima tropical, y se le ha adoptado debido a que cuentan con flores y follaje de gran belleza (Zaghloul et al., 2011).

Los primeros estudios realizados para determinar el potencial antimicrobiano de *Jacaranda mimosifolia* se llevaron a cabo en Egipto y se observó que los extractos acuosos de ramas y semillas eran activos contra *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas* sp., *Mycobacterium phlei* y *Neisseria* sp (Gachet y Schühly, 2008; Nicasio y Meckes, 2005).

Uno de los componentes mayoritarios encontrados en las diferentes especies de jacaranda es la jacaranona (Fig.6), sin embargo, también se pueden encontrar algunas otras clases de quinonas (hidroquinona) (Fig.6) y un nuevo feniletanol glucósido (Rana et al., 2012).

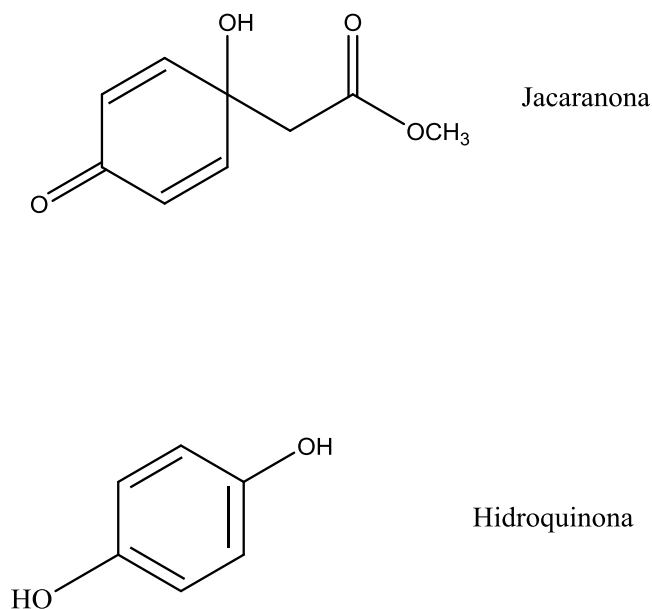
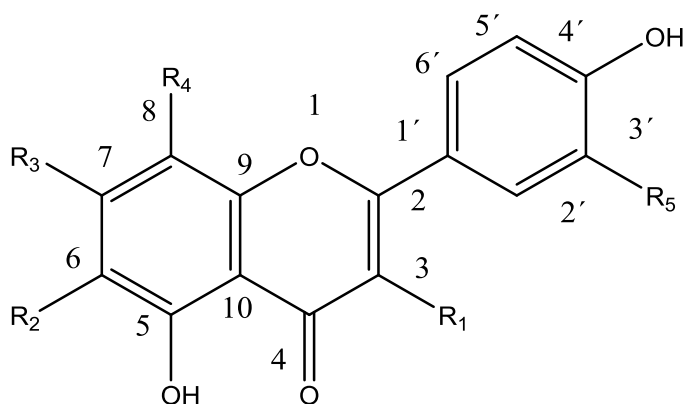


Figura 6. Estructura de la jacaranona e hidroquinona aislados de jacaranda.

Estudios realizados sobre *Jacaranda mimosifolia* (Moharram et al., 2007) han mostrado que en las flores existen una gran variedad de compuestos, este grupo de investigadores egipcios encontraron en un extracto acuoso/metanolico la presencia de un nuevo dimero feniletanoide (jacaraninosido A) de alto peso molecular, asi como otros compuestos feniletanoide ya conocidos como son: acetosido, isoacetosido, cistanosido, 6'-acetilacetosido y campneosido; también se pudieron reconocer siete flavonoides: isoquercitrina (Fig.7); scutellarein 7-0-β-D-glucuronopiranosido metil ester; apigenina 7-0-β-D-glucuronopiranosido metil ester; luteolin 7-0-β-D-glucopiranosido é isovitexin.

Además se logró aislar de las flores: delphinidin 3,5-diglucosido; delphinidin 3-glucosido; apigenina 7-0-neohesperidosido y apigenina-7-glucosido (Mahran et al., 1991).



$R_1 = O\text{-}\beta\text{-D- glucopiranosido}$, $R_2=R_3=R_4=H$; $R_5=OH$
 $R_1 = R_4 = R_5 = H$; $R_3 = \beta\text{-D- glucopiranosido metilester}$
 $R_1 = R_2 = R_4 = H$; $R_3 = \beta\text{-D- galacturonopiranosido}$
 $R_1 = R_2 = R_4 = H$; $R_3 = \beta\text{-D- glucopiranosido metilester}$; $R_5=OH$
 $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = H$; $R_3 = \beta\text{-D- glucuronopiranosidometilester}$
 $R_1 = R_2 = R_4 = H$; $R_3 = \beta\text{-D- glucopiranosido}$; $R_5=OH$
 $R_1 = R_3=R_4 = R_5=H$; $R_2 = C\text{-}\beta\text{-D- glucopiranosido}$; $R_5=OH$

Figura 7: Estructuras de flavonoides de la jacaranda.

Zacatlaxcalli

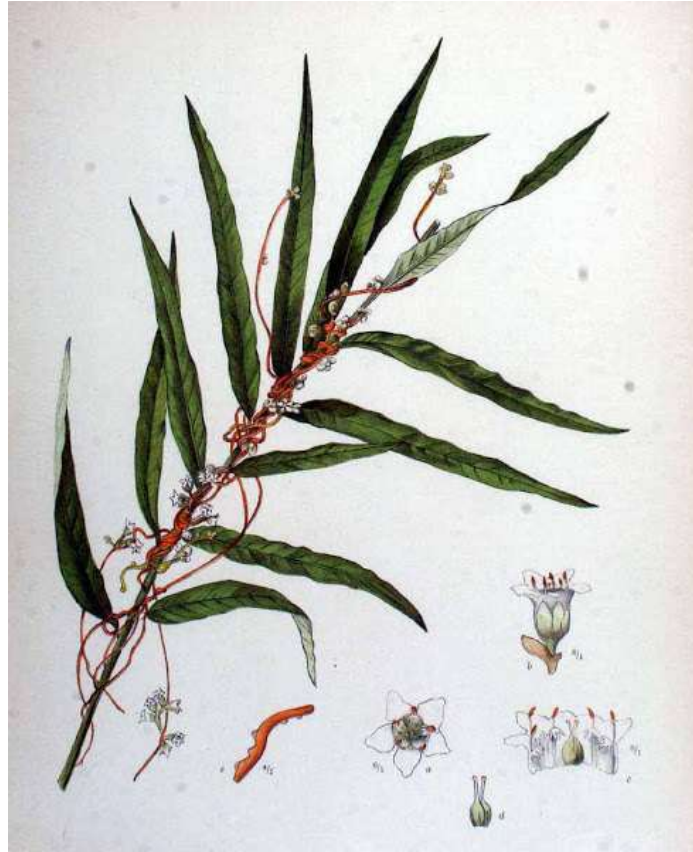


Figura 8. *Cuscuta*

Cuscuta es un género de entre 100 a 170 especies de plantas parásitas de color amarillo, conocida popularmente como zacatlaxcalli, es una especie de planta holoparásita que se encuentra ampliamente distribuida por el mundo (Fig. 8), carece de raíz y requiere de los nutrientes de los organismos que parasita.

Las plantas de *Cuscuta* tienen aspecto de hilos amarillos sin hojas ni raíces, es una planta anual que produce semillas que germinan cerca del suelo, el proceso de germinación es diferente de otras plantas parásitas ya que éste no depende de la presencia de compuestos químicos procedentes de la planta hospedera. En México se han reportado 58 especies que se distribuyen en diferentes altitudes, desde el nivel del mar, hasta zonas montañosas (Dawson, 1994; Herbario Instituto de Química UNAM 2012).

Las especies Mexicanas de *Cuscuta* son conocidas popularmente como zacatlaxcalli o “barbas del diablo”. Se han reportado diversos usos medicinales de esta planta, sin embargo, su uso tradicional es principalmente para la tinción de textiles.

Investigaciones realizadas en el Instituto de Química de la UNAM (Galindo y Soto, 2012), han determinado que los principales compuestos presentes en diferentes especies Mexicanas de *Cuscuta* son la quercetina y la morina (Fig.9).

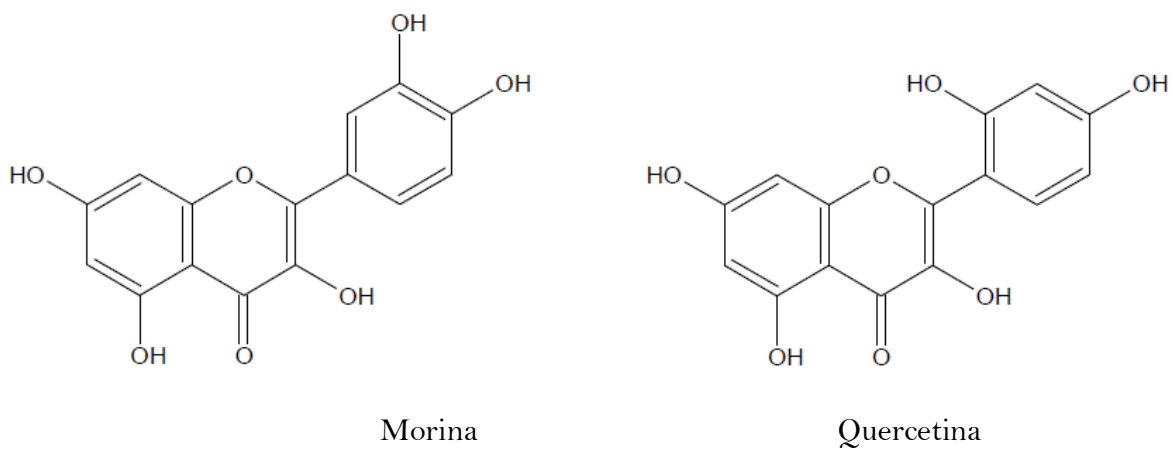


Figura 9. Estructuras químicas de los flavonoides encontrados en especies Mexicanas de *Cuscuta*.

Cempasúchil



Figura 10. *Tagetes erecta*

El cempasúchil o flor de muerto (*Tagetes erecta*) es una hierba anual de entre 60 cm -1m de altura, es muy aromática y llamativa debido a las grandes flores de color amarillo o naranja que presenta (Fig.10).

Es originaria de México, habita en climas cálidos y templados, es cultivada en nuestro país como planta de ornato y es utilizada en las ofrendas del tradicional día de muertos (Barragán y Gutiérrez, 1990).

El cempasúchil es una planta tradicional mexicana que se ha empleado en diversas culturas indígenas, se utiliza principalmente en padecimientos estomacales, enfermedades del sistema respiratorio, problemas gineco-obstétricos, y en algunas ocasiones es utilizado para curar males del sistema nervioso como insomnio o nerviosismo (Estrada, 1989).

Las flores y pétalos de esta planta son ricos en diversos carotenoides, siendo los más abundantes la luteína y xantofila y el flavonoide quercetagenina (Gregory, 1986). Diversos estudios han demostrado que los extractos de flor de cempasúchil tienen propiedades antioxidantes, esto se debe a la presencia de polifenoles (ácido gálico, ácido caféico) y flavonoides (quercetagenina, kampferol y quercetina) (Fig.11) (Gong et al., 2011).

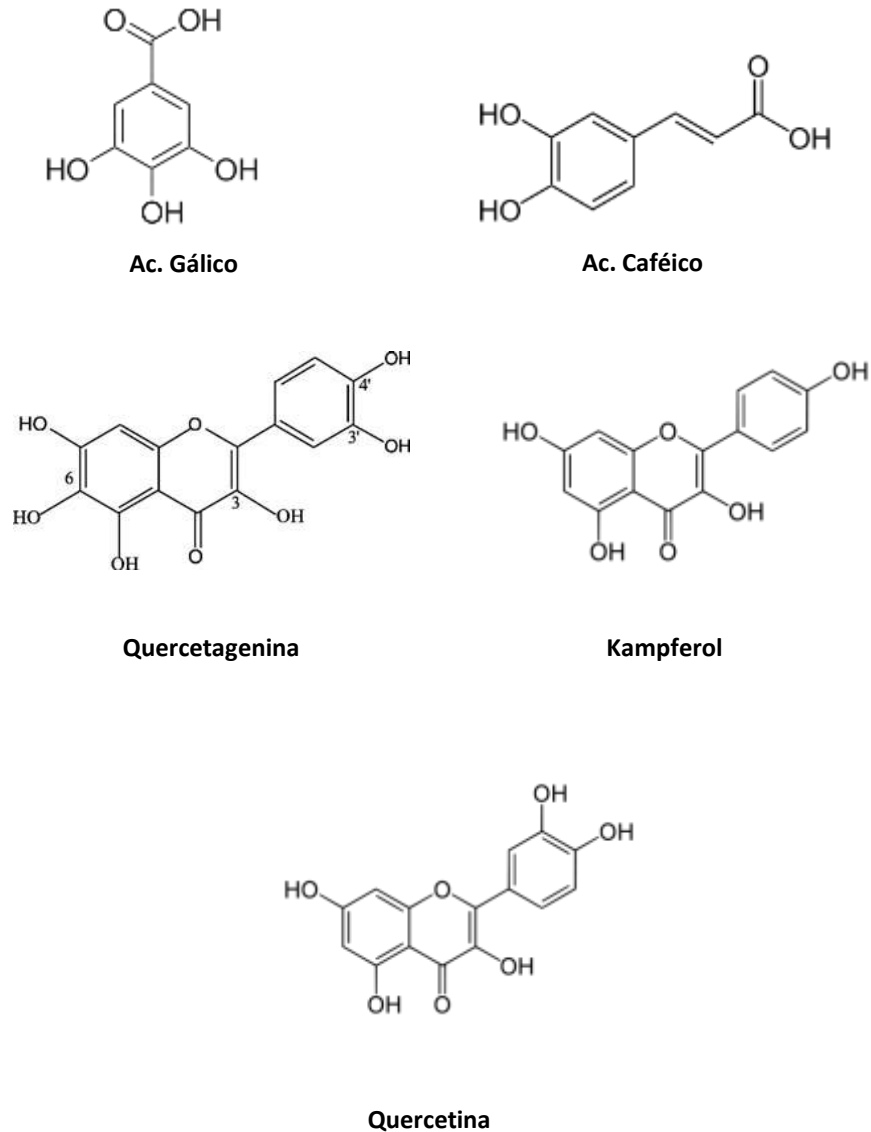


Figura 11: compuestos encontrados en las flores de *Tagetes erecta* (ac. galico y ac. cafeico) y (quercetagenina, kampferol y quercetina)

Clavel de Moro



Figura 12. *Tagetes patula*

El clavel de moro o damasquina (*Tagetes patula*) es una planta anual que mide entre 40cm-150 cm, presenta flores de diversos colores que van desde los amarillos, anaranjados, rojos y combinaciones de estos colores (Fig.12).

Es una planta originaria de México muy apreciada por la belleza de sus flores, actualmente es cultivada como planta de ornato, sin embargo, en algunas culturas indígenas es utilizada como planta medicinal (Badillo, 2001).

La Damasquina fue usada en la medicina tradicional principalmente para combatir granos en la piel, afecciones del sistema respiratorio como resfriados y bronquitis severas, como antihelmíntico e insecticida, en menor medida era usada para la tinción de telas.

Algunos estudios fitoquímicos han demostrado que diversas especies de *Tagetes* contienen una alta cantidad de flavonoides y terpenos con propiedades farmacológicas y anti-insecticidas.

El aceite esencial de *Tagetes patula* tiene un gran efecto larvicida sobre *Aedes aegypti*, *Anopheles stephensi* y *Culex quinquefasciatus* (Tereschuk et al., 2003; Perich et al., 1995; Dharmagadda et al., 2005).

Se ha reportado que en el aceite esencial extraído de las partes aéreas de *Tagetes patula* existen 15 compuestos diferentes siendo los mayoritarios la piperitona (37%) y terpinoleno (13%) los cuales presentan un efecto inhibitor del crecimiento bacteriano de *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas aeruginosa* de entre un 30% a un 15% en comparación con la inhibición de algunos medicamentos como sulbactam-ampicilina, aztreonam, vancomicina, netilmicina y cefoperazon (Rondón et al., 2009).

Pericón



Figura 13. *Tagetes lucida*

El pericón, hierba anís o hierba nube (*Tagetes lucida*) es una planta herbácea perenne de aproximadamente 80cm de alto, presenta ramificaciones desde la base del tallo, hojas simples y

flores pequeñas de color amarillo intenso y con olor a anís muy penetrante (Fig.13). El pericón es una planta originaria de México, Guatemala y Honduras, habita principalmente en climas cálidos, templados y secos, es común encontrarlo en terrenos abandonados o de cultivo.

En el código florentino se cuenta que *Tagetes lucida* se colocaba al fuego sustituyendo al incienso y que así era útil para curar infinidad de enfermedades, especialmente la de los ojos y con efecto calmante para los que iban a ser sacrificados (atenuante, medicinal y ceremonial); el pericón también tuvo entre otros usos el teñido de telas, saborizante anisado en algunas bebidas y licores, como cura para el hipo, la diarrea y como nematocida (Serrato, 2009; Cáceres et al., 1990).

Uno de los componentes principales en el aceite esencial del pericón es el estragol, sin embargo, contiene algunos flavonoides como son la quercetina, quercetagenina, tagetona, tagetina y kampferol (Fig. 14).

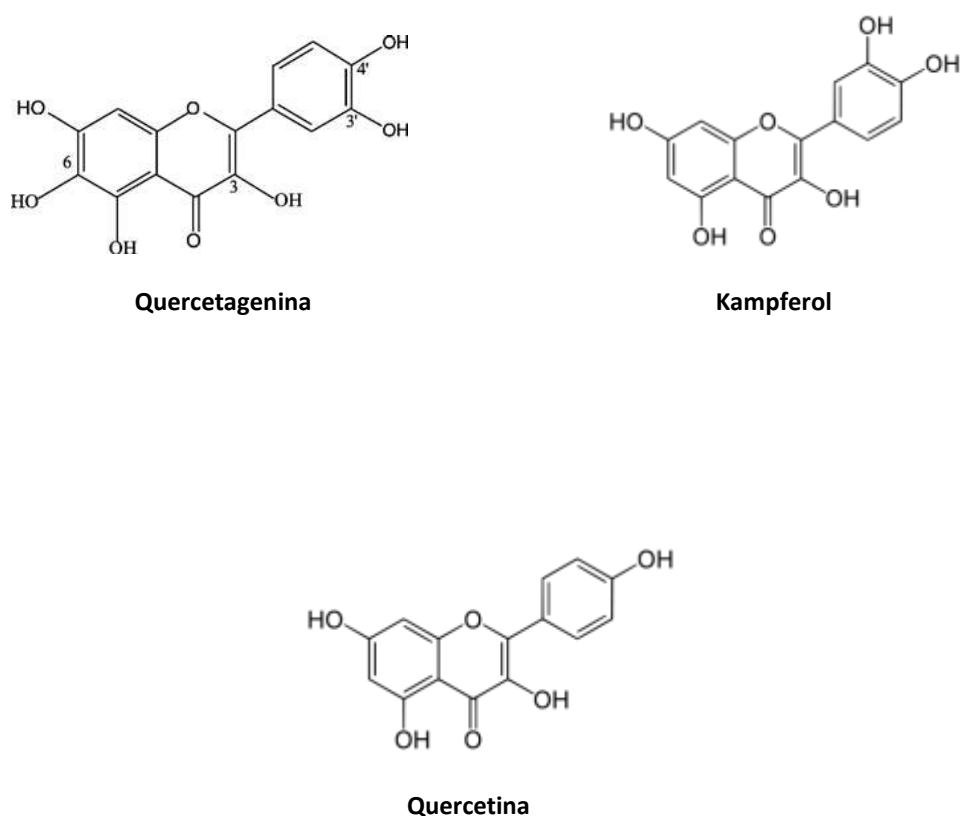


Figura 14: Estructuras de compuestos mayoritarios en *Tagetes lucida*

Muicle



Figura 15. *Justicia spicigera*

En el mundo existen aproximadamente 700 especies de *Justicia*, de las cuales un 60% se encuentran en Asia, la mayoría de estas especies son de climas tropicales y subtropicales. En Latinoamérica se encuentran distribuidas alrededor de 300 especies de *Justicia*, sin embargo, solo tres de estas especies han sido utilizadas con propósitos medicinales en diferentes culturas prehispánicas (Graham et al; 1988; Ezcurra et al., 1999).

En México una de las especies de *Justicia* que ha sido utilizada en la medicina tradicional es el muicle (*Justicia spicigera*), el muicle es una planta perene de hojas ovaladas, flores tubulares de color naranja-rojizo (Fig.15).

Esta planta ha sido utilizada desde tiempos prehispánicos para tratar problemas gastrointestinales, menstruales, parasitismo intestinal, ectoparásitos de piel e incluso para tratar la anemia. En la actualidad en algunas comunidades indígenas se suelen realizar baños con el

macerado de la planta para la purificación de la sangre o se beben las infusiones realizadas con las hojas y las flores (Caceres, 1987).

La información sobre los compuestos químicos de *Justicia spicigera* es escasa, sin embargo, en 1982, Euler y Adam lograron aislar como componente mayoritario a los flavonoides camferitrin, alantoin y en los retoños de las hojas taninos (Fig. 16) (Domínguez, 1990).

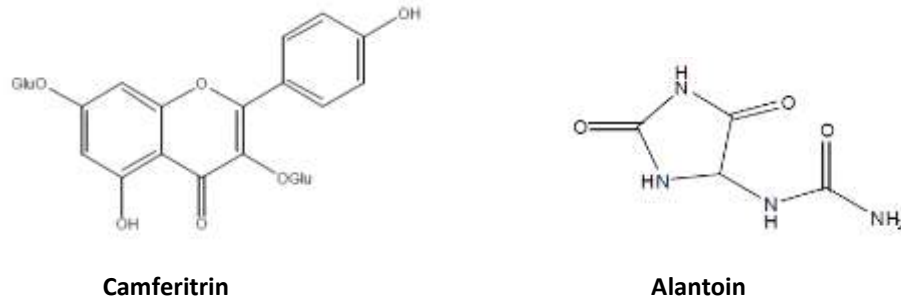


Figura 16: Estructuras de compuestos mayoritarios en *Justicia spicigera*

Cochinilla de palo loco

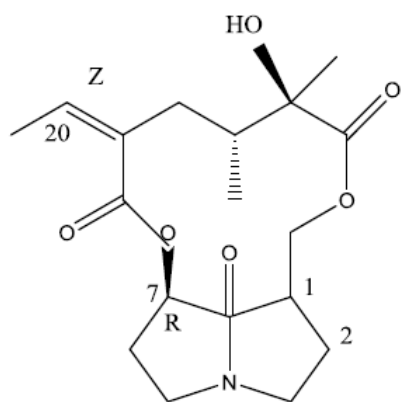


Figura 17. Ceroplastes albolineatus

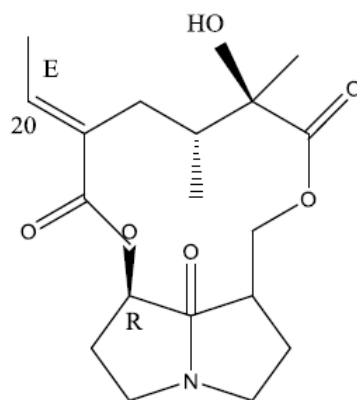
La cochinilla del palo loco (*Ceroplastes albolineatus*) es un insecto parásito perteneciente a la familia de las Coccidae, su ciclo de vida lo lleva a cabo adherido en las ramas y troncos de *Pittocaulon praecox* que es un árbol endémico de la zona centro y sur de México (Fig.17).

El *Pittocaulon praecox*, también conocido como palo loco, ha desarrollado la producción de alcaloides de pirrolidizina como defensa ante algunos depredadores. Una de las características particulares de *C. albolineatus* es que aprovechan los alcaloides generados por el árbol para usarlos como mecanismos propios de defensa, al ser un animal que vive adherido al árbol y se alimenta de su floema, los alcaloides son ingeridos por medio de la savia, la cochinilla de palo loco no solo cuenta con los alcaloides como mecanismos de protección ante depredadores, sino que también ha desarrollado una capa gruesa de ceras que lo protegen de depredadores y de los cambios en el ambiente, cabe mencionar que dichas ceras también contienen alcaloides (Loaiza et al., 2007).

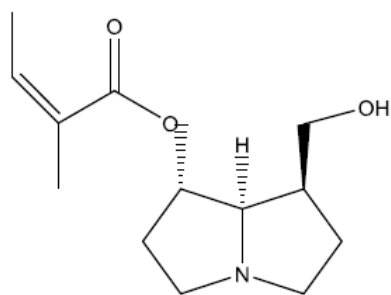
En la actualidad no se cuenta con mucha información disponible acerca de *Ceroplastes albolineatus*, solo se conoce su ciclo de vida, anatomía, y se sabe que es un insecto parásito que cuenta con algunos tipos de alcaloides provenientes del árbol al cual parasita (*Pittocaulon praecox*) los cuales son: Senkirkenin, neosenkirkenin, 7-angeloyldihidroxiheliotridane y 9-angeloyldihidroxiheliotridane (Fig. 18) (Loaiza et al., 2007). Sin embargo, no se sabe si tiene algún tipo de uso en la medicina tradicional de México o como colorante natural.



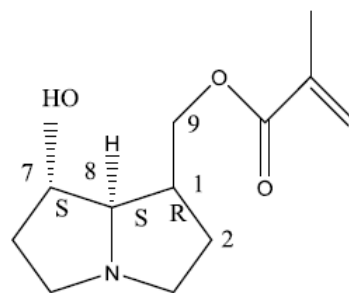
Senkikrine



Neosenkikrine



7-Angeloyldihydroxiheliotridane



9-Angeloyldihydroxiheliotridane

Figura 18: Alcaloides en *Pittocaulon praecox*

Dalia



Figura 19. Dahlia coccinea

El mirasol o dalia (*Dahlia coccinea*) es una planta perteneciente al orden de las Asterales, se caracteriza por la presencia de inflorescencias o un conjunto de flores que funcionan como una sola flor (Fig. 19), las dalias se distinguen de otro tipo de plantas compuestas por que presentan raíces tuberculosas a manera de camote, tallos huecos y hojas pinnadas. Existen aproximadamente 45 especies de dalias a lo largo del continente americano, sin embargo, más del 70% son endémicas de México (Monterrojo, 2013).

La dalia es una planta muy apreciada en todo el mundo debido a su belleza y a la diversidad de colores que presenta, que van desde los amarillos, rojos, anaranjados, hasta rosa y violáceos. El cultivo de esta flor se remonta desde la época de los aztecas, los cuales la utilizaban principalmente como flor de ornato en rituales religiosos y de la elite social (Bye y Linares, 2008).

En algunas culturas indígenas de nuestro país la raíz de esta planta se utiliza para hacer un té que se emplea contra la tos y los fuegos labiales, los bulbos también son utilizados como diuréticos, diaforéticos y para aminorar los cólicos menstruales.

En México la dalia es la flor nacional, por lo cual el 12 de octubre de 1995 se formó la “Asociación Mexicana de la dalia o Acocoxochitl”, esta asociación tiene como propósito principal el promover y difundir la importancia cultural de esta flor (Treviño et al., 2007).

4.3 Radiación solar

El sol es una estrella perteneciente a nuestro sistema solar, su origen al igual que la mayoría de los planetas, consta de un conjunto de gases incandescentes que al girar provocó que los gases de mayor peso formaran un núcleo, mientras que los gases más ligeros formaron parte de una superficie, la energía proveniente del sol es el resultado de la constante transformación de su núcleo que convierte átomos de hidrógeno en átomos de helio (Fligge et al., 2001).

El sol es una inmensa fuente de energía inagotable con un diámetro de 1.39×10^9 metros situado a la distancia media de 1.5×10^{11} m respecto a la tierra. Se trata de una estrella que ilumina y calienta la tierra, se comporta como un reactor de fusión nuclear, tiene una temperatura de 5500°C en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Dicha energía se distribuye como radiación electromagnética de unos 5.4×10^{24} joules (J).

La energía proveniente del sol es conocida como radiación solar, la radiación solar que recibe la tierra es del orden de 1.5 kilovatios (kW) por hora, cantidad energética que puede cubrir las necesidades de todo el planeta, por lo cual la radiación solar es considerada como una de las fuentes de energía renovable con mayor potencial.

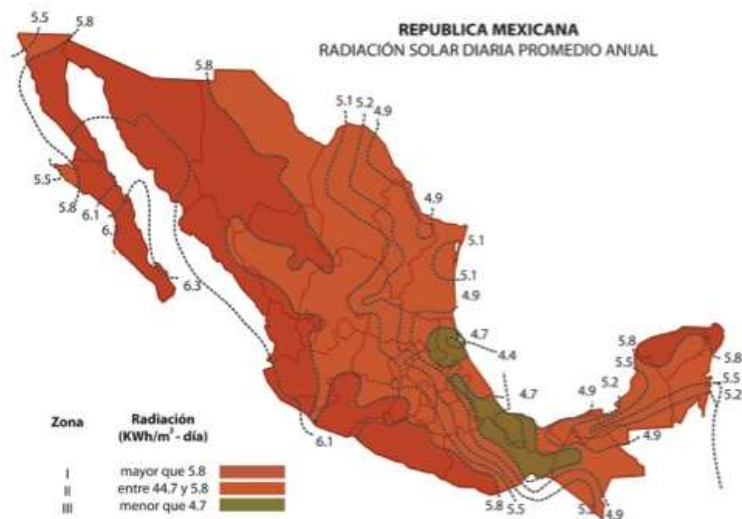
La radiación solar emitida por el sol llega a la atmósfera de la tierra de forma debilitada debido a la distancia a la que se encuentra un astro del otro, la energía neta del sol que golpea a la tierra es de aproximadamente 1360 vatios por metro cuadrado (W/m^2), sin embargo, esta energía es

atenuada aún más por la presencia de la atmósfera terrestre, por lo que la radiación en la superficie terrestre es de 1000 W/m^2 . Se distinguen tres tipos de radiación solar en función de cómo inciden los rayos del sol sobre la tierra:

- **Directa:** es la recibida desde el sol sin que se desvíe en su paso por la atmósfera.
- **Difusa:** es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera.
- **Albedo o reflejada:** es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

La intensidad de la radiación solar que golpea un lugar específico en la tierra estará determinada de acuerdo con la altitud y latitud, la hora del día, condiciones atmosféricas (tipo y concentración de gases atmosféricos, nubosidad, partículas de agua, fenómenos de absorción y reflexión de la atmósfera) y a la posición de la tierra (Fligge et al., 2001).

México está ubicado en el cinturón solar de la tierra por lo que tiene una alta incidencia de radiación solar en la gran mayoría de su territorio, la zona norte de nuestro país es una de las más soleadas a nivel mundial durante todo el año. Con una radiación media anual de aproximadamente 5kWh/m^2 por día, México es uno de los países a nivel mundial que presentan condiciones ideales para el aprovechamiento masivo de este tipo de energía (Fig. 20).



Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas. Disponible en:
<http://genc.ile.org.mx/genc/siger/frames.asp?mcontador=21336&url=mapas1%2Ehtm>

Figura 20: Radiación promedio anual en la República Mexicana

La luz solar está compuesta por un espectro electromagnético de radiación continuo, el cual se divide en tres principales longitudes de onda electromagnéticas: ultravioleta (UV), visible e infrarrojo (Fig. 21). La radiación UV comprende las longitudes de onda que van desde los 200 hasta los 400 nm, la luz visible va desde los 400 hasta los 700 nm, mientras que el infrarrojo comienza a partir de los 700 nm.

Espectro solar

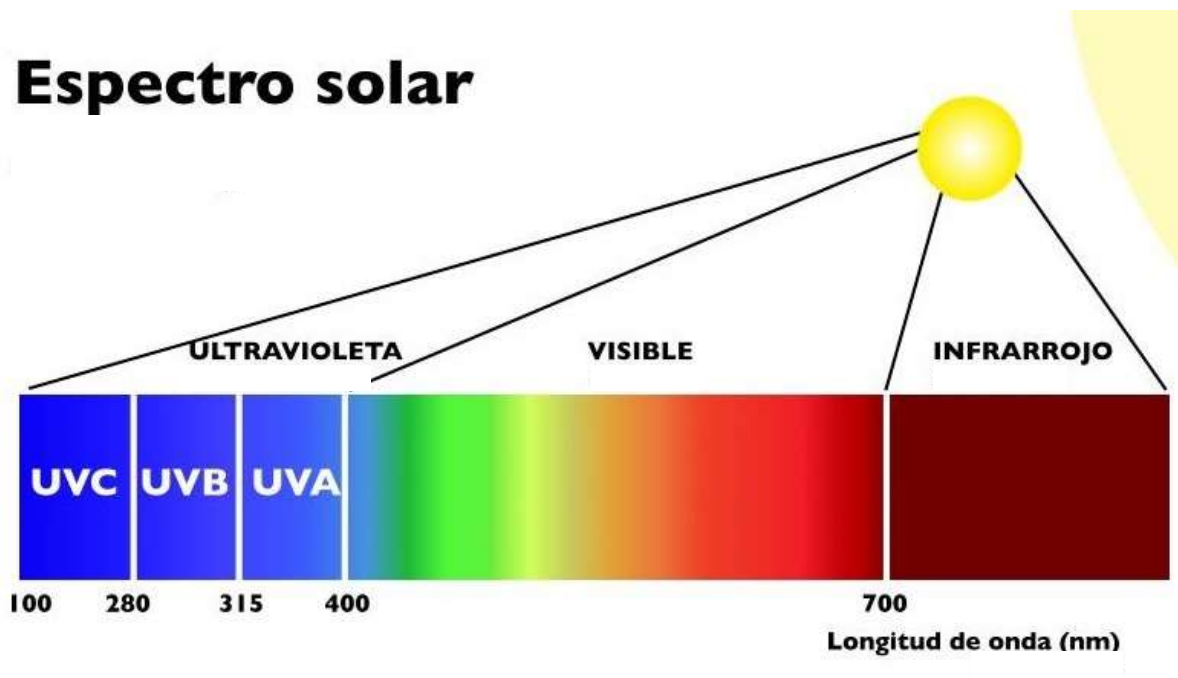


Figura 21: Principales longitudes de onda del espectro electromagnético

La radiación UV está dividida a su vez en tres secciones, cada una de las cuales presenta diferentes efectos biológicos: UVA (320-400 nm), UVB (280-320 nm) y UVC (200-280 nm). La radiación UVC es bloqueada de manera efectiva por la capa de ozono, sin embargo, la radiación UVA y UVB llega a la tierra en cantidades suficientes como para causar daños biológicos importantes en piel y ojos. Las longitudes de onda presentes en la región UVB del espectro solar son absorbidas por la piel y en algunas ocasiones llegan a provocar quemaduras, eritema y eventualmente cáncer de piel. Aunque la radiación UVA es el componente mayoritario de la radiación UV al cual estamos expuestos es con la cual se presenta menor probabilidad de que se desarrolle cáncer de piel (Matsumura et al., 2004).

4.4 Celdas solares sensibilizadas por colorantes naturales

El abuso y agotamiento de recursos energéticos finitos como el petróleo, el incremento en la producción del gas invernadero, la contaminación ambiental y de recursos naturales han influido en la explotación y el uso adecuado de fuentes renovables, así como la creación y desarrollo de

tecnologías que nos permitan aprovechar estas fuentes de energías limpias al máximo. En la última década se han realizado investigaciones para el desarrollo de tecnologías renovables, algunas tecnologías en las cuales se ha trabajado son en la producción de energía eléctrica y combustibles como el hidrógeno a partir de la luz solar, y su almacenamiento, lo cual revolucionaria de manera importante la forma en la que vivimos nuestras vidas si estos conocimientos fueran aplicados en la actualidad y en el futuro (Chang et al., 2010).

El efecto fotovoltaico fue descubierto por Becquerel en 1839, pero no fue sino hasta 1950 que se desarrolló un dispositivo que fuera capaz de convertir la energía solar en energía eléctrica. Desde entonces dichos dispositivos han evolucionado, en la actualidad las celdas solares están hechas de diferentes materiales y estructuras. El parámetro más importante que debe cumplir una celda solar es la eficiencia, es decir, la capacidad que ésta tiene para convertir la mayor cantidad posible de energía solar en energía eléctrica (Morales-Acevedo y Casados-Cruz, 2012).

Las celdas solares sensibilizadas por colorantes naturales (CSSCN) o celdas solares tipo Graetzel, fueron inventadas por Michael Graetzel y Brian O'Regan en la Escuela Politécnica Federal de Lausanne, Suiza en 1991; esta nueva tecnología de celdas solares de bajo costo y que pertenecen al grupo de celdas solares de película delgada, están basadas en un semiconductor formado entre un ánodo fotosensibilizado y un electrolito, un sistema fotoelectroquímico (O'Regan and Grätzel 1991; Nogueira, 2001).

Las principales ventajas en una celda solar se pueden tomar como: 1) Un buen desempeño bajo condiciones estándares reportadas previamente, 2) desempeño estable a condiciones no estándares de temperatura, radiación y ángulo de incidencia solar, 3) materiales que sean baratos y que sean amigables con el medio ambiente, 4) semitransparencia y posibilidad de diversos colores para adaptabilidad estética en las construcciones (Planells et al., 2008).

Existen un par de medidas que son usadas para caracterizar cualquier celda solar. Una de ellas es la eficiencia cuántica (EC), que se refiere al porcentaje de fotones que se encuentran golpeando la superficie foto-reactiva que produce un par de electrones. La eficiencia de conversión de energía (n) en una celda solar es el porcentaje de potencia convertida de luz solar a energía eléctrica. El punto de potencia máxima es el punto que se encuentra en la curva voltaje-corriente

(V-I) de un módulo solar bajo iluminación, donde el producto de la corriente y el voltaje es máximo. El factor de llenado (FF) es la relación entre el punto de potencia máxima dividido por el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) y la corriente de corto circuito (ISC).

4.5. Uso de colorantes como fotoprotectores contra la RUV

La evolución de la vida en la tierra ha sido posible gracias al desarrollo de la capa de ozono situada en la estratósfera de la tierra, la cual actúa como una pantalla de protección contra rayos UV, absorbiendo rayos UV-C (<280 nm) UV-B (280-315 nm) y parte de la radiación UV-A (315-400 nm), algunos de estos causantes de daños a nivel estructural y celular en plantas y animales.

En la actualidad se sabe que el desarrollo del metabolismo del polímero fenólico fue parcialmente inducido por la radiación UV-B, lo cual jugó un papel sumamente importante en la evolución de las plantas terrestres. Flavonoides y ligninas, ambos productos del metabolismo del polímero fenólico ocurrieron en angiospermas y gimnospermas; mientras que los fenoles simples se encuentran presentes en las plantas inferiores. Estos compuestos pudieron actuar como filtros UV en los progenitores de las plantas vasculares, dándoles la cualidad de proteger a los organismos que los poseen contra los efectos adversos de la luz solar (Rozema et al., 1997).

En la actualidad, hay un gran interés en el estudio de compuestos naturales que puedan retardar el efecto o las alteraciones celulares ocasionadas por la exposición a la radiación ultravioleta (RUV), y que puedan ser usados como fotoprotectores. Dentro de los compuestos de interés están presentes sustancias con propiedades antioxidantes, antimutagénicas, antiinflamatorias o inmunomoduladoras.

Estudios actuales se han enfocado en sustancias naturales que tienen un gran potencial para la prevención de carcinomas y otros padecimientos cutáneos ocasionados por la exposición a la RUV, estas sustancias incluyen a los polifenoles, flavonoides, isoflavonas, fenoles, antocianidinas y carotenoides.

El uso de productos naturales con propiedades fotoquimiopreventivas puede tener grandes implicaciones en la reducción del riesgo del cáncer, aunado a un cambio en el estilo de alimentación (Afaq et al., 2005).

El análisis en el efecto que tiene el uso de sustancias naturales para la prevención de daños por exposición a los RUV tiene dos líneas de acción: 1) sustancias capaces de absorber la RUV y actuar como filtros; 2) evitar que se den los procesos o cascadas de señalización celular que provocan activación de agentes moleculares implicados en el cáncer (Afaq et al., 2005).

5. OBJETIVOS

- Identificar los extractos de algunas especies vegetales y animales de México que tengan eficiencia como fotosensibilizadores para las celdas solares sensibilizadas por colorantes (CSSCN).
- Evaluar la capacidad de extractos de especies vegetales y animales como fotoprotectores contra la radiación UV en un modelo bacteriano.
- Identificar algunos de los compuestos presentes en el o los extractos con mayor eficiencia fotovoltaica y como fotoprotectores.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se dividió en cuatro etapas (Fig. 22). La primera etapa consistió en la colecta de 10 organismos y la preparación de 13 extractos coloridos.

En la segunda etapa se llevó a cabo el ensamblaje de las celdas solares tipo Graetzel, antes de aplicar cada uno de los 13 extractos coloridos. Las CSSCN se lavaron con etanol, a continuación, se colocó una capa muy delgada de TiO_2 , material sobre el cual se aplicaron los extractos coloridos, se ensamblaron por completo las celdas con todos los componentes necesarios para tomar las mediciones de foto-conversión. Los parámetros que se evaluaron en las celdas solares fueron: eficiencia de conversión lumínica a energía eléctrica de cada uno de los extractos coloridos, radiación incidente sobre la celda solar, temperatura y horario de toma de muestra. Los parámetros de foto-conversión fueron tomados bajo condiciones de iluminación 1.5 AM (Graetzel et al. 1991, 2009).

La tercera etapa consistió en la evaluación de la capacidad fotoprotectora de los extractos que contaron con un rango de absorción entre los 280- 315 nm (UVB). La valoración de la actividad fotoprotectora se realizó con experimentos donde se induce la muerte celular en poblaciones bacterianas de *E.coli* expuestas a RUVB con y sin protección durante varios rangos de tiempo.

En la cuarta etapa se aislaron e identificaron los compuestos presentes en uno de los extractos que mostró tener mayor eficiencia en la conversión lumínica en energía eléctrica, así como alta capacidad de fotoprotección.

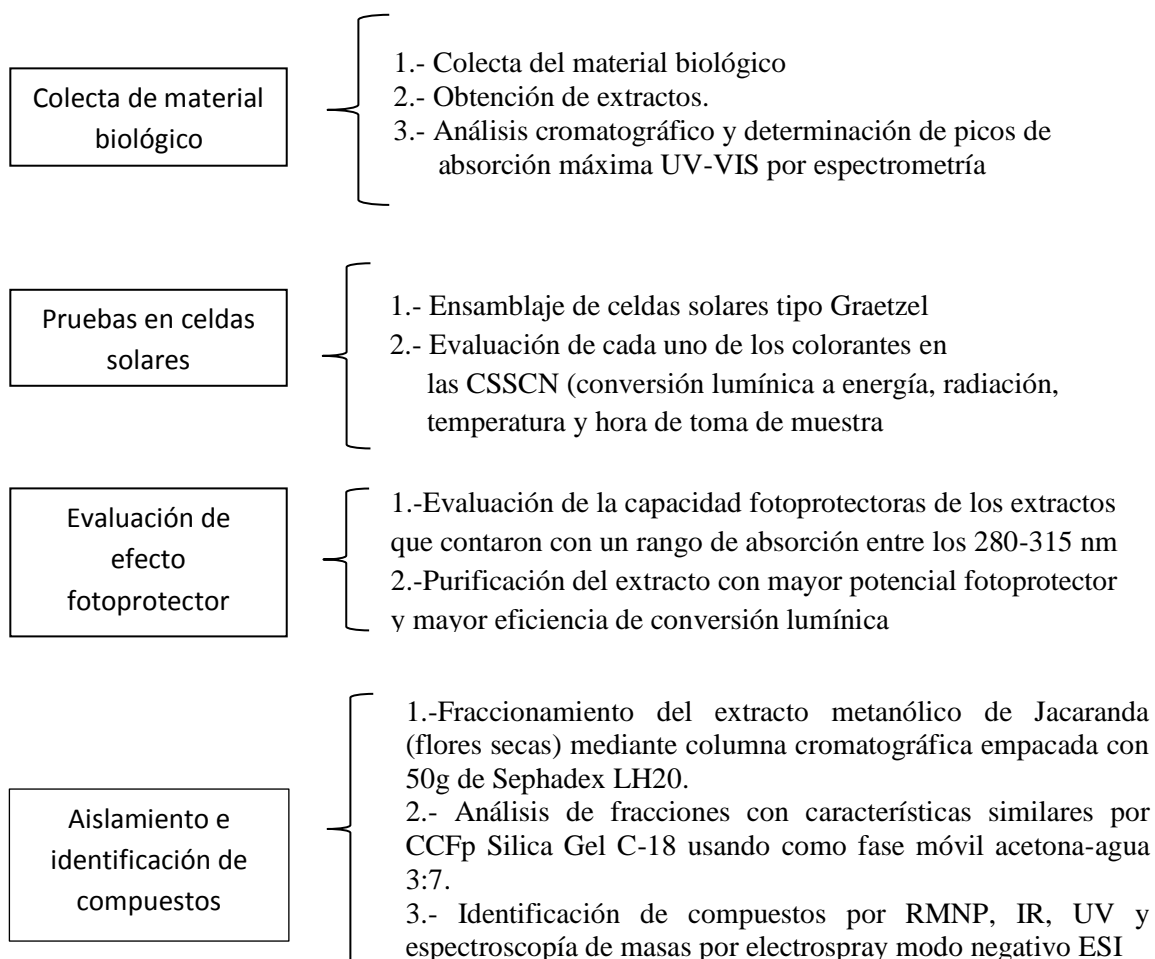


Figura 22. Estrategia metodológica

6.1 COLECTA DE MATERIAL BIOLÓGICO

Colecta del material vegetal y animal

La colecta de los materiales vegetales y animales se realizó en diferentes zonas de la Ciudad de México y en algunos estados de la República Mexicana, como se menciona en el siguiente listado:

- *Jacaranda mimosifolia*: Parque de los venados, División del Norte. Esq. Municipio Libre S/N, Portales Norte, Benito Juárez, Ciudad de México, Distrito Federal.
- *Dactylopius coccus*: Museo de la cochinilla, Coyotepec, Oaxaca.
- *Cuscuta sp*: Parásita sobre *Bacharis conferta*. Huitzila, Municipio de Soledad Atzompa, Veracruz.
- *Dahlia coccinea*: Jardín Botánico del Instituto de Biología UNAM, circuito zona deportiva de Ciudad Universitaria.
- *Ceroplastes albolineatus*: Circuito de la investigación científica Ciudad Universitaria.
- *Justicia spicigera*: Mercado de Flores y plantas de Cuemanco, Periférico sur S/N, Col. Cuemanco, Del. Xochimilco.
- *Tagetes erecta*: Jardín Botánico del Instituto de Biología UNAM, circuito zona deportiva de Ciudad Universitaria.
- *Tagetes patula*: Jardín Botánico del Instituto de Biología UNAM, circuito zona deportiva de Ciudad Universitaria.
- *Tagetes lucida*: Jardín Botánico del Instituto de Biología UNAM, circuito zona deportiva de Ciudad Universitaria. Tania...
- *Indigofera tinctoria*: Mercado de Sonora, Av. Fray Servando Teresa de Mier, Col. Merced Balbuena.

Algunos de los organismos colectados se dividieron para trabajarse en material seco y fresco.

Extractos

Para la realización de los extractos se usaron muestras frescas y secas de los organismos colectados. Se hicieron dos tipos de extractos de acuerdo con la naturaleza polar de los materiales vegetales y animales. Los primeros extractos fueron metanólicos y se realizaron con 20g de material triturado de cochinilla, *Cuscuta*, añil, dalia, jacaranda y muicle. Estos 20g de muestras se colocaron cada uno en un matraz con 750 mL de metanol al 100% y se dejaron macerar por 4 días, todos los matraces fueron forrados con papel aluminio para evitar el contacto con la luz.

El segundo tipo de extracto se realizó con 15g de ejemplares triturados de cempasúchil, clavel de moro, pericón y cochinilla de palo loco, cada una de las muestras se puso de manera individual en un matraz con 750 mL de acetato de etilo/ metanol 1:1 y se dejaron macerar por 4 días; al igual que los extractos de metanol todos los matraces fueron forrados con papel aluminio para evitar el contacto con la luz. Una vez que todas las muestras se dejaron macerar se procedió a retirar el exceso de solvente con ayuda de un rotavapor BUCHI para obtener los extractos crudos.

6.2 PRUEBAS EN CELDAS SOLARES

Ensamblaje de las celdas solares

Para esta segunda fase se utilizó un Kit de celdas solares nanocristalinas, (Institute for Chemical Education, 1 Departamento de Química de la Universidad de Winsconsin-Madison, USA). El kit de celdas solares nanocristalinas contiene dos placas de vidrio semiconductor recubiertas con una capa fina de SnO₂, polvo coloidal de TiO₂, cinta adhesiva de cobre, solución de yoduro 0.5 M (electrolito), y pinzas de lagarto.

Para el ensamblaje de las celdas solares se requirió limpiar las placas de cristal semiconductor por ambos lados con etanol al 100% para evitar residuos de grasa o basura que pudiera intervenir o alterar el circuito eléctrico, una vez limpias las placas de cristal se identificó con un multímetro uno de los lados de las placas el cual consta de la capa semiconductor fina de SnO₂, en este lado de la placa se depositó una fina cobertura de TiO₂ con el colorante, en la otra placa de cristal el lado semiconductor contenía líneas hechas con un lápiz de grafito que sirve como catalizador

para el electrolito de triyoduro. Los dos lados semiconductores se unen hacia el centro, una vez que la placa este totalmente ensamblada.

La capa de dióxido de titanio se realizó tomando 6 gr de polvo de TiO_2 , al cual se le agregó una solución de acetyl acetona/ H_2O (0.2ml/ ml). Esta solución se fue incorporando gota a gota en el polvo de TiO_2 hasta formar una suspensión, después se agregaron unas gotas de Triton X100 y la suspensión se dejó equilibrar por 15 minutos en una botella tapada y forrada con papel aluminio para evitar su reacción con la luz.

Después de los 15 minutos de reposo se tomaron unas gotas de la suspensión con una varilla de cristal y se depositaron en uno de los lados semiconductores de la placa de cristal, previamente se colocaron sobre la placa de cristal cintas adhesivas en los extremos para dejar libre un centro de aproximadamente 1cm^2 , en donde se colocó la suspensión de TiO_2 . Una vez que se aplicaron las gotas de TiO_2 en el centro de la placa, se tomó otra varilla de cristal y se aplicó presión sobre las gotas de la suspensión para poder formar una capa fina de TiO_2 . Ya que la capa de TiO_2 quedo bien formada y sin grumos se dejó secar a temperatura ambiente y se retiraron las cintas adhesivas para después calentar la placa a una temperatura de 450°C durante 10-15 minutos. La placa se dejó enfriar lentamente y después se agregó el extracto colorido. Se tomaron 45 mg de cada uno de los extractos crudos, re- suspendiéndose en 2mL del disolvente con el cual se maceró.

De cada muestra re- suspendida se tomaron $100\mu\text{L}$ los cuales se aplicaron a la capa de dióxido de titanio para que fuera absorbida durante 5 minutos, este procedimiento se realizó dos veces más para promover una mayor absorción de los colorantes.

Terminando el proceso de aplicación de los colorantes, las celdas solares fueron ensambladas y se procedió a hacer la medición de voltaje (Multímetro profesional Steren Mul-600) y luxes (Luxómetro Digital Steren). La aplicación de los 13 extractos coloridos sobre las celdas solares se realizó con cielo despejado y en un horario de 11:30 a 14:30 (Smestad et al., 1994).

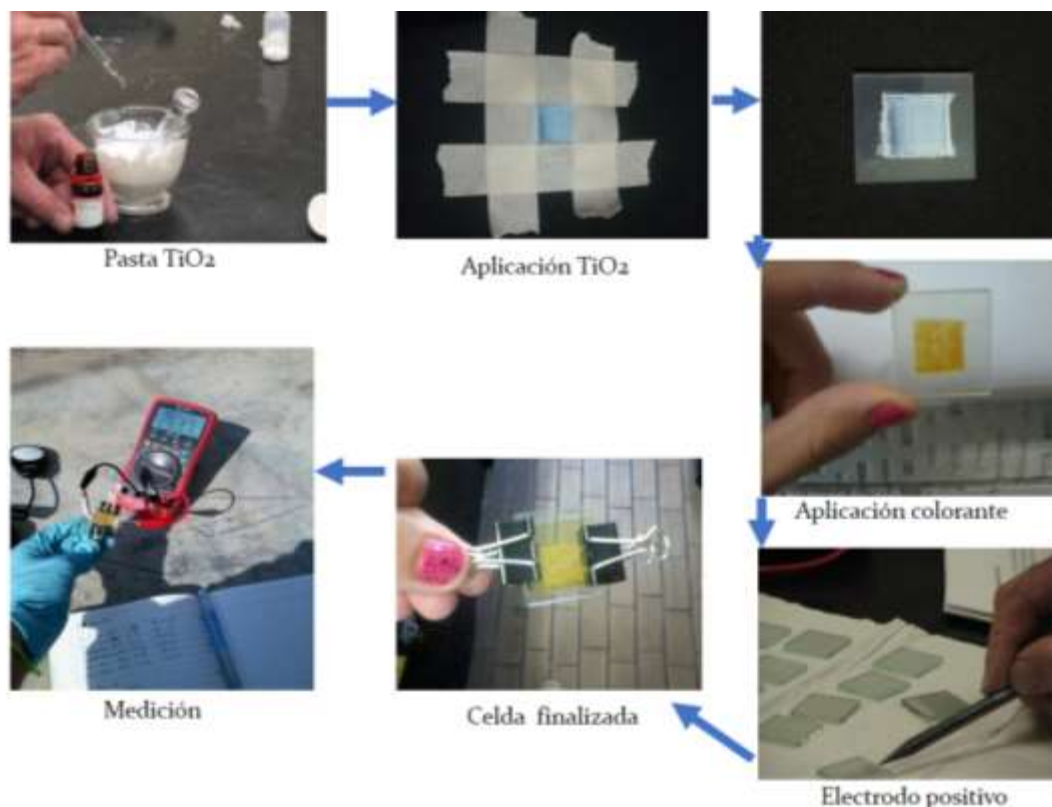


Figura.23 Ensamblaje de CSSCN

6.3 EVALUACIÓN DE EFECTO FOTOPROTECTOR

Espectros UV-VIS

De todos los extractos crudos se tomaron entre 1 y 2 miligramos, los cuales se pusieron en un matraz aforado, para el registro de su espectro UV-VIS, los espectros se realizaron en un espectrógrafo UV-Visible Shimadzu U160, perteneciente al Instituto de Química de la UNAM.

Cromatografía en capa fina

Una vez establecidas las fases móviles para todos los extractos de especímenes vegetales y animales (Cuadro 1, Materiales y Métodos) se procedió a analizar los extractos de los que presentaron la mejor actividad, se decidió elegir 2 de los 13 extractos: jacaranda y cochinilla, para hacer pruebas con compuestos puros en celdas solares y efecto de fotoprotección, sin

embargo, debido a que existe en la literatura mucha información acerca de los compuestos mayoritarios presentes en cochinilla, el único extracto que fue purificado fue el de jacaranda. La determinación de la fase móvil de cada una de las muestras se obtuvo de la siguiente manera:

Cuadro 1: Determinación de fase móvil. (Fase estacionaria Silica gel C-18)

Organismo	Fase Móvil	Revelador	Organismo	Fase Móvil	Revelador
jacaranda Fresca	Acetona/H ₂ O 9:1	Sulfato Cérico	cuscuta	Acetona/H ₂ O 9:1	Sulfato Cérico
jacaranda seca	Acetona/H ₂ O 9:1	Sulfato Cérico	muicle fresco	Acetona/H ₂ O 9:1	Sulfato Cérico
cochinilla seca	Acetona/H ₂ O 9:1, MeOH/H ₂ O 7:3	Sulfato Cérico	muicle seco	Acetona/H ₂ O 9:1	Sulfato Cérico
dalia Fresca	MeOH/H ₂ O 6:4	Sulfato Cérico	añil seco	Acetona/H ₂ O 9:1	Sulfato Cérico
dalia Seca	MeOH/H ₂ O 6:4	Sulfato Cérico	cochinilla	Acetona/H ₂ O 9:1	Sulfato Cérico
			ceroplastes	Acetona/H ₂ O 9:1	Sulfato Cérico

Evaluación de los extractos con capacidad fotoprotectora en colonias bacterianas de *E. coli* irradiadas con luz UV-B

Las evaluaciones del efecto fotoprotector de algunos extractos constan de la suspensión de colonias bacterianas en un medio enriquecido, las cuales son expuestas a RUV con y sin protección. Para las pruebas de fotoprotección se utilizaron los extractos de añil, cochinilla, cuscuta, dalia (organismo fresco y seco) y jacaranda (organismo fresco y seco).

La colonia bacteriana utilizada corresponde a la cepa *Escherichia coli* ATCC25922, la cual se dejó crecer por 12 horas a 37°C en caldo Mueller-Hinton, posteriormente se realizó una dilución 1:10 en caldo de infusión de cerebro-corazón bovino, cuando el crecimiento poblacional alcanzó una densidad óptica de 550 nm, el inóculo se centrifugó a 3500 rpm durante 5 minutos, la pastilla de bacterias se re-suspendió en 100 mL de PBS para obtener un inóculo de aproximadamente 10⁷ bacterias/mL. Finalmente, esta suspensión bacteriana se colocó en cubetas de cuarzo estériles para posteriormente ser irradiadas con y sin protección. Los extractos por evaluar se colocaron en cubetas de cuarzo a una concentración de 2 mg/mL. Como control negativo se utilizó metanol al 100%.

Las unidades experimentales se formaron al unir una cubeta con la sustancia a evaluar y otra con las suspensiones bacterianas, estas cubetas se colocaron a 15 cm de una lámpara de luz UV-B (312 nm Spectroline EB-280C), para ser irradiadas a diferentes tiempos. La dosis de irradiación fue de 0.60 J/cm² (medido con un radiómetro Spectroline DM-300HA) con una intensidad de campo de 130 Watt/m².

Se tomaron muestras de 100µl de cada una de las unidades experimentales (con y sin protección) en cada tiempo de exposición a la radiación UV-B, para realizar el conteo de microorganismos sobrevivientes mediante la técnica de dilución (Eisenstadt et al., 1994). En los experimentos sin protección (cubetas con metanol al 100%) los tiempos de irradiación fueron: 1, 2.5, 5 y 10 minutos; mientras que en los experimentos con protección los tiempos de irradiación fueron de 0, 15, 20, 30, 50, 70 y 90 minutos (Avila et al., 2005).

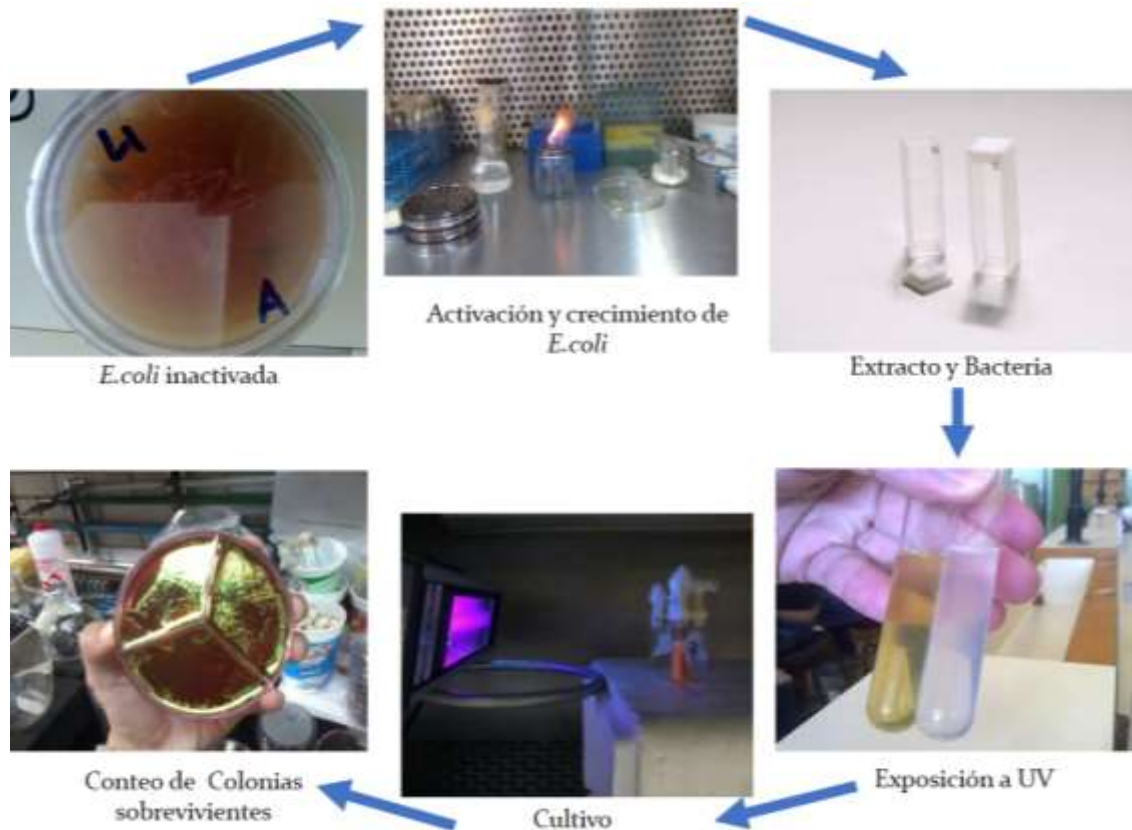


Figura 24. Prueba de fotoprotección en colonias de *E. coli*

Separación cromatográfica de los compuestos del extracto metanólico de Jacaranda (flores secas)

El fraccionamiento del extracto metanólico de Jacaranda (flores secas) se llevó a cabo mediante una columna cromatográfica empacada con 50g de Sephadex LH20. Del extracto concentrado de Jacaranda (flores secas) se tomaron 2.3g, los cuales se solubilizaron con 3mL de metanol y 2mL de agua, al añadir esta última se obtuvo un precipitado (P1) de color blanco y textura algodonosa que al ser filtrado presentó cristales amorfos transparentes, de tamaño muy pequeño. Su espectro de RMNP indicó que se trataba de sacarosa (Fig.27 [1]).

El sobrenadante del extracto de jacaranda se observó turbio, por lo que se le agregó 1ml más de H₂O obteniendo un precipitado de color amarillo. El sólido amorfo de color amarillo (P2) no fue soluble en H₂O, tampoco en MeOH; sin embargo, si se disolvió en mezcla de acetona/diclorometano. Una vez separados el primer y segundo precipitados, el extracto de jacaranda se colocó en una columna de Sephadex LH20 eluyendo con metanol (Fig. 25).



Figura 25. Columna cromatográfica de Sephadex LH20

Se lograron obtener 9 fracciones de 20mL, las cuales se analizaron por CCF Silica Gel fase reversa C-18, empleando como fase móvil Acetona/H₂O 3:7. Una vez eluida, la placa se observó con luz visible, UV onda corta 254 nm, UV onda larga 365 nm, finalmente se reveló con ácido sulfúrico (Fig. 26). Las fracciones 5 y 6 en CCF Silica Gel C-18 mostraron una mancha amarilla con R_f = 0.5 al revelar el cromatofolio con H₂SO₄; también presentaron absorción al UV, en especial a onda corta 254 nm. Al ser similares se decidió reunir las y someterlas a CCFp Silica Gel C-18 usando como fase móvil acetona-agua 3:7. De la placa preparativa se raspó la mancha

más oscura y se extrajo el compuesto presente con metanol/H₂O (8:2). El disolvente se eliminó con un rotaevaporador y se dejó secar completamente por unos días al vacío. Se obtuvieron 4.3 mg de un polvo de color amarillo cremoso el cual se analizó RMN¹H y fue identificado como apigenina-7-glucouronido (Fig 27 [2]).

El compuesto encontrado en el extracto concentrado de jacaranda (hojas secas) fue la apigenina-7-O-glucuronido (Fig.27[2]) y sus datos espectroscópicos (RMN¹H) se muestran a continuación, apigenina-7-O-glucuronido: polvo amarillo amorfo, fórmula calculada C₂₁H₁₈O₁₁. RMN¹H (300 MHz, CD³OD): 7.89 d, 2H (H-2' y H-6), 6.93 d, 2H (H-3' y H-5'), 6.65 s, 1H (H-3), 6.84 d, 1H (H-8), 6.51 d, 1H (H-6), 5.12 d, 1H (H-1'), 3.96 d, 1H (H5'), 3.53 m, 3H (H2'', H3'', H4'').

H₂SO₄.



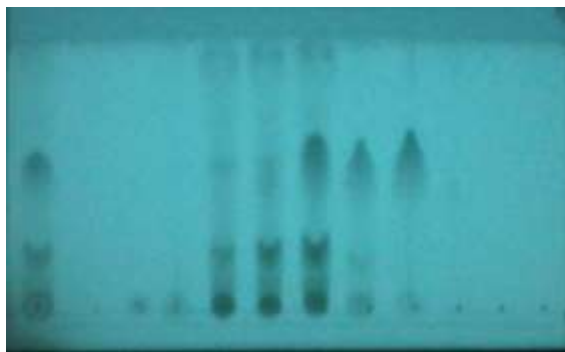
EO P1 P2 1 2 3 4 5 6 7 8

UV 365 nm



EO P1 P2 1 2 3 4 5 6 7 8

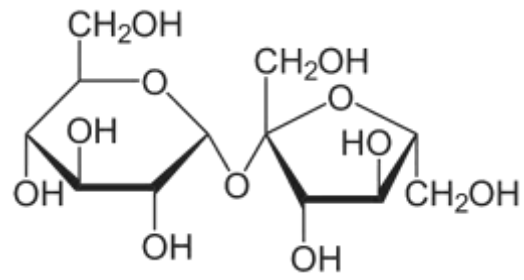
UV 254 nm



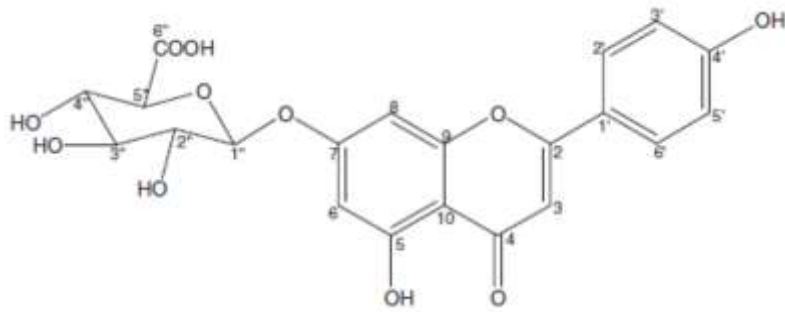
EO C P2 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Figura 26. Cromatografía Capa Fina Silica Gel C-18 de las fracciones obtenidas en la cromatografía en columna.

EO: Extracto de Jacaranda Seca, P1: sacarosa, P2: Precipitado 2. Fracciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9.



[1]



[2]

Figura 27. Estructura de sacarosa (1) y apigenina-7-O-glucuronido (2)

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Celdas solares sensibilizadas por colorantes

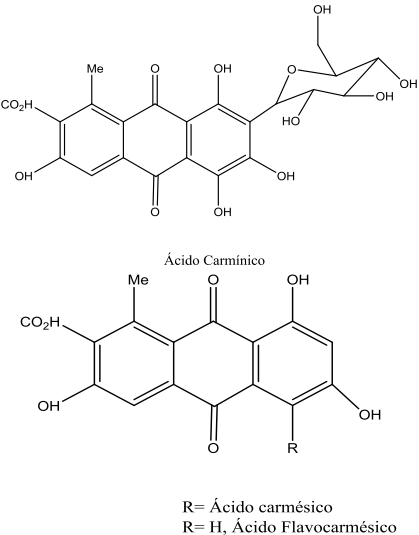
En el cuadro 2 se muestra que los 13 extractos seleccionados tienen capacidad de generar corriente eléctrica en celdas solares tipo Graetzel, sin embargo, algunos fueron más eficientes que otros. En el cuadro 2 se muestra el promedio de la generación de milivolts/cm², así como la intensidad de radiación (luxes). Los extractos con mayor eficiencia para generación fotovoltaica fueron: cochinilla, jacaranda (Seca) y cempasúchil, pues sobrepasaron los 400 mV/cm². Los extractos con menor eficiencia para generación fotovoltaica fueron: muicle (Seco), dalia (seca), jacaranda (fresca), con eficiencia fotovoltaicas 106 a 159 mv/cm². Los resultados obtenidos en el cuadro 2, nos dejan ver que la generación de milivolts es independiente a la intensidad de la radiación.

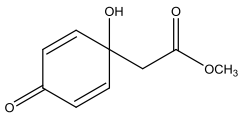
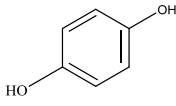
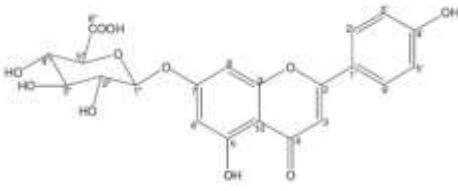
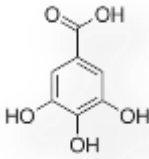
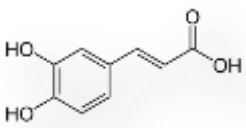
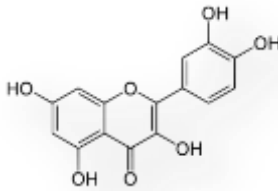
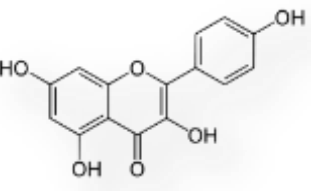
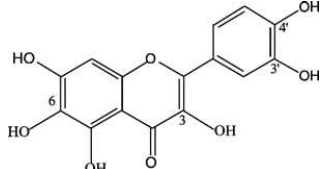
Cuadro 2: Medición de milivolts generados en celdas solares.

Fuente del Colorante	mV/cm ²	Intensidad de Radiación (Luxes)
cochinilla	419	1071
jacaranda (Seca)	413	1115
cempasúchil	407	945
clavel del moro	386	902
añil	363	1066
cochinilla de palo loco	260	1128
dalia (fresca)	254	1141
pericón	241	900
muicle (Fresca)	229	1092
cuscuta	227	1097
jacaranda (fresca)	159	1168
dalia (seca)	125	1136
muicle (Seco)	106	1112

Los tres extractos con mayor eficiencia fotovoltaica que se muestran en el cuadro 3, tienen una serie de compuestos aromáticos, en especial quinonas e hidroquinonas (cochinilla y jacaranda) (Ferreira et al., 2004), así como flavonoides (jacaranda y cempasúchil). En otros estudios se evaluaron derivados de clorofila y porfirinas como fotosensibilizadores para CSSCN estableciendo que los grupos carboxilo libres son importantes para la adsorción y sensibilización sobre TiO_2 , además de que la conjugación del grupo carboxilo con sistemas de electrones del cromóforo no es necesario para una transferencia electrónica eficiente (Kay, 1993). Existe en la naturaleza asociación con varios co-pigmentos que modifican sus propiedades de absorción. También se ha reportado que bajo ciertas condiciones los carotenoides asociados con feofitinas pueden autoensamblarse dentro de un sistema supramolecular, conduciendo a un eficiente “quenching” del grupo feofitina, lo cual sugiere que dicho mecanismo podría estar ocurriendo en el proceso fotosintético natural (Pan, 2004). Las quinonas en los extractos con mayor eficiencia fotovoltaica tal vez le permiten anclarse al TiO_2 , y podrían actuar como acarreadores de electrones y/o interactuar con los generadores de electricidad debido a su estructura química (Zhang 2008; Qin 2007).

Cuadro 3. Extractos con mayor eficiencia fotovoltaica

Organismo	Estructura química	Compuestos
cochinilla	 <p style="text-align: center;">Ácido Carmínico</p> <p style="text-align: center;">R= Ácido carmésico R= H, Ácido Flavocarmésico</p>	<p>-Antraquinonas</p> <p>-Ácido carmínico</p> <p>-Ácido flavocarmésico</p> <p>-Ácido carmésico</p>

<p>jacaranda (Seca)</p>	<div style="text-align: center;">  <p>Jacaranona</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Hidroquinona</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Apigenina-7-O-glucuronido</p> </div>	<p>-Jacaranona</p> <p>-Hidroquinona</p> <p>-Flavonoides (isoquercitrina, escutelerina, apigenina, luteolin, isovitexina)</p>
<p>cempasúchil</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  </div>	<p>-Carotenoides (luteína, xantofila)</p> <p>- Flavonoides (quercetragenina, kempferol, quercetina).</p> <p>-Polifenoles (ác. gálico, ác, caféico).</p>

Pruebas de fotoprotección en colonias bacterianas de *Escherichia coli* irradiadas con UV-B:

Espectros UV-Vis

De los extractos obtenidos se obtuvieron sus espectros UV-VIS y los picos máximos de absorción para cada una de las muestras tanto en especímenes frescos como secos (Cuadro 4), esto nos ayudó a identificar las muestras que se encontraban dentro del espectro de luz UV-B (280-315 nm), para posteriormente usarlos en las pruebas de fotoprotección sobre colonias bacterianas de *Escherichia coli*. Como ejemplo se muestran los espectros de jacaranda fresca, seca y cochinilla, en el apéndice 10.1 se presentan toso los espectros UV-Vis (Fig. 28, 29 y 30).

Cuadro 4. Picos máximos de absorción en la región UV -Vis(nm) de los extractos coloridos

λ max (Absorbancia)		λ max (Absorbancia)	
Jacaranda Fresca 0.10 mg/ml	211 (1.46), 269(0.457), 329 (0.452).	Jacaranda Seca 0.2 mg/ml	210 (1.631), 270 (0.490), 330 (0.584).
Dalia Fresca 0.11 mg/ml	208(0.620),268(0.294), 331(0.292).	Dalia Seca 0.13 mg/ml	209(1.091),268(0.542), 332(0.507).
		Cochinilla 0.15 mg/ml	206(0.748),227(0.734), 281(1.083),495(0.285).
		Añil Seco 0.18 mg/ml	207 (1.040), 285 (0.212).
Cuscuta Fresca 0.17 mg/ml	205 (0.698),266 (0.319), 348 (0.260).		
Muitile Fresco 0.19mg/ml	211 (2.199),411 (1.183), 304 (0.858),280 (0.704), 469 (0.671),338 (0.657), 457 (0.622),664 (0.480).	Muitile Seco 0.19 mg/ml	207 (0.672),411 (0.273), 282 (0.249).
T. patula Fresca 0.09mg/ml	206 (1.294), 265(0.504), 423 (1.066), 444(1.308), 471 (1.126), 655(0.011).		
T. erecta Fresca 0.1mg/ml	206 (1.423),268 (0.376), 420 (0.648),442 (0.744), 471 (0.613),664(0.019).		
		T. lucida Seca 0.09mg/ml	205 (0.817), 265 (0.280), 421 (0.605), 443 (0.751), 471 (0.632), 653 (0.002).

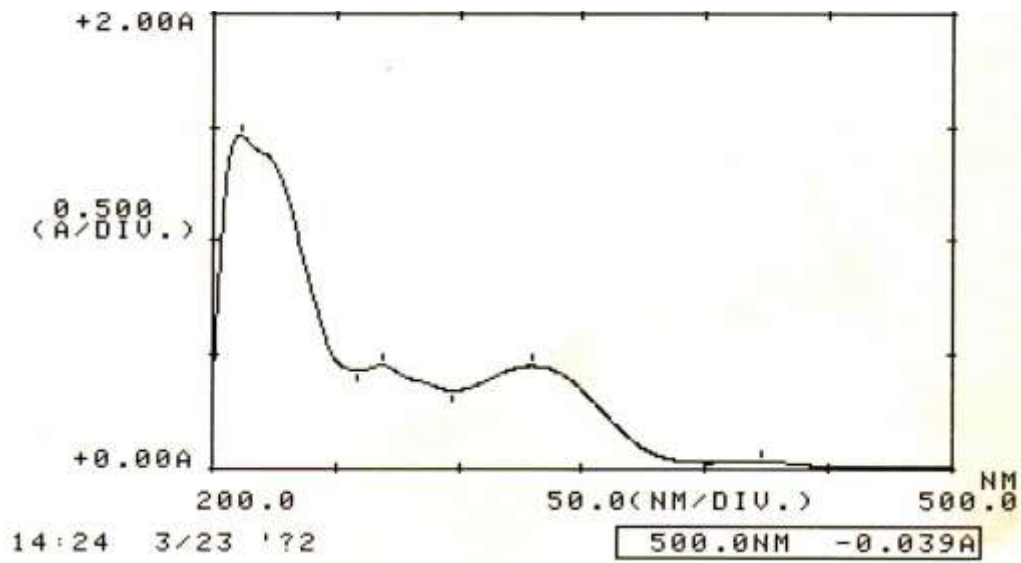


Figura 28: Espectro UV-Vis jacaranda Fresca

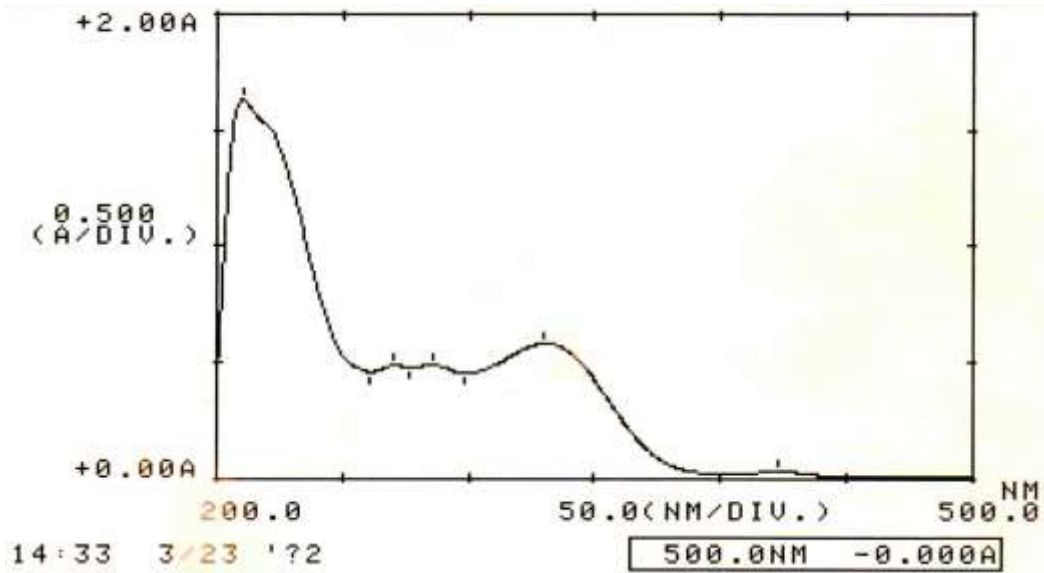


Figura 29: Espectro UV-Vis jacaranda Seca

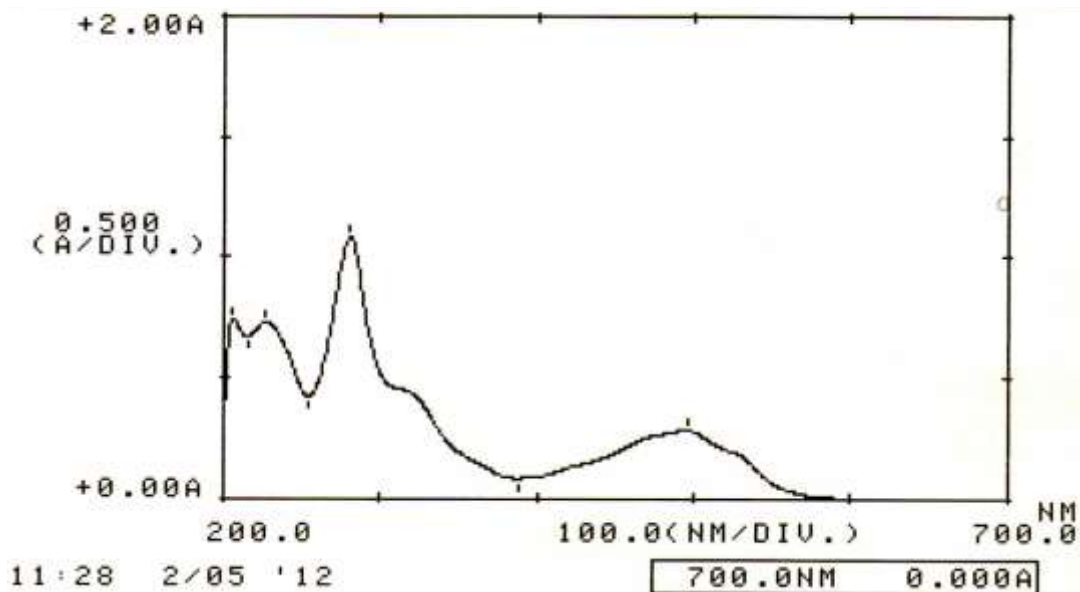


Figura 30: Espectro UV-Vis cochinilla

Extractos con alta eficiencia fotoprotectora

Se tomaron siete de los 13 extractos coloridos los cuales tenían picos de absorción máxima en la región UV-B, y se realizaron las pruebas de fotoprotección con diferentes tiempos de irradiación a luz UV-B. En los experimentos sin protección se utilizaron cubetas de cuarzo con metanol al 100%, los tiempos de irradiación fueron: 1, 2.5, 5 y 10 minutos (Fig. 31); mientras que en los experimentos con protección (con extractos coloridos) los tiempos de irradiación fueron de 0, 15, 20, 30, 50, 70 y 90 minutos.

Los resultados fueron expresados graficando el logaritmo del número de sobrevivientes con relación al tiempo de irradiación (curvas de supervivencia). Se realizaron tres experimentos independientes con tres repeticiones cada uno. La curva de supervivencia fue una cinética exponencial característica de las curvas de mortalidad bacterianas. En ausencia de fotoprotección, la radiación UV afecta la supervivencia de las bacterias en los primeros minutos de exposición, dejando a la célula sin mecanismos primarios de reparación que permitan su viabilidad. Lo anterior se ve reflejado por el valor de la constante de mortalidad (K), este parámetro indica el rango de la inactivación o muerte bacteriana con respecto al tiempo.

Tres de los siete extractos probados mostraron una alta fotoprotección. Los extractos en los que se observó una mayor supervivencia de colonias de *E.coli* a exposiciones de tiempo prolongado a RUV-B y por lo tanto con mejor efecto de fotoprotección fueron: jacaranda fresca (con 2.4×10^4 sobrevivientes a 90 minutos de irradiación), añil seco (1.25×10^5 sobrevivientes a 90 minutos de irradiación), *Cuscuta* (con 6.6×10^2 con 90 minutos de irradiación) (Fig. 32, 33, 34). Estos datos de tiempo vs supervivencia se ajustaron por regresión lineal para obtener una ecuación y recta de supervivencia, calculando la K constante de mortalidad (Cuadro 5).



Figura 31. Prueba de exposición a RUV-B sin protección en colonias de *E. coli*

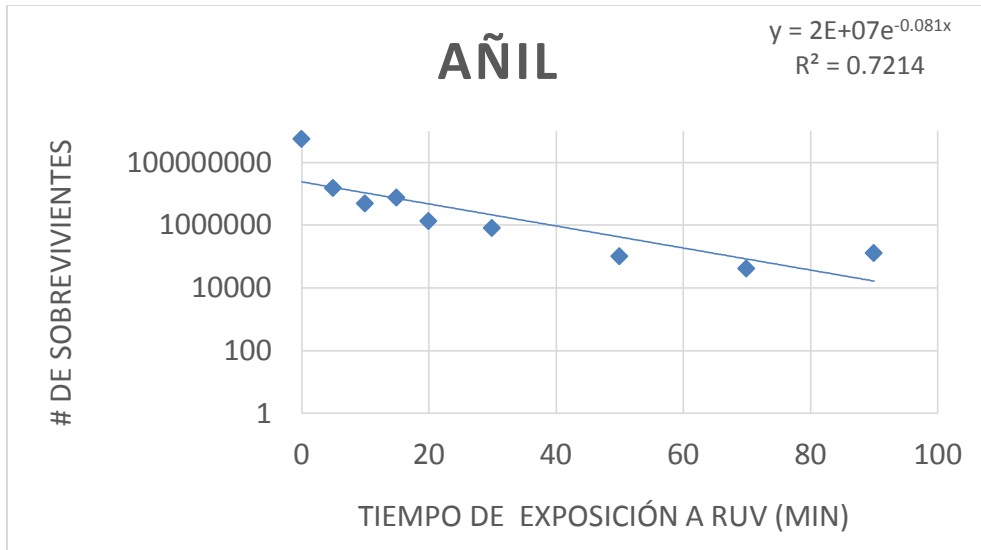


Figura 32. Prueba de fotoprotección usando añil como protector para RUV-B

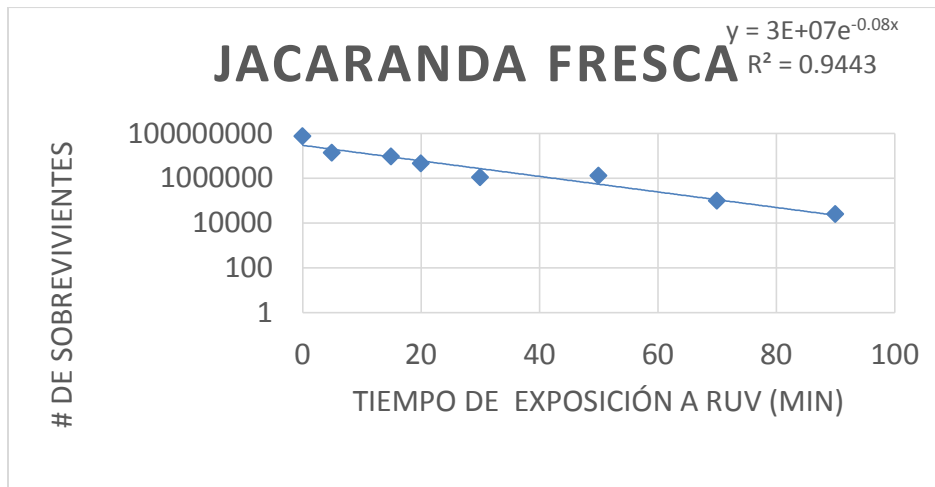


Figura 33. Prueba de fotoprotección usando jacaranda Fresca como protector para RUV-B

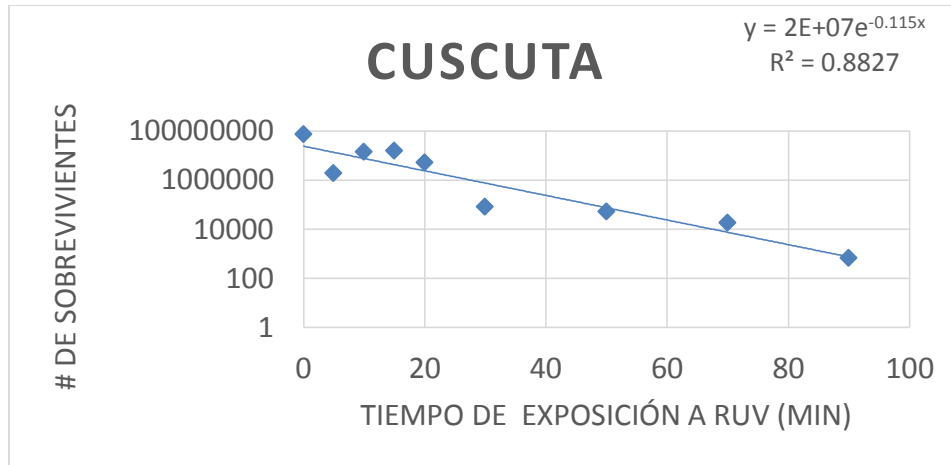


Figura 34. Prueba de fotoprotección usando cuscuta como protector para RUV-B

Cuatro de los extractos coloridos restantes tuvieron un menor efecto de fotoprotección, pero mejor que el control, pues la mortalidad se observó entre los 70-50 minutos. Estos tratamientos fueron: dalia fresca (8.6×10^3 sobrevivientes a 70 minutos de irradiación), cochinilla (8.6×10^3 sobrevivientes a 70 minutos de irradiación), dalia seca (6.6×10^3 sobrevivientes a 70 minutos de irradiación), jacaranda seca (1.33×10^5 sobrevivientes a 50 minutos de irradiación) (Fig.35, 36, 37, 38).

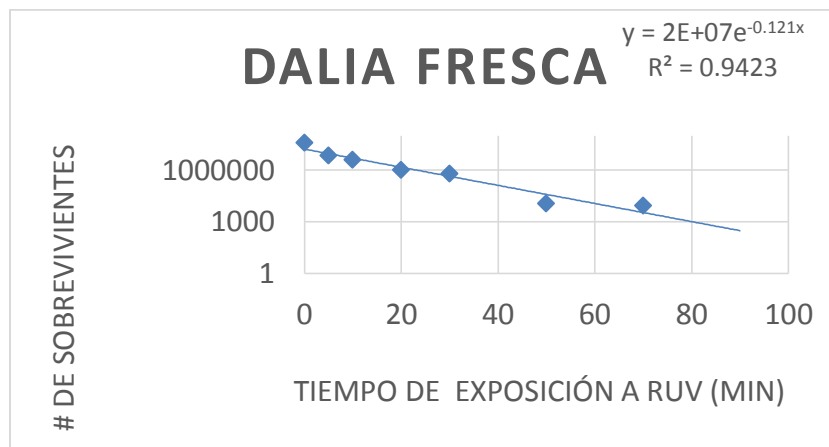


Figura 35. Prueba de fotoprotección usando dalia fresca como protector para RUV-B

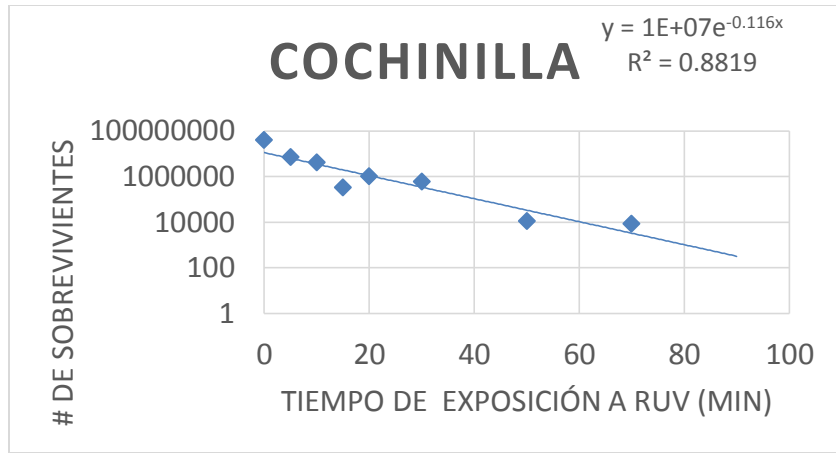


Figura 36. Prueba de fotoprotección usando cochinilla como protector para RUV-B

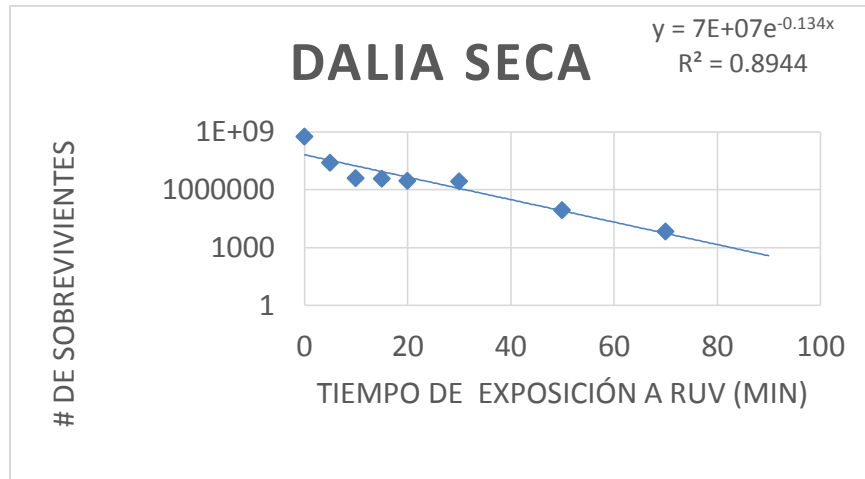


Figura 37. Prueba de fotoprotección usando dalia seca como protector para RUV-B

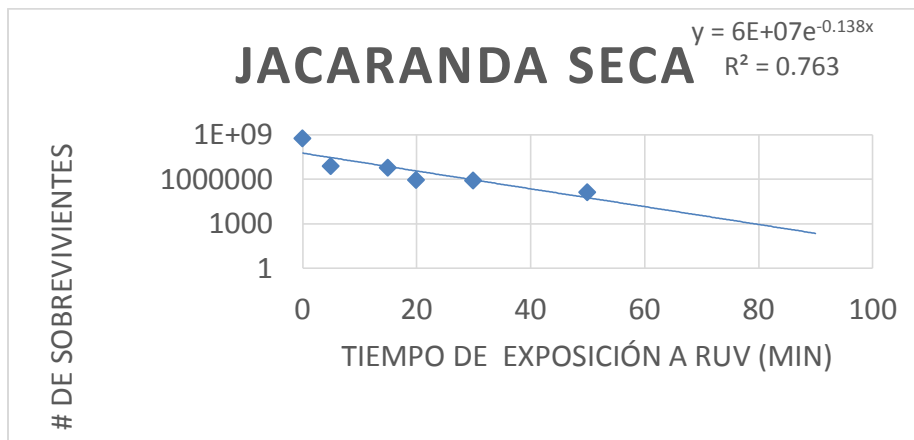


Figura 38. Prueba de fotoprotección usando jacaranda seca como protector para RUV-B

En el cuadro 5 se muestra la comparación del efecto fotoprotector de los 7 extractos utilizados, observándose de manera clara que el metanol (control) tiene una constante de mortandad (K) mucho mayor que los extractos probados.

Lo anterior demuestra la capacidad fotoprotectora de jacaranda fresca, añil y *Cuscuta*. Mientras que, para los extractos de dalia fresca y seca, jacaranda seca y cochinilla la constante de mortalidad es menor también, pero se presenta sólo en tiempos cortos, por lo que se puede deducir que estos extractos no son tan eficientes en su capacidad fotoprotectora.

Cuadro 5. Coeficientes de determinación (R^2) y constantes de mortalidad (K) de los experimentos de irradiación bacteriana con protección por extractos coloridos. Control (solo metanol)

Extracto	K	R^2	Protección de la muerte celular (min)
Metanol (Control)	0.08776	0.9363	4
jacaranda (fresca)	0.1716	0.9443	50
añil	0.0572	0.7214	40
cuscuta	0.0572	0.8827	40
dalia (fresca)	0.0572	0.9423	20
cochinilla	0.0286	0.8819	20
dalia (seca)	0.0200	0.8944	20
jacaranda (seca)	0.1714	0.9423	20

Aislamiento e identificación del apigenina-7'-O-glucouronido de jacaranda.

Con base en los resultados obtenidos en las celdas solares y en las pruebas de fotoprotección se decidió realizar la identificación de los compuestos obtenidos en el extracto concentrado de Jacaranda (flores secas). De este extracto precipitó espontáneamente sacarosa (**1**), la cual fue identificada por su espectro de RMNP (Fig. 39).

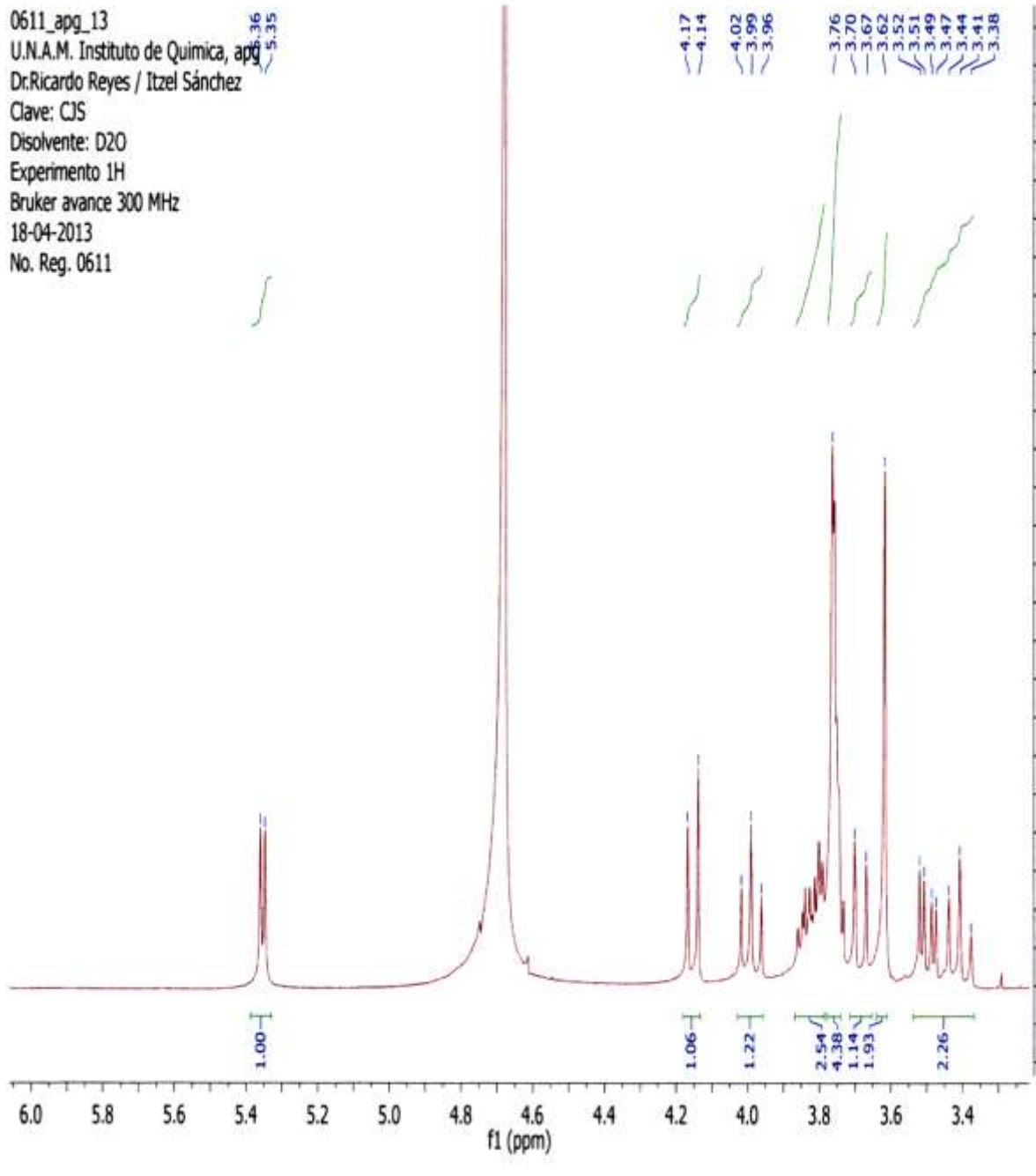


Figura 39. Espectro de RMN-¹H de los cristales de sacarosa registrado en D2O

De las fracciones obtenidas del extracto de jacaranda separados por CC Sephadex LH20 de las fracciones 5 y 6 se obtuvieron 4.3 mg de un polvo de color amarillo cremoso el cual se analizó por RMN¹H (Fig.40,41), IR (Fig.42), espectroscopía de masas por electrospray modo negativo ESI- (Fig.43,44).

Con base en estos analisis se estableció que se trataba de la apigenina-7-O-glucuronido, previamente aislado de las flores de jacaranda (Moharram et al, 2007).

El espectro de RMNP mostró

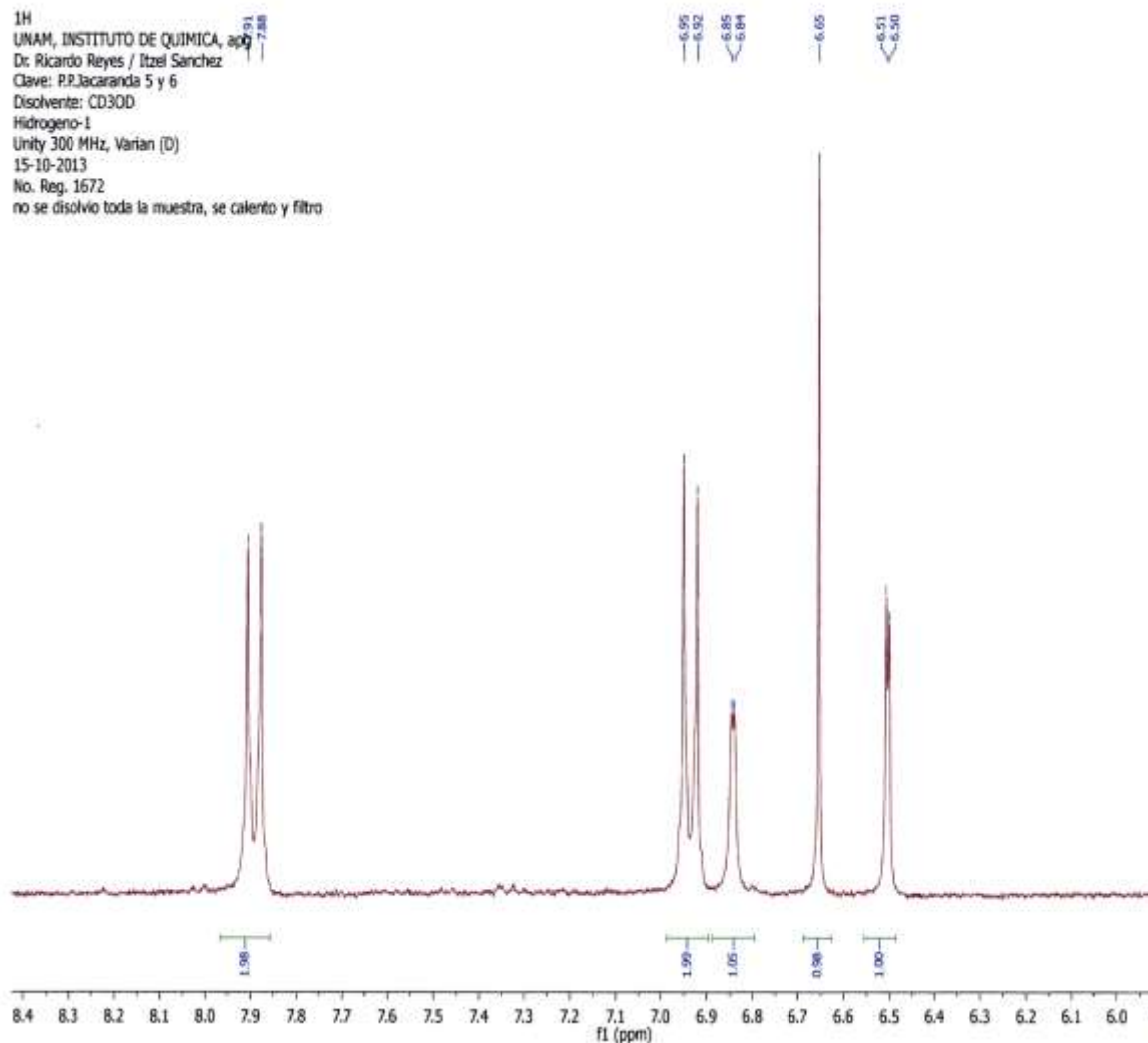


Figura 40: Espectro de RMN-¹H de apigenina-7-O-glucuronido en jacaranda (flores secas) (1).

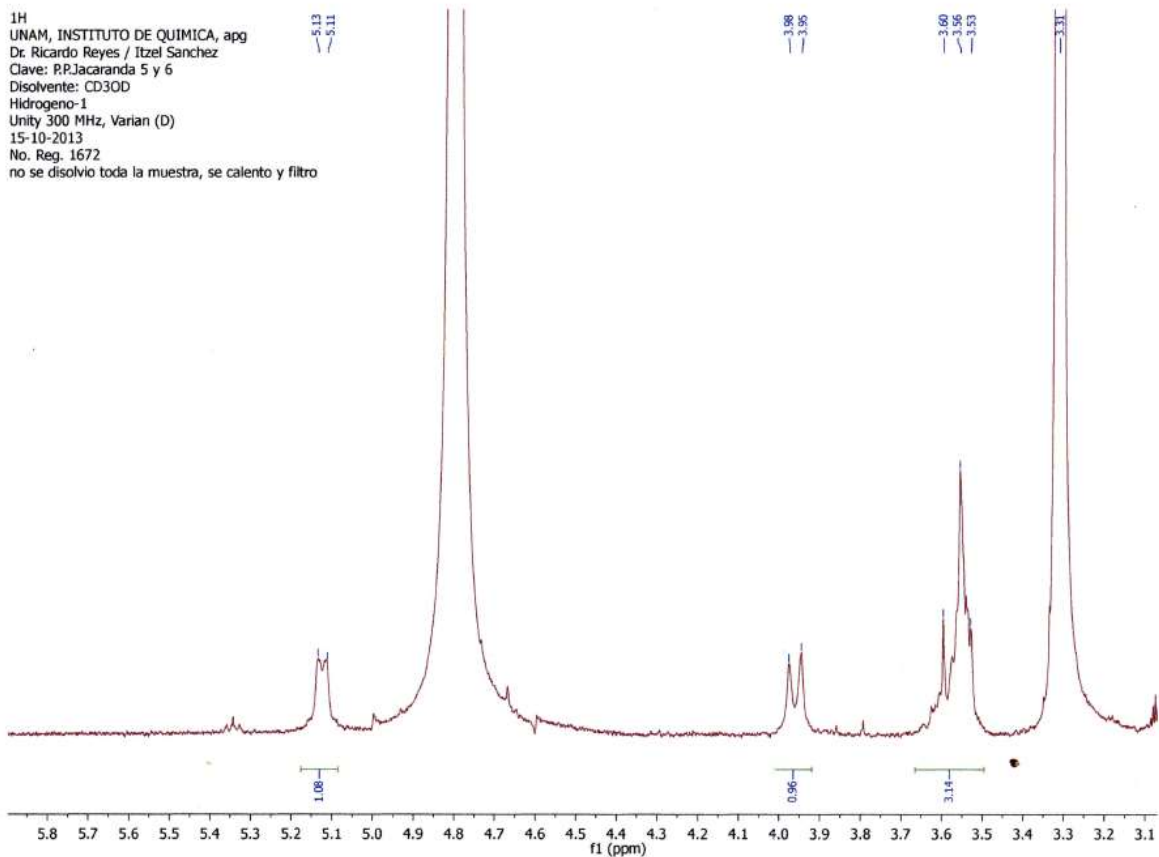
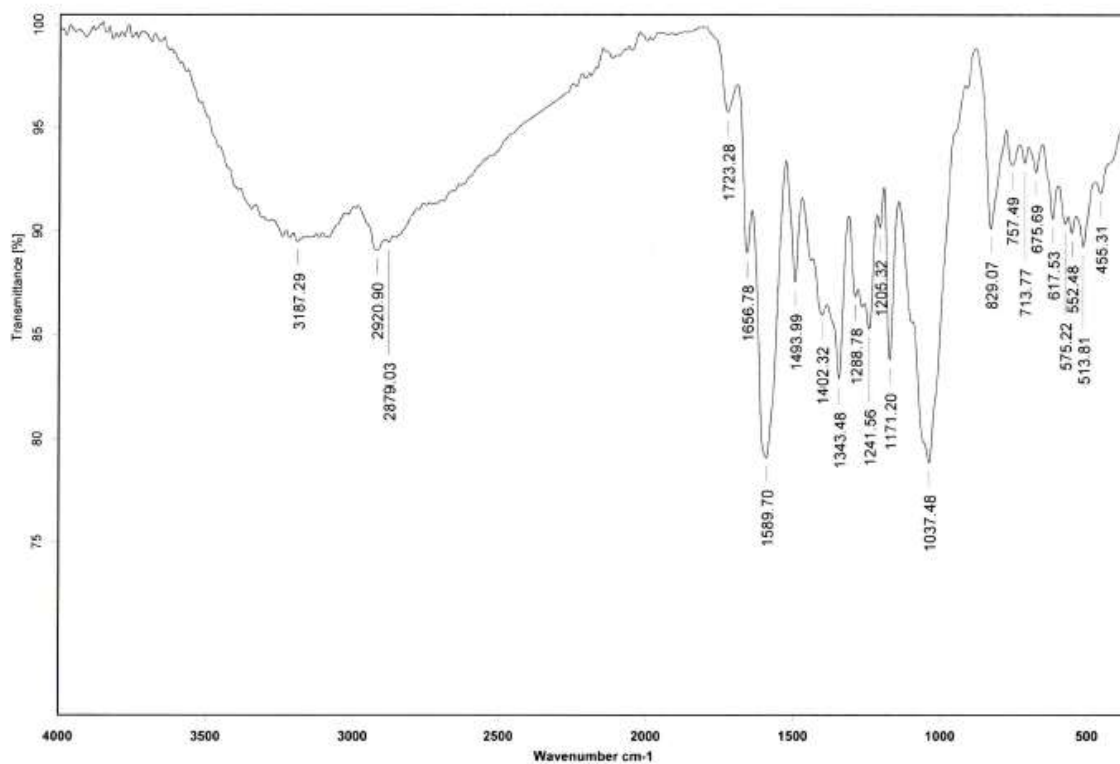


Figura 41: Espectro de RMN-¹H de apigenina-7-O-glucuronido en jacaranda (flores secas) (2).

Cuadro 6. Señales de RMN-¹H para apigenina7-O-glucuronido

Posición	apigenina-7-O-glucuronido
	Datos Experimentales 300 MHz/CD ₃ OD <u>¹Hδ (J en Hz)</u>
H-2' y H-6'	7.89 d, 2H (J=9Hz)
H-3' y H-5'	6.93 d, 2H (J=9Hz)
H-3	6.65 s, 1H
H-8	6.84 d, 1H (J=3Hz)
H-6	6.51 d, 1H (J=3Hz)
H-1'	5.12 d, 1H (J=6Hz)
H5'	3.96 d, 1H (J=9Hz)
H2'', H3'', H4''	3.53 m, 3H



C:\Infrarojo\AIR-LEP-IQUI-003_13\1121.1

Dr.R.Reyes

FJS56

KBr/Pastilla

RPM

30/05/2013

Figura 42. Espectro en el Infrarojo de apigenina-7-O-glucuronido del extracto de jacaranda (flores secas)

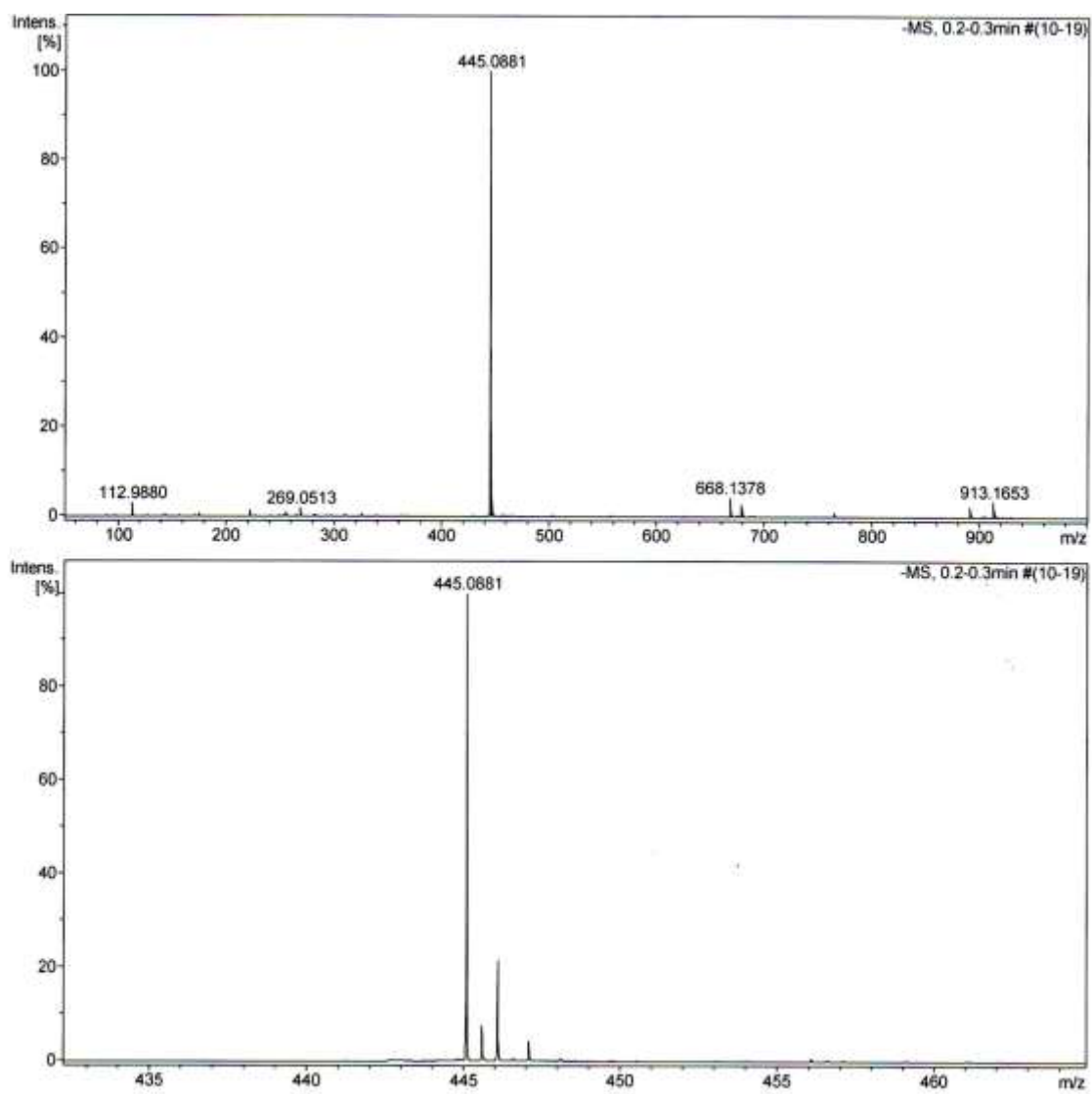


Figura 43. Espectro de masas (ESI-) de apigenina-7-O-glucuronido (1).

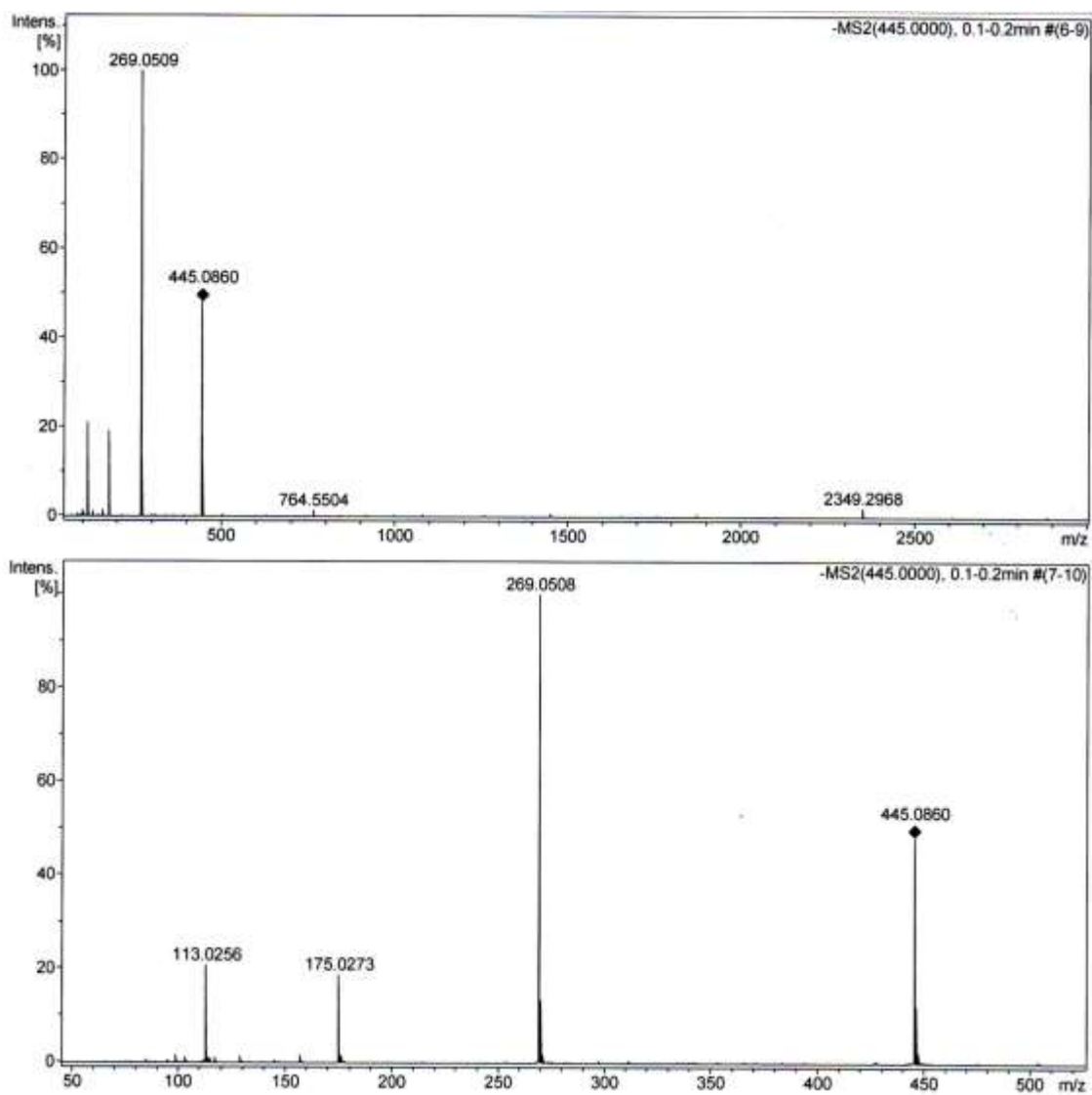


Figura 44. Espectro de masas (ESI-) de apigenina-7-O-glucuronido (2).

Identificación de apigenina 7-O-glucuronido

El espectro de masas (ESI negativo) mostró el ión $[M^+ - H]$ en 445.08 (Fig. 43, 44) indicando que el peso molecular del compuesto es congruente para la fórmula mínima $C_{21}H_{18}O_{11}$.

También se observó el fragmento de $m/z = 269.05$ que concuerda para el flavonoide apigenina, e indica la pérdida de ácido glucurónico $[M^+ - H - 176]$. El espectro en el IR (Fig. 42) mostró una banda ancha intensa en 3187 cm^{-1} indicando la presencia de grupos oxhidrilo y carboxilo, así como otra banda en 1656 cm^{-1} para un carbonilo conjugado; en 1589 y 1037 cm^{-1} para dobles enlaces y C-O, respectivamente.

El espectro de resonancia magnética nuclear de hidrógeno (300 MHz, CD_3OD) (Fig. 40 y 41) mostró en la región de los protones aromáticos un sistema A2X2 en 7.88 y 6.92 ppm, ambas señales dobles con $J = 9\text{ Hz}$ que integran para 2H cada una, y se asignaron a los H-2' y H-6', así como H-3' y H-5', respectivamente, de un anillo aromático monosustituido. Además, se observaron dos señales dobles en 6.83 y 6.49 ppm, ambas con $J = 2.1\text{ Hz}$ e integran para 1 H cada una, las cuales se asignaron a H-8 y H-6, respectivamente. Una señal simple en 6.64 ppm que integra para 1H se asignó al H-3. Lo antes señalado sugiere que se trata del flavonoide apigenina, el cual puede estar sustituido por el ácido glucurónico, con base en las siguientes señales. Un doble en 5.12 ppm, 1H y $J=6\text{Hz}$ se asignó al H1'' anomérico, mientras que un doble en 3.96 ppm, 1H, $J = 9.6\text{ Hz}$ se asignó al H-5'', finalmente un múltiple en 3.53 que integra para 3 H se asignó a los H-2'', H3'' y H4'' (Cuadro 6).

Con base en los datos espectrométricos y espectroscópicos antes señalados se propone que el compuesto **2** aislado corresponde a la apigenina-7-O-glucuronido (Fig.27 [2]). Dichos datos también fueron similares a los previamente reportados por Baris en el aislamiento de flavonoides en *Mentha longifolia* (Baris et al., 2011) para este compuesto el cual ha sido aislado con anterioridad de las flores de jacaranda (Mahran et al., 1991).

Los pigmentos naturales se emplean hoy día en el arte, la industria textil, gastronómica y cosmética. Una de sus aplicaciones potenciales es en celdas solares sensibilizadas por colorantes, los cuales son uno de los sistemas más atractivos y promisorios para la conversión de energía solar en energía eléctrica debido a su razonable eficiencia, bajo costo y cuidado del ambiente (Carta et al., 2009). Por otra parte, los pigmentos son mecanismos de defensa de los organismos, especialmente aquellos sésiles, como las plantas, contra la radiación ultravioleta (RUV), pues actúan como filtros de la radiación solar. Un ejemplo es la inducción de la síntesis de compuestos aromáticos y polifenoles en plantas expuestas a la RUV (Day, 2001; Ávila et al., 2005). En ambos casos, los compuestos responsables presentan un alto grado de insaturación, dado por la presencia de anillos aromáticos, dobles y triples ligaduras, así como grupos funcionales que potencian su capacidad de absorber radiación electromagnética en el rango Ultravioleta-Visible (200 a 800 nm).

En la actualidad existe un gran interés por las sustancias de origen vegetal, y en general de productos naturales, que puedan proporcionar un mejor efecto fotoprotector contra el desarrollo de carcinomas y/o padecimientos cutáneos. Algunas sustancias provenientes de origen natural pueden ser los polifenoles, flavonoides, isoflavonas, fenoles, antocianidinas y carotenoides.

8. CONCLUSIONES

Los extractos que tuvieron mayor eficiencia fotovoltaica fueron cochinilla (*Dactylopius coccus*), jacaranda seca (*Jacaranda mimosifolia*) y cempasúchil (*Tagetes erecta*). Mientras que los extractos con mayor eficiencia fotoprotectora fueron añil seco (*Indigofera suffruticosa*), jacaranda fresca (*Jacaranda mimosifolia*) y cuscuta (*Cuscuta sp.*).

Puesto que el extracto de jacaranda fue el de mayor eficiencia en ambos ensayos se sometió a cromatografía (Silica Gel C-18) logrando aislar un flavonoide glicosilado el cual fue identificado por medio de RMN¹H, IR, espectroscopía de masas por electrospray modo negativo, con base en estos analisis se estableció que se trataba de la apigenina-7-O-glucuronido, previamente aislada de las flores de jacaranda (Moharram et al, 2007).

Con base a los resultados obtenidos en esta investigación se puede decir que existe un candidato que muestra una alta eficiencia en la conversión de energía lumínica en energía eléctrica y en el efecto de fotoprotección: la jacaranda. Dentro de los compuestos principales en este organismo podemos encontrar una diversa clase de flavonoides los cuales se caracterizan por ser altamente antioxidantes, esto podría proveer a la jacaranda como un organismo altamente explotable dentro de la investigación, sin embargo, es necesario seguir investigando para identificar y purificar compuestos activos para realizar pruebas específicas que nos ayuden a identificar el mecanismo de acción de estos compuestos en la conversión de energía y la fotoprotección.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Afaq F., Adhami V.M., Mukhtar H., 2005. Photochemoprevention of ultraviolet B signaling and photocarcinogenesis. *Mutation Research*. 57: 153-173.
- Andreotti A., Bonaduce I., Colombini M.P. and Ribechini E.; Characterisation of natural indigo and shellfish purple by mass spectrometric techniques; *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 2004; 18: 1213–1220.
- Angelini L., Tozzi S., Nassi N., 2006. Differences in leaf yield and indigo precursors production in woad; *Field Crops Research* 101, 285–295.
- Arroyo Ortiz Leticia; Tintes naturales mexicanos: su aplicación en algodón, henequén y lana, UNAM; 2008. pp. 19-23.
- Avila A.J.G., Castañeda M.C., Benitez F.J.C., Durán D.A., Romo del Vivar., 2005. Photoprotective activity of *Buddleja scordioides*. *Fitoterapia*. 76: 301-309.
- Avila JGA, Castañeda CMC, Benitez FJC, Durán DA, Barroso DR, Martínez CG, Muñoz L JL, Martínez CA, Romo del Vivar A., 2005, Photoprotective activity of *Buddleja scordioides*. *Fitoterapia* 76: 301-309.
- Badillo, V. Lista actualizada de las especies de la familia Compuestas (Asteraceae) de Venezuela. *Ernstia*. 2001,11, 191.
- Baris O., Mehmet Karadayi, Derya Yanmis, Zuhul Guvenalp, Tugba Bal, and Medine Gulluce; 2011. Isolation of 3 Flavonoids from *Mentha longifolia* (L.) Hudson subsp. *Longifolia* and Determination of Their Genotoxic Potentials by Using the *E. coli* WP2 Test System. *Journal of Food Science* _ Vol. 76, Nr. 9, 2011.
- Barragán J. y Gutiérrez M. A. 1990; Atlas de las plantas de la medicina tradicional Mexicana; Biblioteca digital de la medicina tradicional Mexicana, UNAM.
- Bye R. y Linares E., 2008; La Dalia, flor nacional del México; CONABIO, Biodiversitas 76: 13-15.
- Cabezas H. 2005. Unidad de Geográfica-cultural, flora mesoamericana. Universidad Mesoamericana. Guatemala. pp. 14-16; 117-118.
- Caceres A. Giron L.M., Alvarado S.R., Torres M.F. (1987). Screening of antimicrobial activity of plants popularly used in Guatemala for the treatment of dermatomucosal Diseases. *Journal of Ethnopharmacology*, 20: 228-237.

- Caceres, A., Cano, O., Samayoa, B., Aguilar, L. Plants used in Guatemala for the treatment of gastrointestinal disorders. 1. Screening of 84 plants against enterobacteria. *Journal of Ethnopharmacology*. 1990, 30, 55-73.
- Carta G., Calero R., Colmenar A., Castro A., Centrales de energías renovables. 1era Edición. Madrid 2009.
- Chang, H., Wu, H.M., Chen, T.L., Huang, K.D., Jwo C.S., and Lo, Y.J. 2010.
- Dawson J. *Biology and control of Cuscuta*. Rev. Weed. Sci. 1994;(6):265–317.
- Day T., 2001. Ultraviolet radiation and plant ecosystems. In: Cockell, Ch. S. and Blaustein, A.P. (Eds). *Ecosystems evolution and ultraviolet radiation*. Springer. New York.
- Dharmagadda, V., Naik, S., Mittal, P., Vasudevan, P. Larvicidal activity of *Tagetes patula* essential oil against three mosquito species. *Bioresource Technology*. 2005, 96, 1235-1240.
- Domínguez X.A., Achenbach H., González C., Amare F.D. (1990). Estudio químico del muítle (*Justicia spicigera*). *Rev. Latinoamericana de Química*, 21: 142-143.
- Eisenstadt E., Carlton B., Brown B., 1994. Gene mutation. In: Gerhardt, P. (Ed). *Methods for general and molecular bacteriology*. ASM, Washington D.C. USA. Pp 297-303.
- Estrada L., E. I. J. 1989. Códice Florentino. Su Información Etnobotánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 399 p.
- Ezcurra C. (1999b). Acanthaceae. In F. O. Zuloaga and O. Morrone (etlitors), *Catalogo de las Plantas Vasculares de la República Argentina. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard.*, 74: 1-14.
- Ferreira S.B., Hulme N., MacNab H., Quye A.; The natural constituents of historical textile dyes; *Chem.Soc.Rev.*, 2004, 33, 329 – 336.
- Fligge M., Solankib S.K., Papc J.M., Wehrlid Ch. 2001. Variations of solar spectral irradiance from near UV to the infrared- measurements and results. *Journal of Atmospheric and solar-terrestrial Physics*. 63:1479-1487.
- Gachet M.S., Schühly W., 2008; Jacaranda—An ethnopharmacological and phytochemical review; *Journal of Ethnopharmacology* 121) 14–27.

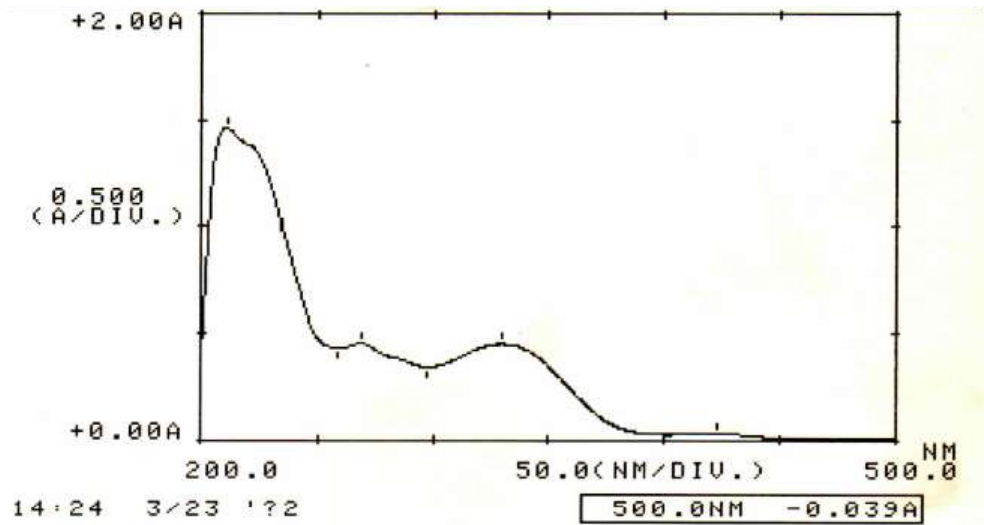
- Galindo A.G. y Soto T.C., Estudio químico de la *Cuscuta* Sp (Zacatlaxcalli). Un colorante natural; Departamento de Productos Naturales, Instituto de Química, UNAM. 2012.
- Gong Y., Hou Z., Gao Y., Xue Y., Liu X., Liu G., Optimization of extraction parameters of bioactive components from defatted marigold (*Tagetes erecta* L.) residue using response surface methodology; food and bioproducts processing 90 (2011) 9–16.
- González M., Méndez J., Carnero A., Lobo G., Afonso A., 2002. *J. Agric. Food Chem.* Optimizing conditions for extractions of pigments in cochineals (*Dactylopius coccus* costa) using response surface methodology. Vol. 50, No. 24, 6968-6974.
- Graetzel M., Photoelectrochemical cells, *Nature* 2001, 414, 338-344.
- Graham, V. (1988). Delimitation and infra-generic classification of *Justicia* (*Acanthaceae*). *Kew Bulletin*, 43: 551-624.
- Gregory, G. K.; Chen, T.-S.; Philip, T. Quantitative analysis of lutein esters in marigold flowers (*Tagetes erecta*) by high performance liquid chromatography. *J. Food Sci.* 1986, 51, 1093-1094.
- Herbario, Instituto de Biología. UNAM. www. (Consultado el 13 de Marzo del 2012).
- Ivic de Monterroso M. & Berger M. 2008. El arte sale de las casas. Los tintes naturales en San Juan la Laguna Solola. Ciencia y Técnica Maya. Fundación Solar. Guatemala. pp. 101-133.
- Kay, A., and Gratzel, M. 1993. Artificial Photosynthesis. 1. Photosensitización of TiO₂ solar Cells with Chlorophyll derivatives and Related Natural Porphyrins. *J. Phys. Chem.* 97: 6272-6277.
- Loaiza J.C., Céspedes C.L., Beuerle T., Theuring C. and Hartmann T., *Ceroplastes albolineatus*, the first scale insect shown to sequester pyrrolizidine alkaloids from its host-plant *Pittocaulon praecox*; *Chemoecology* 17: 109–115 (2007)
- Lozoya X., 1984. Plantas y luces de México, la real expedición científica a Nueva España (1787-1803); El Serbal, Barcelona. pp. 1-224.
- M. Graetzel, *Acc. Chem. Res.* 2009, 42, 1788.
- Mahran, G.H., El-Fishawy, A.M., Hosny, A.M.S., Hilal, A.M., 1991. Phytochemical and antimicrobial study of *Jacaranda mimosaeifolia* D. Don grown in Egypt. *Herba Hungarica* 30, 98–104.

- Malagoni D. 2001. "Materiales y técnicas de la pintura Maya", La pintura mural prehispánica en México: área Maya. Editado por B.de la Fuente. Universidad Nacional Autónoma de México; Instituto de Investigaciones Estéticas. México. Pp. 155-198.
- Martínez M., Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas, FCE, México 1971.
- Matsumura Y., Ananthaswamy H.N., 2004. Toxic effects of ultraviolet radiation on the skin. Toxicology and Applied Pharmacology. In press
- Moharram A., Mohamed S.A., Marzouk, ; A novel Phenylethanoid dimer and flavonoids from *Jacaranda mimosaeifolia*; Z. Naturforsch; 2007; 1213-1222.
- Monterrojo V., 50 aniversario de la Dalia como flor nacional de México; INECOL, 2013.
- Morales-Acevedo A. and Casados-Cruz G., Forecasting the Development of Different Solar Cell Technologies, International Journal of Photoenergy Volume 2013, , 5 pages
- Nicasio P., Meckes M., 2005; Hypotensive effect of the hydroalcoholic extract from *Jacaranda mimosaeifolia* leaves in rats; Journal of Ethnopharmacology 97 301–304.
- Nogueira, A. F. & Paoli, M.-A. D. (2001). "Electron transfer dynamics in dye sensitized nanocrystalline solar cells using a polymer electrolyte." Journal of Physical Chemistry B, Vol. 105, pp 7517.
- O'Regan B, Graetzel M. A low-cost, high efficiency solar cell based on dyesensitized colloidal TiO₂ films. Nature 1991;353:737–40.
- Pan, J., Xu, Y., Sun, L., Sundstrom, V., and Polivka, T. 2004. Carotenoid and Pheophytin on Semiconductor Surface: Self-Assembly and Photoinduced Electron Transfer. J. Am. Chem. Soc. Commun. 126: 3066-3067.
- Perich, M., Wells, C., Bertsch, W., Tredway, K. Isolation of the insecticidal components of *Tagetes minuta* (Compositae) against mosquito larvae and adults. *Journal of American Mosquito Control Associate*. 1995, 11, 307-310.
- Planells, M., Forneli, A., (2008). "The effect of molecular aggregates over the interfacial charge transfer processes on dye sensitized solar cells." Applied Physics Letters, Vol. 92, pp 153506.
- Qin, Ch., Clark, A. E. 2007. DFT characterization of the optical and redox properties of natural pigments relevant to dye-sensitized solar cells. Chemical Physics Letters. 438: 26-30.

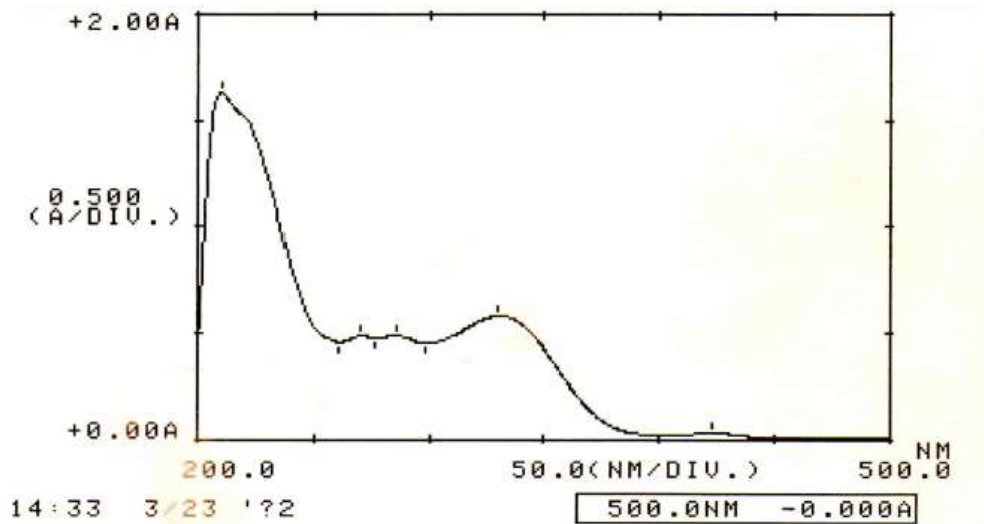
- Rana A, Bhangalia S, Singh HP.; A new phenylethanoid glucoside from *Jacaranda mimosifolia*. *Nat Prod Res.* 2012; 27(13):1167-73.
- Reyes Chilpa, R. (1980). El nopal en el tiempo I: El corazón de Copil. *Fundamento* (Revista de San Luis Potosí, México) 1(2):27-29.
- Rondón, M., Velasco, J., Morales, A., Rojas, J., Carmona, J., Gualtieri, M., Hernández, V. Composition and antibacterial activity of the essential oil of *Salvia leucantha* Cav. cultivated in Venezuela Andes. *Rev. Latinoamer. Quím.* 2005, 33, 40-44.
- Roquero A., Córdoba C.; Manual de tintes de origen natural para lana; El serbal Barcelona, 1981, pp 9-15.
- Rossignon J. 1859. Manual del cultivo del añil y del nopal, ó sea extracción del Indigo. Educación y cosecha de la cochinilla. Extracción de los principios colorantes de varias plantas tinctoriales. pp. 43-53.
- Rozema J., De Staij J.V., Björn L.O., 1997. UV-B as an environmental factor in plants life: stress and rgulation. *Trends in ecology and evolution.* 12: 22-28.
- Serrato Cruz; Información documental sobre el taxa *Tagetes* para dimensionar su centro de origen y diversidad genética en México; Departamento de Fitotecnia Universidad Autónoma Chapingo, Junio 2009.
- Smestad, G.P.; Bignozzi, C.; and Argazzi, R. “Testing of Dye Sensitized TiO² Solar Cells I & II.” *Solar energy materials and solar cells*, vol. 32, pp 259-273, 1994.
- Tereschuk, M., Baigorí, M., Abdala, L. Antibacterial activity of *Tagetes terniflora*. *Fitoterapia*, 2003, 74, 404-406.
- Toledo V.M., Ordoñez M.J., 1998. El panorama de la biodiversidad de México: una revisión de los hábitats terrestres. *Acta Botánica Mexicana* 46: 29–55.
- Treviño de Castro, G., L.M. Mera Ovando, R. Bye-Boettler, J.M. Mejía Muñoz y A. Laguna-Cerda. 2007. “Historia de la dalia (acocoxóchitl). La flor nacional”, en *Publicación de Difusión 1. SNICS-SAGARPA, Chapingo, 27 pp*
- Zaghloul A.M., Gohar A.A., Ahmad M.M., Baraka H.N., 2011; Phenylpropanoids from the stem bark of *Jacaranda mimosaeifolia*, *Natural Product Research*, Vol. 25, No. 1, January 2011, 68–76.
- Zhang, D. et. al., 2008. Betalain pigments for dye-sensitized solar cells. *J. Photochem. Photobiol. A.* 195: 72- 80.

10. APÉNDICE

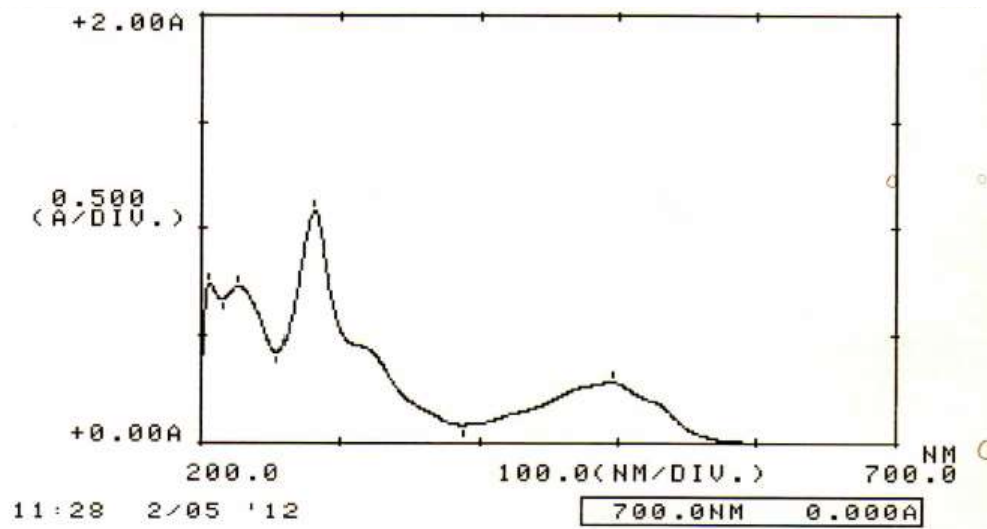
10.1 ESPECTROS



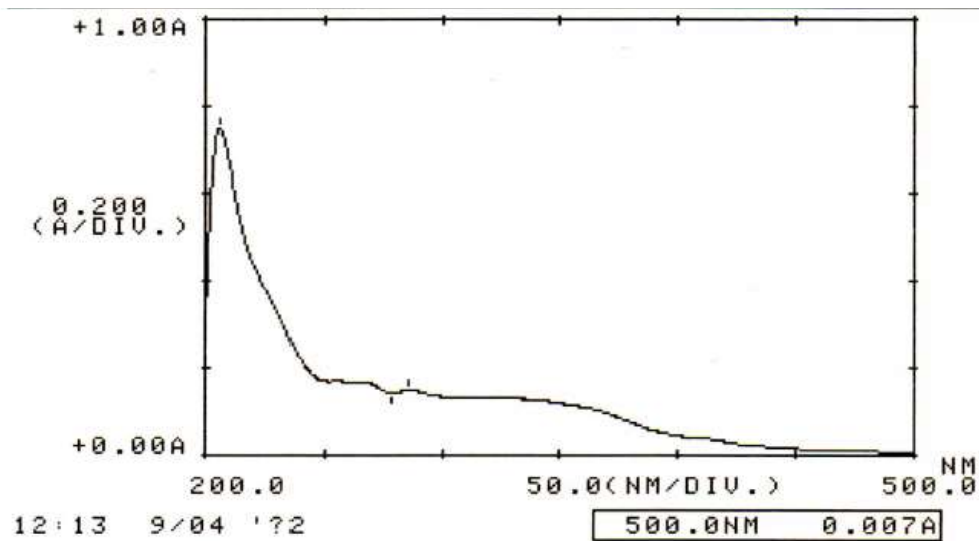
Espectro 1. UV-Vis Jacaranda fresca



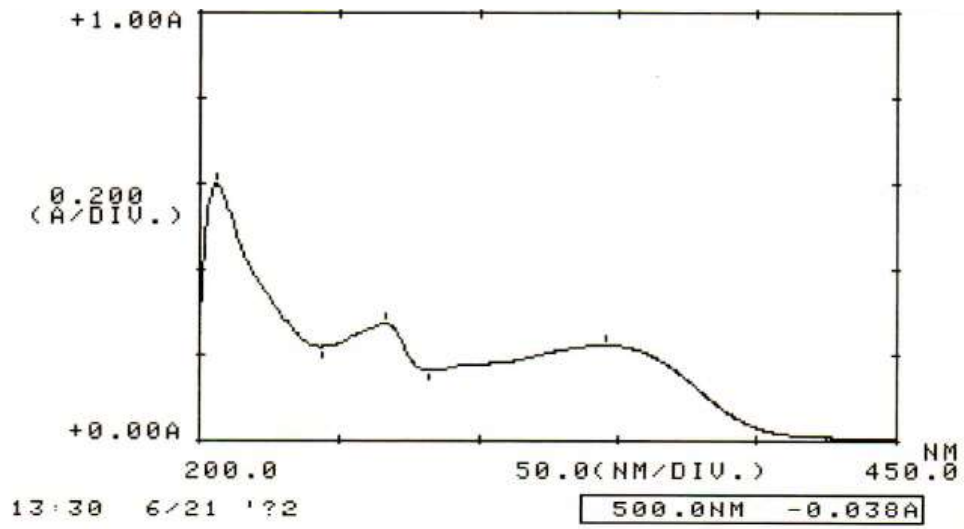
Espectro 2. UV-Vis Jacaranda seca



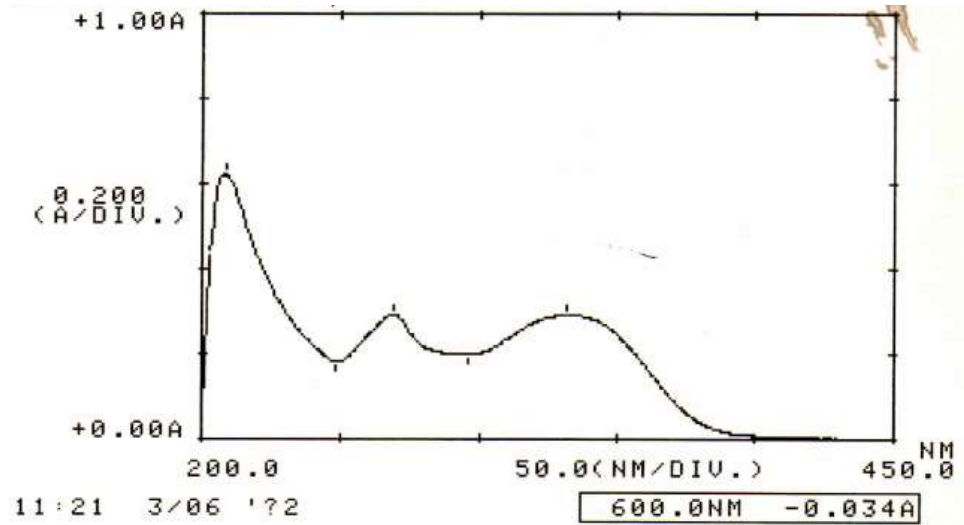
Espectro 3. UV-Vis Cochinilla



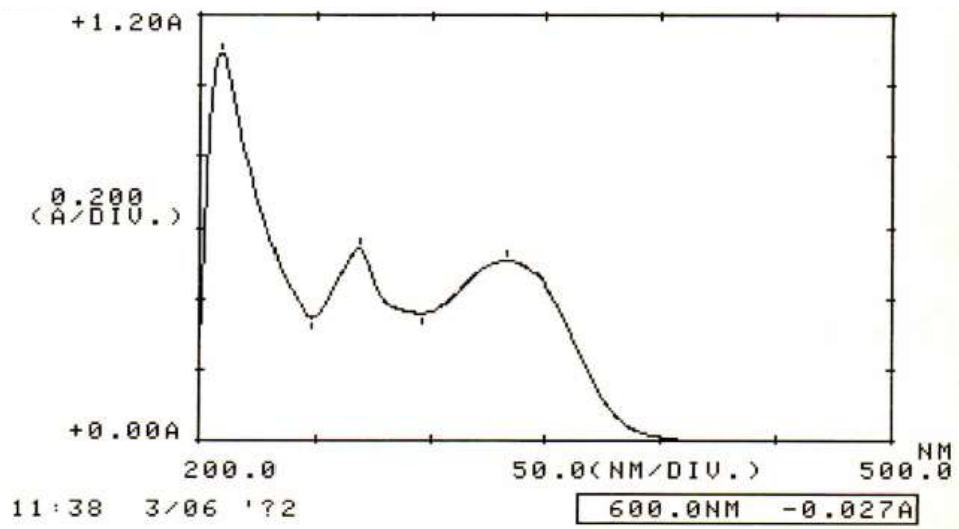
Espectro 4. UV-Vis Añil seco



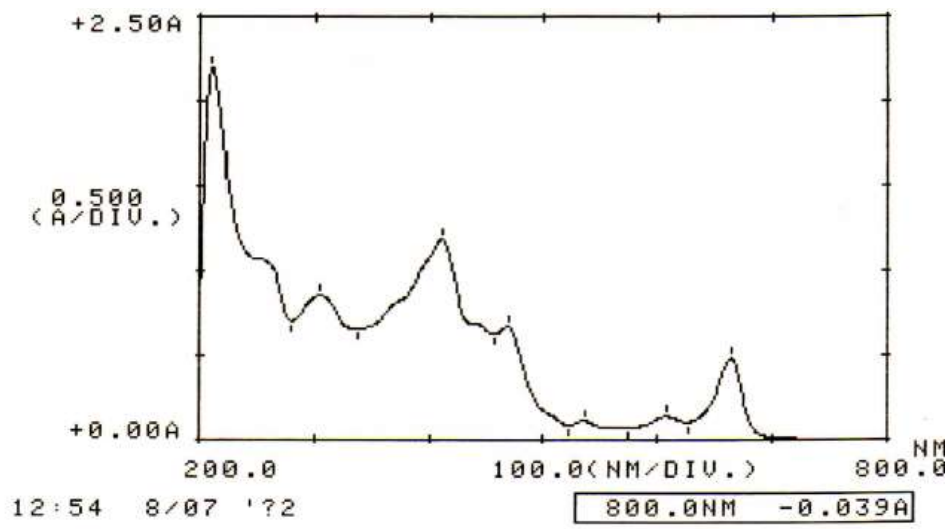
Espectro 5. UV-Vis Cuscuta



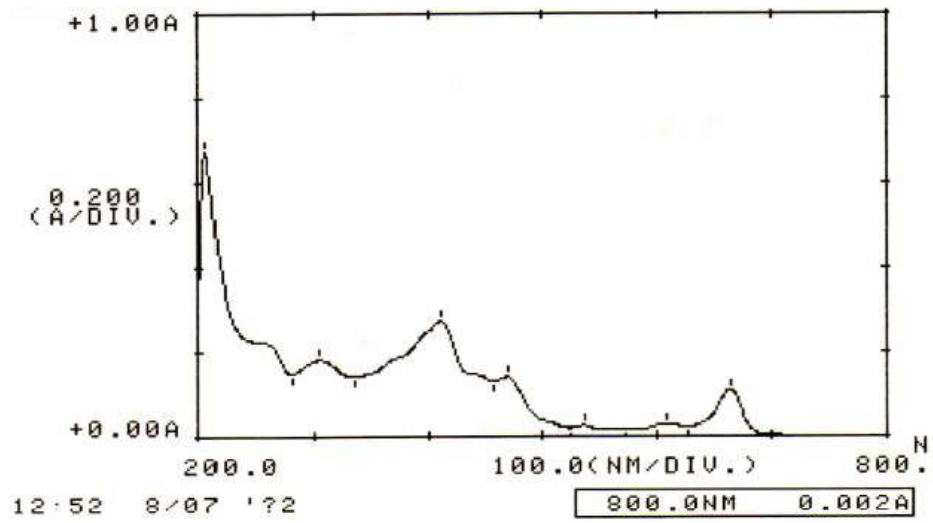
Espectro 6. UV-Vis Dalia fresca



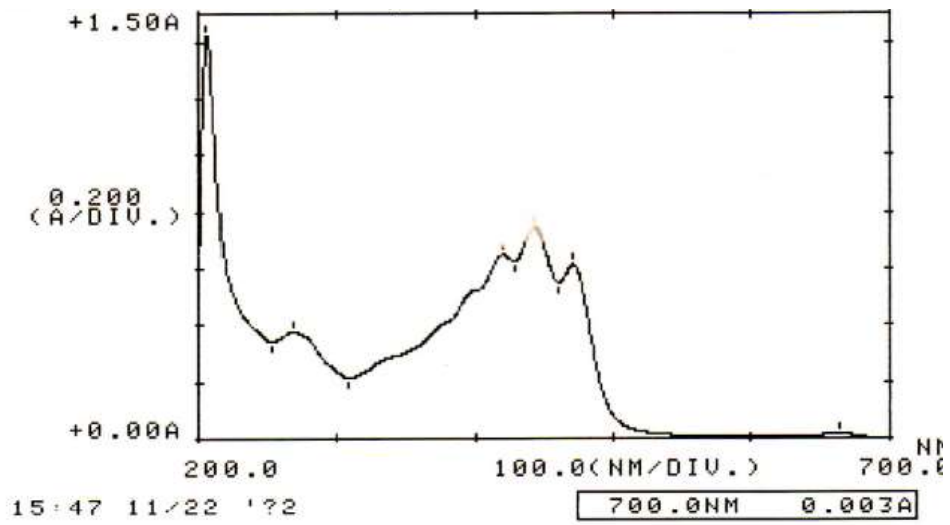
Espectro 7. UV-Vis Dalia Seca



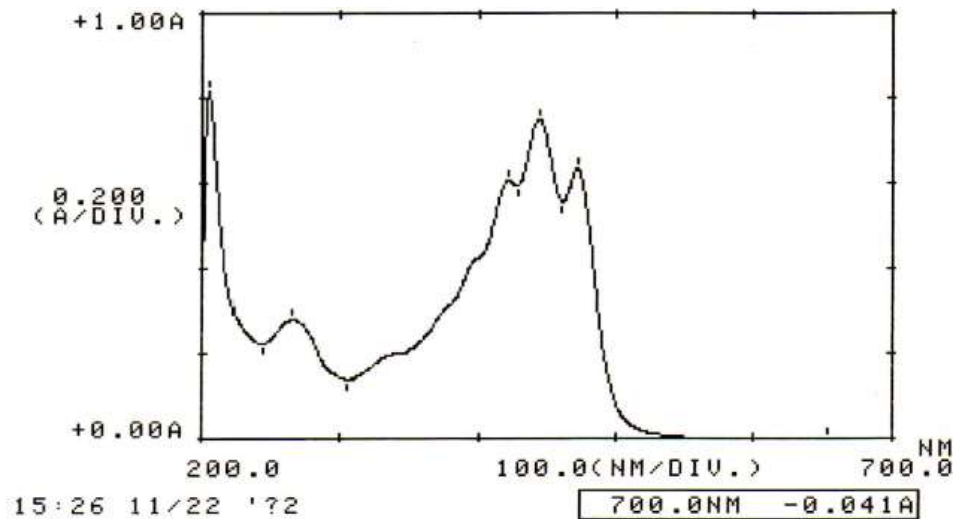
Espectro 8. UV-Vis Muitle fresco



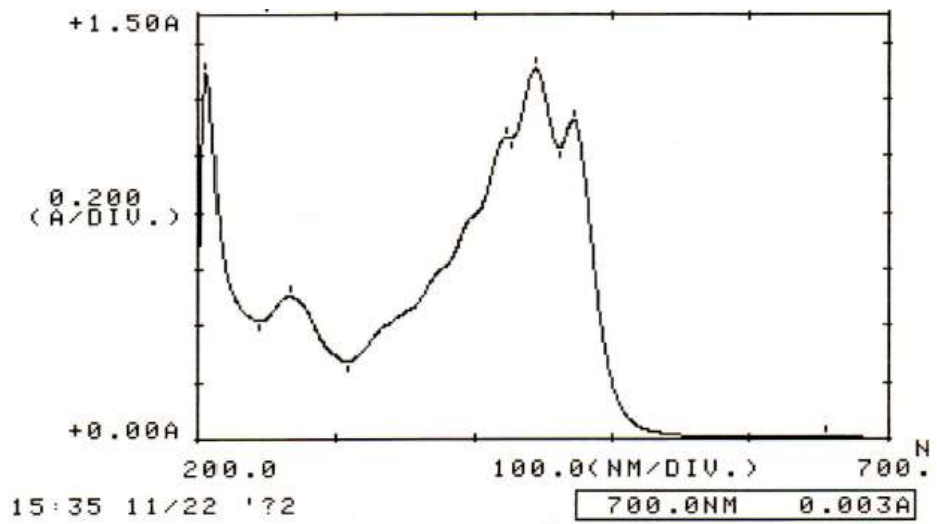
Espectro 9. UV-Vis Muitle seco



Espectro 10. UV-Vis Cempasúchil



Espectro 11. UV-Vis Pericón



Espectro 12. UV-Vis Clavel del moro

