



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

“OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE ADSORCIÓN DE
PIGMENTOS NATURALES FOTOSENSIBLES SOBRE DIÓXIDO
DE TITANIO (TiO_2) PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE
CELDA SOLARES ORGÁNICAS”

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

AUTOR

Erick Patricio Páez Valles

DIRECTOR

Ing. Santiago Salazar Torres, MSc

Ibarra, abril del 2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

“OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE ADSORCIÓN DE PIGMENTOS
NATURALES FOTOSENSIBLES SOBRE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO₂)
PARA INCREMENTAR LA EFICIENCIA DE CELDAS SOLARES
ORGÁNICAS”

**Trabajo de titulación revisado por el Director y Comité Asesor, por lo cual se
autoriza su presentación como requisito parcial para obtener el Título de:**

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

APROBADO:

Ing. Santiago Salazar Torres, MSc

DIRECTOR



FIRMA

Ing. Jimmy Núñez Pérez, MSc

ASESOR



FIRMA

Ing. José Manuel País Chanfrau, PhD

ASESOR



FIRMA

Ing. Luis Marcelo Albuja, MSc

ASESOR



FIRMA

Ibarra – Ecuador

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100360287-5		
APELLIDOS Y NOMBRES:	PÁEZ VALLES ERICK PATRICIO		
DIRECCIÓN:	PADRE RAYMUNDO DE LA CRUZ Y COLÓN, CONDOMINIO URDIALES		
EMAIL:	erickpaez10@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	2-608-103	TELÉFONO MÓVIL:	0986449600

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Optimización del tiempo de adsorción de pigmentos naturales fotosensibles sobre dióxido de titanio (TiO ₂) para incrementar la eficiencia de celdas solares orgánicas”

AUTOR :	ERICK PATRICIO PÁEZ VALLES
FECHA:	27 de Abril del 2017
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Santiago Salazar Torres, Msc

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

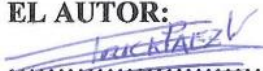
Yo, ERICK PATRICIO PÁEZ VALLES, con cédula de identidad Nro. 1003602875, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días del mes de abril de 2017

EL AUTOR:


.....

Erick Patricio Páez Valles.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, ERICK PATRICIO PÁEZ VALLES, con cédula de identidad Nro. 1003602875, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: "Optimización del tiempo de adsorción de pigmentos naturales fotosensibles sobre dióxido de titanio (TiO_2) para incrementar la eficiencia de celdas solares orgánicas", que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 27 días del mes de abril de 2017



Erick Patricio Páez Valles.

1003602875

DEDICATORIA

Todo este trabajo está dedicado a Dios por permitirme cada día superarme tanto en el ámbito profesional como en el humano brindándome salud y oportunidades, a mi Padre por el ser el apoyo incondicional y el que más creyó en mí; a mi Madre por ayudarme a su manera y a todas las personas que de una u otra forma aportaron para que esta meta se haga realidad.

Erick

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por todas las experiencias en estos 6 años de vida estudiantil; al ingeniero Santiago Salazar Torres, Director del presente trabajo; por haber asumido con dedicación el rol de guía de la investigación. Así como mencionar que gracias a su ingenio y buena voluntad este trabajo ha podido concluirse.

Por otra parte, agradezco a cada una de las personas que formaron parte de mi tribunal, que de una u otra manera han hecho posible culminar mi investigación. Además, quiero agradecer de manera especial a los ingenieros Jimmy Núñez, José Manuel País Chanfrau y Luis Marcelo Albuja; a la doctora Silvia Montes y al bioquímico José Luis Moreno por su profesionalismo y ayuda técnica.

Mi gratitud eterna a mi Padre, a mi hermana y a mi Madre que son esa fuerza silenciosa que siempre estará presente. Y a Dios, porque sin su ayuda no lograría nada.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Páginas
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	5
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO III.....	6
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3.1 LA RADIACIÓN SOLAR COMO FUENTE DE ENERGÍA.....	6
3.1.1 LA ENERGÍA Y FUENTES DE ENERGÍA.....	6
3.1.2 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE	7
3.1.3 FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLE	9
3.2 CAMBIO EN LA MATRIZ ENERGÉTICA DEL ECUADOR	11
3.3 ORIGEN Y NATURALEZA DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	12
3.4 USO DE LA RADIACIÓN SOLAR COMO FUENTE DE ENERGÍA	13
3.5 CELDAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR COLORANTES	16
3.5.1 CELDAS FOTOVOLTAICAS	16
3.5.2 TIPOS DE CELDAS SOLARES	16
3.5 MÁXIMO DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA EN CELDAS FOTOVOLTAICAS.....	17
3.6 CELDA SOLAR SENSIBILIZADA POR COLORANTE (DSSC).....	20
3.7 COMPONENTES DE UNA CELDA SOLAR SENSIBILIZADA POR COLORANTE (DSSC).....	24
3.8 ESPECTROMETRÍA	27
3.8.1 ESPECTROMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE	27
3.8.2 ESPECTROFOTÓMETRO ULTRAVIOLETA-VISIBLE	28
3.8.2.1 ESPECTRO ULTRAVIOLETA-VISIBLE	29
3.8.3 ESPECTOFOTÓMETRO DE REFLACTANCIA	30
CAPÍTULO IV.....	31

MATERIALES Y MÉTODOS	31
4.2 RECOLECCIÓN DE MATERIAL VEGETAL	31
4.3 SECADO DE MATERIAL VEGETAL	34
4.4 EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS NATURALES	36
4.5 OBTENCIÓN DE MÁXIMA ABSORBANCIA EN EL ESPECTOFOTÓMETRO ULTRAVIOLETA-VISIBLE (ORION AQUAMATE 8000 UV-VIS V1.004 2W2R091105).....	37
4.6 OBTENCIÓN DEL COLOR REAL EL ESPECTOFOTÓMETRO DE FLUORESCENCIA (SPECORD 250 PLUS - ANALYTIK JENA AG)	38
4.7 CONSTRUCCIÓN DE CELDAS SOLARES DSSCS.....	38
CAPÍTULO V	43
RESULTADOS	43
.....	46
CAPÍTULO VI.....	53
DISCUSIÓN	53
CAPÍTULO VII	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
CAPÍTULO VIII.....	61
REFERENCIAS Y ANEXOS.....	61
8.1 BIBLIOGRAFÍA	61
8.2 ANEXOS	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro de la irradiación solar en la parte superior de la atmósfera	13
Figura 2. Eficiencia de las celdas solares de diferentes tecnologías	19
Figura 3. Banda prohibida del dispositivo fotovoltaico	21
Figura 4: Esquema de la sección transversal de una DSSC	22
Figura 5: Esquema de funcionamiento de una celda solar DSSC o tipo Grätzel...	23
Figura 6: Esquema del funcionamiento de una DSSC. Los procesos que tiene lugar son: excitación (1), inyección (2), reducción del electrolito (3), regeneración del colorante (4). Durante el ciclo pueden producirse pérdidas de eficiencia por recombinación	24
Figura 7: Montaje de una celda solar sensibilizada por colorante	27
Figura 8: Funcionamiento de un espectrofotómetro de reflectancia.....	30
Figura 9: Mapa de insolación media global del Ecuador.....	32
Figura 10: Mapa de localización y Delimitación Zona 1	33
Figura 11: Plantas de estudio	34
Figura 12: Plantas frescas para su secado a 45°C	35
Figura 13: Frutos frescos para su secado a 60°C	35
Figura 14: Plantas y frutos después de cinco días de secado	36
Figura 15: Material vegetal molido y pesado por separado	36
Figura 16: Material sumergido en 200ml de solución	37
Figura 17: Filtrado y etiquetado de pigmentos naturales.....	37
Figura 18: Kit para la estructuración de celdas solares orgánicas	39
Figura 19: Electrodo de titanio opaco sumergido en pigmentos	39
Figura 20: Lavado de exceso de pigmento con etanol	40
Figura 21: Secado de electrodos a temperatura ambiente.....	40
Figura 22: Sellado de la celda a 100° C	41
Figura 23: Adición de electrolito y sellado de la celda.....	41
Figura 24: Espectrofotometría UV/Vis (λ min=300nm, λ max=700nm, Abs=1-5), Plantas	44
Figura 25: Espectrofotometría UV/Vis (λ min=300nm, λ max=700nm, Abs=1-5), Frutos	44

Figura 26: Espectroscopía de reflectancia, pigmentos de plantas (a,b,c,d), frutos (e,f,g,h), control (i).....	46
Figura 27: Eficiencia de la celda solar con respecto al tiempo de adsorción del pigmento sobre el semiconductor, Frutos.	48
Figura 28: Eficiencia de la celda solar con respecto al tiempo de adsorción del pigmento sobre el semiconductor, Plantas.	49
Figura 29: Gráfico de residuos contra valores pronosticados de modelos, visualmente presentando independencia.	50
Figura 30: Tiempo de adsorción, estimaciones.....	50
Figura 31: subconjuntos homogéneos, eficiencia de la celda, prueba de tukey.....	51
Figura 32: medias marginales estimadas, tipo de pigmento orgánico	51
Figura 33: Subconjuntos homogéneos, eficiencia de la celda.....	52

RESUMEN

La celda solar sensibilizada por colorante (*Dye Sensitized Solar Cell* - DSSC, por sus siglas en inglés) es una prometedora tecnología alternativa de energía renovable diseñada para compensar la declinación en las reservas de combustibles fósiles en las próximas décadas y para hacer uso de la energía solar abundante en una región o zona en específico con una de las más altas irradiaciones solares en el Ecuador. Este estudio está destinado a establecer los fundamentos técnico- científicos para el diseño, la nano-fabricación y la construcción de una DSSC, que tiene como base un activador de tinte natural originario de la flora del Ecuador. Para el estudio se seleccionaron 4 especies de plantas (*Baccharis latifolia* “Chilca”; *Solanum nigrum* “Hierba mora”; *Gladiolus hortulanus* “Palma”; *Clivia miniata* “Clivia”) y 4 frutos frescos de otras especies de plantas (*Rubus glaucus* “Mora de castilla”; *Coriaria ruscifolia* “Shanshi”; *Opuntia tuna* “Tuna”; *Vaccinium meridionale* “Mortiño”); todas provenientes de la zona 1 del Ecuador (formada por las provincias Esmeraldas, Carchi, Imbabura y Sucumbíos). Los pigmentos fueron obtenidos, después de secar y triturar el material vegetal, mediante la extracción con solventes (mezcla de etanol con ácido clorhídrico). Los diferentes tintes obtenidos fueron caracterizados mediante sus perfiles de espectros de absorción UV-VIS y los valores de longitud de onda máxima de adsorción. En lo referente al pH, este no fue un parámetro que influyó directamente en el proceso de extracción a temperatura ambiente, a diferencia del solvente utilizado. Posteriormente, se estudió el comportamiento de los diferentes tintes sobre la adsorción de los sensibilizadores naturales en las nano-partículas de TiO₂. Para la fabricación de las celdas solares, se tomó como guía los pasos descritos en el manual “Solar Dye Cells for Real” de Solaronix, así como la metodología utilizada por diferentes autores, integrando innovaciones y diseños propios. Obteniendo dos tintes muy prometedores para la estructuración de celdas solares, de plantas como: *Baccharis latifolia* “Chilca”, *Gladiolus hortulanus* “Palma” con una eficiencia en conversión de 0,43 V y 0,50 V respectivamente. Finalmente, se realizó a las muestras seleccionadas pruebas foto-electroquímicas y ópticas, con el fin de lograr una eficiente nano-fabricación de DSSCs que sean amigables con el ambiente y rentables para la sociedad.

PALABRAS CLAVE

Celda Solar, Renovable, Irradiación, Pigmento, UV-VIS

ABSTRACT

Dye-sensitized solar cell (DSSC) is one promising alternative renewable energy technology designed to balance declining fossil fuel reserves in the next few decades and to make use of the abundant high-intensity solar energy supply found in what is known as “Zone 1” which is the highest solar irradiation in Ecuador. This study is designed to establish the technical and scientific basis for DSSC nanofabrication and building. The research was based on a natural dye sensitizer extracted from native flora found in Ecuador. For the study there were 4 pre-selected species of plants (*Baccharis latifolia* "Chilca"; *Solanum nigrum* "Grass mora"; *Gladiolus hortulanus* "Palma" *Clivia miniata* "Clivia") and 4 fresh fruits of other plant species (*Coriaria ruscifolia* "Shanshi"; *Rubus glaucus* "Mora de Castilla", *Opuntia tuna* "Tuna"; *Vaccinium meridionale* "Mortiño"); all of them grown in Ecuador Zone One being this region made up by the Esmeraldas, Carchi, Imbabura and Sucumbíos provinces. Pigments were obtained after drying and grinding the plant material through solvent extraction composed by ethanol with hydrochloric acid, ethanol and methanol. The different dyes obtained will be characterized by their profiles spectra UV-VIS absorption values and peak wavelength adsorption. As regards to the pH, this is not a parameter that directly influences the extraction process at room temperature, unlike the solvent used. Subsequently, the reaction of different dyes on the adsorption of natural sensitizers in the nano-TiO₂ particles were studied. As for the production of the solar cells, the steps described in the "Solar Dye Cells for Real" manual of Solaronix were taken as a guide, as well as the methodology used by different authors, integrating innovations and original designs. Obtaining two very promising dyes for the structuring of solar cells then original pigments were obtained from the plants as: *Baccharis latifolia* "Chilca", *Gladiolus hortulanus* "Palma" with a conversion efficiency of 0.43 V and 0.50 V consecutively. Finally, the solar cells were exposed to photo-electrochemical and optical testing, in order to achieve efficient nano-manufacturing DSSCs that result in environmentally friendly and cost-effective processes for modern society.

KEYWORDS

Solar cell, Renewable, Irradiation, Dye, UV-VIS

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El balance energético del Ecuador constituye un elemento esencial en la elaboración de proyectos a corto, mediano y largo plazo que sirvan para el desarrollo económico del país (SENPLADES, 2013). Determinando la evolución de la "matriz energética" hacia el uso de fuentes renovables, permitirá dar sostenibilidad al desarrollo del país (MCSE, 2013). En este sentido, existen varias alternativas y perspectivas de desarrollo del sistema energético ecuatoriano con posibilidades de mejorarlo, tomando como prioridad las fuentes renovables, haciendo énfasis en la construcción de nuevos proyectos con financiamiento estatal (INER, 2015).

La humanidad ha comenzado a tomar conciencia de los problemas ambientales que se han generado debido a la continua explotación de combustibles fósiles para satisfacer la demanda energética mundial (Vivanco, 2005); esto se refleja en dos cuestiones fundamentales: la amenaza de una escasez temprana de los yacimientos de petróleo y el incremento exponencial de la contaminación ambiental (Escandon, 2012); en lo referente a las grandes cantidades de gases de efecto invernadero, y la contaminación directa de fuentes de agua (Jinchu, Sreekala, & Sreelatha, 2013).

Actualmente existe un desbalance en la utilización de la energía fósil no renovable sobre la energía renovable; lo cual no solo provoca una explotación irracional de los recursos no renovables como el petróleo y el carbón mineral; sino que también lleva consigo la emisión de gases contaminantes y residuales que inducen un trastorno del ecosistema global (Brenes, 2011). Los estudios tecnológicos y las normativas nacionales para limitar emisiones de gases de efecto invernadero han

sido insuficientes, razón por la cual, es primordial la búsqueda de fuentes alternativas (Orozco, 2013), diversificando así las opciones energéticas y contribuyendo a que el Ecuador se convierta en un país autosustentable (Ramirez & Solano, 2002).

Entre las opciones se encuentran las energías renovables no convencionales (Ramirez & Solano, 2002) como la solar, que de acuerdo a las estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano, para el 2011 contribuyó solamente con el 0,002% de la total producida en el país (MCSE, 2013), Con estos datos se demuestra la necesidad de explorar y explotar las fuentes alternativas de producción de energía y el modo ecológicamente sustentable de desarrollarlas.

Las investigaciones sobre la incidencia de los colorantes orgánicos de origen natural y su función como sensibilizadores de celdas solares, es esencial para el desarrollo de nuevas formas de ahorro energético (Garz, 2008). Esto constituye un gran avance en el ámbito científico y ambiental, debido a que las propiedades, características y funciones de los colorantes favorecen la implementación de celdas solares por factibilidad de aplicación sobre sustratos ligeros y flexibles (Ramirez & Solano, 2002), aumentan los niveles de eficiencia alcanzados en un lapso de tiempo relativamente corto y proporcionan posibilidades de aplicación en condiciones de baja intensidad de radiación (Arturo & Lemus, 2014).

Los estudios referentes a esta temática aportan grandes cambios y mejoras en la preservación del medio ambiente que actualmente se encuentra en un estado regular. Gracias a los colorantes orgánicos aplicados en celdas solares fotovoltaicas se disminuye el gasto de energía, aprovechando la energía lumínica proveniente del sol (Orozco, 2013). En consecuencia, se beneficia la naturaleza, la ecología, el entorno y de cierta forma se regula el ambiente, mejorando la calidad de vida del ser humano (Sánchez, 2010).

Al identificar los colorantes orgánicos de origen natural usados como sensibilizadores de celdas solares y establecer las posibles propiedades

fisicoquímicas, o la relación estructura-actividad inherente a los colorantes orgánicos utilizados como sensibilizadores en celdas solares, se obtendrá una visión más amplia de las propiedades que un compuesto debe tener para mejorar costos y desempeño de las celdas (Brenes, 2011), y así generar ideas de como otros compuestos se pueden tener en cuenta para posteriores estudios, o proponer posibles rutas sintéticas utilizadas en la obtención de colorantes orgánicos como sensibilizadores de celdas solares (Arturo & Lemus, 2014).

La adsorción de la molécula sobre la superficie del semiconductor se lleva a cabo específicamente en grupos funcionales de la molécula colorante, a esto se le conoce como tiempo de adsorción. En algunos colorantes se trata de los grupos carboxílicos (COOH) al final de los anillos piridilo. El grupo COOH forma un enlace con la superficie del TiO₂ (Ramirez & Solano, 2002). El reto es conseguir un tiempo óptimo para cada pigmento natural para que así ocurra un proceso de absorción de un fotón por una molécula del pigmento dando como resultado una excitación en los estados electrónicos de la molécula y produciendo energía (Farmacia, 2014).

En el presente trabajo, se ha investigado acerca de la eficiencia de conversión energética de las DSSCs, el comportamiento de los diferentes tintes extraídos de 8 plantas nativas de la zona 1 del Ecuador sobre la adsorción de los sensibilizadores naturales en las nano-partículas de TiO₂; teniendo como objetivo principal la determinación del tiempo de adsorción óptimo del pigmento natural sobre el semiconductor TiO₂ para aumentar la eficiencia de la celda solar sensibilizada por colorante (DSSC) y como objetivos específicos: la extracción de un pigmento natural de la zona 1 del Ecuador que sirva como modelo de estudio; la caracterización fisicoquímica y ópticamente el pigmento natural obtenido; el ensamblar de celdas solares DSSCs y la caracterización de la eficiencia de las celdas solares DSSCs en laboratorio, mediante un equipo simulador de irradiación solar de 1000 W/m². Para tal fin se ha desarrollado una metodología para el secado, extracción y elaboración de las celdas solares. Obteniendo resultados alentadores respecto al potencial que muestran hojas y frutos de los modelos de estudio utilizados. Cumpliendo que la eficiencia de la celda solar DSSC aumenta con el

tiempo de adsorción del pigmento natural sobre el semiconductor de TiO_2 . Así como también se ha dejado bases necesarias para la continuidad de investigaciones sobre celdas solares en la Universidad Técnica del Norte. Aportando a la incursión de nuevos temas para que exista un desarrollo adecuado y eficiente de un recurso importante como es la radiación solar.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar el tiempo de adsorción óptimo del pigmento natural sobre el semiconductor TiO_2 para aumentar la eficiencia de la celda solar sensibilizada por colorante (DSSC)

2.2 Objetivos específicos

- Extraer un pigmento natural de la zona 1 del Ecuador que sirva como modelo de estudio.
- Caracterizar fisicoquímica y ópticamente el pigmento natural obtenido.
- Ensamblar celdas solares DSSCs.
- Caracterizar la eficiencia de las celdas solares DSSCs en laboratorio, mediante un equipo simulador de irradiación solar de 1000 watt/m^2 .

2.3 Hipótesis

La eficiencia de la celda solar DSSC aumenta con el tiempo de adsorción del pigmento natural sobre el semiconductor TiO_2

CAPÍTULO III

REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 LA RADIACIÓN SOLAR COMO FUENTE DE ENERGÍA

3.1.1 LA ENERGÍA Y FUENTES DE ENERGÍA

El requisito esencial de cualquier sistema de transformación de energía solar a eléctrica es la absorción de una parte considerable de la radiación incidente (Swanson, 2009). El concepto depende del contexto en el que se lo quiera utilizar, por lo que existen diferentes formas de definirlo. En función al presente trabajo se puede especificar como la capacidad de producir transformaciones en un sistema; dependiendo de la fuerza de interacción que entrega la energía al sistema se puede identificar a los siguientes tipos : eléctrica, mecánica, solar, eólica, entre otras (Cortéz, 2015). Dentro de la energía solar se encuentra la energía solar fotovoltaica la cual es una fuente que produce electricidad de origen renovable obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor (celda solar) (Fallis, 2013).

En tecnología y economía, una fuente de energía es un recurso natural, así como la aquella asociada para explotarla y hacer un uso industrial y económico del mismo (Toledo, 2010). La energía en sí, nunca es un bien para el consumo final sino un recurso intermedio para satisfacer otras necesidades en la producción de bienes y servicios. Al ser un bien escaso, ha sido históricamente fuente de conflictos para el control de los recursos energéticos (IPCC, 2011). Es común clasificar las fuentes de energía según incluyan el uso irreversible o no de ciertas materias primas, como combustibles o minerales radioactivos.

3.1.2 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE

Las Fuentes de energía renovables son aquellas que, tras ser utilizadas, se pueden regenerar de manera natural o artificial (Cortéz, 2015). Algunas de estas fuentes renovables están sometidas a ciclos que se mantienen de forma más o menos constante en la naturaleza. Se obtienen de fuentes naturales inagotables a escala humana (Deleage & Souchon, 2016). Esto puede deberse a dos causas, o bien el recurso dispone de una cantidad de energía ilimitada (el sol y el viento) o bien porque el recurso tiene la capacidad de regenerarse de manera natural (las mareas, olas, materia forestal) (Calvo, 2009).

Existen 7 principales fuentes de energía renovable:

3.1.2.1 Energía Solar

Es la más conocida de las energías renovables debido a su mayor visibilidad (SENER, 2012). Existen diferentes maneras de aprovechar la radiación solar para generar energía, entre las cuales se destacan tres: la energía solar fotovoltaica que convierte la energía del sol en electricidad, la energía solar térmica se convierte en calor y la energía termosolar o solar termoeléctrica que produce electricidad (Sánchez, 2011). Para cada uno de estos tipos existen aplicaciones muy diferenciadas, desde el calentamiento del agua para la solar térmica hasta el consumo de electricidad en edificios para la solar fotovoltaica (IPCC, 2011).

3.1.2.2 Energía Eólica

Otra de las fuentes renovables que son muy visibles es la eólica producida mediante aerogeneradores o molinos de viento (Guairacaja, 2012). Es posible encontrar aerogeneradores desde pocos kW de potencia hasta otros que tienen MW de potencia (Madrid, 2012).

3.1.2.3 Energía Hidráulica

Ésta aprovecha los saltos de agua para obtener electricidad (Timmons & Roach, 2014). Es la más extendida de las fuentes de energía renovable, ya que está presente en todos los países desarrollados del mundo (Timmons & Roach, 2014). Para generarla se pueden construir presas artificiales o aprovechar accidentes geográficos naturales para obtener energía hidroeléctrica (Gómez, 2006). En algunos emplazamientos existen centrales minihidráulicas situadas en ríos que aprovechan pequeños saltos de agua generando electricidad mediante turbinas para pequeñas o medianas industrias (Timmons & Roach, 2014).

3.1.2.4 Energías Marinas

Se concentran en adquirir la energía que lleva el agua, dependiendo su forma, existen diferentes tipos para obtenerla (Silva, 2009). Si se adquiere de las olas es conocida como undimotriz u olamotriz; de la diferencia térmica existente en el agua es considerada como maremotérmica o de gradiente térmico (OTEC) (Nuñez & Ribas, 2010). De la diferencia en la concentración de sal es la energía de potencia osmótica; por último, se puede aprovechar las corrientes de agua para generar la energía de corrientes marinas (Caballero & Santos, 2011).

3.1.2.5 Energía Mareomotriz

Puede ser calificada también como una energía marina, pero debido a su especial importancia en muchas ocasiones se considera de forma separada (Barrientos, 2005). Mareomotriz o energía de las mareas, aprovecha el movimiento que se produce en el agua debido a la bajamar y a la pleamar para generar electricidad. Se trata de una fuente de energía renovable bien conocida en algunas partes del mundo (Francia, Canadá o Corea del Sur) donde las mareas son muy importantes y se pueden generar enormes cantidades de electricidad (Mareomotriz, Chingotto, Capitán, & Mario, 2006).

3.1.2.6 Energía Geotérmica

Aprovecha el calor interno de la Tierra para generar electricidad y/o calor, dependiendo del tipo de instalación (Pous & Jutglar, 2004). Tradicionalmente ha sido utilizada desde los tiempos de los romanos mediante el aprovechamiento de las fuentes termales naturales (IGME, 2008). Hay algunos países como Islandia donde esta energía tiene una gran relevancia. Se puede clasificar según la temperatura de la corteza de la Tierra y puede variar entre geotérmica de muy baja temperatura (20°C- 50°C) hasta geotérmica de muy alta temperatura (150°C- 400°C) (Trillo & Angullo, 2008).

3.1.2.7 Bioenergía

Procede del aprovechamiento de la materia orgánica, de residuos de plantas, personas o animales (REMBIO, 2011). Dependiendo del origen de la bioenergía existen varios tipos, como el biogás, procedente del tratamiento de residuos orgánicos animales o la biomasa que se obtiene del procesamiento de materia orgánica, mayoritariamente agrícola o forestal (Madrid, 2007). El biodiesel o los biocarburos se consiguen después de procesar aceites vegetales o grasas animales (Madrid, 2007).

3.1.3 FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLE

Son aquellas que se encuentran de forma limitada en el planeta y cuya velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración (Efrain N., 2003). Debido a la no existencia de un sistema de producción o extracción viable. Dentro de las energías no renovables existen dos tipos:

3.1.3.1 Energía Nuclear

Es la energía proveniente de reacciones nucleares o de la desintegración de los núcleos de algunos átomos. Procede de la liberación de la energía almacenada en el núcleo de los mismos (Patterson & Morata, 1975).

3.1.3.2 Los combustibles fósiles: petróleo, carbón y gas natural

Los combustibles fósiles son el carbón, el petróleo y el gas natural. Han sido los grandes protagonistas del impulso industrial desde la invención de la máquina de vapor hasta hoy en día. De ellos depende la mayor parte de la industria y el transporte en la actualidad. Entre los tres suponen casi el 90% de la energía comercial empleada en el mundo (Pérez & Alonso, 2013).

Un combustible fósil está compuesto por los restos de organismos que vivieron hace millones de años. El carbón se formó a partir de plantas terrestres; el petróleo y el gas natural, a partir de microorganismos y animales principalmente acuáticos (Asignatura & Otras, 2007).

La energía se obtiene al quemar estos productos, proceso en el que se forman grandes cantidades de dióxido de carbono y otros gases contaminantes que se emiten a la atmósfera (ONU., 2015).

Estos combustibles han permitido un avance sin precedentes en la historia humana, pero son fuentes de energía que se denominan no renovables. Esto significa que cantidades que han tardado en formarse miles de años se consumen en minutos y las reservas de estos combustibles van disminuyendo a un ritmo creciente (ONU., 2015). Además, se agota un recurso del que se pueden obtener productos muy valiosos, como plásticos, medicinas, etc.; simplemente para quemarlo y obtener energía (Asignatura & Otras, 2007).

3.2 CAMBIO EN LA MATRIZ ENERGÉTICA DEL ECUADOR

La matriz energética se refiere a una representación cuantitativa de toda la energía disponible, en un determinado territorio, región, país, o continente para ser utilizada en los diversos procesos productivos (Molina, 2014). El Ecuador de hoy, es un país netamente exportador de energías primarias, siendo el petróleo su principal rubro de exportación, el cual en el 2012 llegó a representar para el país: el 31% de los ingresos fiscales, el 11% en el PIB, y el 58% del total de sus exportaciones (OEC, 2014). Por tanto, es evidente el impacto que genera el valor del petróleo en la sostenibilidad de la balanza comercial ecuatoriana (Daule, 2013).

Los hidrocarburos son energías primarias del tipo no renovable lo cual significa, que inevitablemente estos recursos se agotarán, por tal motivo es necesario establecer estrategias que permitan llevar al país en una transición de cambio hacia una nueva matriz energética y productiva (Halina & Marczak, 2015). El cambio de la matriz energética y productiva en el país es todo un desafío, para ello se tienen que implementar nuevas políticas energéticas de inversión y de planificación estratégica que permitan llevar a cabo el proceso de cambio (SENPLADES, 2012).

Para abastecer la demanda de esta fuerza impulsora, deberá ser generada en centros de transformación o centrales de generación eléctrica. En el Ecuador, ésta proviene de fuentes hidráulicas (energía potencial del agua), térmicas (calor generado por combustibles fósiles), solares (sol), eólicas (viento) y de aprovechamiento de la biomasa (residuos orgánicos) (Constante, 2016). Según datos del Balance Energético Nacional del Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos 2015 (año base 2014) en términos de potencia, Ecuador cuenta con más de 5.000 MW de capacidad instalada: 56% térmica; 42% hidráulica; 0,5% solar y 0,4% eólica (SENPLADES, 2012). En cuanto a energía eléctrica se consumieron 14.266 GWh: 49,1% proveniente de centrales térmicas; 45,6% de hidráulicas; 1,6% biomasa; 0,3% eólica y 0,1% solar (SENPLADES, 2012). El 3% restante corresponde a importaciones de electricidad desde Colombia y Perú. Esto indica un predominio

en el consumo de fuentes de origen fósil dentro de la matriz eléctrica nacional (Constante, 2016).

La producción de energía a partir de procesos que no impliquen un daño al ambiente constituye el nuevo enfoque que está siendo investigado y desarrollado alrededor del mundo (Garzón, 2010). Una energía alternativa factible y sustentable será aquella que pueda suplir las necesidades de energías o fuentes energéticas utilizadas actualmente, teniendo un menor efecto contaminante, y la posibilidad de renovarse (Vivanco, 2005).

Una de las alternativas existentes es la energía solar, la cual se basa en la conversión de la radiación solar en energía eléctrica o calórica (Jinchu et al., 2013). Desde el punto de vista ambiental, ésta es una fuente alternativa de bajo impacto, ya que no produce desechos o emanaciones dañinas y no afecta en la calidad de los ecosistemas (Garzón, 2010).

3.3 ORIGEN Y NATURALEZA DE LA RADIACIÓN SOLAR

Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. El sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 °K, en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear que producen una pérdida de masa que se transforma en energía (Morocho, 2012). Esta energía liberada del sol se transmite al exterior mediante la radiación solar. El sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro, el cual emite energía siguiendo la ley de Planck a la temperatura ya citada.

La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, ya que las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera (Antonio, Badilla & Sol, n.d.). La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, donde mide la potencia que por unidad de superficie alcanza a la Tierra (figura 1). Su unidad es el W/m^2 (Mendoza, 2011).

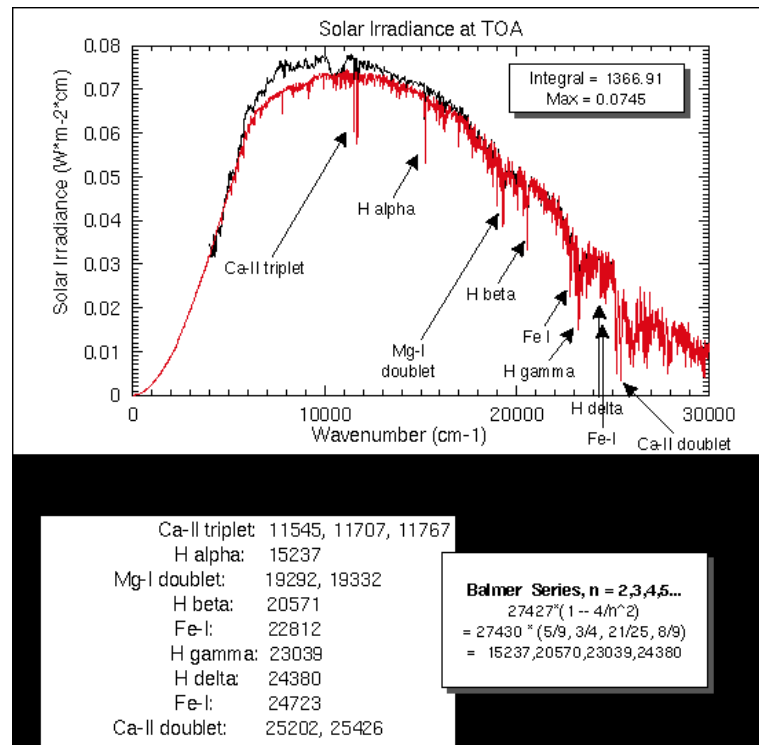


Figura 1. Espectro de la irradiación solar en la parte superior de la atmósfera

Fuente: NASA (2016)

3.4 USO DE LA RADIACIÓN SOLAR COMO FUENTE DE ENERGÍA

Casi la totalidad de la energía utilizada por los seres vivos procede del Sol. Las plantas la absorben directamente y realizan fotosíntesis, herbívoros indirectamente una pequeña cantidad comiendo las plantas, y carnívoros absorben indirectamente un monto más pequeño comiendo a los herbívoros (Prando et al., n.d.).

Así pues, la mayoría de las fuentes de energía usadas por el hombre derivan indirectamente del Sol. Los combustibles fósiles preservan energía solar capturada hace millones de años mediante la fotosíntesis (Antropogénico, López, María, Ibarreto, & Valle, 2010). La energía hidroeléctrica usa el potencial del agua que, a través del ciclo hidrológico, pasa por los tres estados físicos de la materia (evaporación del agua oceánica, condensación, precipitación y escurrimiento o escorrentía), con lo que se puede aprovechar dicha fuente de energía mediante

represas y saltos de agua (Chona & Robles, 2013). La energía eólica es otra forma de utilización de la radiación solar, ya que ésta, al calentar con diferente intensidad distintas zonas de la superficie terrestre, da origen a los vientos, que pueden ser utilizados para generar electricidad, mover embarcaciones, bombear las aguas subterráneas y otros usos (Antropogénico et al., 2010).

Cada hora, el sol arroja sobre la Tierra más energía en forma de luz y calor a la suficiente para colmar las necesidades globales de un año completo. Necesidades energéticas que la radiación solar podría satisfacer 4.000 veces cada año (Chona & Robles, 2013). Por lo que sólo 18 días de irradiación solar sobre la Tierra contienen la misma cantidad de energía que la acumulada por todas las reservas mundiales de carbón, petróleo y gas natural. Entre las múltiples aplicaciones de la energía solar se encuentran su aprovechamiento como luz directa, como fuente de calor y en la generación de electricidad principalmente (República, 2004).

3.4.1 Directa

Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar, por ejemplo, para la iluminación. Otra aplicación directa, muy común, es el secado de ropa y algunos productos en procesos de producción con tecnología simple (Madridsolar, 2006).

3.4.2 Térmica

La energía solar puede ser utilizada para el calentamiento de algún sistema que posteriormente permitirá la climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado, entre otros. Actualmente existen diversas Centrales Solares Térmicas generando energía en el mundo, cuya base de funcionamiento es el uso indirecto de la energía solar (República, 2004).

3.4.3 Fotovoltaica

Es la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas (celda solar, coche solar), capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin necesariamente pasar por un efecto térmico (República, 2004). Para lograr esto la energía solar se recoge de una forma adecuada. El calor se logra mediante los colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos (Madridsolar, 2006).

Los sistemas de aprovechamiento térmico permiten que el calor recogido en los colectores pueda destinarse y satisfacer numerosas necesidades (Chona & Robles, 2013). Se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien generar calefacción a casas, hoteles, colegios, fábricas, entre otros. Se pueden climatizar las piscinas para permitir su uso durante gran parte del año en aquellos países donde se presentan las estaciones (Prando et al., n.d.).

3.4.4 Hornos solares

Son una de las muchas aplicaciones importantes de los concentradores de alta temperatura. El mayor está situado en Odeillo, en la parte francesa de los Pirineos, tiene 9600 reflectores con una superficie total de unos 1900 m² para producir temperaturas de hasta 4000 °C. Estos hornos son ideales para investigaciones, por ejemplo, en la investigación de materiales, que requieren temperaturas altas en entornos libres de contaminantes (Canarias, 2007).

3.4.5 Enfriamiento solar

Se puede producir frío con el uso de energía solar como fuente de calor en un ciclo de enfriamiento por absorción. Uno de los componentes de los sistemas estándar de enfriamiento por absorción, llamado generador, necesita una fuente de calor (Míguez, 2010). En general, se requieren temperaturas superiores a 150 °C para que

los dispositivos de absorción trabajen con eficacia, los colectores de concentración son más apropiados que los de placa plana (Miguez, 2010).

3.5 CELDAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR COLORANTES

3.5.1 CELDAS FOTOVOLTAICAS

Son sistemas fotovoltaicos que convierten directamente parte de la luz solar en electricidad. Algunos materiales presentan una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico en su forma más simple, estos materiales se componen de un ánodo y un cátodo recubierto de un material fotosensible (Fallis, 2013). La luz que incide sobre el cátodo libera electrones que son atraídos hacia el ánodo, de carga positiva, originando un flujo de corriente proporcional a la intensidad de la radiación, que hace que absorban fotones de luz y emitan electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad (Bash, 2015).

3.5.2 TIPOS DE CELDAS SOLARES

3.5.2.1 Celdas Solares de tipo Monocristalino

Tiene una estructura cristalina ordenada, con cada átomo idealmente situada en una posición pre-ordenada y muestra un comportamiento predecible y uniforme. El silicio pasa a través de varios ciclos de filtración intensiva lenta con la energía y los procesos de separación y por lo tanto es el tipo más costoso de silicio (Matsumoto, 2011).

3.5.2.2 Celdas Solares de tipo Multicristalino o Policristalino

Contiene varias regiones de silicio cristalino que se mantienen juntas a través de un enlace covalente y separados por límites de grano (Bash, 2015). El silicio pasa a través de un menor número de ciclos de filtración intensiva de energía que los

procesos de separación de celdas monocristalinas y por lo tanto son un material menos costoso para los fabricantes (Matsumoto, 2011).

3.5.2.3 Celdas Solares Tipo Amorfo

Este tipo de celda tiene un arreglo incluso menos regular de los átomos, que dan lugar a enlaces colgantes y varias lagunas donde la recombinación puede tener lugar (Bash, 2015). El silicio puede ser fabricado en cualquier forma o tamaño y puede ser producido, en teoría, a precios muy bajos. Estos fueron el primer tipo de células de energía solar que se utilizaron en la aplicación de productos de consumo, como relojes, calculadoras y otras aplicaciones no críticas y al aire libre (Fernández Ferichola, 2006).

3.5.2.4 Celdas solares Tipo Micro / Nanocristalino

Mejor conocidos como paneles de película fina de energía solar también son una categoría de celdas fotovoltaicas. Este concepto es una extensión de la idea detrás de silicio amorfo sin embargo en lugar de utilizar silicio de la industria en este caso se usan otros elementos, el más eficiente de los cuales es de arseniuro de galio de película fina (Soto, 2005). Estos tipos de celdas solares requieren menos materia prima, lo cual implicaría que el costo éstas debe ser inferior, sin embargo, a causa del alto grado de manipulación y los costos de transformación de tales celdas delgadas, combinadas con la mayor eficiencia, hace que sea muy difícil juzgar su precio (Matsumoto, 2011). No obstante, existe una cierta demanda de éstas.

3.5 MÁXIMO DE CONVERSIÓN ENERGÉTICA EN CELDAS FOTOVOLTAICAS

Las eficiencias de celdas solares varían entre el 6 % de aquellas basadas en silicio amorfo hasta el 46 % de las celdas multi-unión (figura 2). Las eficiencias de conversión de las celdas solares que se utilizan en los módulos fotovoltaicos

comerciales (de silicio monocristalino o policristalino) se encuentran en torno al 16-22 % (Raúl & Marcos, 2013).

El costo de las celdas solares de silicio cristalino ha descendido desde 76,67 \$/Wp en 1977 hasta aproximadamente 0,36 \$/Wp en 2014. Esta tendencia sigue la llamada ley de Swanson, una predicción similar a la conocida Ley de Moore, que establece que los precios de los módulos solares descienden un 20 % cada vez que se duplica la capacidad de la industria fotovoltaica (Raúl & Marcos, 2013).

En 2014, el precio de los módulos solares se había reducido en un 80 % desde el verano de 2008, colocando a la energía solar por primera vez en una posición ventajosa respecto al precio de la electricidad pagado por el consumidor en un buen número de regiones soleadas (Wolfsegger, Fraile, & Teske, 2008). En este sentido, el costo medio de generación eléctrica de la energía solar fotovoltaica es ya competitivo con el de las fuentes convencionales de energía en una creciente lista de países, particularmente cuando se considera la hora de generación de dicha energía, ya que la electricidad es usualmente más cara durante el día (Raúl & Marcos, 2013).

Best Research-Cell Efficiencies

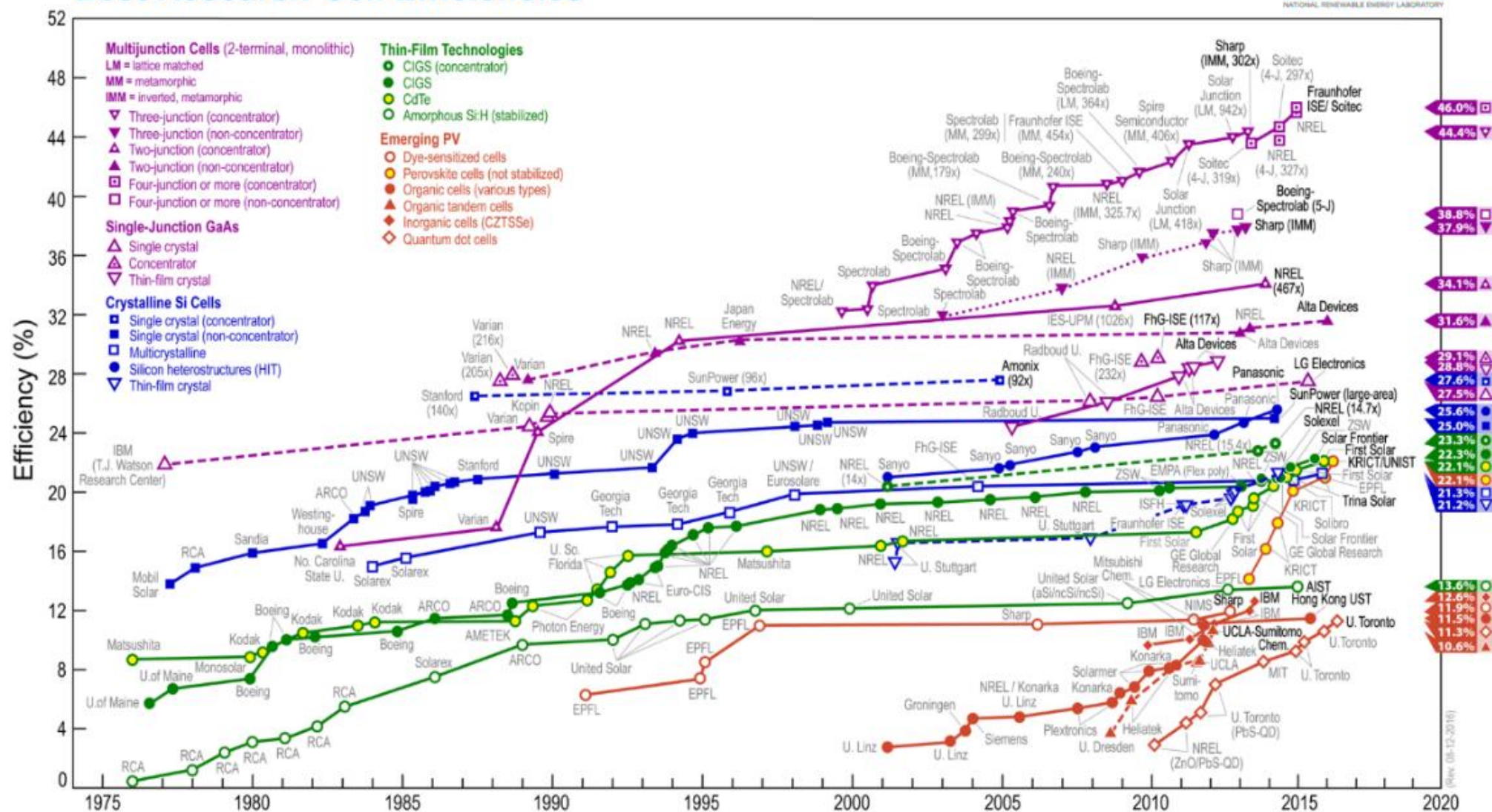


Figura 2. Eficiencia de las celdas solares de diferentes tecnologías

Fuente: NREL1 (2014)

Se ha producido una dura competencia en la cadena de producción, y asimismo se esperan mayores caídas del costo de la energía fotovoltaica en los próximos años, lo que supone una creciente amenaza al dominio de las fuentes de generación basadas en las energías fósiles (Wolfsegger et al., 2008). Conforme pasa el tiempo, las tecnologías de generación renovable son generalmente más baratas, mientras que las energías fósiles se vuelven más caras.

3.6 CELDA SOLAR SENSIBILIZADA POR COLORANTE (DSSC)

Las celdas solares DSSC se ubican en la categoría de los sistemas de energía solar fotovoltaica de tercera generación (Alves & Souza, 2014). El principio de la energía solar fotovoltaica es producir electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar resultado de la energía de los fotones en un proceso eléctrico, un fotón de energía arranca un electrón, creando a la vez un “vacío” o centro positivo en el átomo excitado (Wilschanski et al., 2015). Habitualmente, el electrón encuentra rápidamente otro vacío para volver a llenarlo, y la energía proporcionada por el fotón se disipa en forma de calor (Swanson, 2009).

Existen tres generaciones de tecnologías fotovoltaicas (Hirshman et al.2008); las celdas solares de primera generación se basan en obleas monocristalinas de silicio, logrando una alta eficiencia cerca del 33%, sin embargo, los presupuestos de producción son muy costosos. Las celdas solares de segunda generación utilizan dispositivos de película delgada de telurio de cadmio (CdTe), cobre, seleniuro de indio y galio (CIGS), silicio amorfo y silicio micromorfa, se caracterizan por necesitar menores costos de energía y producción; desventajosamente, sufren de muy reducidas eficiencias de conversión de energía en comparación con la primera generación debido a defectos inherentes en los métodos de procesamiento de menor calidad. Las celdas solares de tercera generación tienen por objeto aumentar la eficiencia de las celdas solares de segunda generación y mantener bajos costos de producción (Atkins, 2002).

Grätzel Edmund Becquerel fue el primero en dar a conocer el efecto fotoeléctrico en 1839, desde entonces, el desarrollo significativo en la investigación de celdas solares reportó un nuevo concepto basado en imitar el proceso de fotosíntesis de las plantas (Grätzel, 1991). En la figura 3, se muestra la banda del dispositivo fotovoltaico, donde los fotones que caen en un material pueden excitar electrones, pero estos electrones únicamente se mantendrán en un estado de energía alta durante una corta fase de tiempo antes de volver a su nivel de energía original (Ramírez & Solano, 2002). Recoger estos electrones, y permitir la generación de corriente eléctrica, es un paso en donde los semiconductores son utilizados para que permitan que la corriente viaje en una sola dirección (Ramírez & Solano, 2002).

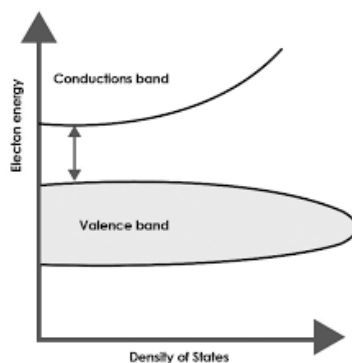


Figura 3. Banda prohibida del dispositivo fotovoltaico

Fuente: Ramírez & Solano (2002)

La energía de los fotones (E) es inversamente proporcional a su longitud de onda λ de acuerdo a:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

Donde “ h ” es la constante de Planck y “ c ” la velocidad de la luz en el vacío (Green, 1982). Si la energía aumenta la banda prohibida del semiconductor (diferencia de energía entre la parte superior de la banda de conducción y la parte inferior de la banda de valencia), el fotón tiende a ser absorbido, siendo excitado un electrón de la banda de valencia hacia la banda de conducción. Los electrones en la banda de conducción pueden moverse, lo que permite la generación de corriente eléctrica. El resultado entre la energía del fotón y la banda prohibida es calor. Sin embargo, se ha informado que un fotón de alta energía puede dar lugar a múltiples pares

electrón-hueco en ciertos materiales, y esto podría causar una pérdida en la eficiencia de la celda por causa del calor (Singh et al. 2004).

Una monocapa de un colorante es adsorbida por una película mesoscópica de una amplia banda prohibida del semiconductor de óxido (figura 4). Con esto, los sensibilizadores de fotones como partículas de colorante se añaden al material semiconductor para absorber la luz visible (O'Regan & Grätzel, 1991)

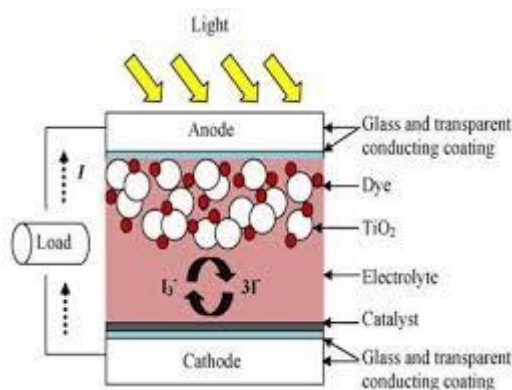


Figura 4: Esquema de la sección transversal de una DSSC

Fuente: Ramírez & Solano (2002)

Las celdas solares presentan ciclos de trabajo regenerativo (Figura 5). Cada fotón que llega al dispositivo es absorbido por una molécula de tinte previamente confinada a la superficie semiconductor de forma que un electrón del estado basal molecular (S) es promovido al estado molecular excitado (S^*) (Grätzel, 2001). El electrón excitado es introducido a la banda de conducción de las partículas de TiO_2 dejando a la molécula de tinte en su estado oxidado (S^+) (Ramírez & Solano, 2002). El electrón es inyectado a través de la percolación nanoestructurada del semiconductor para alcanzar la superficie del electro ópticamente transparente (fotoánodo) para finalmente pasar por el circuito externo donde presenta una resistencia hasta llegar al contra-electrodo (cátodo) (Hardin, Snaith, & McGehee, 2012). Allí, el electrón es transferido al ion I^{3-} del electrolito para producir ion I^- (Würfel, 2005), siendo el ciclo cerrado por reducción del estado oxidado del tinte debido a la acción del ion yoduro presente en el electrolito (Mayer, Scully, Hardin, Rowell, & McGehee, 2007).

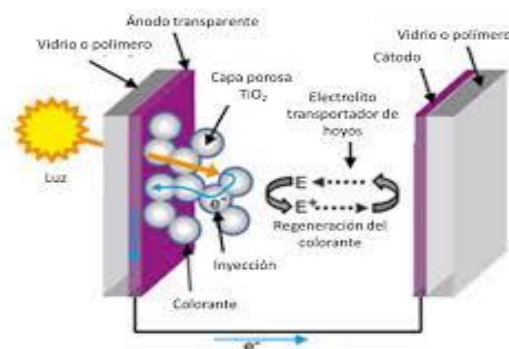


Figura 5: Esquema de funcionamiento de una celda solar DSSC o tipo Grätzel

Fuente: Ramírez & Solano (2002)

El modelo que se usa para describir el principio fotoquímico de las celdas solares sensibilizadas con colorante es similar al que se emplea para describir el proceso natural de la fotosíntesis. El pigmento más importante en este proceso es la clorofila, que tiene la capacidad de absorber en la región azul del espectro electromagnético (Gutiérrez Beltrán, 2015). En la captación de luz del Sol y su transformación en energía química está involucrada una compleja maquinaria proteínica situada en los cloroplastos: el Fotosistema I absorbe un fotón proveniente de la radiación solar y provoca la concomitante oxidación del sistema; este electrón cedido por el Fotosistema I es transferido al Fotosistema II, un complejo de proteína-clorofila, que actúa como aceptor (Gutiérrez Beltrán, 2015). El siguiente proceso inmediato es la transferencia del electrón a una molécula de quinona asociada al complejo del fotosistema, desencadenando así una bomba de protones que lleva a la reducción de NADP^+ a NADPH (figura 6). Lo que sigue en la cascada de reacciones tiene como consecuencia la síntesis de moléculas de elevada importancia para el organismo (Grätzel, 2001).

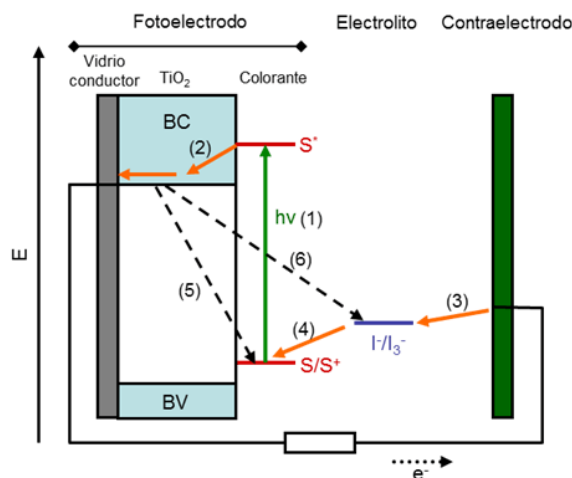


Figura 6: Esquema del funcionamiento de una DSSC. Los procesos que tiene lugar son: excitación (1), inyección (2), reducción del electrolito (3), regeneración del colorante (4). Durante el ciclo pueden producirse pérdidas de eficiencia por recombinación

Fuente: Gutiérrez Beltrán (2015)

3.7 COMPONENTES DE UNA CELDA SOLAR SENSIBILIZADA POR COLORANTE (DSSC)

3.7.1 Dye (pigmento o colorante)

Una molécula cualquiera absorbe ciertas y bien definidas longitudes de onda de luz visible y transfiere o refleja otras, presentando color. Existe una región conocida como cromóforo, donde la diferencia de energía entre dos orbitales moleculares cae en el rango del espectro visible. En las moléculas biológicas sirve para capturar o detectar energía lumínica, provocando un cambio conformacional excitada por la luz (esto ocurre en las células presentes en el ojo que son sensibles a la luz) o bien causando una cadena de reacciones como en la fotosíntesis (Macor et al., 2009).

Los pigmentos son las moléculas orgánicas cuya función es absorber los fotones incidentes y transformarlos en electrones. Usualmente son compuestos hetero-orgánicos complejos, constituidos por distintos grupos funcionales, como compuestos cíclicos aromáticos que presentan resonancia, deslocalización de carga,

y un heteroátomo tipo metal de transición que pueden ser de Rutenio (Ru), Rodio (Ro), Magnesio (Mg), etc.

En la actualidad, han sido desarrollados una serie de complejos de Ru(II) con una adecuada estabilidad química, para el normal funcionamiento de las celdas DSSCs, que han mostrado eficiencias elevadas de transformación de energía (~10%). La limitada presencia de Ru en la tierra no permite la utilización de este tipo de complejos en aplicaciones reales de gran magnitud. En este marco, el desarrollo de nuevos materiales orgánicos con capacidad para reemplazar los complejos derivados de Ru son de gran importancia (Macor et al., 2009).

3.7.2 Óxido de Titanio (IV) nanoestructurado

El receptor de la carga electrónica generada por el pigmento es el óxido de titanio, éste por si solo absorbería una fracción mínima de la luz solar, por lo que se utiliza al pigmento a modo de escalón para captar una fracción mayor de fotones (Macor et al., 2009).

Esta transferencia electrón/electrón entre el TiO_2 y el pigmento es un fenómeno superficial que aumenta la superficie activa de éste para extender su rendimiento mediante la nano estructuración. De forma general se usa TiO_2 “esponjoso” aunque bajo los nuevos descubrimientos de la nano química se están comenzando a utilizar nanotubos de TiO_2 por las buenas perspectivas que presentan en el futuro (Macor et al., 2009)..

3.7.3 Cristal-FTO

El TiO_2 se coloca sobre un cristal que hará de soporte de la celda solar, el cual está recubierto por una capa fina de FTO (Fluorine doped Tin Oxide, en inglés), donde éste, es el encargado de recibir la carga de titanio como parte del sistema de conducción de la carga eléctrica. El FTO, Oxido de estaño estimulado con flúor, es un óxido conductor transparente que se utiliza en el ensamblado de estos

dispositivos, porque simultáneamente conduce la electricidad y no impide la absorción de luz de la celda solar (Macor et al., 2009).

3.7.4 Contraelectrodo

El contraelectrodo descarga los electrones en el electrolito, está hecho también, como el electrodo, de un cristal con un óxido del conductor necesario para conectar el electrolito con el borde de estaño. En ocasiones se añade entre el electrolito y el óxido conductor una capa de un catalizador que promueve el movimiento de electrones (Vivanco, 2005).

3.7.5 Electrolito

El electrodo y el contraelectrodo están sujetos mediante un electrolito de I/I^3 el cual es el encargado de recibir los electrones y colocarlos en el pigmento, para cerrar el ciclo a través de una reacción redox. El movimiento de los iones del electrolito se produce mediante difusión y también por el mecanismo de Grotthuss, el cual provee la propiedad de tener suficiente movilidad iónica y evitar un paso limitante en la corriente. El electrolito se elabora a partir de una sal de yoduro y yodo en algún solvente orgánico como el 2-metoxi-propionitrilo y algún componente que reduzcan la volatilidad del sistema como el MBI (1-metilbenzimidazol) o el NMBI (N-metilbenzimidazol) (Vivanco, 2005). La desventaja de este electrolito es su alta volatilidad y su inestabilidad frente al oxígeno lo que obliga a tener que generar un sellado para mantener estable a la celda solar y otorgarle a ésta una adecuada vida útil (Garzón, 2010).

En la figura 7, se muestra el proceso de armado de una celda solar que funciona bajo el mecanismo de sensibilización espectral. Estas constan de un contacto eléctrico base, para lo cual se utiliza un electrodo conductor ópticamente transparente de óxido de estaño dopado con flúor sobre vidrio, y en el cual se deposita una película de óxido de titanio nanoestructurado (Garzón, 2010). El colorante es absorbido sobre el óxido por inmersión en una solución adecuada. La

celda se completa por un contra-electrodo de FTO platinizado en el cual se han practicado dos orificios por los que se introduce el electrolito. Ambos electrodos están separados por un espaciador termofusionable que cumple a la vez las funciones de espaciador y sellador de la celda.

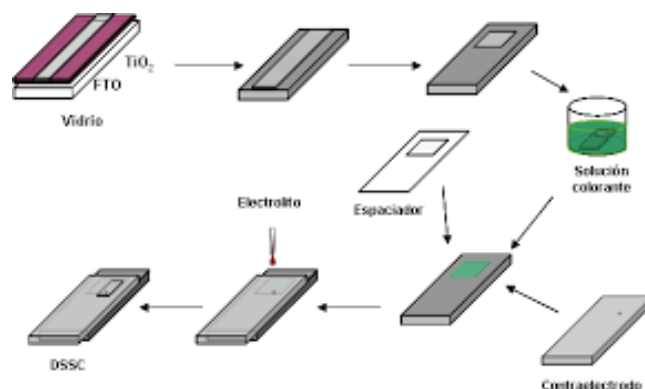


Figura 7: Montaje de una celda solar sensibilizada por colorante

Fuente: Ramírez & Solano (2002)

3.8 ESPECTROMETRÍA

3.8.1 ESPECTROMETRÍA ULTRAVIOLETA-VISIBLE

La espectrometría ultravioleta-visible o espectrofotometría UV-Vis implica la espectroscopia de fotones en la región de radiación ultravioleta-visible. Utiliza la luz en los rangos visible y adyacentes (el ultravioleta (UV) cercano y el infrarrojo (IR) cercano). En esta región del espectro electromagnético, las moléculas se someten a transiciones electrónicas (Abril Díaz et al., 2010).

Esta técnica es complementaria de la espectrometría de fluorescencia, que trata con transiciones desde el estado excitado al estado basal, mientras que la espectrometría de absorción mide transiciones desde el estado basal al estado excitado (Abril Díaz et al., 2010).

3.8.1.2 Compuestos orgánicos

Los compuestos orgánicos, especialmente aquellos con un alto grado de conjugación, también absorben luz en las regiones del espectro electromagnético visible o ultravioleta. Los disolventes para estas determinaciones son a menudo el agua para los compuestos solubles o el etanol para compuestos orgánicos (Lambert, 2010). Los disolventes orgánicos pueden tener una significativa absorción de UV, por lo que no todos son adecuados para su uso en espectrometría UV. El etanol absorbe muy débilmente en la mayoría de longitudes de onda (Abril Díaz et al., 2010).

3.8.2 ESPECTROFOTÓMETRO ULTRAVIOLETA-VISIBLE

El instrumento utilizado en la espectrometría ultravioleta-visible se llama espectrofotómetro UV-Vis. Mide la intensidad de luz que pasa a través de una muestra (I), y la compara con la intensidad de luz antes de pasar a través de la muestra (I₀) (Abril Díaz et al., 2010). La relación I / I₀ se llama transmitancia, y se expresa habitualmente como un porcentaje (%T). La absorbancia (A) se basa en la transmisión:

$$A = -\log (\%T)$$

Las partes básicas de un espectrofotómetro son una fuente de luz (a menudo una bombilla incandescente para las longitudes de onda visibles, o lámpara de arco de deuterio en el ultravioleta), soporte para la muestra, rejilla de difracción o monocromador para separar las diferentes longitudes de onda de la luz, y un detector (Lambert, 2010). El detector suele ser un fotodiodo o un CCD. Los fotodiodos se usan con monocromadores, que filtran la luz de modo que una sola longitud de onda alcanza el detector. Las rejillas de difracción se utilizan con CCDs, que recogen la luz de diferentes longitudes de onda en píxeles (Bustamante Botero & Carrascal, 2010).

En un instrumento de doble haz, la luz se divide en dos haces antes de llegar a la muestra. Un haz se utiliza como referencia, y el otro haz de luz pasa a través de la muestra. Algunos instrumentos de doble haz tienen dos detectores (fotodiodos), haz de referencia y el de la muestra se miden al mismo tiempo (Abril Díaz et al., 2010). En otros instrumentos, los dos haces pasan a través de un bloqueador que impide el paso de un haz. El detector alterna entre la medida del haz de muestra y la del haz de referencia. Las muestras para espectrofotometría UV-Vis suelen ser líquidas, aunque la absorbancia de los gases e incluso de los sólidos también puede medirse (Bustamante Botero & Carrascal, 2010). Las muestras suelen ser colocadas en una célula transparente, conocida como cubeta. Las cubetas suelen ser rectangulares, con una anchura interior de 1 cm (Bustamante Botero & Carrascal, 2010).

3.8.2.1 ESPECTRO ULTRAVIOLETA-VISIBLE

Un espectro ultravioleta-visible es esencialmente un gráfico de absorbancia de luz frente a una longitud de onda en el rango del ultravioleta o la luz visible. Este espectro puede ser producido directamente con los espectrofotómetros más sofisticados, o bien pueden registrarse los datos de una sola longitud de onda con los instrumentos más simples. La longitud de onda se representa con el símbolo λ (Lambert, 2010). Del mismo modo, para una determinada sustancia, puede hacerse un gráfico estándar del coeficiente de extinción (ϵ) frente a la longitud de onda (λ). Este gráfico estándar sería efectivamente "la concentración corregida" y, por tanto, independiente de la concentración. Para una sustancia determinada, la longitud de onda en la cual se produce el máximo de absorbancia en el espectro se llama λ_{\max} , y se pronuncia "lambda-max" (Lambert, 2010).

Las longitudes de onda de los picos de absorción pueden correlacionarse con los tipos de enlace en una determinada molécula, y son valiosos para determinar los grupos funcionales dentro de la molécula (Bustamante Botero & Carrascal, 2010).

3.8.3 ESPECTOFOTÓMETRO DE REFLACTANCIA

Los espectrofotómetros de reflectancia miden la cantidad proporcional de luz reflejada por una superficie como una función de las longitudes de onda para producir un espectro de reflectancia (figura 8) (Ortega, 2013).

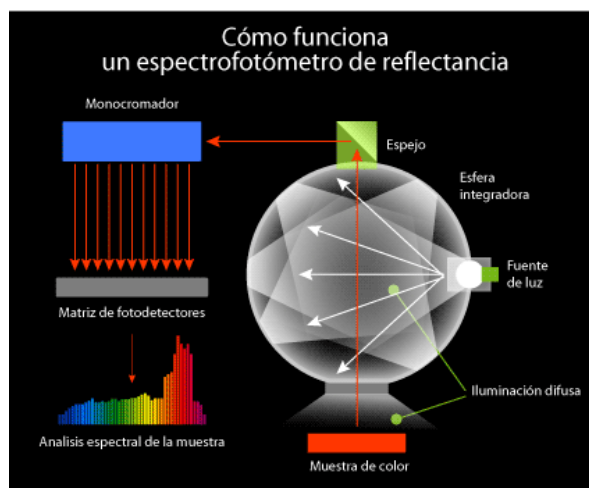


Figura 8: Funcionamiento de un espectrofotómetro de reflectancia

Fuente: Westland (2001)

El funcionamiento de un espectrofotómetro consiste básicamente en iluminar la muestra con luz blanca y calcular la cantidad de luz que refleja dicha muestra en una serie de intervalos de longitudes de onda (Ortega, 2013). Lo más usual es que los datos se recojan en 31 intervalos de longitudes de onda (los cortes van de 400 nm, 410 nm, 420 nm... 700 nm). Esto se consigue haciendo pasar la luz a través de un dispositivo monocromático que fracciona la luz en distintos intervalos de longitudes de onda (Bonett Jiménez, 2013).

Es importante tomar en cuenta de que los datos de reflectancia obtenidos son relativos y, para muestras no fluorescentes, son independientes de la calidad y cantidad de la luz usada para iluminar la muestra. Así, aunque los factores de reflectancia se midan usando una fuente de luz concreta, es perfectamente correcto calcular los valores colorimétricos para cualquier iluminante conocido (Bonett Jiménez, 2013)

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo, se describe el procedimiento utilizado para elaborar celdas solares sensibilizadas por colorantes, además de los métodos utilizados para su caracterización física y de eficiencia energética

4.2 RECOLECCIÓN DE MATERIAL VEGETAL

El área de estudio de este proyecto es la zona 1 del Ecuador con una altitud máxima de 4944 msnm (figura 10) y una insolación media de 4575 W-h/m²/día (figura 9), iniciando la toma de muestras en los campos aledaños de la ciudad de San Gabriel, ubicada en la provincia de Carchi y en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, por la razón de que las plantas y los frutos que se recolectaron en su mayoría y en gran cantidad se encuentran en este sitio con mayor accesibilidad.

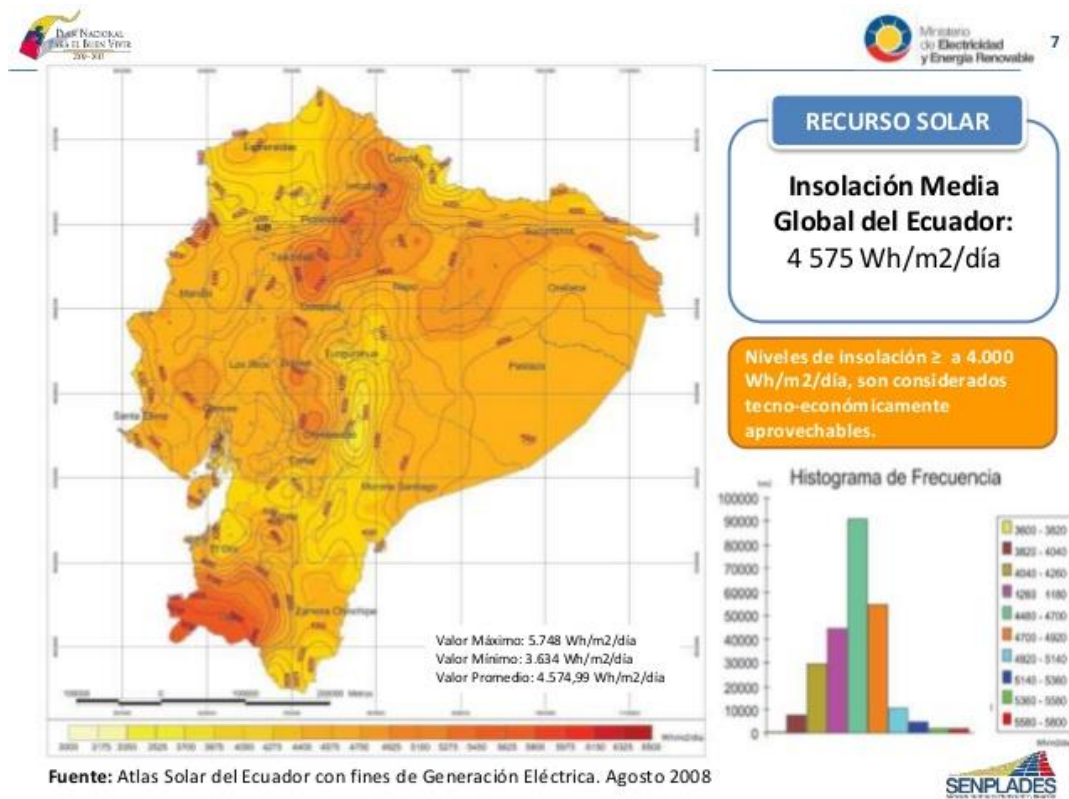


Figura 9: Mapa de insolación media global del Ecuador

Fuente: Senplades (2008)

En cuanto al clima de la región Norte del Ecuador; en la provincia del Carchi el clima es Andino de Tierras altas, de páramo y continentalizado templado húmedo en donde la temperatura llega por debajo de 0°C , siendo su temperatura promedio 11°C . En el caso de Imbabura, cuenta con cuatro diferentes tipos de climas permitiendo que en las tierras bajas la temperatura varíe entre 22°C en el Valle a -2°C en la montaña Alta (Mobot, 2015).

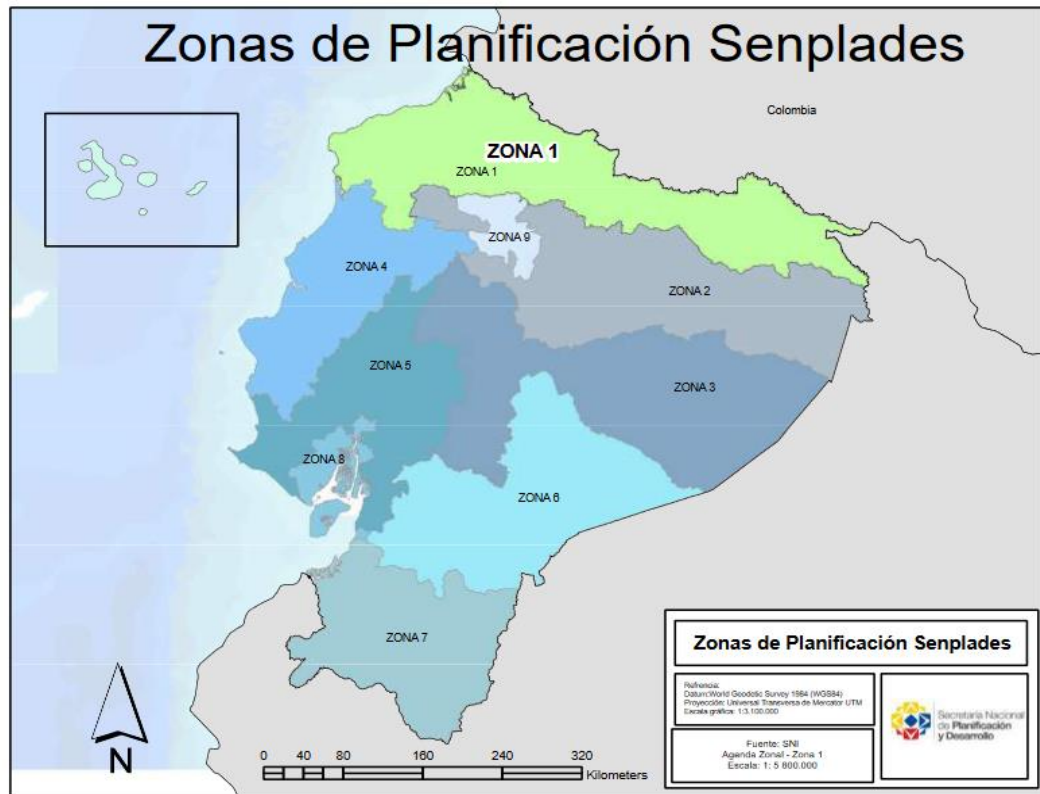


Figura 10: Mapa de localización y Delimitación Zona 1

Fuente: Senplades (2014)

Se seleccionaron las siguientes especies: *Rubus glaucus* “Mora de castilla”; *Opuntia tuna* “Tuna”; *Vaccinium meridionale* “Mortiño”, *Coriaria ruscifolia* “Shanshi”; *Baccharis latifolia* “Chilca”; *Solanum nigrum* “Hierba mora”; *Gladiolus hortulanus* “Palma”; *Clivia miniata* “Clivia” (figura 11). Debido a que sus pigmentos han mostrado ser efectivos en la elaboración de celdas solares (Chang, 2010).



Figura 11: Plantas de estudio

Elaboración: Propia

4.3 SECADO DE MATERIAL VEGETAL

Se tomó aproximadamente 1 kg de material vegetal para la extracción de su pigmento (Ramirez & Solano, 2002). Para esto, se sometió a todas las 4 diferentes tipos de plantas en tratamiento a un secado durante cinco días en una estufa a 45°C, separándolas con la ayuda de papel empaque y con su respectiva identificación (figura 12).



Figura 12: Plantas frescas para su secado a 45°C

Elaboración: Propia

Con respecto al secado de los frutos, se expuso los 4 diferentes a una temperatura de 60°C por tres días, todos separados por tarrinas hechas con papel aluminio y su respectiva etiqueta para su identificación; en el caso de la tuna, se procedió a remover la envoltura, quedando la parte carnosa (Ramirez & Solano, 2002) (figura 13).



Figura 13: Frutos frescos para su secado a 60°C

Elaboración: Propia

Posterior a los cinco días de secado en la estufa, se procedió a la observación de todas las muestras para identificar si se encontraban listas para el siguiente proceso, para lo cual se realizó un pesaje para cada día transcurrido (primer día: 86,5%, segundo: 87,11%, tercero: 87,31%, cuarto: 87,38%, quinto: 87,7%) (figura 14); identificando así, que el porcentaje de agua perdida debe encontrarse alrededor del 88% para que el material vegetal se encuentre en estado óptimo y así proceder al paso de maceración y extracción de pigmento con solventes.



Figura 14: Plantas y frutos después de cinco días de secado

Elaboración: Propia

4.4 EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS NATURALES

Para estandarizar el método de extracción, materiales frescos y secos de colorantes naturales (flores, hojas, raíces o frutos), se procedió a maceración seca en un mortero de cerámica al pesaje de 10 g en una balanza analítica (figura 15) para procesar por separado utilizando diferentes disolventes como: etanol y ácido clorhídrico (Ramirez & Solano, 2002).



Figura 15: Material vegetal molido y pesado por separado

Elaboración: Propia

Se preparó una solución (85:15) de etanol (95%) y ácido clorhídrico 0,1 N, para sumergir el material molido en 200 ml a temperatura ambiente de la solución de extracción de pigmentos durante 72 h (Ramirez & Solano, 2002) (figura 16).



Figura 16: Material sumergido en 200ml de solución

Elaboración: Propia

Posteriormente los pigmentos obtenidos pasaron por filtros de membrana de nitrato de celulosa de diámetro 47 mm con una porosidad de 0.45um (figura 17) para desechar los materiales sólidos y los filtrados se utilizan como sensibilizadores para las celdas solares (Ramirez & Solano, 2002).



Figura 17: Filtrado y etiquetado de pigmentos naturales

Elaboración: Propia

4.5 OBTENCIÓN DE MÁXIMA ABSORBANCIA EN EL ESPECTOFOTÓMETRO ULTRAVIOLETA-VISIBLE (ORION AQUAMATE 8000 UV-VIS V1.004 2W2R091105)

Para la obtención de los datos para el máximo de absorbancia de cada uno de los pigmentos conjuntamente con el sintético se siguieron los siguientes pasos:

- Las muestras en solución se colocaron en una pequeña celda de Si.
- Se utilizó dos lámparas: una de Deuterio para la región UV, y una de W / halógeno para la región visible.
- Se utilizó también una celda de referencia que contiene sólo solvente.

- La luz pasó simultáneamente por la celda de muestra y la celda de referencia.
- El espectrómetro comparó la luz que pasó por la muestra con la que pasó por la celda de referencia.
- La radiación transmitida se detectó y el espectrómetro obtuvo el espectro de absorción al barrer la longitud de onda de la luz.

4.6 OBTENCIÓN DEL COLOR REAL EL ESPECTOFOTÓMETRO DE FLUORESCENCIA (SPECORD 250 PLUS - ANALYTIK JENA AG)

Se analizaron los 8 pigmentos naturales con el pigmento de referencia (Ru N719), siguiendo los pasos descritos a continuación:

- La luz procedente de una fuente de excitación pasó a través de un monocromador y golpeó la muestra.
- Una porción de la luz incidente se absorbió por la muestra y algunas de las moléculas, en la fluorescente. La luz fluorescente se emitió en todas las direcciones.
- Algunas de estas luces fluorescentes pasaron a través de un segundo monocromador y alcanzaron un detector, el cual fue colocado a noventa grados de la incidencia del haz de luz para minimizar el riesgo de la transmisión o reflejo de la incidencia de la luz buscada en el detector y transmitiendo los datos de colorimetría hacia el detector.

4.7 CONSTRUCCIÓN DE CELDAS SOLARES DSSCS

Se tomó como guía, los pasos descritos en el manual “Solar Dye Cells for Real” de Solaronix (Solaronix, 2016) (figura 18). Así como la metodología utilizada por diferentes autores (Ramirez & Solano, 2002), integrando innovaciones y diseños propios.



Figura 18: Kit para la estructuración de celdas solares orgánicas

Elaboración: Propia

4.7.1 Colocación de electrodos de titanio opacos en el pigmento natural

Se sumergió los electrodos de titanio opacos, 36 piezas (ánodo) (Solaronix, 2016) en cada uno de los pigmentos por separado para que por un proceso de adsorción entre el pigmento natural en la pasta de óxido de titanio (TiO_2) (Ramirez & Solano, 2002) (figura 19) en diferentes tiempos establecidos en la hipótesis del trabajo como: 12, 24, 36, 48 horas.



Figura 19: Electrodo de titanio opaco sumergido en pigmento

Elaboración: Propia

4.7.2 Limpieza y secado del cristal FTO

Una vez transcurrido los tiempos de adsorción se procedió a la limpieza del exceso de pigmento en cada uno de los electrodos de titanio opacos, para esto, se realizó un lavado leve con alcohol al 95% y agua destilada con la ayuda de pizetas (figura

20). Para el secado se colocó los electrodos sobre papel absorbente a temperatura ambiente hasta que ya no existiera rastro de líquido (Ramirez & Solano, 2002) (figura 21).

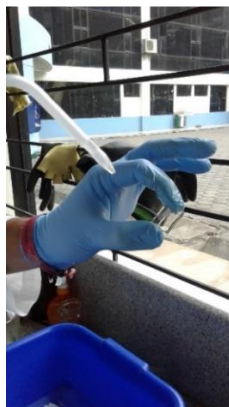


Figura 20: Lavado de exceso de pigmento con etanol

Elaboración: Propia



Figura 21: Secado de electrodos a temperatura ambiente

Elaboración: Propia

4.7.3 Ensamblaje y adición de electrolito

Preparado el electrodo con el pigmento, se procedió al ensamblaje físico de la celda, pegando los electrodos de platino perforados, 36 piezas (cátodo) (Solaronix, 2016) y de titanio (ánodo) con resina selladora, Meltonix 36 piezas (Solaronix, 2016), para lo cual se utilizó una plancha térmica para ropa, aplicando calor (100°C) por presión en cada uno de los 4 costados libres (figura 22), teniendo precaución en los bordes del área activa (Ramirez & Solano, 2002).



Figura 22: Sellado de la celda a 100° C

Elaboración: Propia

Para la adición del electrolito (solución de yodo con yoduro, Iodolito AN-50) (Solaronix, 2016) a presión con la ayuda de una jeringa plástica adaptada con ventosa de caucho al vacío para así ir evacuando el aire dentro del pequeño espacio y a medida que este se escapa va siendo reemplazado por el líquido (Wanga *et al.*, 2010). (Vac'n'Fill jeringa) (Solaronix, 2016), esencial para el funcionamiento de la celda.

Para sellar el orificio por donde ingresó el electrolito se adicionó resina selladora, Meltonix 36 piezas (Solaronix, 2016) con la aplicación de una capa de vidrio selladora, Cap 36 piezas (Solaronix, 2016); quedando así la celda solar en condiciones para empezar con los análisis de eficiencia (figura 23).



Figura 23: Adición de electrolito y sellado de la celda

Elaboración: Propia

4.8 Simulador solar

Para la caracterización de un dispositivo fotovoltaico es necesario realizar mediciones de voltaje basadas en las normas: IEC 60904-9 (nacional) y ASTM E927-10 edición 2 (internacional), que contienen las especificaciones puntuales para simuladores solares, implantando el mínimo estándar equivalente a una densidad de potencia de luz de 1000 W/m^2 . Para lo cual, se diseñó un dispositivo basado en un reflector que contenga la potencia establecida por las normas, colocado en una caja de madera de 30 x 90 cm, como soporte. Para mitigar el calor producido por la luz del reflector se colocó un recipiente con agua frente al mismo.

4.9 Análisis estadístico

Se utilizó el programa estadístico SPSS, considerando los efectos principales, sin b, normalidad por Kolmagorov-Smirnov, estadístico 0,122; $gl=36$; $p > 0,05$. Homocedasticidad por prueba de efectos entre sujetos $p>0,05$ en pigmentos y tiempos. Realizando una prueba de Tukey para encontrar las diferencias significativas entre la planta con máxima eficiencia y la de menor.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Análisis por espectrofotómetro UV/Vis para obtener los valores de máxima absorbancia (λ_{\max}) de colorantes extraídos y pigmento sintético (Ru N719).

A partir del análisis de espectrofotometría UV/Vis se identificó la longitud de onda para el máximo de absorción, en el cual los pigmentos reaccionaron con la luz del dispositivo, asegurando que, los tintes van a interactuar con el espectro visible de la luz solar. Se realizó una corrida en un rango de longitud de onda de 300 hasta 700 nm (espectro de luz visible); demostrando los máximos puntos de absorbancia en el material orgánico y el sintético o control, los cuales estuvieron dentro de 310 a 370 nm (λ_{\max}) y 520 nm (λ_{\max}) respectivamente.

Como se observa en las figuras 24 y 25, existe una mayor longitud de onda captada en el control (RuN719) en comparación con los tintes naturales, lo que demuestra su capacidad de absorber luz. Este análisis se lo realizó con el objetivo de determinar que los pigmentos extraídos eran un material viable para servir como sensibilizador en la elaboración de celdas solares orgánicas. Todos los datos fueron obtenidos por el dispositivo Orion AquaMate 8000 UV-Vis v1.004 2W2R091105 del laboratorio de análisis instrumental, ubicado en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA) en la Universidad Técnica del Norte.

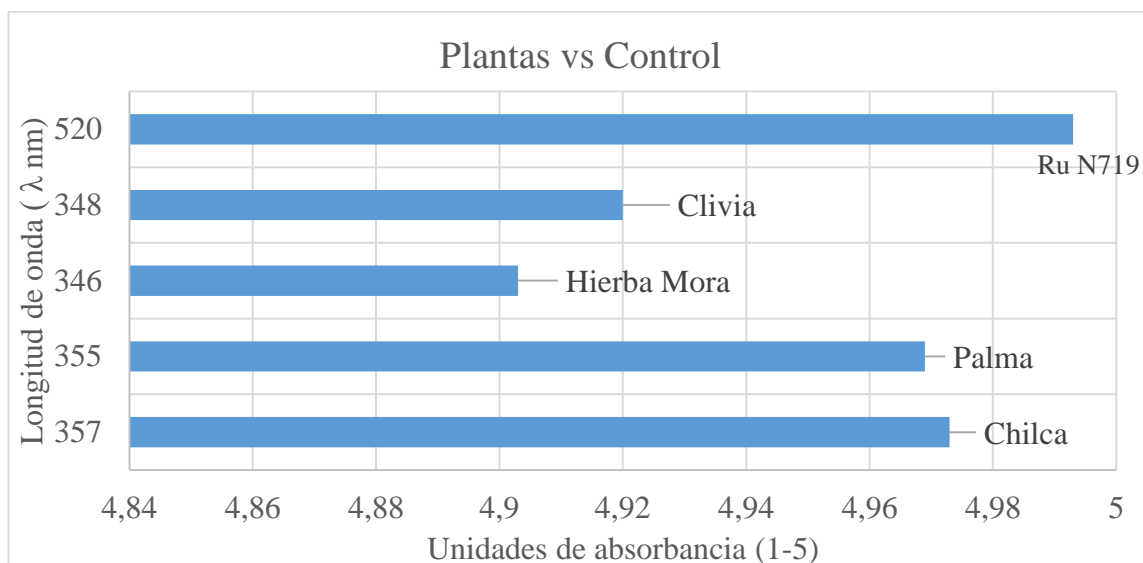


Figura 24: Espectrofotometría UV/Vis (λ min=300nm, λ max=700nm, Abs=1-5), Plantas

Elaboración: Propia

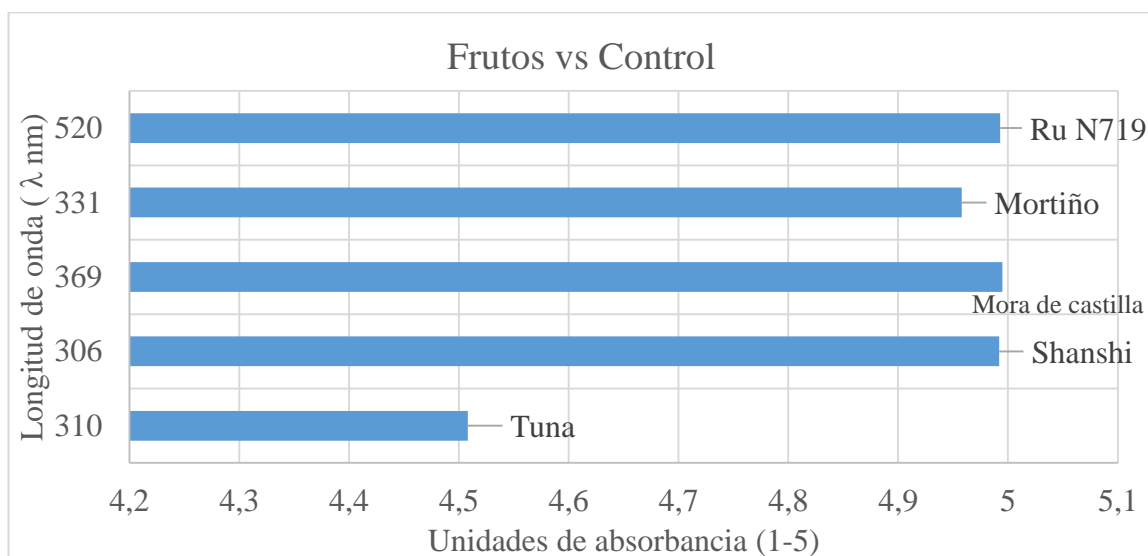


Figura 25: Espectrofotometría UV/Vis (λ min=300nm, λ max=700nm, Abs=1-5), Frutos

Elaboración: Propia

5.2 Análisis de reflectancia por barrido espectral para la obtención del color de visión de los pigmentos

La figura 26 muestra los colores espectrales identificados en cada una de los pigmentos orgánicos y pigmento sintético (control, Ru N719) utilizados en la investigación. El análisis se lo realizó en un espectrofotómetro de reflectancia (Specord 250 plus - Analytik Jena AG) con el objetivo de obtener el color en el cual el haz de luz suministrado por el dispositivo reacciona con la muestra dando un reflejo a una longitud de onda específica para obtener el color real.

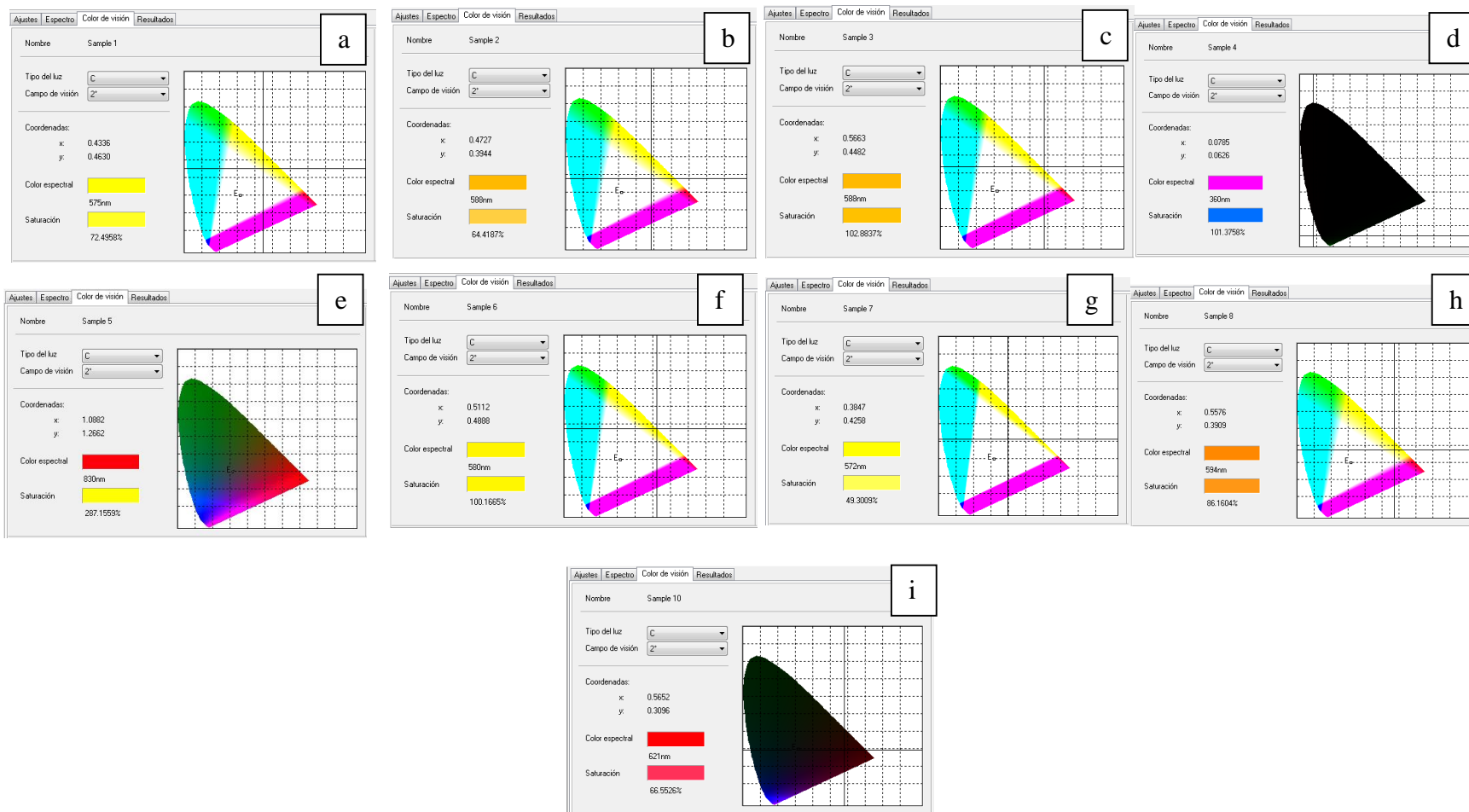


Figura 26: Espectroscopía de reflectancia, pigmentos de plantas (a,b,c,d), frutos (e,f,g,h), control (i)

Elaboración: Propia

Se observa que en las imágenes (a,b,c,d) correspondientes a las muestras de plantas, los colores expuestos por el espectrofotómetro de reflectancia dieron una tonalidad amarillenta en los tres primeros, mientras que en el último pigmento presentó un color oscuro en su totalidad negro. Esto se debe a que los pigmentos con un color más claro tienen un porcentaje de transmitancia de luz mayor al de absorbancia, solo en la muestra d se puede observar que la luz permaneció en el pigmento.

En lo que se refiere a los sensibilizadores orgánicos extraídos de los frutos correspondientes a las muestras (e,f,g,h) ; las tres últimas mostraron una tonalidad amarillenta, solo la muestra e presentó un color rojizo. Todos los pigmentos se los comparó con el control, el cual está identificado como la imagen (i) el cual presentó una tonalidad rojiza con un espectro de absorción que establece un mayor porcentaje en la captación de longitud de onda de la luz. las muestras presentaron una capacidad alta para utilizarles como parte esencial en la estructuración de celdas solares en la investigación.

5.3 Tiempo óptimo de adsorción con voltaje obtenido mediante un simulador solar con una densidad de potencia de 1000 W/m^2

En la figura 27 y 28 se ejemplifica la utilización de 4 tiempos de adsorción (12,24,36,48 h) para cada pigmento utilizado en la investigación los cuales se encuentran ubicados en el eje de las x; con base a la eficiencia (voltios) obtenida en un simulador solar de 1000 W/m^2 (lámpara MR16 50W-12V a 25°C , luz visible 300-700 nm, conectado a un multímetro digital de alta impedancia) ubicados en el eje de las y. Observando un ajuste lineal en cuanto a las muestras estudiadas, a excepción de la hierba mora que mostró un polinomio de segundo grado con respecto al ajuste.

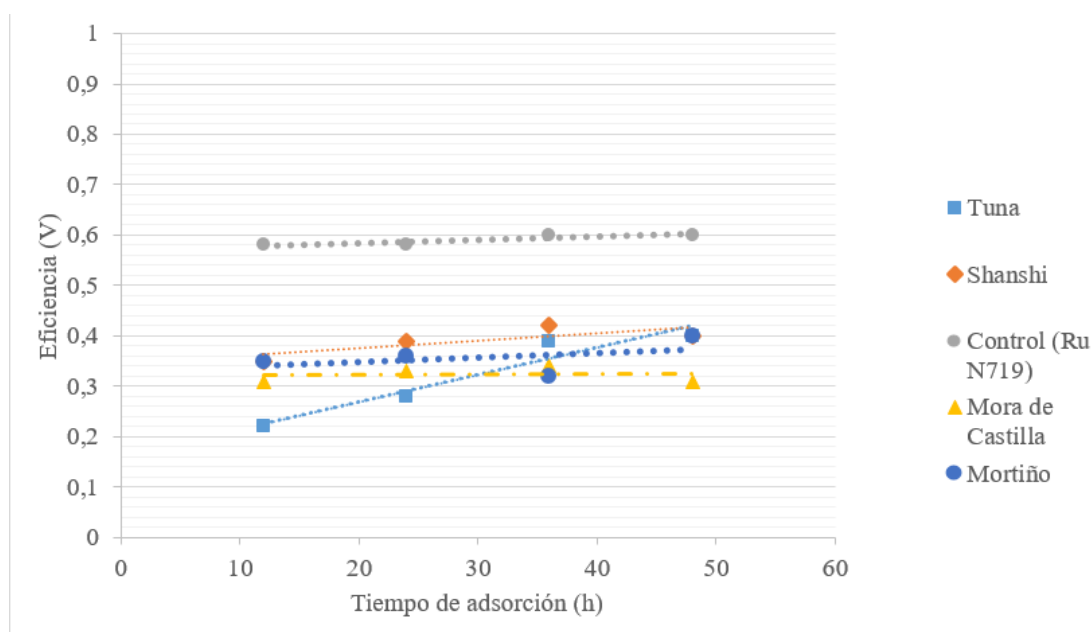


Figura 27: Eficiencia de la celda solar con respecto al tiempo de adsorción del pigmento sobre el semiconductor, Frutos.

Elaboración: Propia

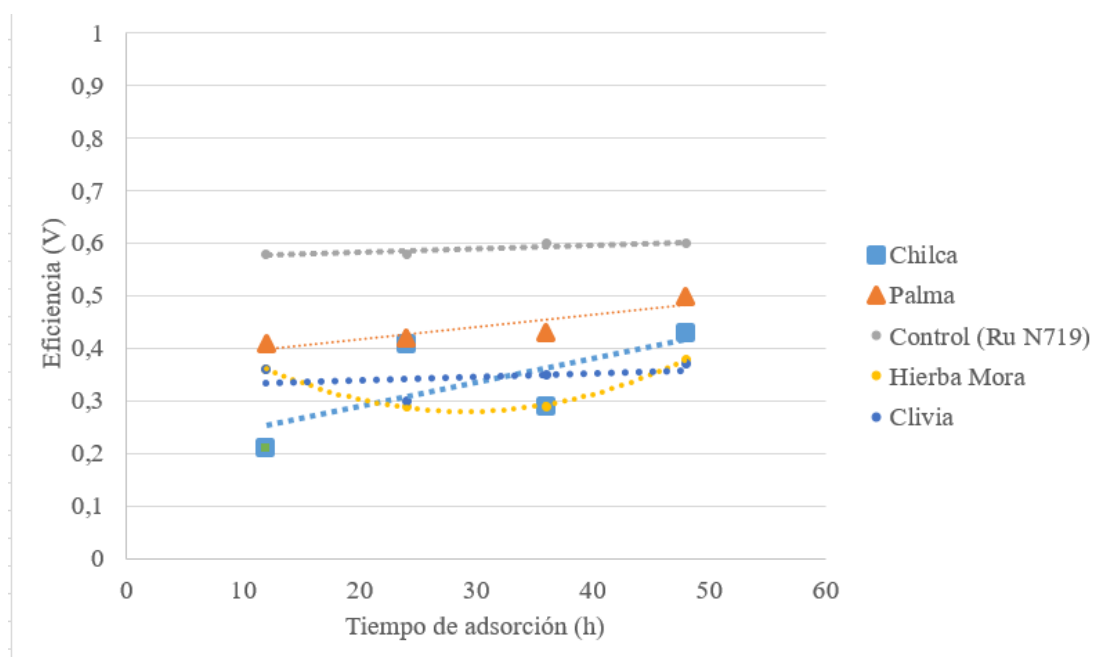


Figura 28: Eficiencia de la celda solar con respecto al tiempo de adsorción del pigmento sobre el semiconductor, Plantas.

Elaboración: Propia

Se obtuvieron 36 celdas solares, 4 para cada tinte natural y sintético; con el objetivo de conseguir un tiempo óptimo de adsorción del sensibilizador sobre el TiO_2 para cada tipo de colorante y así aumentar la eficiencia de conversión energética que alcanza el dispositivo fotovoltaico. Proponiendo así que para las plantas (*Baccharis latifolia* “Chilca”, *Solanum nigrum* “Hierba mora”, *Gladiolus hortulanus* “Palma”, *Clivia miniata* “Clivia”) el tiempo óptimo de adsorción es de 48 h (figura 28).

Mientras que, para los frutos, mostraron un tiempo variable adsorción, teniendo que para: *Opuntia tuna* “Tuna” fue de 48 h, *Coriaria ruscifolia* “Shanshi” de 36 h, *Rubus glaucus* “Mora de castilla” de 36 h, y para *Vaccinium meridionale* “Mortiño” de 48 h (figura 29).

Finalmente se observó que para el pigmento sintético (Rutenio N719) no se tiene una variabilidad marcada en cuanto al tiempo por lo que éste es totalmente compatible con el TiO_2 , pero para poder compararlo con los demás tintes se propone un tiempo óptimo de adsorción de 48 h.

5.6 Análisis estadístico

Se consideraron los efectos principales, sin b, normalidad por Kolmogorov-Smirnov, estadístico 0,122; $gl = 36$; $p > 0,05$. Homocedasticidad por prueba de efectos entre sujetos $p > 0,05$ en pigmentos y tiempos (figura 29).

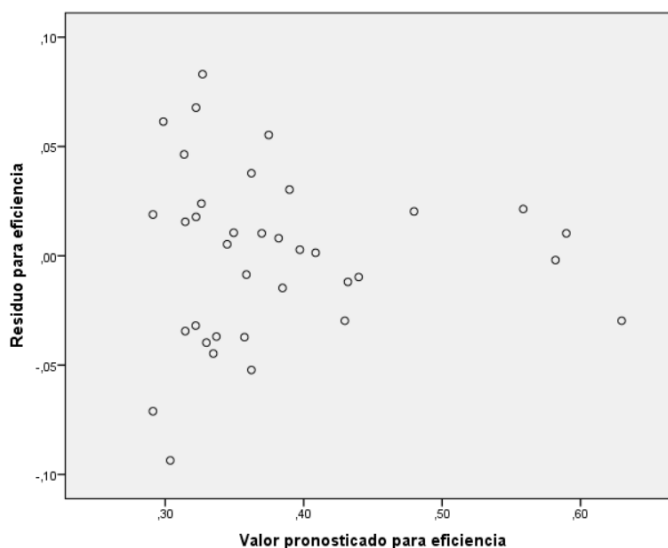


Figura 29: Gráfico de residuos contra valores pronosticados de modelos, visualmente presentando independencia.

Elaboración: Propia

En modelo definido presentó un ajuste que explica el 99,0% de la varianza para pigmento $F=13,74$ con $p < 0,05$, tiempo $F=3,572$, $p > 0,05$. Se encontró diferencias significativas entre todos los pigmentos obtenidos de las plantas y el control, así como entre todos los pigmentos obtenidos de las frutas y el control: medias corregidas por Bonferroni (figura 30).

Estimaciones

Variable dependiente: eficiencia de la celda

tiempo de adsorción	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
12 horas	,350	,016	,318	,382
24 horas	,373	,016	,341	,406
36 horas	,381	,016	,349	,413
48 horas	,421	,016	,389	,453

Figura 30: Tiempo de adsorción, estimaciones

Elaboración: Propia

En relación a los tiempos, los subconjuntos homogéneos revelaron que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tiempos de 48 y 12 horas ($p < 0,05$) (figura 31).

HSD Tukey^{a,b}

tiempo de adsorción	N	Subconjunto	
		1	2
12 horas	9	,3500	
24 horas	9	,3733	,3733
36 horas	9	,3811	,3811
48 horas	9		,4211
Sig.		,509	,164

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática(Error) = ,002.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 9,000.
b. Alfa = ,05.

Figura 31: subconjuntos homogéneos, eficiencia de la celda, prueba de tukey

Elaboración: Propia

La eficiencia obtenida para la celda en 48 horas es $F=0,4211$ (prueba de Tukey). Según la prueba de Tukey se encontraron diferencias significativas entre la palma y la mora de castillas (eficiencia de la celda) (figura 32). La eficiencia de la celda para la palma resultó de 0,44 en relación al control que presentó una eficiencia de 0,59 y a la mora de castilla de 0,3225.

Estimaciones

Variable dependiente: eficiencia de la celda

tipo de pigmento orgánico	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
chilca	,335	,023	,287	,383
palma	,440	,023	,392	,488
hierba mora	,330	,023	,282	,378
clivia	,345	,023	,297	,393
tuna	,323	,023	,274	,371
shanshi	,390	,023	,342	,438
mora de castilla	,323	,023	,274	,371
mortño	,358	,023	,309	,406
control	,590	,023	,542	,638

Figura 32: medias marginales estimadas, tipo de pigmento orgánico

Elaboración: Propia

En modelo definido presenta un ajuste que explica el 99,0% de la varianza para pigmento $F=13,74$ con $p<0,05$, tiempo $F=3,572$, $p>0,05$. Según la prueba de Tukey se encontraron diferencias significativas entre la palma y la mora de castilla (eficiencia de la celda) (figura 33)

eficiencia de la celda

HSD Tukey^{a, b}

tipo de pigmento orgánico	N	Subconjunto		
		1	2	3
tuna	4	,3225		
mora de castilla	4	,3225		
hierba mora	4	,3300	,3300	
chilca	4	,3350	,3350	
clivia	4	,3450	,3450	
mortifio	4	,3575	,3575	
shanshi	4	,3900	,3900	
palma	4		,4400	
control	4			,5900
Sig.		,538	,060	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

Figura 33: Subconjuntos homogéneos, eficiencia de la celda

Elaboración: Propia

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

6.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE PIGMENTOS NATURALES EN FUNCIÓN A SU LONGITUD ONDA Y EL SEMICONDUCTOR UTILIZADO (TiO₂)

Los espectros de absorción de los 8 tintes naturales más el sintético se muestran en las figuras 24 y 25. Los espectros fueron adquiridos bajo los procedimientos de la sección 3.5; el objetivo fue determinar la longitud de onda para los máximos de adsorción de cada tinte. Se utilizó las características reportadas en la literatura para el tinte sintético, como parámetros de evaluación para considerar que los resultados son fiables (Solaronix, 2016). Para el tinte Ru N719, se reporta que su máximo de absorción se encuentra en 535 nm, utilizando como blanco etanol. En el presente trabajo se obtuvo un máximo a 520 nm (figura 24). Se puede considerar que es un valor aceptable tomando en consideración que se utilizó etanol y HCl en todos los pigmentos.

Se reportaron las longitudes de onda (λ_{max}), para los máximos de absorción de cada pigmento (figura 24 y 25). Se determinó que solo para tres de los ocho tintes naturales los valores de λ_{max} son cercanos al del Ru N719. Por otra parte, los espectros permiten evidenciar que existieron diferencias entre las características de absorción de los tintes obtenidos de plantas respecto a los obtenidos de frutos. De los ocho casos, los pertenecientes a *Gladiolus hortulanus* “Palma”, *Clivia miniata* “Clivia”, *Coriaria ruscifolia* “Shanshi”, *Baccharis latifolia* “Chilca” no han sido reportados en otras investigaciones. Estos resultados indican que, desde el punto de vista de las propiedades ópticas, los tintes naturales presentan propiedades similares al sintético.

Por otra parte, los espectros de los pigmentos diferentes a palma, chilca y el control muestran una estrecha banda de absorción que no sobrepasa el rango de 300-350 nm, lo cual implica que su capacidad de absorción es limitada cuando se encuentren en el TiO₂. Por tanto, se considera que hay una mala adsorción del pigmento en el óxido. Tomando en cuenta los resultados de los ocho pigmentos estudiados, se puede considerar que *Gladiolus hortulanus* “Palma” y *Baccharis latifolia* “Chilca”, a pesar de ciertas limitaciones exhiben potencial para este tipo de aplicaciones.

6.2 DESEMPEÑO DE LAS CELDAS EN FUNCION DEL PIGMENTO

Se ensamblaron las celdas DSSCs, bajo la metodología descrita en la sección 3.7 utilizando como sensibilizadores los tintes o extractos de 8 plantas diferentes que crecen en el Ecuador: *Rubus glaucus* “Mora de castilla”, *Opuntia tuna* “Tuna”, *Vaccinium meridionale* “Mortiño”, *Coriaria ruscifolia* “Shanshi”, *Baccharis latifolia* “Chilca”, *Solanum nigrum* “Hierba mora”, *Gladiolus hortulanus* “Palma”, *Clivia miniata* “Clivia”. Se realizaron 4 muestras por cada pigmento bajo las mismas condiciones ambientales, pero no en el mismo tiempo de adsorción.

En la figura 27 y 28, se reportaron los valores de tiempo de adsorción y voltaje en el punto de máxima potencia utilizando un simulador solar de 1000 W/m². Además se presenta una gráfica de la curva tiempo-voltaje para plantas y frutos, donde se da a conocer el tiempo óptimo de adsorción del pigmento sobre el semiconductor, para que la celda alcance su eficiencia máxima dependiendo del colorante utilizado.

Comparando el desempeño de las DSSCs en su tiempo óptimo de adsorción con pigmentos naturales entre ellas y con el estándar de Ru N719 se obtuvieron los siguientes resultados:

Para *Rubus glaucus* “Mora de castilla” la eficiencia obtenida fue de 0,34 V, para *Opuntia tuna* “Tuna” fue de 0,40 V, *Vaccinium meridionale* “Mortiño” fue de 0,40 V, *Coriaria ruscifolia* “Shanshi” de 0,42 V, para *Baccharis latifolia* “Chilca” fue

de 0,43 V, de *Solanum nigrum* “Hierba mora” fue 0,38 V, para *Gladiolus hortulanus* “Palma” fue de 0,50, finalizando con *Clivia miniata* “Clivia” la cual mostró una eficiencia de 0,37 V.

Realizando una comparación entre ellas se pudo apreciar que el desempeño fotoelectroquímico de las DSSCs basados en los pigmentos ensayados muestran que el menor valor de voltaje es de 0,34 V para la planta *Rubus glaucus* “Mora de castilla” y el mayor fue de 0,50 V para *Gladiolus hortulanus* “Palma”. Estos valores son bajos en comparación con la eficiencia mostrada por el control de Rutenio (Ru N719) la cual fue de 0,60 V en esta investigación. Sin embargo los valores se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura para trabajos similares. Para realizar esta comparación se ejecutó una búsqueda en base a la familia de cada planta utilizada en la investigación, por la razón de que algunas de las plantas ensayadas, no han sido utilizadas en otros trabajos similares pero si han sido utilizadas plantas que están dentro de su familia botánica.

Para pigmentos conocidos como es el caso del “Mortino” *Vaccinium meridionale* perteneciente a la familia *Ericaceae*, se han encontrado ensayos en donde se han utilizado plantas como “Mirtilo o Arándano” *Vaccinium myrtillus* con una eficiencia de 0,47 V (Chang, 2010) perteneciente a la misma familia pero el valor a resaltar es el valor máximo citado en la literatura para mortino el cual es de 0,50 V (Calderón, Arturo, Pacheco, & Luis, 2015); se conoce también que las eficiencias alcanzadas por este tipo de plantas están en un rango de 0,40 - 0,50 V (Calderón et al., 2015) por lo que se considera que el voltaje obtenido de 0,40V en esta investigación cumple con los rangos citados para este tipo de planta.

En lo referente a la “Mora de castilla” *Rubus glaucus* perteneciente a la familia *Rosaceae*, se tiene una eficiencia máxima citada de 0,478 V y un rango de 0,30 – 0,50 V para este tipo de planta (Calero, 2006), también se han encontrado ensayos en plantas como “Rosa de Castilla” *Rosa damascena* que muestra un voltaje de 0,170 V (El-ghamri, Taya, El-agez, & Al-kahlout, 2015), “Zarzamora” *Rubus ulmifolius* con 0,65 V (Calderón et al., 2015) y “Mora” *Rubus ulmifolius* con 0,48 V

(Ramírez, 2015); todas pertenecientes a la misma familia; considerando que los resultados pueden variar con la zona geográfica, irradiación solar y material vegetal (Yasir & Waqar, 2011), se puede decir que al comparar con el resultado de 0,34 V obtenido en los ensayos realizados la celda se encuentra dentro del rango establecido, pero la mora de castilla perteneciente a la zona 1 de Ecuador no sufrió una buena adsorción, es decir no tuvo una buena afinidad sobre el TiO_2 y por consiguiente la eficiencia no fue la mejor.

Para la “Hierba mora” *Solanum nigrum* perteneciente a la familia de las *Solanaceae* se tiene una eficiencia encontrada en la bibliografía de 0,54 V (Bejarano, 2014) en su punto máximo, también se hallaron ensayos en plantas como “Berenjena” *Solanum melongena* que mostró un valor de 0,368 V y “Tomate de árbol” *Solanum betaceum* con un voltaje de 0,436 V (Mulati, Timonah, & Bjorn, 2012); con esto, se puede decir que el voltaje obtenido en esta investigación el cual fue de 0,38 V se encuentra dentro de un rango aceptable para las plantas que se han utilizado en celdas solares las cuales se encuentran dentro de la misma familia de las *Solanaceae*.

En lo referente a la “Chilca” *Baccharis latifolia* perteneciente a la familia de las *Asteraceae*, no se encontró información para este tipo de planta pero sí se encontró bibliografía en ensayos con la planta “Cártamo” *Carthamus tinctorius* con una eficiencia de 0,390 V, perteneciente a la misma familia (El-ghamri et al., 2015). Por lo cual el voltaje obtenido en esta investigación de 0,43 V, es superior en comparación a otras plantas de la misma familia. Por lo que se puede considerar que, seguir investigando en esta planta propia de la zona 1 y de crecimiento acelerado, es un gran avance en aplicaciones de dispositivos fotovoltaicos ecuatorianos con material vegetal que no se puede hallar en otras partes del mundo.

Para la comparación de la eficiencia obtenida de 0,40 V de la “Tuna” *Opuntia tuna*, se realizó una revisión bibliográfica mediante la cual se encontraron dos plantas: la “Pera silvestre púrpura” *Opuntia engelmannii* y la “Higuera siciliana” *Opuntia ficus indica*, con una eficiencia de 0,41 y 0,54 V, respectivamente (Calogero et al., 2010),

ambas originarias de México y todas correspondientes a la familia *Cactaceae*. Se observó que la eficiencia alcanzada por la tuna es aceptable en comparación a plantas similares, en esta investigación se utilizó el exocarpio como material vegetal para obtener su pigmento y no el mesocarpio como en investigaciones similares, implantándose así una nueva metodología de extracción. Este tipo de plantas están ampliamente distribuidas en gran parte de América Latina y Sudáfrica y en el área mediterránea.

Se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica para encontrar investigaciones en donde se utilicen plantas que se encuentren dentro de la familia *Coriariaceae*, sin obtener resultados positivos por lo que se optó por ejecutar una comparación a partir del orden *Cucurbitales* dando como efecto el hallazgo de la “Calabaza de hiedra” *Coccinia grandis* que muestra una eficiencia en la bibliografía de 0,495 V (Shanmugam, Manoharan, Anandan, & Murugan, 2013), la cual es semejante al 0,42 V obtenido a partir de una de las plantas utilizadas en este trabajo como es el caso del “Shanshi” *Coriaria ruscifolia*. Por lo que se determinó que la planta utilizada en esta investigación necesita de un seguimiento continuo para que su explotación futura en el campo de la energía llegue a tener resultados prometedores.

Analizando la información de 0,50 V obtenido del pigmento de “Palma” *Gladiolus hortulanus*, siendo este, el más prometedor dentro de todo el material vegetal utilizado. Se logró la adquisición del antecedente mediante la literatura, de una planta que se encuentra dentro la familia *Iridaceae*, este es el caso del “Saffron” *Crocus sativus L.*, más conocido como “Flor de azafrán”, la cual es la única planta utilizada como sensibilizador en aplicaciones fotovoltaicas que mostró una eficiencia de 0,49V (Arof et al., 2017); teniendo que los resultados son similares cuando se refiere a esta familia de plantas en específico.

Amaryllidaceae es una de las familias de plantas más estudiadas en el enfoque botánico pero no en aplicaciones energéticas como es el caso de las celdas solares fotovoltaicas. Debido a esto, no se encontró información para proponer una comparación con los resultados de la planta “Clivia” *Clivia miniata* que mostró una

eficiencia energética de 0,37 V por lo que se tiene muchas expectativas para próximas aplicaciones ya que en la literatura cita que tiene una marcada actividad biológica de algunos de sus metabolitos secundarios, en especial los alcaloides (Yasir & Waqar, 2011).

De todos estos pigmentos, dos fueron óptimos. Por lo tanto a pesar de que la eficiencia de conversión fue relativamente baja en comparación al control, el desafío es identificar las plantas que puedan presentar un buen potencial para este tipo de aplicación. También se discute en la literatura las posibles razones para resultados de baja conversión energética, dando diversas explicaciones (dos Santos & da Silva-Filho, 2017), entre éstas, una relevante es que dentro de un tinte o extracto de plantas existe una colección de pigmentos diferentes que interaccionan con el TiO_2 de manera distinta (Shanmugam et al., 2013).

6.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la figura 24 se demuestra los subconjuntos homogéneos observados, los cuales fueron: Hierba mora, Chilca, Clivia, Mortiño, Shanshi, Palma y un segundo subconjunto el cual lo componen: Tuna, Mora de castilla, Hierba mora, Chilca, Clivia, Mortiño, Shanshi, concluyéndose que la palma proporciona la mayor eficiencia de la celda en relación a todas las plantas y frutos ensayados, no obstante, se encontraron diferencias significativas entre la Palma y el control. Pudiendo asegurar que la palma presenta una eficiencia de al menos un 56% con respecto al control.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- Se extrajeron 8 pigmentos naturales en el transcurso de la investigación, todos provenientes de Carchi e Imbabura, territorio comprendido por la zona 1 del Ecuador.
- Se logró caracterizar fisicoquímica y ópticamente todos los pigmentos naturales obtenidos.
- Se ensamblaron 36 celdas solares, 4 para cada tiempo de adsorción implementados en la investigación.
- Se caracterizó la eficiencia de las celdas solares DSSCs en laboratorio, mediante un equipo simulador de irradiación solar de 1000 watt/m².
- De acuerdo a la eficiencia en voltios, se obtuvieron dos tintes prometedores para la estructuración de celdas solares, de las plantas como: *Baccharis latifolia* “Chilca”, *Gladiolus hortulanus* “Palma”; presentando 0,43 V y 0,50 V respectivamente.

7.2 RECOMENDACIONES

- En cuanto al proceso de estructuración de la celda solar, se recomienda no utilizar material de metal o madera que deje residuos conductores de electricidad, lo que podría provocar variaciones no deseadas en los resultados e incluso un cortocircuito.
- Tener en cuenta el llenar toda el área activa con el electrolito para que exista un transporte iónico eficaz. En lo posible, realizar rápidamente todo el montaje de la celda solar para evitar la evaporación tanto del pigmento adsorbido como el electrolito por las pequeñas cantidades utilizadas.
- En base a ésta identificación se puede proponer nuevas investigaciones que permitan encontrar pigmentos que puedan comparativamente sustituir a los sintéticos.
- Para futuras investigaciones, se sugiere realizar un análisis microbiológico para cada una de los pigmentos que se van a utilizar en la estructuración de celdas solares orgánicas.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS Y ANEXOS

8.1 BIBLIOGRAFÍA

- Atkins, P. and Jones, L. (2002) Chemical Principles, Ed. Michelle Russel Julet.
- Abril Díaz, N., Bárcena Ruiz, J. A., Fernández Reyes, E., Galván Cejudo, A., Jorrín Novo, J., Peinado Peinado, J., ... Túnez Fiñana, I. (2010). Espectrofometría : Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. *Campus Universitario de Rabanales. Departamento de Bioquímica Y Biología Molecular, 1*, 1–8.
- Antonio, J., Badilla, C., Rica, U. D. C., Energia, L. A., & Sol, D. E. L. (n.d.). Energía solar fotovoltaica.
- Antropogénico, C., López, C., Maria, L. U. Z., Ibarreto, N., & Valle, A. D. E. L. (2010). “ Recopilación de información sobre el cambio “ recopilación de información sobre el cambio climático antropogénico .”
- Arof, A. K., Mat Nor, N. A., Ramli, N. R., Aziz, N., Noor, I. M., & Taha, R. M. (2017). Utilization of saffron (*Crocus sativus* L.) as sensitizer in dye-sensitized solar cells (DSSCs). *Optical and Quantum Electronics, 49*(1), 37. <https://doi.org/10.1007/s11082-016-0882-6>
- Arturo, J., & Lemus, R. (2014). Colorantes orgánicos de origen natural utilizados como sensibilizadores de celdas solares.
- Asignatura, L. E., & Otras, W. (2007). TEMA 5 : Energía.
- Bash, E. (2015). No Title No Title NBNBNB. *PhD Proposal, 1*(6823), 1–18. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Bejarano. (2014). *Estudio de colorantes fotosensibles obtenidos de tres plantas de la región sur del Ecuador para ser aplicadas en celdas solares mediante espectrometría UV-Visible.*

- Bonett Jiménez, J. P. (2013). Uso de la espectroscopía de reflectancia difusa (MIR) para la determinación de las propiedades químicas en suelos agrícolas de Colombia, 104.
- Brenes, N. (2011). Utilización de energías alternativas ante la ausencia de electricidad. *Universidad Latinoamericana de Ciencia Y Tecnología*, 29.
- Bustamante Botero, J. E., & Carrascal, L. M. (2010). Estandarización de la técnica espectrofotométrica (UV-Vis) para la cuantificación de antraquinonas presentes en productos a base de Aloe vera, 68.
- Caballero Santos, C. (2011). Estudio de plantas de producción de energías renovables con aprovechamiento de la energía del mar, 1–151.
- Calderón, A. A., Arturo, E., Pacheco, J., & Luis, J. (2015). Construcción experimental de Celdas Solares Sensibilizadas por colorante.
- Calero. (2006). Construcción y Caraterización de celdas solares orgánicas, 1–126.
- Calogero, G., Di Marco, G., Cazzanti, S., Caramori, S., Argazzi, R., Di Carlo, A., & Bignozzi, C. A. (2010). Efficient dye-sensitized solar cells using red turnip and purple wild sicilian prickly pear fruits. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(1), 254–67. <https://doi.org/10.3390/ijms11010254>
- Calvo, D. (2009). *Ciencias de la Tierra y Medioambientales*.
- Canarias, G. de. (2007). Guía didáctica de Energía Solar.
- Chang. (2010). Natural Sensitizer for Dye-Sensitized Solar Cells Using Three Layers of Photoelectrode Thin Films with a Schottky Barrier. *American Journal of Nanotechnology*, 1(1), 13–22. <https://doi.org/10.3844/ajnsp.2010.13.22>
- Chona, R., & Robles, J. (2013). Diseño experimental de un sistema tradicional de panel solar de pequeña escala ubicado en la ciudad de Barranquilla, 85.
- Constante. (2016). ¿Cómo se genera la energía eléctrica en Ecuador? Retrieved from <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/punto-de-vista/1/como-se-genera-la-energia-electrica-en-ecuador>
- Cortéz, G. (2015). Diseño, construcción y automatización de un sistema hidraulico para la produccion de truchas para la quinta el pedregal en el canton salcedo, con aprovechamiento de energía alternativa, mediante un control distribuido.

- Daule, T. (2013). Matriz energética. *Sectores Estratégicos Para El Buen Vivir*, 1, 1–20.
- Deleage, J. P., & Souchon, C. (2016). *La energía : tema interdisciplinar para la educación ambiental*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- dos Santos, W. H., & da Silva-Filho, L. C. (2017). New method for the synthesis of chromeno[4,3-b]chromene derivatives via multicomponent reaction promoted by niobium pentachloride. *Tetrahedron Letters*, 58(9), 894–897. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2017.01.062>
- Efrain N. (2003). Capítulo 3 Fuentes de energía no renovables (I). Anexo de tablas y diagramas, (I).
- El-ghamri, H. S., Taya, S. A., El-agez, T. M., & Al-kahlout, A. M. (2015). Natural Dyes as Photosensitizers for Dye-sensitized Solar Cells, 7(3), 1–6.
- Escandon, A. B. (2012). Analisis, especificacion y desarrollo de procedimientos de operacion para la gestion de la energia eolica en el ecuador. *Universidad de Cuenca-Titulo de Magister*.
- Fallis, A. . (2013). *Energia solar. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Farmacia, F. D. E. (2014). Universidad complutense de madrid.
- Fernández Ferichola, J. (2006). Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil. *U Carlos III Madrid*, 146.
- Garzón, C. (2010). Evaluación de alternativas de generación de electricidad desde el punto de vista de su impacto ambiental, para sectores no conectados a redes eléctricas, 113.
- Garz, G. A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos : revisión Anthocyanins As Natural Colorants And Bioactive Compounds . A Review, 13(3), 27–36.
- Gómez, M. (2006). Las presas hidroeléctricas un reto par a la sustentabilidad de las cuencas en México. *Facultad De Filosofía Y Letras Unam*, 1–9.
- Guairacaja, A. (2012). Proyección de un parque eólico y mitigación del impacto ambiental en el proyecto eólico san vicente de tipín.
- Gutiérrez Beltrán, R. S. de A. y E. (2015). Nanotecnología inspirada en la naturaleza: celdas solares sensibilizadas con colorante. Retrieved April 26,

- 2016, from <http://www.encuentrosenlabiologia.es/2015/12/nanotecnologia-inspirada-en-la-naturaleza-celdas-solares-sensibilizadas-con-colorante/>
- Halina, M., & Marczak, L. (2015). Analisis económico del cambio de la matriz energética y su incidencia en la economía ecuatoriana, enfocado en la matriz productiva y en el plan nacional del buen vivir 2009-2013.
- Hardin, B. E., Snaith, H. J., & McGehee, M. D. (2012). The renaissance of dye-sensitized solar cells. *Nature Photonics*, 6(3), 162–169. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2012.22>
- INER. (2015). El Instituto | Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables. Retrieved December 4, 2015, from <http://www.iner.gob.ec/el-instituto/>
- Ing, D., Dario, Q., Material, H., En, B., Del, T., & Prando, R. (n.d.). Energía Solar Uso En.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), & Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (2008). *Manual de Geotermia*.
- IPCC. (2011). *Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. [https://doi.org/ISBN 978-92-9169-331-3](https://doi.org/ISBN%20978-92-9169-331-3)
- Jinchu, I., Sreekala, C. O., & Sreelatha, K. S. (2013). Dye Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes as Chromophores - Review. *Materials Science Forum*, 771, 39–51. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.771.39>
- Lujan Barrientos, R. M. (2005). Energía mareomotriz, presente y futuro en guatemala.
- Macor, L., Natera, J., Heredia, D., Fernandez, L., Santos, M., & Gervaldo, M. (2009). Nuevo colorante orgánico para aplicación en celdas solares de sensibilización espectral, 13, 53–60.
- Madrid. (2012). Guía sobre Tecnología Minieólica. Retrieved from www.madrid.org
- Madrid, D. (2007). Guía de la Bioenergía Guía de la Bioenergía, 1–53.
- Madridsolar. (2006). Guía de la Energía Solar. 26, 7, 66.
- Mareomotriz, E., Chingotto, M. R., Capitán, E., & Mario, D. N. R. (2006). Energía mareomotriz., 101–107.
- Matsumoto, Y. (2011). Celdas Solares De Silicio : Fundamento Y Tendencia.

- Division de Ciencias E Ingenieria Universidad de Quintana Roo, 1954, 44.*
- Mayer, A. C., Scully, S. R., Hardin, B. E., Rowell, M. W., & McGehee, M. D. (2007). Polymer-based solar cells. *Materials Today*, 10(11), 28–33. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(07\)70276-6](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(07)70276-6)
- MCSE. (2013). Balance Energetico Nacional 2013, 169.
- Mendoza, C. (2011). Viabilidad técnica-económica de una central solar termoeléctrica de colectores cilíndricos parabólicos para su implementación de México, 26–54.
- Miguez, I. A. (2010). Energía solar térmica para refrigeración. *Udelar*, (4), 7.
- Mobot. (2015). Catálogo de las plantas vasculares del Ecuador. Retrieved January 24, 2016, from <http://www.mobot.org/MOBOT/research/ecuador/resultssp.shtml>
- Molina, A. (2014). Plan de seguimiento, control y monitoreo de la implementación del sistema integrado de gestión para la distribución eléctrica – sigde en las empresas eléctricas de distribución a nivel nacional.
- Morocho, M. V. M. (2012). Metodología para el cálculo de radiación solar a través de fotografías satelitales visibles e infrarrojas, caso práctico en la región sur del ecuador, 50. <https://doi.org/10.1017/S0010417500000463>
- Mulati, D., Timonah, N., & Bjorn, W. (2012). The absorption spectra of natural dyes and their suitability as a sensitizer in organic solar cell application. *Jagst*, 14(1). Retrieved from <http://elearning.jkuat.ac.ke/journals/ojs/index.php/jagst/article/view/790>
- Núñez Ribas, L. R. (2010). El aprovechamiento de las energías renovables marinas como opción tecnológica de futuro.
- OEC. (2014). Ecuador (ECU) Exportaciones, Importaciones, y Socios comerciales. Retrieved from <http://atlas.media.mit.edu/es/profile/country/ecu/>
- ONU. (2015). Manual del Sector de la Energía: Quema de Combustibles. *United Nations Framework Convention on Climate Change*, 43.
- Orozco, J. M. (2013). Panorama de las energías renovables y de la eficiencia energética en América Latina. *Universidad Católica Del Ecuador*, 1, 2–24. Retrieved from <http://www.puce.edu.ec/documentos/opsa/INV-Panorama-de-las-energias.pdf>

- Ortega, T. (2013). Instrumentos para la medida del color, 1–24.
- Patterson, B. W. C., & Morata, P. C. (1975). La Energía Nuclear, 1–171.
- Pérez, E. M., & Alonso, A. P. (2013). Trabajo de Diploma.
- Pous, J., & Jutglar, L. (2004). Energía geotérmica. *Energía Geotérmica*, 273.
- Química, D. de I. (2010). Espectroscopia Ultravioleta - Visible. *Universidad Carlos III de Madrid*, 1–9.
- Ramírez. (2015). Advances in Building Dye-Sensitized Solar Cells in Ecuador, 623–632.
- Ramirez, J., & Solano, N. (2002). Dye - sensitized solar cell using natural dyes from Ecuador, 1–8.
- Raúl, A., & Marcos, V. (2013). fotovoltaicas ”.
- REMBIO. (2011). La bioenergía en México Situación actual y perspectivas de Bioenergía, 44.
- República, I. D. I. L. D. S. D. La. (2004). Nuevas energías renovables: una alternativa energética sustentable para México (Análisis y propuesta), 1–167.
- Rogério dos Santos Alves; Alex Soares de Souza, et all. (2014). Celdas Solares DSSC, tecnología prometedora para la producción de electricidad a bajo costo. *Igarss 2014*, (1), 1–5. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Sánchez, D. (2011). Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones.
- Sánchez, R. (2010). Simulación de la actividad del colorante en el proceso de captación de energía en celdas solares sensibilizadas.
- SEMPLADES. (2013). Plan Nacional Buen Vivir.pdf. Retrieved from www.planificacion.gob.ec%5Cnsemplades@semplades.gob.ec%5Cnwww.buenvivir.gob.ec
- SENER. (2012). Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026, 1–156. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Senplades. (2012). Transformación de la Matriz Productiva, 32. <https://doi.org/10.1017/s0022029900021889>
- Shanmugam, V., Manoharan, S., Anandan, S., & Murugan, R. (2013). Performance of dye-sensitized solar cells fabricated with extracts from fruits of ivy gourd and flowers of red frangipani as sensitizers. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 104, 35–40.

<https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.11.098>

- Silva, I. R. (2009). Uso Racional y Eficiente de la Energía Eléctrica, (19).
- Solaronix. (2016). Test Cell Kits - Solar Cell Kits - Solaronix Online Shop.
Retrieved from <http://shop.solaronix.com/solar-cell-kits/test-cell-kit.html>
- Soto, I. E. P. (2005). Celdas Fotovoltaicas En Generacion Distribuida, 133.
- Swanson, R. M. (2009). Applied physics. Photovoltaics power up. *Science (New York, N.Y.)*, 324(5929), 891–892. <https://doi.org/10.1126/science.1169616>
- Timmons, D., & Roach, J. M. H. y B. (2014). La Economía de las Energías Renovables. Retrieved from <http://ase.tufts.edu/gdae>
- Toledo, Y. H. (2010). Energía, 7–53.
- Trillo, G. L., & Angullo, V. R. (2008). Guía de la Energía Geotérmica. *Universidad Politécnica de Madrid*, 178.
- Vivanco, J. M. L. (2005). Universidad san francisco de quito energía solar Diseño Integral de Planta de Construcción de Paneles Solares para Calentamiento de Agua con Fines Domésticos José Miguel Luzuriaga Vivanco obtención del título de Ingeniero Industrial Quito Universidad San.
- Wilschanski, M., Werlin, S., Troendle, D., Ooi, C. Y., Fishman, D., & Davis, H. A. (2015). 11 Pediatric Acute Recurrent and Chronic Pancreatitis : Report From INSPPIRE Consortium, 79(5), 1–2. <https://doi.org/10.1016/S0016>
- Wolfsegger, C., Fraile, D., & Teske, S. (2008). Solar Generation V–2008. *European Photovoltaic Industry Association (EPIA)*
- Yasir, F., & Waqar, M. A. (2011). Effect of indigenous plant extracts on calcium oxalate crystallization having a role in urolithiasis. *Urological Research*, 39(5), 345–350. <https://doi.org/10.1007/s00240-011-0374-x>

8.2 ANEXOS

8.2.1 Parámetros de fotoelectroquímicas de colorantes naturales extraídos con

(a) etanol, (b) metanol, (c) EtOH 95% -HCl 0,1 N; (d) λ max en el rango visible.








Natural dye	Image	Plant material	Solvent	Color	pH	FD	Maximum Abs (nm)	λ max (nm)
Wild cherry (Cereza) <i>Prunus cerasus</i>		fresh (fruit)	(a)	dark red	3.89	20	0.808	514
			(b)	red	3.89	20	0.256	504
			(c)	red	5.06	20	0.238	509
		dried (fruit)	(c)	yellow	-	-	-	-
Bloodleaf (Escancel) <i>Iresine herbstii</i>		fresh (leaves)	(a)	clear green	-	-	-	-
			(b)	clear green	-	-	-	-
			(c)	dark red	1.12	20	0.395	532
		dried (leaves)	(c)	dark red	1.13	20	0.47	526
Blackberry (Mora) <i>Rubus robustus</i>		fresh (fruit)	(a)	red	-	-	0.242	513
			(b)	red	-	-	0.344	513
			(c)	red	1.85	20	0.305	513
		dried (fruit)	(c)	dark red	1.91	40	1.244	511
American nightshade (Mortuño) <i>Solanum americanum</i>		fresh (fruit)	(a)	red	-	40	0.005	515
			(b)	dark red	-	40	1.003	515
			(c)	red	-	40	0.007	515
		dried (fruit)	(c)	dark red	-	40	0.946	514
Achiote <i>Bixa orellana</i>		fresh (fruit)	(a)	red	-	20	-	475
			(b)	-	-	-	-	-
			(c)	-	-	-	-	-
		dried (fruit)	(c)	dark red	-	20	-	475
Beet (Remolacha) <i>Beta vulgaris</i>		fresh (root)	(a)	dark red	7.18	20	1.449	480
			(b)	dark red	7.17	20	1.719	481
			(c)	dark red	5.48	20	1.832	534
		dried (root)	(c)	dark red	3.21	20	2.03	534
Red amaranth (Añaco) <i>Amaranthus cruentus</i>		fresh (flower)	(a)	green	-	-	-	-
			(b)	green	-	-	-	-
			(c)	orange	4.2	-	-	-
		dried (flower)	(c)	yellow red	4.37	-	-	-

Gráfico 1: Se muestra algunos materiales de plantas, hojas, flores, raíces y frutos, que exhiben varios colores y contiene varios pigmentos, se extrajo con diferentes disolventes y puede utilizar fácilmente como sensibilizadores en la construcción de DSSCs. También muestra los valores de máximo absorción λ max de los colorantes extraídos con etanol y agua. UV-Vis espectros de absorción de los extractos de etanol de achiote, achiote, mora y exhibición piñon un pico de absorción de 407 nm, 460 nm 320 nm, 418 nm y, respectivamente. λ max valores superiores a 600 nm por ejemplo mortiño y escancel sugieren que estos pigmentos naturales de las plantas se pueden usar como sensibilizadores con la posibilidad de mejorar el beneficio económico y ambiental de la DSSCs.

Fuente: Ramírez & Solano (2002)

8.2.2 Catálogo de materiales SOLARONIX

SOLARONIX

Test Cell Mask
Adhesive Opaque Aperture for Test Cells

A must have for the accurate performance assessment of Dye Solar Cells. The Test Cell Mask is an opaque adhesive with a defined aperture that holds the dye-sensitized cell while compensating for the optical losses inherent to creating a Test Cell. Adhesive makes the mask easily reusable. The Test Cell Mask allows for unbiased measurements of our Test Cells and other cells made with our Test Cell Mask.

Reference
ref. 74003 (10 pack)
Pricing of the Test Cell Masks and the other Test Cell Mask options on the product page: [www.solaronix.com](#)

Best Used With
ref. 74003 (per unit)
ref. 74003 (per unit)
For more details about the Test Cell Mask go to: [www.solaronix.com](#)

How to Order
Please visit our website at [www.solaronix.com](#) or send us an e-mail for indicating your interest product.

1 | Application Note
Rev. 02/2019 00003 Substancia SA

SOLARONIX

Ruthenizer 535-bisTBA
High Performance Ruthenium Photo-Sensitizer for Dye Solar Cell Application

For industry or researchers who manufacture or study Dye Solar Cells, Ruthenizer 535-bisTBA is a high performance ruthenium dye which is very efficiently sensitive, wide-band-gap dye, increases the current density.

Ruthenizer 535-bisTBA is ready to use and doesn't require extra purification. The product is high quality and tested in real solar cells.

Best Used With
ref. 74003 (per unit)
ref. 74003 (per unit)
For more details about the Test Cell Mask go to: [www.solaronix.com](#)

How to Order
Please visit our website at [www.solaronix.com](#) or send us an e-mail for indicating your interest product.

1 | Application Note
Rev. 02/2019 00003 Substancia SA

SOLARONIX

Meltonix 1170-BOPF
Hot Melt Sealing Film with Protective Foil

Meltonix 1170-BOPF is a hot-melt BOPF hot melt sealing film suitable for laminating Dye Solar Cell electrodes and covering Heterojunctions, by applying heat and pressure.

The material chosen for Meltonix 1170-BOPF is chemically compatible with most electrolyte compositions. It ensures a robust combination of the electrolyte, even in adverse operating conditions.

This unique comes with a protective foil that allows for a perfect lamination in less easy steps.

Reference
30 x 20 cm ref. 60230
30 x 20 cm, 10 pack ref. 60230
Pricing on product page: [www.solaronix.com](#)

How to Order
Please visit our website at [www.solaronix.com](#) or send us an e-mail for indicating your interest product.

Best Used With
ref. 74003 (per unit)
ref. 74003 (per unit)
For more details about the Test Cell Mask go to: [www.solaronix.com](#)

How to Order
Please visit our website at [www.solaronix.com](#) or send us an e-mail for indicating your interest product.

1 | Application Note
Rev. 02/2019 00003 Substancia SA

SOLARONIX

Iodolyte HI-30
State-of-The-Art Electrolyte for Very High Performance Assessment

For researchers and industries who study or manufacture Dye Solar Cells, Iodolyte HI-30 is a high performance electrolyte. For all high performance of your dye-sensitized solar cells.

This product is of the highest quality and has been tested and proven in real solar cells.

Reference
30 x 20 cm ref. 60230
30 x 20 cm, 10 pack ref. 60230
Pricing on product page: [www.solaronix.com](#)

How to Order
Please visit our website at [www.solaronix.com](#) or send us an e-mail for indicating your interest product.

Best Used With
ref. 74003 (per unit)
ref. 74003 (per unit)
For more details about the Test Cell Mask go to: [www.solaronix.com](#)

How to Order
Please visit our website at [www.solaronix.com](#) or send us an e-mail for indicating your interest product.

1 | Application Note
Rev. 02/2019 00003 Substancia SA

SOLARONIX

Chenodeoxycholic Acid
Staining Solution Additive

Chenodeoxycholic Acid is a staining additive that increases the performance of Dye Solar Cells.

When used as an additive with most photo-sensitizers, Chenodeoxycholic Acid modifies the dye's surface and prevents dye aggregation.

Chenodeoxycholic Acid is simply added to the dye solution and is compatible with most typical staining procedures.

Reference
300 mg ref. 00002
500 mg ref. 00002
1000 mg ref. 00002
1 g ref. 00002
2 g ref. 00002
5 g ref. 00002
10 g ref. 00002
20 g ref. 00002
50 g ref. 00002
100 g ref. 00002
500 g ref. 00002

How to Order
Please visit our website at [www.solaronix.com](#) or send us an e-mail for indicating your interest product.

Best Used With
ref. 74003 (per unit)
ref. 74003 (per unit)
For more details about the Test Cell Mask go to: [www.solaronix.com](#)

How to Order
Please visit our website at [www.solaronix.com](#) or send us an e-mail for indicating your interest product.

1 | Application Note
Rev. 02/2019 00003 Substancia SA