



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INSTITUTO DE POSTGRADO

**MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS MENCIÓN
RECURSOS FITOGENÉTICOS Y DE MICROORGANISMOS ASOCIADOS**

TÍTULO

**“EVALUACIÓN DE LOS COLORANTES ORGÁNICOS DE LAS ARVENSES
COMO RECURSO FITOGENÉTICO PARA ESTRUCTURACIÓN DE CELDAS
FOTOVOLTAICAS”**

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en
Biodiversidad y Recursos Genéticos: Mención Recursos Fitogenéticos y de
Microorganismos Asociados**

AUTOR: Ing. Erick Patricio Páez Valles

DIRECTOR: Ing. José Manuel País Chanfrau, PhD

IBARRA - ECUADOR

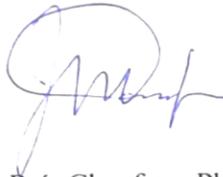
2021

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

En calidad de Director del trabajo de investigación con el tema: “EVALUACIÓN DE LOS COLORANTES ORGÁNICOS DE LAS ARVENSES COMO RECURSO FITOGENÉTICO PARA ESTRUCTURACIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS” de autoría de Erick Patricio Páez Valles, para obtener el título de Magíster en Biodiversidad y Recursos Genéticos: Mención Recursos Fitogenéticos y de Microorganismos Asociados, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometidos a su presentación y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 20 días del mes de abril del 2021

Lo certifico



Ing. José Manuel País Chanfrau, PhD

c.c. 0959747320

jmpais@utn.edu.ec

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD	1003602875		
APELLIDOS Y NOMBRES	Páez Valles Erick Patricio		
DIRECCIÓN	Calle Raimundo de la Cruz y Colón (Condominio Urdiales, Casa #9)		
EMAIL	erickpaez10@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO	062-608-103	TELÉFONO MÓVIL:	0986449600

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Evaluación de los colorantes orgánicos de las arvenses como recurso fitogenético para estructuración de celdas fotovoltaicas”
AUTOR:	Ing. Erick Patricio Páez Valles
FECHA:	20/04/2021
PROGRAMA DE POSGRADO	Maestría en Biodiversidad y Recursos Genéticos mención recursos Fitogenéticos y de Microorganismos Asociados
TITULO POR EL QUE OPTA	Magíster en Biodiversidad y Recursos Genéticos: Mención Recursos Fitogenéticos y de Microorganismos Asociados
TUTOR	Ing. José Manuel País Chanfrau, PhD

2. 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 20 días del mes de abril del año 2021

EL AUTOR:

Firma :



Nombre: Erick Patricio Páez Valles



DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios por darme la oportunidad una vez más de mejorar en el ámbito profesional y en el humano, brindándome salud y bienestar. A mi Padre por el ser el apoyo incondicional y el que siempre ha creído en mí; a mi Madre por ayudarme a su manera y a todas las personas que de una u otra forma aportaron para que este objetivo se cumpla.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte y al Instituto de Posgrados por todas las experiencias en estos 2 años de vida estudiantil; al Doctor José Manuel País Chanfrau, Director del presente trabajo; por haber asumido con dedicación el rol de guía de la investigación. Cabe mencionar que gracias a su ingenio y buena voluntad este trabajo ha llegado a concluirse.

Por otra parte, agradezco al Ingeniero Juan Carlos García, el cual tomó el rol de asesor en este trabajo de investigación. Además, quiero agradecer al bioquímico José Luis Moreno por su profesionalismo y ayuda técnica.

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

INDICE DE CONTENIDOS

RESÚMEN	12
ABSTRACT	14
CAPITULO I.....	15
EL PROBLEMA.....	15
1.1. Problema de investigación	15
1.2. Preguntas de investigación.....	18
1.3 Objetivos de la investigación	19
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	19
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	19
1.4 Justificación	20
CAPITULO II.....	22
MARCO REFERENCIAL	22
2.1 Antecedentes	22
2.2 Referencias teóricas	24
2.2.1 Plantas arvenses: plantas asociadas a los cultivos	24
2.2.1.1 Principales atributos morfológicos, reproductivos y clasificación de las plantas arvenses.....	25
2.2.2 Los colorantes naturales para celdas solares extraídos de plantas	25
2.2.3 Índice de diversidad: combinaciones de riqueza específica y equitatividad.....	26
2.2.4 Celdas solares de película fina: sus características	26
2.2.4.1 Celda solar sensibilizada por colorante (DSSCs)	27
2.2.5 Máximo de conversión energética en celdas fotovoltaica	28
2.2.6 Uso de la radiación solar como fuente de energía	31
2.2.7 Espectro electromagnético de la radiación solar.....	32
2.2.8 Los pigmentos y su absorción de luz utilizada en la fotosíntesis	34

2.2.9 Colorante sintético Ru N719.....	36
2.2.10 Caracterización de pigmentos orgánicos para la obtención de máximo de absorbancia utilizados como sensibilizadores en celdas solares mediante espectrometría UV-VIS	38
2.3. Marco legal	41
CAPITULO III	44
MARCO METODOLÓGICO	44
3.1 Descripción del área de estudio	44
3.2. Diseño y tipo de investigación.....	46
3.3 Procedimiento de investigación	46
Fase 1: Índice de diversidad de las plantas arvenses asociadas a los cultivos.	46
a) Determinación del índice de diversidad de las plantas arvenses asociadas a los cultivos.....	46
Fase 2: Identificación de los colorantes orgánicos de origen natural de las plantas arvenses que crecen asociadas a los cultivos de la Unidad Educativa “General Julio Andrade”	47
a) Metodología para el secado del material vegetal.....	47
b) Metodología para la extracción de pigmentos naturales	48
c) Metodología para la construcción de celdas solares DSSCs	49
Fase 3: Caracterización las propiedades fisicoquímicas y relación estructura química de los colorantes orgánicos utilizados como sensibilizadores en celdas solares de las plantas arvenses asociadas a los cultivos.	51
a) Metodología para la obtención de máxima absorbancia en el espectrofotómetro UV-Vis (Orion AquaMate 8000 UV-Vis v1.004 2W2R091105).....	51
Fase 4: Evaluación de la eficiencia de los colorantes en la producción de energía eléctrica en la celda solar, mediante un simulador solar de 1000 W/m ²	51
a) Eficiencia de la celda: Simulador solar.....	51
3.4 Análisis estadístico.....	52

3.5 Consideraciones bioéticas	52
CAPITULO IV	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
a) Determinación del índice de diversidad de las plantas arvenses asociadas a los cultivos.....	53
b) Análisis por espectrofotómetro UV-Vis para obtener los valores de máxima absorbancia (λ_{max}) de colorantes extraídos	54
b.1) Espectro de absorción de los pigmentos frente al Control RuN719.....	56
c) Voltaje obtenido mediante un simulador solar con una densidad de potencia de 1000 W/m ²	58
d) Análisis estadístico	62
d.1) Relación entre área obtenida frente a la eficiencia de la celda.....	64
CAPÍTULO V.....	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.1 CONCLUSIONES.....	66
5.2 RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS	68
ANEXOS	75
1. Recursos.....	75
2. Catálogo de materiales SOLARONIX	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Eficiencia de las celdas solares de diferentes tecnologías	30
Figura 2. Espectro electromagnético de la radiación solar.....	33
Figura 3. Energía radiada por el Sol y la tierra.....	34
Figura 4. Reacciones de la fotosíntesis dependiente de la luz.....	35
Figura 5. Esqueleto en 2D de la clorofila	36
Figura 6. Estructura de los complejos de rutenio N719	37
Figura 7. Espectrofotómetro UV-Visible, modo de funcionamiento	40
Figura 8. Descripción del área de estudio	44
Figura 9. Área de recolección.....	45
Figura 10. Plantas de estudio.....	45
Figura 11. Plantas frescas para su secado a 45°C.....	47
Figura 12. Arvenses, posterior a tres días de secado en estufa.....	48
Figura 13. Material vegetal molido y pesado por separado.....	48
Figura 14. Material vegetal sumergido en 100 ml de solución	49
Figura 15. Filtrado y etiquetado de pigmentos naturales	49
Figura 16. Espectrofotometría UV/Vis ($\lambda_{\min}=300\text{nm}$, $\lambda_{\max}=700\text{ nm}$, Abs=1-5), Plantas vs Control.....	55
Figura 17. Espectro de barrido UV - VIS, pigmentos y control.....	57
Figura 18. Eficiencia de la celda solar del pigmento y control sobre el semiconductor.	58
Figura 19. Eficiencia (V), Vs, Área UV-Vis 200-700 nm.....	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cálculo del índice de Shannon- Wiener	53
Tabla 2. Datos estadísticos	62
Tabla 3. Resumen estadístico	62
Tabla 4. Tabla ANOVA.....	63
Tabla 5. Pruebas de múltiples rangos	63
Tabla 6. Plantas Vs Control	64
Tabla 7. Recursos.....	75

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

INSTITUTO DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN BIODIVERSIDAD Y RECURSOS GENÉTICOS
MENCION RECURSOS FITOGENÉTICOS Y DE MICROORGANISMOS
ASOCIADOS

**“EVALUACIÓN DE LOS COLORANTES ORGÁNICOS DE LAS ARVENSES
COMO RECURSO FITOGENÉTICO PARA ESTRUCTURACIÓN DE CELDAS
FOTOVOLTAICAS”**

Autor: Ing. Erick Patricio Páez Valles

Tutor: Ing. José Manuel País Chanfrau, PhD

Año: 2021

RESÚMEN

Se consideran como arvenses a todas las plantas superiores, que, por crecer asociadas a plantas cultivadas, perturban o impiden el desarrollo normal, encarecen el cultivo y merman sus rendimientos o la calidad. Los términos despectivos para las arvenses abundan, incluso hay personas que llama maleza a la espesura de arbustos, zarzas y hasta el bosque mismo. Son escasas las referencias donde se muestren las aplicaciones de arvenses en cultivos, algunos son parte de trabajos de titulación no publicados o informes técnicos de difícil acceso a productores, estudiantes e investigadores, y los que existen son de zonas específicas. A partir de lo expuesto anteriormente el objetivo de este trabajo, es darles una utilidad, a través de la extracción de sus pigmentos fotosintéticos. Para lo cual, se realizó una toma de muestras en los terrenos pertenecientes a la unidad educativa General Julio Andrade, provincia del Carchi. Se determinó el índice de diversidad mediante Shannon - Wiener. Se identificó los colorantes orgánicos extrayendo sus pigmentos naturales, con un secado del material a 45°C y su procesamiento utilizando etanol y ácido clorhídrico, para finalmente caracterizar sus propiedades fisicoquímicas mediante la obtención del máximo de absorbancia en un espectrofotómetro UV/Vis. Dando un enfoque de aplicación no convencional a un recurso fitogenético y aprovechando su biodiversidad con el estudio de sus pigmentos, una de las opciones con buenas perspectivas es el empleo de celdas fotovoltaicas, estos dispositivos permiten transformar la radiación solar en electricidad mediante la utilización de colorantes de plantas sin interés alimentario anexadas a las

cultivadas. De los pigmentos mencionados, dos fueron óptimos, presentando el mismo voltaje de 0,45 V. Considerando que la eficiencia se muestra relativamente baja en comparación al control, se identificó las plantas arvenses que presentan un buen potencial para este tipo de aplicación. Hay que tomar en cuenta también que en la literatura se discute varias posibles razones en cuanto a la eficiencia, una de las más relevantes es que dentro de un tinte de plantas existe una colección de pigmentos que interaccionan de manera distinta con el TiO_2 .

Palabras clave: Arvense, pigmento, biodiversidad, sensibilizador, Shannon-Wiener, UV/Vis.

ABSTRACT

All superior plants are considered “arvense vegetation” because they grow in the same area where cultivated plants grow thus impeding their normal development diminishing their yield and quality. Derogatory terms for arvense vegetation abound, such terms vary from shrubs thickness, weed, bramble and even forest itself. References showing arvense vegetation application on crops are scarce, some are part of research work or technical reports that are difficult to access by producers, students or even researchers therefore, existing studies are only available from specific areas. As instance, the objective of this research, is to make use of arvense vegetation through the extraction of their photosynthetic pigments. To begin with, a sampling was performed on the grounds pertaining to General Julio Andrade High School in the Carchi province. The diversity index was determined by Shannon - Wiener. First, organic dyes were identified by extracting their natural pigments. Next, the drying of organic matter at 45oC was performed then its processing using ethanol and hydrochloric acid finally characterized its physicochemical properties by obtaining maximum absorbance in a UV/Vis spectrophotometer. Hence, through an unconventional application approach on a plant’s genetic resource along with the potentialities of its biodiversity by analyzing its pigments. One of the most suitable processes capable of providing satisfactory prospects is the use of photovoltaic cells, which function as devices allowing for the transformation of solar radiation into electricity through the use of plant dyes without any feeding action attached to those grown. From the above pigments, two were optimal presenting the same 0.45 V voltage. Considering that efficiency is relatively low compared to synthetic control, Arvenses plants having optimal potential for this type of application were thoroughly identified. It should also be noted that the literature discusses several possible reasons for an interaction effect between the sensitizer and the semiconductor, providing the most relevant explanation stating that “within a plant dye there is a collection of pigments that interact differently with TiO₂.”

Keywords: Arvense, pigment, biodiversity, sensitizer, Shannon-Wiener, UV/Vis.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Problema de investigación

Se consideran como arvenses a todas las plantas superiores, que, por crecer asociadas a plantas cultivadas, perturban o impiden el desarrollo normal, encarecen el cultivo y merman sus rendimientos o la calidad (Valdes, 2016).

Blanco (2016) mencionó que las arvenses son especies vegetales que conviven con los cultivos comerciales, el manejo de éstas, se considera una actividad para seleccionar y proteger el acolchado aristocrático, evitando la competencia entre especies durante los períodos críticos, brindando así protección al suelo. Powell, Dean y Dewar (2013) creen que las malas hierbas son plantas silvestres que crecen en hábitats que a menudo se ven perturbados por las actividades humanas. Si la población de una planta en cualquier área geográfica en particular crece sin una plantación cuidadosa, la planta es una arvense.

Las arvenses son importantes porque tienen un impacto negativo en las actividades humanas, y debido al costo de su manejo, la población se mantiene a un nivel que no reduce los rendimientos de los cultivos, interfiere con las actividades humanas, ni causa rechazo de los ojos (Adhikari, Menalled, Adhikari y Menalled, 2018).

Las arvenses compiten con los cultivos por los nutrientes en el suelo, el agua y la luz; llevan insectos y patógenos dañinos a los cultivos, y los exudados de sus raíces y la fuga de hojas son tóxicos para las plantas cultivadas (Valdés, 2016). Además, pueden interferir con la recolección de cultivos y aumentar el costo de las operaciones de procesamiento, y las semillas pueden contaminar la producción. Por lo tanto, la presencia de malezas en tierras cultivadas reducirá la eficiencia de insumos como fertilizantes y agua de riego, aumentará la densidad de otros organismos y plagas y, en última instancia, reducirá severamente el rendimiento y la calidad (Ramírez, Gómez y Rodríguez, 2012).

Desde la antigüedad hasta los tiempos recientes, el problema de las arvenses en los cultivos se ha excluido (Powell et al., 2013). Los esfuerzos para lograr este objetivo demuestran la capacidad del desarrollo humano para eliminar o controlar diferentes prácticas, se revela la ingenuidad de solucionar este problema, con algunas excepciones, las arvenses de los cultivos son ahora un problema como hace un siglo (Blanco, 2016).

En Ecuador, las arvenses o especies de malezas se matan indiscriminadamente sin medir beneficios o consecuencias. Los métodos de control agronómico más comunes son el cultivo (profundidad de fertilización y tiempo de aplicación), riego (control de la capa inundada en función de la enfermedad del agua). Etapa de cultivo, rotación y siembra (época, tipo y densidad). Pocas referencias muestran la aplicación de malezas en cultivos, y algunas son parte de trabajos inéditos de derechos de propiedad o informes técnicos. Productores, estudiantes e investigadores encuentran difícil obtener estas referencias, y las que existen son de campos específicos (Atkinson, año 2010). La diversidad de comunidades de arvenses en los sistemas agrícolas es importante, tienen un impacto en el rendimiento, los costos de producción y la sostenibilidad, especialmente porque las comunidades de arvenses no solo constituyen la protección del suelo contra la erosión y la protección de los recursos hídricos. Sino que también tiene una cierta habilidad, respondiendo a la perturbación y el control de plagas (Gouveia, 2014; Salazar e Hincapié, 2011).

Por lo tanto, las arvenses han ganado espacio en los sistemas de cultivos, tiene un profundo impacto en la composición e interacciones de la entomofauna del cultivo, a tal punto que los predadores y los parasitoides son más efectivos en los hábitats complejos (Gamboa, 1997). Según Blanco-Valdés (2016) ...”los beneficios de las arvenses en los cultivos, dan la pauta para establecer una estrategia en una agricultura sustentable, por efecto de un mejor impacto sobre el comportamiento de las arvenses, la reducción de la energía, la disminución de las perturbaciones continuas de los sistemas agrícolas e incremento en el número de interacciones biológicas, indispensables para mantener el equilibrio en los agroecosistemas”.

A partir de lo expuesto anteriormente el objetivo de este trabajo, es darle utilidad a las plantas arvenses que crecen asociadas en los cultivos, a través de la extracción de

algunos de sus colorantes orgánicos, para ser utilizados como sensibilizadores en la elaboración de celdas solares sensibilizadas por colorante y así, emplearlas en producir energía limpia.

La investigación realiza un aporte al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 (SENPLADES, 2017), específicamente en el eje 1: Derechos para Todos Durante Toda la Vida y en el objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones. Donde se contribuye a una economía basada en el bioconocimiento, la cual posiciona a la biodiversidad como una fuente de conocimiento y saber. Una economía amigable con la naturaleza, conocimientos y aplicaciones tanto tradicionales como científicas, para marcar una nueva era de bioeconomía basada en el aprovechamiento sustentable de los recursos biológicos para la producción de energía obtenidos a través de transformaciones de material orgánico. Reduciendo la dependencia de productos derivados de energías fósiles, replanteando la noción de progreso y crecimiento; disminuyendo la conflictividad socioambiental y reconocer los valores intrínsecos de la naturaleza, aprovechándola responsablemente.

1.2. Preguntas de investigación

1. ¿Cuál es la diversidad de plantas arvenses asociadas a los cultivos en la Unidad Educativa “General Julio Andrade”, Parroquia Los Andes, cantón Bolívar provincia del Carchi?
2. ¿Cuáles son los colorantes orgánicos de origen natural de las plantas arvenses asociadas a los cultivos, que puedan ser usados como sensibilizadores de celdas solares?
3. ¿Cuáles son los máximos de absorbancia, de los colorantes orgánicos utilizados como sensibilizadores en celdas solares de las plantas arvenses asociadas a los cultivos?
4. ¿Cuál es la eficiencia de la celda solar, a través de los sensibilizadores orgánicos?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1. *Objetivo general*

Evaluar los colorantes orgánicos de origen natural que posee la biodiversidad de arvenses asociadas a los cultivos de la Unidad Educativa “General Julio Andrade”, Parroquia Los Andes, cantón Bolívar, provincia del Carchi, para ser utilizados como sensibilizadores para la estructuración de celdas solares sensibilizadas por colorante (DSSCs).

1.3.2 *Objetivos específicos*

1. Determinar el índice de diversidad de las plantas arvenses asociadas a los cultivos en la unidad educativa “General Julio Andrade”, Parroquia Los Andes, cantón Bolívar, provincia del Carchi.
2. Identificar los colorantes orgánicos de origen natural de las plantas arvenses que crecen asociadas a los cultivos, que puedan ser usados como sensibilizadores de celdas solares.
3. Obtener el máximo de absorbancia de los colorantes orgánicos utilizados como sensibilizadores en celdas solares de las plantas arvenses asociadas a los cultivos.
4. Evaluar la eficiencia de los colorantes en la producción de energía eléctrica en la celda solar, mediante un simulador solar de 1000 W/m^2 .

1.4 Justificación

No se puede asegurar que las plantas consideradas malezas o arvenses no tengan ningún beneficio o que pueden ser perjudiciales para los cultivos, por lo tanto, conocer la utilidad de las arvenses que crecen asociadas a los mismos, permitirá valorarlas y mitigar los temores del agricultor concerniente a la salud de su cultivo. De esta manera se pueden identificar los méritos y deméritos de su presencia dentro del agroecosistema.

Además, Carter, Redford, & Watson (2012) señalan que los términos despectivos para las arvenses abundan, incluso hay gente que llama maleza a la espesura de arbustos, zarzas y hasta el bosque mismo, si no deja caminar o cuando resulta en un impedimento para que las vacas pastoreen libremente. En otras palabras, las malezas son plantas colonizadoras, “cicatrizadoras” de la vegetación cuando acontece algún disturbio.

Son muchas las especies cultivadas que, en algún momento y lugar, fueron arvenses o a la inversa, plantas cultivadas que se escaparon, como la zanahoria (Zamorano, López, & Alzate, 2008). A pesar de que en Ecuador también se combate a las malezas, algunas de ellas son comestibles y se llaman quelites. Molina-Martínez (2000) concluye que “La presencia de estas malezas útiles en un cultivo puede ser una ventaja para el agricultor gracias a que su aprovechamiento no requiere inversión económica y puede, al contrario, generar un ingreso monetario”.

Las arvenses parecen jugar dentro del agroecosistema, un papel mucho más importante de lo que hasta hoy se conoce. Un ejemplo demostrado es que muchas de ellas se desarrollan en áreas sometidas a barbecho y sirven para prevenir la erosión del suelo y reciclar sus nutrientes y minerales (Díaz, 2015). También se ha asegurado que sirven de reservorio de organismos benéficos para el control general de plagas. Por ello, el concepto de arvenses es relativo y antropocéntrico, pero en modo alguno constituye una categoría absoluta (Altieri & Nicholls, 2013). Desde tiempos remotos y hasta épocas recientes, el problema de las arvenses en los cultivos fue enfocado desde el punto de vista de su exclusión y no en usos alternos (Zamorano et al., 2008).

Cada vez hay más estudios sobre la interacción de las arvenses como plantas hospedantes, como indicadores ecológico, como fuentes de biomasa, como

sensibilizadores para la creación de energía y como agentes alelopáticos en sistemas de cultivos tropicales (Vadell, 2008). Como resultado, sugieren que se debe mejorar el conocimiento de las medicinas a base de hierbas para usos no convencionales, en las que se han considerado tales plantas. Se necesitan investigaciones creativas y observaciones detalladas para sacar conclusiones precisas sobre el uso y la existencia de arvenses en la tierra cultivada, beneficiando así la economía de los agricultores. (Gerowitt, 2013).

La agricultura en el Ecuador es una labor dinámica y vital de la economía, que emplea una parte importante de la población y como generador de divisas en un porcentaje considerable (Hernández, 2012). La exportación de productos agrícolas es el sector económico que más divisas genera, después del petróleo. El avance tecnológico y de conocimientos actual ponen de manifiesto el gran potencial existente en estos recursos, los cuales habrá que conservar, manejar y usar de forma racional (Reyes, 2015).

En este caso, el gobierno también está interesado en cambiar la matriz energética (Prado, 2019). Una de las opciones prometedoras es utilizar células fotovoltaicas. Estos dispositivos pueden convertir la radiación solar en electricidad mediante el uso de plantas como las arvenses (Castro, 2011). Dado que el país tiene potencial de energía solar, se debe considerar esta opción de convertirla en electricidad (Constante, 2016). Una posible solución es utilizar celdas solares sensibilizadas con colorante, que tienen el mismo propósito que las tradicionales, pero la tecnología utilizada puede producir equipos solares menos contaminantes.

El presente estudio contribuye con la línea de investigación de Biotecnología, Energía y Recursos Naturales Renovables de la Universidad Técnica del Norte, dando un enfoque de aplicación novedoso a un recurso fitogenético como son las plantas arvenses y aprovechando su biodiversidad con el estudio de sus pigmentos, conjuntamente con su capacidad de mantenerse en el tiempo; dando un valor económico.

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

En el siglo XXI la humanidad se enfrenta al reto del incremento global de la demanda de energía y el control del nivel de emisiones de CO₂ para reducir el efecto invernadero. Por lo cual, surge la necesidad en el desarrollo de fuentes de energías alternativas por medio del desarrollo de dispositivos, capaces de utilizar las energías renovables, asegurando así, la protección y armonía con el ambiente (Cabrera, Figueroa, Ramirez-Perez, Solano-Cueva, et al., 2016).

Una de estas fuentes de energía alternativa y renovable es la utilización de energía solar mediante la aplicación de celdas solares.

La primera celda solar fotovoltaica fue fabricada por Charles Fritts en 1884. Está hecho de selenio cubierto con una fina capa de oro y tiene una eficiencia del 1%. Sin embargo, no fue hasta 1954 que Bell Labs construyó la primera celda solar comercial basada en silicio (Sánchez, 2010). Desde entonces, la investigación sobre celdas solares no se ha detenido y se siguen realizando importantes avances.

Actualmente, en los laboratorios de investigación coexisten tres generaciones distintas de celdas solares, que brindan distintas opciones para utilizar el sol como fuente de energía (Dómine, 2013).

Durante la década de los 80 del pasado siglo, apareció la llamada tecnología fotovoltaica de segunda generación cuya principal característica consiste en la sustitución de las obleas de silicio, de amplia superficie, por capas delgadas de semiconductor (Gutiérrez Beltrán, 2015). Algunos de los materiales empleados con más éxito en celdas de segunda generación han sido telurio de cadmio (CdTe), silicio amorfo (a-Si), seleniuro de cobre-indio (CIS) y seleniuro de cobre-indio-galio (CIGS). Para la construcción de la celda se aplica una capa fina de estos materiales sobre un sustrato como vidrio o cerámica, lo que hace que se produzca una reducción significativa de material y por lo tanto del coste del dispositivo (Tafolla, 2010).

Estas celdas tienen las mismas limitaciones de eficiencia teórica que las de la primera generación, pero a un menor coste. Sin embargo, hasta el momento no se ha conseguido alcanzar con este tipo de celdas la eficiencia que se consigue con celdas convencionales de silicio (Matsumoto, 2011). En un futuro próximo esta tecnología promete obtener eficiencias de conversión más altas combinadas con costes de producción más bajos. Existe una tendencia entre los fabricantes hacia la tecnología de la segunda generación, pero la comercialización de estos dispositivos no está aún muy extendida (Arellano, 2008).

En el Ecuador se han realizado estudios que emplean pigmentos en la elaboración de celdas solares. como: Natural pigments for OPVs, DSSCs, OSCs, HSCs, and OLEDs nanofabrication in Ecuador; Estudio a escala de laboratorio del comportamiento de celdas solares DSSCs, utilizando electrolito biodegradable no patentado y el tinte sq2; Uso de pigmentos naturales de mortiño (*Vaccinium floribundum*) como sensibilizadores en celdas solares DSSC; Efecto del método de extracción de antocianinas de la flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) en la eficiencia de celdas solares sensibilizadas; Celdas solares sensibilizadas con colorantes fotosensibles obtenidos de plantas de la región sur de Ecuador. Que demuestran la inmensa viabilidad para la ejecución de proyectos de energía renovable, siendo aplicables a proyectos fotovoltaicos.

Se han visualizado algunas inversiones en proyectos energéticos que están totalmente desvinculados del eje petrolero (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2016). Actualmente, la matriz energética se basa casi en su totalidad en el petróleo, que es un producto altamente contaminante que se espera que se agote en unos 50 años (Gomelsky, 2013). Existen nuevas tecnologías que pueden hacer un mejor uso de los recursos energéticos del país y deshacerse del eje central de la matriz energética ecuatoriana con el petróleo (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2016).

2.2 Referencias teóricas

2.2.1 Plantas arvenses: plantas asociadas a los cultivos

En las últimas décadas se ha utilizado el término arvense, que significa “planta acompañante de los cultivos o prados” sin discriminarlas entre buenas o malas (F. Salazar, 2010). Las arvenses tienen su importancia en todos los cultivos, por el impacto que generan sobre los rendimientos, los costos de producción y la sostenibilidad, en especial para la protección de los suelos hacia la erosión y la conservación del recurso hídrico.

Gerowitt (2013) sugiere que:

El manejo actual de las arvenses se considera como el mayor obstáculo al desarrollo sostenible de la agricultura mundial ya que en los actuales sistemas de producción se aplican herbicidas en forma indiscriminada, lo cual causa problemas asociados con la erosión de los suelos, la calidad del agua y la vida rural (103).

En los últimos años las arvenses han venido ganando importancia en los sistemas de cultivos, pues la presencia de diferentes especies de este tipo de plantas dentro de los cultivos, posee un impacto en la composición e interacciones de la entomofauna del cultivo (Blanco, 2013). Además, se debe hacer referencia a otros beneficios que estas otorgan como: insecticidas, fungicidas repelentes, alimento humano y animal, mejoramiento genético, medicinal y conservación del suelo (Grundmann, 2012).

Las desventajas de las arvenses incluyen: costos de manejo, obstaculizar y retrasar el trabajo agrícola, hospedar plagas, reducir el rendimiento de los cultivos, reducir la calidad del producto, envenenar a los animales, causar problemas de salud humana y reducir el valor de la tierra. (Blanco-Valdes, 2016).

Entre los aspectos positivos de las arvenses se nombran los siguientes: contribuyen a la conservación del suelo, son fuente de alimento como algunas gramíneas y leguminosas, sirven como medicinas, incrementan la cantidad de material genético, incrementan la estabilidad del agroecosistema y son fuente de materia prima para la elaboración de fertilizantes orgánicos (Blanco-Valdes, 2016).

2.2.1.1 Principales atributos morfológicos, reproductivos y clasificación de las plantas arvenses

Los principales atributos morfológicos y reproductivos para que una especie sea exitosa como arvense, son los siguientes: producción de semilla abundante, germinación, dispersión y latencia de las semillas, crecimiento vegetativo (Pech, 2004).

En cuanto a clasificación se tiene según su hábitat, que pueden ser: agrestes, ruderales, arvenses de pasturas y arvenses acuáticas; según el tipo de hoja: hoja ancha y hoja angosta; según la consistencia del tallo: leñosas, semileñosas y herbáceas, según el ciclo de vida: anuales o perennes y según su nocividad: puede ser alta, mediana o levemente nocivas (Pech, 2004).

2.2.2 Los colorantes naturales para celdas solares extraídos de plantas

Un colorante o aditivo es un pigmento u otra sustancia obtenida por síntesis o extraída de una fuente natural, y que cuando es añadida a las celdas solares, es capaz (solo o a través de una reacción con otra sustancia) de impartir color, presentando propiedades de absorción (Reyes, 2015).

Los colorantes naturales encontrados en flores, frutas, hojas o raíces de las plantas pueden ser extraídos por métodos simples. Además, el bajo costo, no toxicidad, y biodegradación completa son las ventajas para su aplicación en DSSCs. Hasta ahora se han utilizado varios colorantes naturales como sensibilizadores en DSSCs (Macor et al., 2009). Estos colorantes se extraen generalmente de frambuesas, manzanas, peras, uvas, moras, ciruelas y semillas de granada. También se han encontrado en col morada y maíz morado, flores de Jamaica y rosas (Reyes, 2015). Estas especies naturales son comúnmente cultivadas en el Ecuador. Por estas razones son seleccionadas para extraer sus colorantes y evaluar su potencial como sensibilizadores en DSSCs. Comúnmente para el análisis de los colorantes naturales extraídos, se utiliza espectrofotometría UV-Visible, técnica analítica que utiliza la luz para medir concentraciones químicas (Ortega, 2013).

Existen varias formas de clasificar a los colorantes, pero siguiendo como referencia el objetivo del trabajo de investigación se ha tomado la clasificación basada en sus características químicas: por su grupo cromóforo y auxocromo; los cuales son

regiones para impartir un determinado color (de Souza, de Andrade, & Polo, 2013). Witt postuló que un compuesto es coloreado debido a la presencia de grupos particulares, los cromóforos, que deben ser enlazados al sistema de dobles enlaces conjugado (Witt, 1876).

En años recientes se ha renovado el interés en colorantes naturales para las celdas solares, llamadas celdas solares sensibilizadas por colorantes (DSSC) (Hirsch, 2005). Las DSSC han sido desarrolladas a partir de la idea del fenómeno de la fotosíntesis, proceso que se lleva a cabo en las plantas, el cual consiste en la utilización de colorantes naturales como antocianinas, carotenoides, flavonoides y porfirinas para simular el ciclo de la fotosíntesis y lograr la producción de energía (Valdes, 2016).

2.2.3 Índice de diversidad: combinaciones de riqueza específica y equitatividad

Los índices de diversidad incorporan en un solo valor a la riqueza específica y a la equitatividad. En algunos casos el valor del índice de diversidad estimado puede provenir de distintas combinaciones de riqueza específica y equitatividad (Castroverde, 2007). Es decir, que el índice de diversidad se puede obtener de una comunidad con baja riqueza y alta equitatividad como de una con alta riqueza y baja equitatividad.

Algunos de los índices de diversidad más ampliamente utilizados son (1) el índice de Simpson (D_{Si}), y (2) el índice de Shannon-Wiener (H') (Altieri & Nicholls, 2009). El Índice de Simpson (1949), fue el primer índice de diversidad usado en ecología. El índice de Simpson proviene de la teoría de probabilidades, midiendo la probabilidad de encontrar dos individuos de la misma especie en dos 'extracciones' sucesivas al azar sin 'reposición' (Castroverde, 2007).

En esta investigación se tomará como referencia la utilización del índice de Shannon-Weaver o de Shannon-Wiener el cual se usa en ecología u otras ciencias similares para medir la biodiversidad específica (Hollnagel & Woods, 2005).

2.2.4 Celdas solares de película fina: sus características

Una celda solar de película fina (*thin-film solar cell*, abreviadamente TFSC, en sus siglas en inglés), también denominada celda fotovoltaica de película delgada, se fabrica mediante el depósito de una o más capas delgadas de material fotovoltaico en un sustrato.

Muchos de los materiales fotovoltaicos se fabrican con métodos de depósito diferentes en una variedad de sustratos (Cabrera, Figueroa, Ramirez-Perez, & Solano-Cueva, 2016). Las celdas solares de película delgada suelen clasificarse según el material fotovoltaico utilizado: Silicio amorfo (a-Si) y otros silicios de película delgada (TF-Si), Teluro de cadmio (CdTe), Cobre-indio-galio y selenio (CIS o CIGS), Celdas solares sensibilizadas por colorante (DSC) y otras celdas solares orgánicas (Arévalo, 2019).

En esta investigación se ha seleccionado las celdas solares sensibilizadas por colorante porque 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 (Gutiérrez Beltrán, 2015).

2.2.4.1 Celda solar sensibilizada por colorante (DSSCs)

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, 1839).

Las DSSCs consisten en un electrodo o ánodo, un contra-electrodo o cátodo, electrolito redox (reducción y oxidación) y un agente sensibilizador (Gutiérrez Beltrán, 2015). En estas celdas, el colorante sensibilizador juega un papel clave en la absorción de la luz solar y la conversión de energía solar en energía eléctrica. Algunos complejos metálicos y colorantes orgánicos se han sintetizado y usado como sensibilizadores.

La mayor eficiencia en DSSCs se da por Ru que contienen compuestos absorbidos en TiO_2 nanocristalino alcanzando un 11.1% y una potencia máxima de 2.429 mW (Cabrera, Figueroa, Ramirez-Perez, Solano-Cueva, et al., 2016). Aunque tales DSSCs han proporcionado un rendimiento relativamente alto, hay varias desventajas de la utilización de metales nobles, debido a su limitada disponibilidad; por lo tanto, su producción es costosa. Por otro lado, los colorantes orgánicos no sólo resultan más económicos, también alcanzan una eficiencia alrededor de 9.8% (Ramírez, 2015). Sin embargo, la desventaja son los problemas asociados con la complejidad de las rutas sintéticas.

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 se basan en la utilización de 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).

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 . Lo que sigue en la cascada de reacciones tiene como consecuencia la síntesis de moléculas de elevada importancia para el organismo (Grätzel, 2001).

2.2.5 Máximo de conversión energética en celdas fotovoltaica

Las eficiencias de las celdas solares varían entre el 6%, de aquellas basadas en silicio amorfo, hasta el 46% de las células multiunión (figura 1). Las eficiencias de conversión de las células 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 coste de las celdas solares de silicio cristalino ha descendido desde 76.67 \$/W en 1977 hasta aproximadamente 0.36 \$/W 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 (Gutiérrez Beltrán, 2015). 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

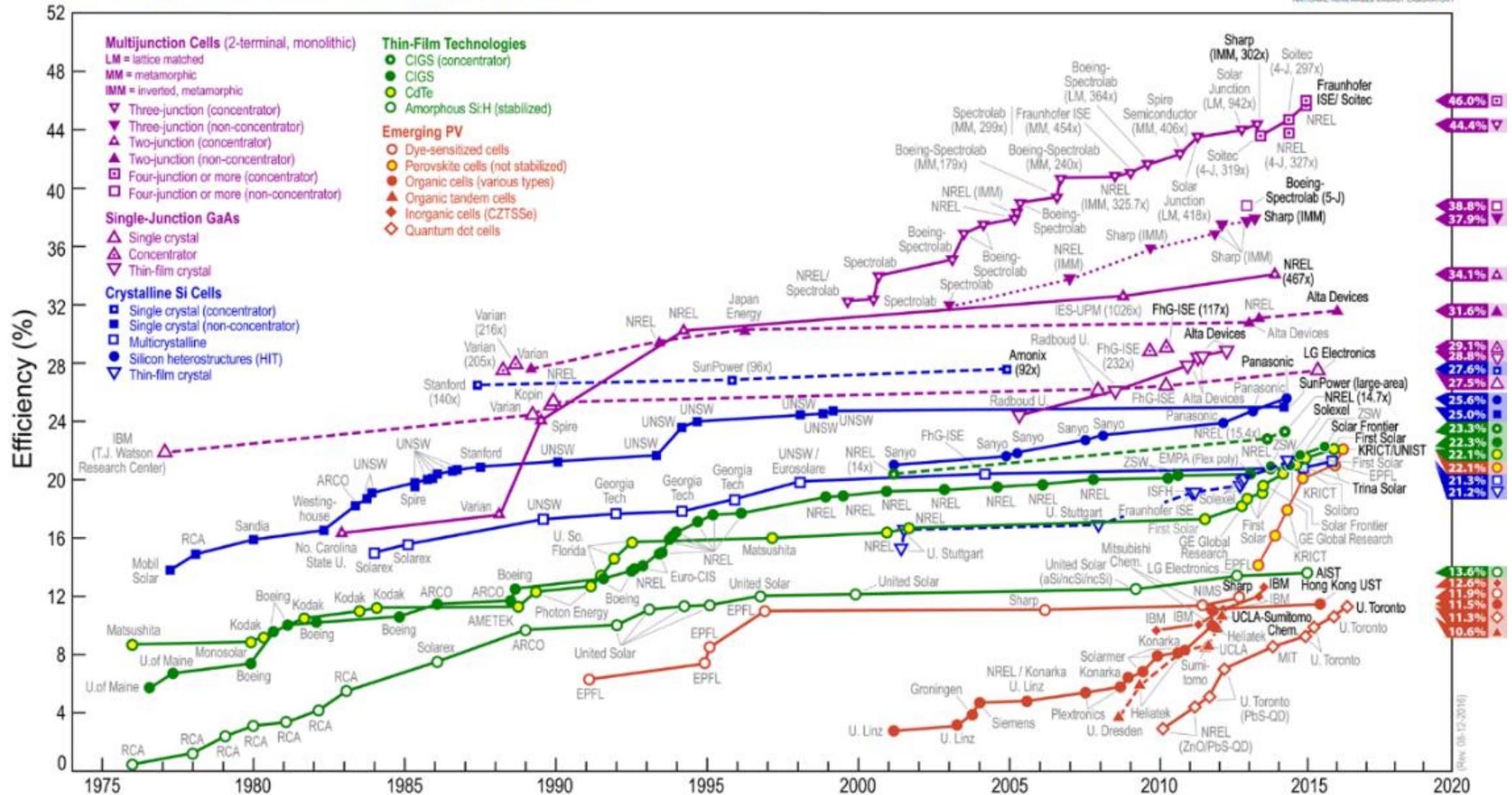


Figura 1. Eficiencia de las celdas solares de diferentes tecnologías

Fuente: NREL, 2017

Se ha producido competencias en la cadena de producción, y asimismo se esperan mayores caídas del coste 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, Fraile, & Teske, 2008). Conforme pasa el tiempo, las tecnologías de generación renovable son generalmente más baratas, mientras que las energías fósiles se vuelven más caras.

2.2.6 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 (Chona & Robles, 2013)

Así pues, la mayoría de las fuentes de energía usadas por el ser humano derivan indirectamente del Sol. Los combustibles fósiles preservan energía solar capturada hace millones de años mediante la fotosíntesis (Antropogénico et al., 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 que la requerida para colmar las necesidades globales de un año completo de toda la humanidad. 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 juntas. 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 (República, 2004).

2.2.7 Espectro electromagnético de la radiación solar

El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta. Después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases (como el ozono y el vapor de agua) y por partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe (Whitaker, 2017). La cantidad de radiación absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera (Norgard & Best, 2017).

Medir la radiación solar es importante para un amplio rango de aplicaciones, en las áreas de ingeniería, dentro de las cuales se destacan: su empleo como fuente alternativa de energía en la generación de electricidad, en el diseño y uso de sistemas de calentamiento de agua, el diseño de edificios e infraestructura, el monitoreo del crecimiento de plantas; y muchas otras aplicaciones y usos que emplean la radiación solar como una de sus fuentes de energía (Myers, 2013).

La radiación electromagnética se puede ordenar en un espectro en diferentes longitudes de onda, como se muestra en la figura 2, que se extiende desde longitudes de onda corta de billonésimas de metro (frecuencias muy altas), como los rayos gama, hasta longitudes de onda larga de muchos kilómetros (frecuencias muy bajas) como las ondas de radio (Watts et al., 2012). El espectro electromagnético no tiene definidos límites superior ni inferior y la energía de una fracción diminuta de radiación, llamada fotón, es inversamente proporcional a su longitud de onda, entonces a menor longitud de onda mayor contenido energético (Watts et al., 2012).

La región visible (entre 400 nm < < 700 nm) corresponde a la radiación que puede percibir la sensibilidad del ojo humano e incluye los colores: violeta (420 nm), azul (480 nm), verde (520 nm), amarillo (570 nm), naranja (600 nm) y rojo (700 nm). La luz de color violeta es más energética que la luz de color rojo, porque tiene una longitud de onda más pequeña (Lin & Ho, 2018). La radiación con las longitudes de onda más corta que la correspondiente a la luz de color violeta es denominada radiación ultravioleta (Cifra et al., 2011). Los distintos colores de luz tienen en común el ser radiaciones electromagnéticas que se desplazan con la misma velocidad. Se diferencian en su frecuencia y longitud de onda. Dos rayos de luz con la misma longitud de onda tienen la misma frecuencia y el mismo color (Cifra et al., 2011).

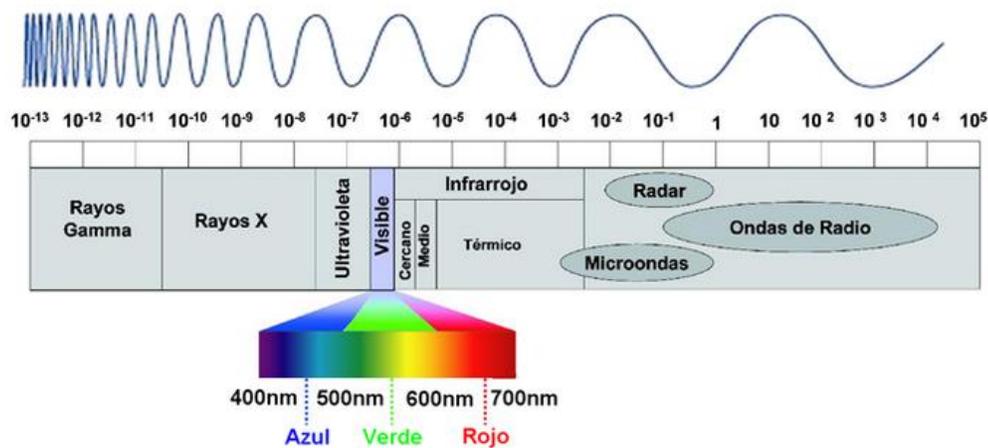


Figura 2. Espectro electromagnético de la radiación solar.

Fuente: Cifra et al., 2011

El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta, principalmente en la banda del ultravioleta, visible y el infrarrojo cercano, con longitudes de onda entre 0.2 y 3.0 micrómetros (200 nm a 3 000 nm) (Norgard & Best, 2017). Aproximadamente un 99% de la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra está contenida en la región entre 0.2 y 3,0 μm mientras que la mayor parte de la radiación terrestre de onda larga está contenida en la región entre 3.5 y 50 μm (figura 3) (Whitaker, 2017). Las ondas en el intervalo de 0.25 μm a 4.0 μm se denominan espectro de onda corta, para muchos propósitos como en aplicaciones de celdas solares y en el proceso de la fotosíntesis (Norgard & Best, 2017).

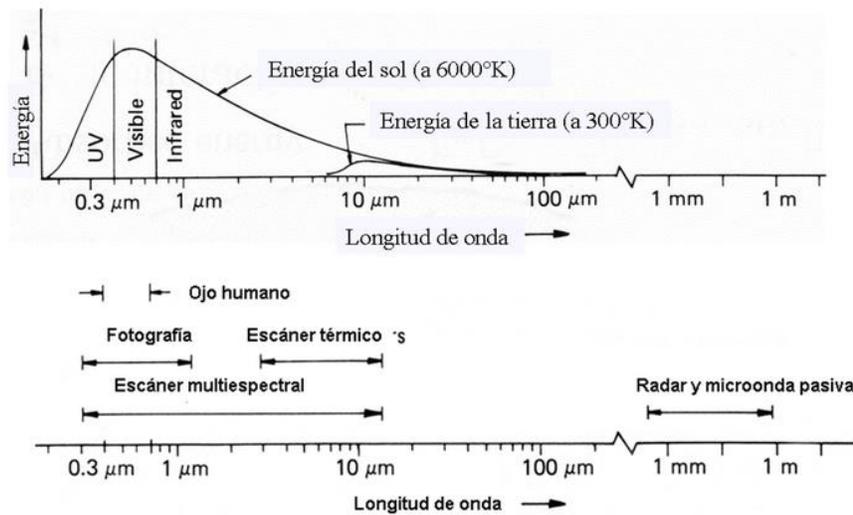


Figura 3. Energía radiada por el Sol y la tierra

Fuente: Norgard & Best, 2017

La región del ultravioleta está entre los 100 y los 400 nm. La región del infrarrojo cercano está entre los 700 y los 4000 nanómetros. A cada región le corresponde una fracción de la energía total incidente en la parte superior de la atmósfera (denominada radiación solar extraterrestre) distribuida así: 7.2% al ultravioleta; 47.2% al visible y 45.6% al infrarrojo cercano (Whitaker, 2017).

2.2.8 Los pigmentos y su absorción de luz utilizada en la fotosíntesis

En la fotosíntesis, la energía solar se transforma en energía química a través de organismos fotosintéticos. Sin embargo, la fotosíntesis no utiliza todas las diferentes longitudes de onda de la luz solar como las moléculas llamadas pigmentos contenidas en los organismos fotosintéticos, sino que solo absorben la luz visible de longitudes de onda específicas y reflejan otras longitudes de onda (Formentín, 2013).

El conjunto de longitudes de onda absorbidas por un pigmento se denomina espectro de absorción. En la siguiente figura 4, puede ver los espectros de absorción de tres pigmentos que son importantes para la fotosíntesis: clorofila a, clorofila con β-caroteno (Formentín,

2013). Los pigmentos no absorben, reflejan un conjunto de longitudes de onda y la luz reflejada es el color que vemos. Por ejemplo, debido a que las plantas tienen un alto contenido de moléculas de clorofila a y b, reflejan la luz verde, por lo que las consideramos verdes (Manrique, 2014).

Espectro de absorción de los pigmentos

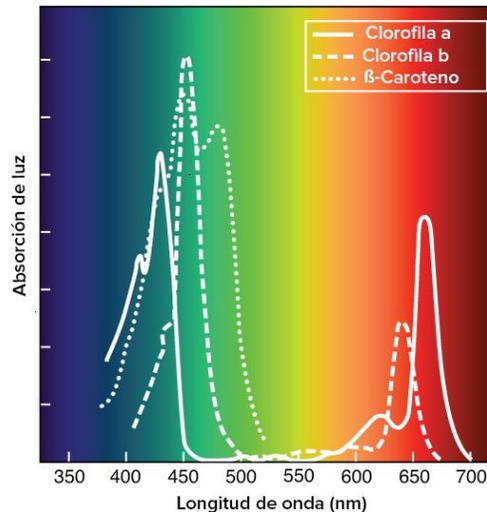


Figura 4. Reacciones de la fotosíntesis dependiente de la luz

Fuente: Mills, 2020

La mayoría de organismos fotosintéticos tienen una diversidad de pigmentos, lo cual les permite absorber energía de una amplia gama de longitudes de onda (Mills, 2020). Hay cinco tipos principales de clorofila: a, b, c y d, y moléculas relacionadas llamadas clorofila bacteriana que se encuentran en los procariontes. En las plantas, la clorofila a y la clorofila b son los principales pigmentos fotosintéticos (IDEAM, 2014). Las moléculas de clorofila absorben longitudes de onda azules y rojas, como lo indican los picos en el espectro de absorción anterior. Estructuralmente, la molécula de clorofila consiste en una cola hidrofóbica insertada en la membrana tilacoide y una cabeza de anillo de porfirina (átomos de anillo rodeados por iones de magnesio) absorben la luz (A. Díaz, 2012).

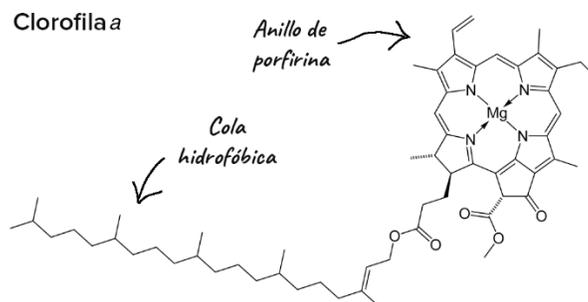


Figura 5. Esqueleto en 2D de la clorofila

Fuente: Mills, 2020

Aunque tanto la clorofila a y la clorofila b absorben la luz, la clorofila a tiene un papel único y vital en la conversión de la energía luminosa en energía química. Todas las plantas fotosintéticas, algas y cianobacterias contienen clorofila a, mientras que solo las plantas verdes y las algas contienen clorofila b, así como ciertos tipos de cianobacterias (A. Díaz, 2012).

Debido al papel central de la clorofila a en la fotosíntesis, todos los pigmentos utilizados, excepto la clorofila a, se denominan pigmentos auxiliares, incluidas otras clorofilas y otros tipos de pigmentos, como los carotenoides (Manrique, 2014). El uso de pigmentos auxiliares puede absorber una gama más amplia de longitudes de onda, por lo que puede capturar mejor la energía de la luz solar.

2.2.9 Colorante sintético Ru N719

En las últimas décadas, los complejos híbridos de polipiridina de rutenio y rutenio han mostrado un gran interés como colorantes para sensibilizantes en celdas solares. Debido a que el ligando de bipyridina se puede modificar de manera diferente, este tipo de compuesto muestra un excelente desempeño, lo que lo hace tener una excelente versatilidad (Sánchez-Carballo, 2014). Por lo tanto, pueden conducir a un aumento del coeficiente de extinción molar, una disminución de la agregación de colorantes en la superficie del semiconductor y una optimización del potencial redox del sensibilizador (Sánchez-Carballo, 2014).

La introducción de diferentes sustituyentes para modificar los ligandos secundarios de los complejos de Ru (II) tiene dos propósitos principales, a saber, introducir una cierta propiedad hidrófoba para promover la reducción del proceso de recombinación de carga y el aumento de la conjugación electrónica (Calero, 2016). Mejora la absorción y el rendimiento fotovoltaico. La presencia de grupos hidrófobos puede reducir la agregación en la superficie del semiconductor y minimizar la recombinación electrónica entre el semiconductor y el electrolito. Esto se debe a que la película hidrófoba formada entre los grupos hidrófobos evita que el electrolito líquido se acerque a su área de anclaje. Complejos en semiconductores inorgánicos (A. Díaz, 2012).

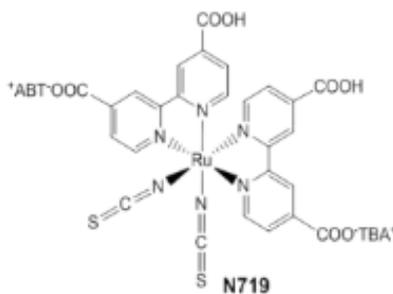


Figura 6. Estructura de los complejos de rutenio N719

Fuente: Calero, 2016

Los complejos de rutenio son los colorantes más estudiados en este tipo de celdas fotovoltaicas, y su eficiencia de conversión ha superado el 10% en condiciones de medida estándar (Sánchez-Carballo, 2014). Se utilizaron por primera vez en 1979 y su complejo Ru (II) tiene un ligando de bipyridina sustituido por un grupo carboxilo y un monocristal de TiO₂. Posteriormente, Grätzel y O'Regan, con complejos de Ru trinucleares, TiO₂ mesoporoso y el electrolito en el medio orgánico alcanzaron una eficiencia del 7.1-7.9%. Generalmente, el complejo de rutenio usado como colorante está compuesto por varios ligandos de piridina, más otros dos ligandos que pueden ser átomos de halógeno o unidades de isotiocianato, tales como complejos N719 (A. Díaz, 2012).

Se deben señalar también algunos datos redactados en la ficha de seguridad de este tinte sintético, con nombre comercial de Ruthenizer 535-bisTBA y número CAS 207347-46-4; en donde se señala que (Solaronix, 2011): Puede provocar síntomas de alergia o asma, dificultades respiratorias si se inhala. Puede provocar una reacción alérgica en la piel. Puede provocar sensibilización por inhalación y contacto con la piel. Al momento de trabajar con este tinte se debe manipular con cuidado, asegurarse una buena ventilación y extracción en el lugar de trabajo, evitando la formación de polvo. Para su eliminación, este, no debe eliminarse junto con la basura doméstica, no se debe permitir que el producto alcance el alcantarillado (Solaronix, 2011). Mencionando también que su costo se considera elevado por que se encuentra alrededor de los \$ 152.12 por gramo, dependiendo del país al que se desee importar (Solaronix, 2017).

2.2.10 Caracterización de pigmentos orgánicos para la obtención de máximo de absorbancia utilizados como sensibilizadores en celdas solares mediante espectrometría UV-VIS

Es un método científico utilizado para medir cuánta luz absorbe una sustancia química, midiendo la intensidad de la luz cuando un haz luminoso pasa a través de la solución muestra, basándose en la Ley de Beer-Lambert. Esta ley expresa la relación entre absorbancia de luz monocromática (de longitud de onda fija) y concentración de un cromóforo en solución:

$$A = \log \frac{I}{I_0} = \epsilon \cdot c \cdot l$$

Esta medición también puede usarse para calcular la cantidad de un producto químico conocido en una sustancia (Ortega, 2013). Entre las aplicaciones principales se tiene: determinar la cantidad de concentración en una solución de algún compuesto utilizando las fórmulas ya mencionadas; ayudar en la determinación de estructuras moleculares, la identificación de unidades estructurales específicas, ya que estas tienen distintos tipos de absorbancia (grupos funcionales o isomerías) y determinar constantes de disociación de indicadores ácido-base (Ortega, 2013).

En cuanto a la clasificación se tienen las siguientes: espectrofotometría de absorción molecular VIS-UV, espectrofotometría de absorción molecular IR. espectrofotometría de absorción y emisión atómica, espectrofotometría con atomizadores electrotérmicos, y finalmente la espectrofotometría de fluorescencia molecular (Bustamante Botero & Carrascal, 2010).

La espectrometría ultravioleta-visible o de absorción molecular 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). Se utiliza para 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 en agua, o el etanol para compuestos orgánicos solubles (Lambert, 2010). Los disolventes orgánicos pueden tener una significativa absorción de UV, por lo que no todos los disolventes 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).

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 (I_0) (Abril Díaz et al., 2010). La relación I/I_0 se llama transmitancia, y se expresa habitualmente como un porcentaje (%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).

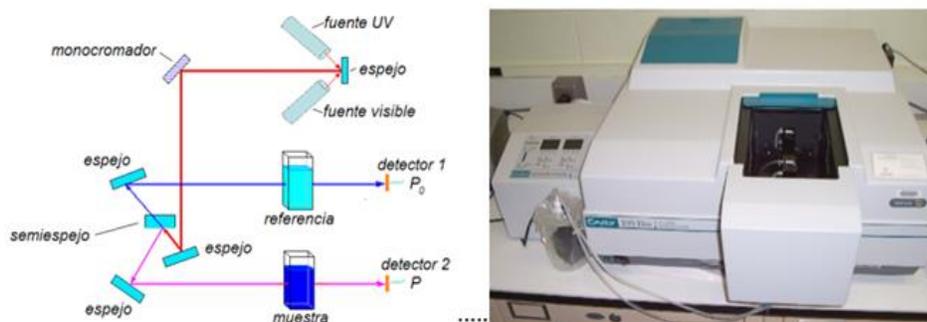


Figura 7. Espectrofotómetro UV-Visible, modo de funcionamiento

Fuente: Abril Díaz et al., 2010

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).

2.3. Marco legal

La presente investigación responde al Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 (SENPLADES, 2017), específicamente en el eje 1: Derechos para Todos Durante Toda la Vida y en el objetivo 3: “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”. Donde se contribuye a una economía basada en el bioconocimiento, la cual posicione a la biodiversidad como una fuente de conocimiento y saber. Una economía amigable con la naturaleza, conocimientos y aplicaciones tanto tradicionales como científicas, para marcar una nueva era de bioeconomía basada en el aprovechamiento sustentable de los recursos biológicos para la producción de energía obtenidos a través de transformaciones de material orgánico. Reduciendo la dependencia de productos derivados de energías fósiles, replanteando la noción de progreso y crecimiento; disminuyendo la conflictividad socioambiental y reconocer los valores intrínsecos de la naturaleza, aprovechándola responsablemente (Sejenovich, 2015).

Considerando la ley para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad que en el artículo 86 de la Constitución Política de la República del Ecuador 2008, declara de interés público a la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y el patrimonio genético del país, a la recuperación de espacios naturales degradados (Penna & Cristeche, 2012). En los artículos 89, 242 y 248 de la Constitución Política de la República en el 2008 declaran respectivamente que el Estado tomará medidas orientadas a regular, bajo estrictas normas de bioseguridad, la propagación en el medio ambiente, la experimentación, el uso, la comercialización y la importación (Sejenovich, 2015).

El Ecuador suscribió y ratificó la Estrategia Nacional de Biodiversidad, según consta en los Registros Oficiales No. 109 del 18 de enero de 1993 y el 146 del 16 de marzo de 1993 (Opazo, 1992). El cual regula la conservación y utilización sustentable de la biodiversidad y sus componentes, y establece la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos asociados, reconociendo el derecho soberano que ejercen los Estados sobre sus recursos biológicos (Burkart, 2013).

El Estado ha suscrito y ratificado varios Convenios Internacionales relacionados con la conservación de la biodiversidad tales como la Convención sobre Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas o Convención de Ramsar; la Convención para la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural; la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres (CITES), Convenio Marco de Cambio Climático, el Tratado de Cooperación Amazónica, entre los más relevantes (MAE, 2014). Que, están vigentes en el Ecuador normas de aplicación regional de la Comunidad Andina, de manera especial las Decisiones de la Comisión del Acuerdo de Cartagena Nos. 344, 345, 391 y 486, relativas a la Propiedad Industrial, la Protección a los Derechos de los Obtentores de Variedades Vegetales y al Acceso a los Recursos Genéticos (MAE, 2015). La biodiversidad constituye la base del capital natural del país, capaz de proporcionar un flujo constante de bienes y servicios cuya conservación y utilización sustentable permitan satisfacer las necesidades humanas de consumo y producción; y garanticen el sustento de la vida.

La conservación y utilización sustentable de la biodiversidad son de interés nacional, por su importancia económica, ecológica, genética, social, cultural, científica, educativa, recreativa y estética, y por lo tanto tiene un valor estratégico para el desarrollo sustentable presente y futuro del Ecuador (Penna & Cristeche, 2012). Siendo uno de los países de mayor biodiversidad del mundo, catalogado como megadiverso, constituye una prioridad para el país proteger su riqueza biológica y cultural asociada para las generaciones presentes y futuras, ante la preocupante y considerable reducción y pérdida de la biodiversidad como consecuencia de determinadas actividades humanas en el país (MAE, 2014).

Es así, que en varios de los principios plasmados en dichas declaraciones se hace referencia a la búsqueda del desarrollo de los Estados, por medio del uso de tecnologías que sean amigables con el ambiente y reconociendo a los mismos el poder utilizar sus recursos naturales para su desarrollo (SENPLADES, 2017). También se hace referencia a la obligación de los estados de generar actos normativos que permitan un eficaz manejo de los temas ambientales. Se debe considerar que en la Declaración de Río, en la cual se plantea a

los Estados fomentar el uso de energías renovables y mecanismos menos contaminantes para realizar el cambio de matriz energética a fin de reducir los niveles de contaminación, reduciendo así los efectos generados por el calentamiento global y abriendo la oportunidad de entrar al mercado de bonos de emisión Kyoto (MAE, 2014). Al estimular el uso de energías renovables, con el fin de reducir los niveles de contaminación, se está realizando un cambio en todo el sistema político, económico y jurídico en la sociedad actual. Lo que permite dejar de lado la idea del petróleo como única fuente de energía y obtención de recursos económicos, principalmente en la actual crisis del precio del petróleo.

El país, siendo dependiente de la producción petrolera, ha impulsado en los últimos años algunos programas de energías renovables, además de modificaciones en el marco jurídico, partiendo de la promulgación de la Constitución del año 2008, dentro de la cual se recogen principios de protección al ambiente, la concesión de derechos a la naturaleza, así como los derechos de los ciudadanos a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, siendo uno de los derechos del régimen del Plan de desarrollo (SENPLADES, 2017). Así mismo, en la Ley Orgánica del Sistema Público de Energía Eléctrica se da un tratamiento mucho más amplio a la aplicación de energías renovables en el país (Constante, 2016).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Descripción del área de estudio

Se seleccionó como área de estudio de este proyecto a la zona 1 del Ecuador específicamente la provincia del Carchi, Cantón Bolívar, Este cantón está ubicado en el sector oriental de la provincia, su posición astronómica es 0 grados, 50 minutos y 39 segundos de latitud sur y 80 grados, 9 minutos y 33 segundos de longitud oeste. Limita al Norte con el Cantón Chone, al sur con Portoviejo y Junín al Este con Pichincha y al Oeste con Tosagua.

El Cantón presenta una topografía plana en la parte baja por los valles e irregular ondulada y quebrada en la parte alta y montañosa. Con una altitud máxima de 4944 msnm y una insolación media de 4575 W·h/m²/día, la toma de muestras se realizó en el terreno de 302.65 m² pertenecientes a la Unidad Educativa “General Julio Andrade”, utilizado para cultivo de plantas comestibles.

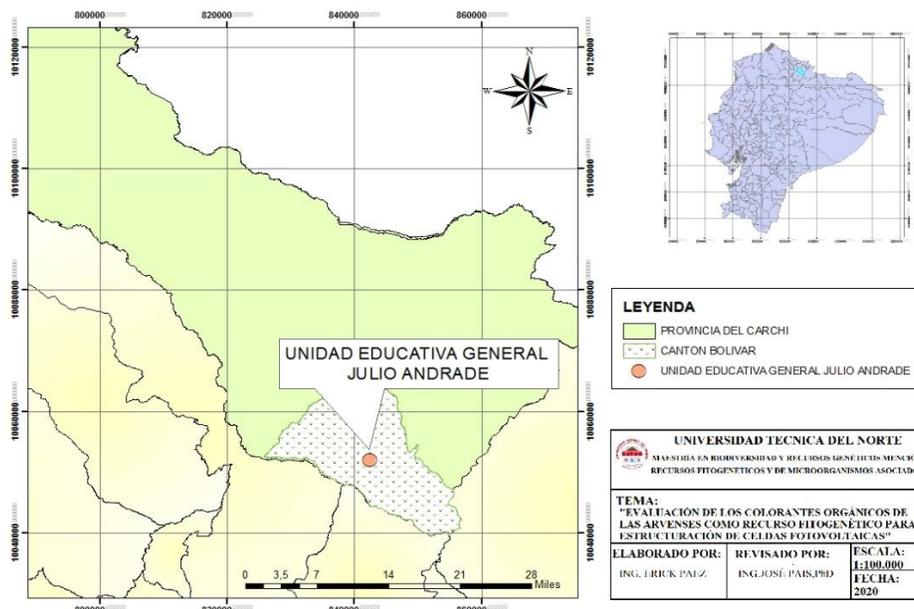


Figura 8. Descripción del área de estudio



Figura 9. Área de recolección

Se identificaron las siguientes especies: *Taraxacum officinale* “Diente de león”, *Rumex crispus* “Lengua de vaca”, *Equium plantagineum* “Flor morada”, *Baccharis latifolia* “Chilca”, *Pennisetum clandestinum* “Kikuyo”, *Malva sylvestris* “Malva común”, *Galinsoga ciliata* “Pacoyuyu cimarrón”, *Amaranthus spinosus* “Atacú”; debido a que son plantas arvenses que comúnmente se desarrollan en las áreas cultivadas.

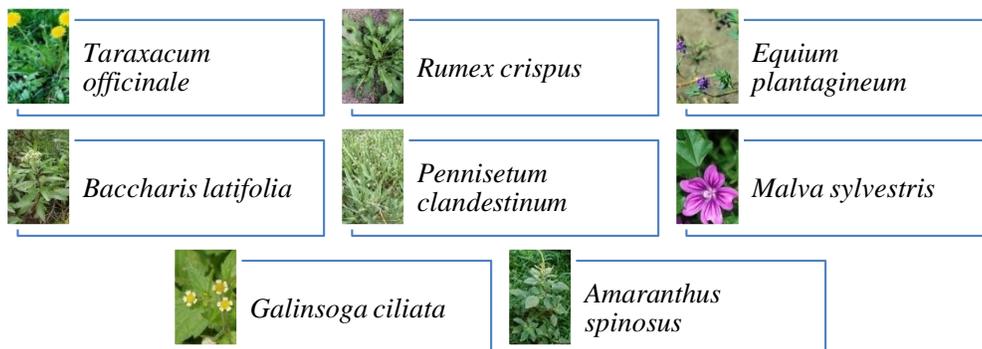


Figura 10. Plantas de estudio

3.2. Diseño y tipo de investigación

El enfoque asumido por la investigación es mixto que establece la utilización de elementos cuantitativos y cualitativos, en este caso se describen como elementos cuantitativos a la experimentación y recolección de datos; como cualitativos a la interpretación contextual e inmersión inicial en el campo.

La presente investigación toma como referencia el criterio según su profundidad a nivel explorativo, debido a que el estudio de colorantes producidos por plantas arvenses se ha tomado con relevancia mínima en otras investigaciones. Según su fuente de información de campo y según su utilidad se la considera como aplicada para el desarrollo de una alternativa de energía limpia utilizando colorantes orgánicos.

3.3 Procedimiento de investigación

Fase 1: Índice de diversidad de las plantas arvenses asociadas a los cultivos.

a) Determinación del índice de diversidad de las plantas arvenses asociadas a los cultivos

El índice de diversidad está formado por dos componentes: el número de especies o riqueza de especie y la abundancia o equilibrio de especie.

En la investigación se aplicó el Índice de Shannon- Wiener el cual parte del supuesto de que una comunidad (ensamblaje de organismos presentes en un hábitat) es análoga a un sistema termodinámico en la cual existe un número finito de individuos (análogo a cantidad de energía), los cuales pueden ocupar un número (también finito) de categorías (especies, análogo de estados) (Hollnagel & Woods, 2005).

Se tomó en cuenta las 8 especies encontradas dentro del área de estudio (riqueza), realizando los cálculos necesarios en una matriz de Excel, y así obtener abundancia y porcentaje de diversidad.

Fase 2: Identificación de los colorantes orgánicos de origen natural de las plantas arvenses que crecen asociadas a los cultivos de la Unidad Educativa “General Julio Andrade”

a) Metodología para el secado del 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 plantas arvenses identificadas a un secado durante tres días en una estufa a 45°C, separándolas con la ayuda de hojas de papel bond.



Figura 11. Plantas frescas para su secado a 45°C

Posterior a los tres días de secado en la estufa, y con un 88% de pérdida de agua para que el material vegetal se encuentre en estado óptimo, se procedió al paso de maceración y extracción de pigmento con solventes.



Figura 12. Arvenses, posterior a tres días de secado en estufa

b) Metodología para la extracción de pigmentos naturales

Se realizó una maceración sin solventes en un mortero de cerámica, pesando 5 g en una balanza analítica, para procesarlo por separado utilizando etanol y ácido clorhídrico (Ramirez & Solano, 2002).



Figura 13. Material vegetal molido y pesado por separado

Se utilizó 100 ml de una solución (85:15) de etanol (95%) y ácido clorhídrico 0.1 N, para sumergir cada material vegetal molido en 100 ml a temperatura ambiente durante 72 h (Ramirez & Solano, 2002).



Figura 14. Material vegetal sumergido en 100 ml de solución

Posterior al tiempo transcurrido, la solución de pigmentos pasaron por filtros de membrana de nitrato de celulosa de diámetro 47 mm con una porosidad de 0.45 μm para desechar los materiales sólidos, obteniendo los filtrados que se usarán como sensibilizadores para las celdas solares (Ramirez & Solano, 2002).



Figura 15. Filtrado y etiquetado de pigmentos naturales

c) Metodología para la construcción de celdas solares DSSCs

Se tomó los pasos descritos en el manual “Solar Dye Cells for Real” de Solaronix (2019).

- **Colocación de electrodos de titanio opacos en el pigmento natural**

Se sumergió los electrodos de titanio opacos, 3 piezas (ánodo) (Solaronix, 2016) en cada pigmento por separado para que por un proceso de adsorción entre el pigmento natural en la pasta de dióxido de titanio (TiO_2) (Ramirez & Solano, 2002) durante 48 h.

- **Limpieza y secado del cristal FTO**

Se procedió a la limpieza del exceso de pigmento, realizando un lavado leve con alcohol al 95% y agua destilada con la ayuda de goteros. Para el secado, los electrodos se colocaron sobre papel absorbente a temperatura ambiente (Ramirez & Solano, 2002).

- **Ensamblaje y adición de electrolito**

Se realizó al ensamblaje físico de la celda, pegando los electrodos de platino perforados (cátodo) (Solaronix, 2016) y de titanio (ánodo) con resina selladora, Meltonix (Solaronix, 2016), para lo cual se utilizó una plancha térmica (100°C) por presión en cada uno de los 4 costados libres, teniendo precaución con el área de pigmento (Ramirez & Solano, 2002).

Para la adición del electrolito (Iodolito AN-50) (Solaronix, 2016) se utilizó una jeringa plástica adaptada con ventosa de caucho (Wanga et al., 2010). (Vac'n'Fill jeringa) (Solaronix, 2016).

Para sellar el orificio de ingreso se adicionó resina selladora Meltonix (Solaronix, 2016) con una capa de vidrio (Solaronix, 2016); terminando el proceso de estructuración.

Fase 3: Caracterización las propiedades fisicoquímicas y relación estructura química de los colorantes orgánicos utilizados como sensibilizadores en celdas solares de las plantas arvenses asociadas a los cultivos.

a) Metodología para la obtención de máxima absorbancia en el espectrofotómetro UV-Vis (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 se continuó con los siguientes pasos (Jentoft, 2004):

- 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 pasa simultáneamente por la celda de muestra y la celda de referencia).
- El espectrómetro comparó la luz que pasó por la muestra con 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.
- Como blanco se utilizó etanol (C_2H_5OH) al 96 %.

Fase 4: Evaluación de la eficiencia de los colorantes en la producción de energía eléctrica en la celda solar, mediante un simulador solar de $1000 W/m^2$.

a) Eficiencia de la celda: Simulador solar

Se siguió los procesos de caracterización de un dispositivo fotovoltaico basados en las normas: IEC 60904-9 (nacional) y ASTM E927-10 edición 2 (internacional) contando con

el mínimo estándar equivalente a una densidad de potencia de luz de 1000 W/m^2 para simuladores solares (INEN, 2014). Para el simulador se utilizó un reflector colocado en una caja de madera de $30 \times 90 \text{ cm}$, como soporte. Para reducir el calor producido por la luz del reflector se colocó un recipiente transparente con agua enfrente del mismo.

3.4 Análisis estadístico

Se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS Centurion XVIII, para comparar los datos en 5 columnas. Se realizó varias pruebas estadísticas y gráficas para comparar las muestras. La prueba-F en la tabla ANOVA determinó si hay diferencias significativas entre las medias, mientras que los Rangos Múltiples dieron a conocer cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Las diferentes gráficas que se analizó ayudaron a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

3.5 Consideraciones bioéticas

La investigación se desarrolló considerando los principios bioéticos de bienestar y autonomía. El trabajo se llevó a cabo con el consentimiento informado del personal directivo de la Unidad Educativa “General Julio Andrade”, cantón Bolívar-Carchi; se les informó de forma oral, los aspectos específicos de la investigación como son el tema, los objetivos, los procedimientos, el tiempo de duración y los beneficios que se obtendrán de manera bidireccional. La manipulación de los recursos naturales dentro de la Unidad Educativa requiere de principios que, permitan el bienestar de los mismos, sin provocar daños, y asegurando un manejo adecuado a cada recurso fitogenético utilizado, sin pérdida de especies, actuando en beneficio de todos y garantizando el principio de beneficencia.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Determinación del índice de diversidad de las plantas arvenses asociadas a los cultivos

A partir del análisis de índice de Shannon - Wiener (H), se identificó el número de especies o riqueza (8) y el total de individuos o abundancia (62), obteniendo un índice de diversidad de 1,149, el cual se considera como “diverso”, por la razón de que ese valor se encuentra entre 1 y 4.5; cabe recalcar que el área en estudio no es de gran tamaño por lo que el resultado se encuentra en lo correcto. En cuanto al porcentaje de diversidad se obtuvo un 39.44%, apareciendo como indicador del buen funcionamiento del ecosistema. En el proceso de sucesión, el desarrollo de un ecosistema implica el incremento de la diversidad, estructura y organización.

En la tabla 1 se puede observar que existen especies claramente dominantes y las restantes apenas presentes:

Tabla 1.

Cálculo del índice de Shannon- Wiener

Numero	Especies	N° de individuos	Proporción (pi)	Ln pi	pi (lnpi)
1	<i>Taraxacum officinale</i>	16	0.1032	-2.271	-0.234
2	<i>Rumex crispus</i>	12	0.0774	-2.559	-0.198
3	<i>Equium plantagineum</i>	8	0.0516	-2.964	-0.153
4	<i>Baccharis latifolia</i>	7	0.0452	-3.098	-0.140
5	<i>Pennisetum clandestinum</i>	5	0.0323	-3.434	-0.111
6	<i>Malva sylvestris</i>	5	0.0323	-3.434	-0.111
7	<i>Galinsoga ciliata</i>	3	0.0194	-3.945	-0.076
8	<i>Amaranthus spinosus</i>	6	0.0387	-3.252	-0.126
	TOTAL	62		H'	-1.149

RIQUEZA	
Shannon - Wiener (H)	1.149

ÍNDICE	Área cultivada colegio
Shannon H'	1.149
Shannon Exponencial $e^{(H')}$	3.155
N° de especies del área	8
Porcentaje de diversidad (%)	39.44

Las variaciones que experimenta un ecosistema, fluctuaciones y ritmos, se encuentran asociadas. Nunca cabe esperar que la composición del ecosistema describa un ciclo exacto y al año siguiente. Estas fluctuaciones de largo periodo representan oscilaciones alrededor de una situación que tampoco se puede considerar en equilibrio.

b) Análisis por espectrofotómetro UV-Vis para obtener los valores de máxima absorbancia (λ_{max}) de colorantes extraídos

Se identificó la longitud de onda que corresponde para el máximo de absorción, es decir, los tintes reaccionaron con el espectro visible de la luz. Para lo cual, se realizó una corrida en un espectrofotómetro UV-Vis con un rango de longitud de onda de 300 hasta 700 nm, el cual corresponde al espectro visible de la luz. Obteniendo los máximos puntos de absorbancia en cuanto al material orgánico como para el control. Los datos fueron obtenidos por el dispositivo Orion AquaMate 8000 UV-Vis v1.004 2W2R091105 en la Universidad Técnica del Norte.

En la figura 16 se observa, los valores conseguidos por cada material orgánico junto al control (RuN719), demostrando que las muestras en estudio tienen la capacidad de

absorber y transmitir luz, los valores se colocaron entre 300 a 357 nm (λ_{\max}) para plantas y 520 nm (λ_{\max}) para el material sintético, lo cual es considerado de importancia para usarlos como sensibilizadores en celdas solares orgánicas.

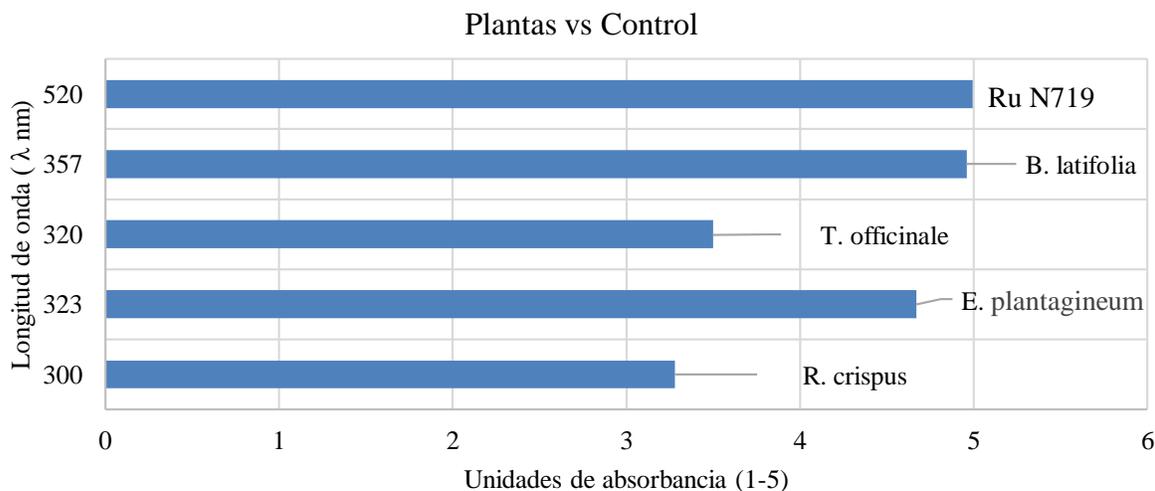


Figura 16. Espectrofotometría UV/Vis (λ min=300nm, λ max=700 nm, Abs=1-5), Plantas vs Control

Estos resultados fueron adquiridos bajo los procedimientos de la sección 3.3, fase 3 de la investigación; se lo realizó con el objetivo de determinar la longitud de onda para los máximos de adsorción. También se tomó como referencia las características reportadas para el tinte sintético, así como parámetros de evaluación a considerar para que los resultados sean fiables (Solaronix, 2016). Por lo cual, para el tinte sintético Ru N719, se reporta que su máximo de absorción se encuentra en 535 nm, utilizando como blanco etanol. En el presente trabajo se tuvo una respuesta para un máximo de 520 nm (figura 16). Por lo que se considera que es un valor aceptable tomando en cuenta que para obtener este resultado se utilizó etanol (C_2H_5OH) y ácido clorhídrico (HCl) en todos los pigmentos, los cuales son los adecuados para la construcción de celdas solares orgánicas.

En lo que se refiere a los pigmentos naturales se reportaron las longitudes de onda (λ_{\max}), para los máximos de absorción, los cuales se muestran en la figura 16. Se determinó que, para tres de los cuatro tintes naturales, los valores obtenidos de λ_{\max} son cercanos al Ru N719. Estos resultados, permiten evidenciar que existen diferencias entre las características de absorción de los tintes naturales respecto al sintético. De los 3 casos, los

pertenecientes a (*Taraxacum officinale*) Diente de león, (*Equium plantagineum*) Flor morada, (*Baccharis latifolia*) Chilca no han sido reportados en otras investigaciones, a excepción de la última planta, la cual cuenta con antecedentes literarios de la misma autoría del presente trabajo. Todos los resultados obtenidos indican que, desde el punto de vista de las propiedades de absorbanza, los tintes utilizados presentan propiedades que se asimilan al sintético.

Por otra parte, el espectro obtenido por parte de (*Rumex crispus*) Lengua de vaca muestra una estrecha banda de absorción que no sobrepasa los 300 nm, por lo cual, su capacidad de absorción es limitada en el TiO_2 , pero a pesar de esa limitación, es importante tomar en cuanto el pigmento por su abundancia en el medio y además de que exhibe potencial para este tipo de aplicaciones.

b.1) Espectro de absorción de los pigmentos frente al Control RuN719

En la fotosíntesis, la energía solar se transforma en energía química a través de organismos fotosintéticos. Sin embargo, la fotosíntesis no utiliza todas las diferentes longitudes de onda de la luz solar de la misma manera que los organismos fotosintéticos contienen moléculas llamadas pigmentos, que solo absorben la luz visible de una determinada longitud de onda y reflejan otras longitudes de onda.

En la figura 17 se muestra el conjunto de longitudes de onda absorbidas por cada pigmento al cual se denomina como espectro de absorción que son importantes para la fotosíntesis. Tomando en cuenta los espectros de absorción de tres pigmentos que son importantes para la fotosíntesis: clorofila a, clorofila b y β -caroteno, como se muestra en la figura 4 en el capítulo 2 del marco referencial. Se debe tomar en cuenta también que, la radiación solar es una radiación policromática, se observa que los pigmentos reflejan un conjunto de longitudes de onda, la luz reflejada es el color que vemos (Manrique, 2014). En la figura también se muestra que cada onda electromagnética tiene una longitud de onda específica o una distancia de un pico a otro pico, y los diferentes tipos de radiación tienen diferentes rangos característicos de longitud de onda en cada pigmento estudiado en la investigación.

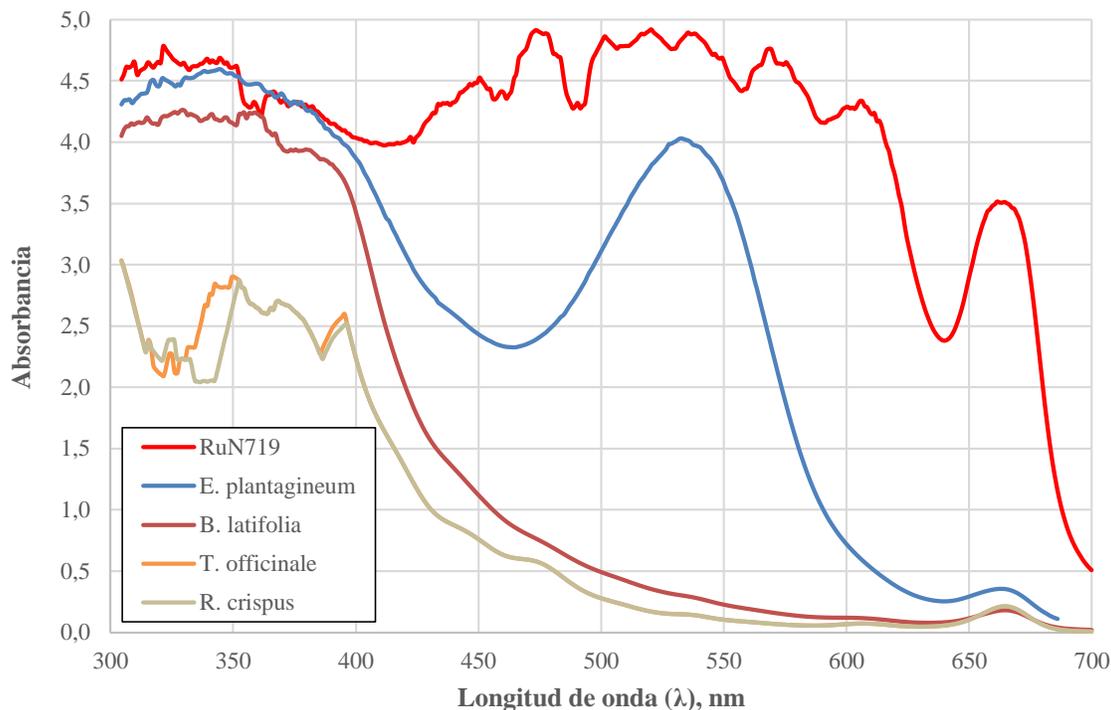


Figura 17. Espectro de barrido UV - VIS, pigmentos y control

Se ha tomado en cuenta el espectro visible que incluye una radiación electromagnética con una longitud de onda de aproximadamente 300 nm a 700 nm, demostrando un área bajo la curva da la energía absorbida para cada sensibilizador. Todos los colorantes absorbieron entre 300 a 400 nm, conjuntamente con *E. plantagineum* que tuvo un pico entre 500 a 550 nm; mientras que el colorante sintético absorbió hasta 655 nm demostrando que obtiene casi todo el rango de luz visible. Hay que tomar en cuenta también que, aunque la luz y otras formas de radiación electromagnética actúan como ondas en muchas condiciones, también pueden actuar como partículas en otras (Calero, 2006). Por lo que en la figura también se tiene una visión del funcionamiento de la partícula de radiación electromagnética, llamada fotón, el cual puede tener una cantidad fija de energía, estos cálculos se pueden observar en el análisis estadístico realizado en la investigación. Lo que corrobora la idea de que la mayoría de organismos fotosintéticos tienen una diversidad de pigmentos (Mills, 2020), lo

cual les permite absorber energía de una amplia gama de longitudes de onda y en el caso de aplicarlos como generadores de energía, demuestran un gran potencial frente al pigmento sintético RuN719.

c) Voltaje obtenido mediante un simulador solar con una densidad de potencia de 1000 W/m²

En la figura 18 se observa las tres repeticiones para cada pigmento utilizado en la investigación, ubicados en el eje de las x; con base a la eficiencia (V) en el eje de las y, el cual se obtuvo mediante un multímetro digital de alta impedancia. Observando un ajuste lineal en cuanto a las muestras estudiadas. Para el pigmento sintético (Rutenio N719) se observó que no tiene una variabilidad marcada en cuanto al tiempo de adsorción por la alta compatibilidad con el TiO₂.

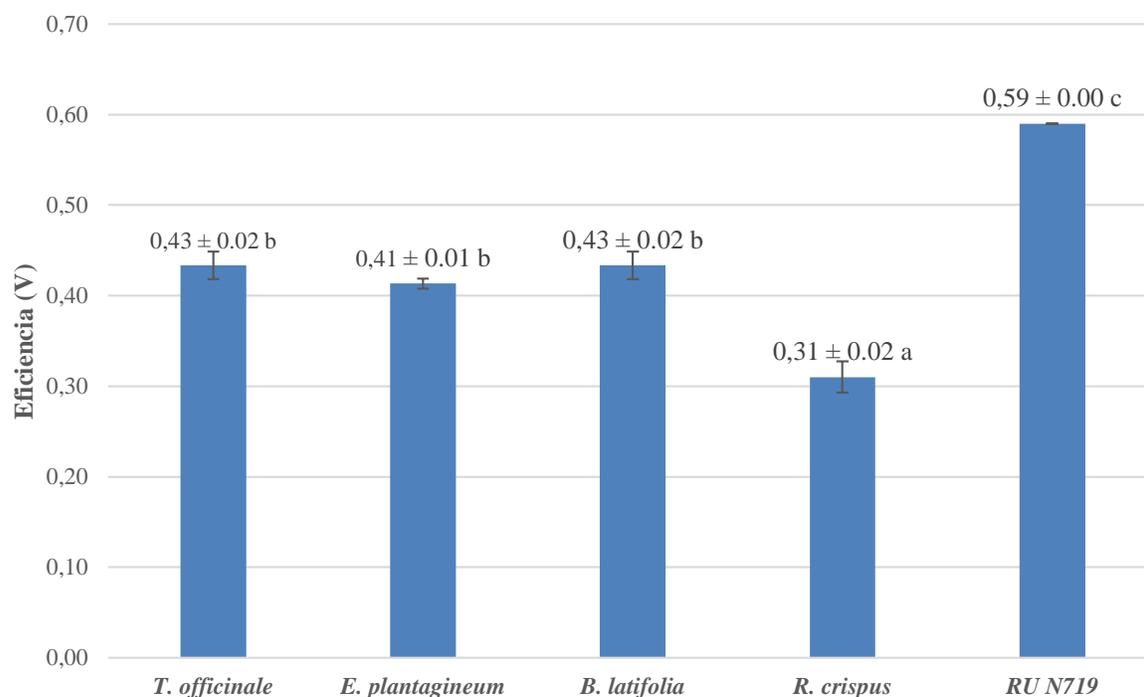


Figura 18. Eficiencia de la celda solar del pigmento y control sobre el semiconductor.

Doce celdas solares fueron ensambladas, bajo la metodología descrita en la sección 3.3 para ser evaluadas, 3 para cada tinte natural y sintético; con un tiempo de 48 h de

adsorción del sensibilizador sobre el TiO_2 para cada tipo de colorante, aumentando la eficiencia de conversión energética. Finalmente se obtuvo que para las plantas: *Taraxacum officinale* (“Diente de león”), *Rumex crispus* (“Lengua de vaca”), *Equium plantagineum* (“Flor morada”), *Baccharis latifolia* (“Chilca”); demostraron tener un potencial alto en lo que corresponde a conversión energética a pesar de que son comúnmente conocidas como “arvenses” que se desarrollan en áreas cultivadas.

Mediante un simulador solar de 1000 W/m^2 , tomando en cuenta la comparación del desempeño de las DSSCs con pigmentos naturales con el estándar de Ru N719 se obtuvo los siguientes resultados:

Para *Taraxacum officinale* (Diente de león), la eficiencia de las tres repeticiones en cuanto a conversión energética fue de: $0.43 - 0.42 - 0.45 \text{ V}$, con una media de 0.43 V ; para *Rumex crispus* (Lengua de vaca), se obtuvo: $0.33 - 0.30 - 0.30 \text{ V}$, con 0.31 de media; para *Equium plantagineum* (Flor morada), se obtuvo: $0.41 - 0.41 - 0.42 \text{ V}$, con 0.41 como media; finalmente para *Baccharis latifolia* (Chilca) se obtuvo: $0.43 - 0.42 - 0.45 \text{ V}$, con un 0.43 V de eficiencia energética considerable, la cual es una de las tres plantas que presentaron potencial en cuanto a la comparación con el pigmento sintético Ru N719.

Para realizar una comparación entre las celdas estructuradas en esta investigación, se debe tomar el desempeño fotoelectroquímico de las DSSCs basados en los pigmentos ensayados, demostrando que el menor valor de voltaje es de 0.33 V para *R. crispus* (Lengua de vaca) y el mayor fue de 0.45 V para *B. latifolia* (Chilca). Estos valores se consideran relativamente bajos en comparación con la eficiencia del control (Ru N719) la cual fue de 0.59 V en esta investigación. Cabe recalcar que los valores obtenidos de los pigmentos naturales se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura para trabajos similares. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que para realizar esta comparación se ejecutó una búsqueda en base a la familia de cada planta, por la razón de que a excepción de *B. latifolia* (Chilca), anteriormente utilizada por el mismo autor, las demás plantas ensayadas, no han sido utilizadas en otros trabajos similares, pero sí su familia botánica.

En el caso de *B. latifolia* y *T. officinale*, se obtuvo la mayor eficiencia en cuanto a conversión energética con 0.45 V de media. Estos valores fueron algo superiores al reportado para otro miembro de la familia de las *Asteraceae*, la planta *Carthamus tinctorius* (Cártamo) con una eficiencia de 0.39 V (El-ghamri et al., 2015), aunque inferiores a la *Vernonia amygdalina* (Vernonia amarga) con 0.65 V (A. Boyo, 2012), y similares a *Cosmos sulphureus* (Cosmos azufrado) que reportó 0.45 V (Akerlof et al., 2011).

Por lo que se considera que el voltaje obtenido en esta investigación de 0.45 V, se encuentra en un rango aceptable en comparación a otras plantas de la misma familia. Se debe considerar continuar con investigaciones en donde se involucre esta familia botánica, en especial la *B. latifolia* (Chilca) y *T. officinale* (Diente de león), por lo que son propias de la zona 1 y de crecimiento acelerado como se muestra en el análisis realizado mediante índice de diversidad (literal 3.3), se puede agregar que estas plantas muestran un gran avance en aplicaciones de dispositivos fotovoltaicos ecuatorianos con material vegetal único.

Para realizar la comparación en cuanto a la eficiencia obtenida en su punto máximo de 0.42 V de la *Equium plantagineum* (Flor morada), se realizó una revisión bibliográfica tomando en cuenta la familia *Boraginaceae*, mediante la cual se encontraron dos: *Cordia sebestena* (árbol nomeolvides) (M. Rekha, 2019) y *Cynoglossum* (Lengua de perro) (Hosseinnezhad et al., 2018), con eficiencias energéticas de 0.47 y 0.48 V, respectivamente. Se observó que la eficiencia de *E. plantagineum* (Flor morada) se encuentra dentro de un rango de entre 0.40 – 0.50 en comparación a plantas similares de la misma familia, en esta investigación se utilizó los pétalos como material vegetal para obtener el sensibilizador o pigmento. Este tipo de plantas tiene una diversidad de 100 géneros y 2000 especies, mostrando utilidades como alimento, medicinal, se utilizan como ornamentales y para la extracción de colorantes (Barajas-Meneses et al., 2005), por lo que la aplicación en DSSCs se proyecta como un campo extenso en cuanto a la generación energética en base a plantas arvenses.

Finalmente y no menos importante se muestra el análisis de la planta conocida como *Rumex crispus* (Lengua de vaca), la cual demostró una eficiencia energética máxima de 0.33 V, esta planta pertenece a la familia de las *Polygonaceae*, para lo cual, se realizó una

exhaustiva búsqueda de información, posterior a esta, se encontró una planta que pertenece a la misma familia y fue utilizada en una investigación similar, sin embargo esta, se centraba en el color y en su composición química como sensibilizador para celdas solares, pero no en su capacidad fotoelectroquímica, se encontró que *Polygonum aviculare* (La centinodia) se la requiere en gran medida para usos cosméticos, culinarios o terapéuticos. Sus estigmas contienen un colorante amarillo soluble en agua, de alto poder colorante; y también contiene los carotenoides Crocetin (Alouani et al., 2016). Se debe considera que en esta familia de plantas pocas especies de tiene valor económico. Algunas son utilizadas como ornamentales. *Rheum rhaponticum* y *Fagopyrum esculentum* son de importancia como cultivos para la alimentación en zonas templadas y algunas especies poseen frutos comestibles (Narayan, 2012). Por lo que en esta investigación se le dio un uso considerado “poco usual” para lo ya detallado. Se debe indagar aún más en la utilización de este tipo de arvense a pesar de que presentó un modesto resultado en relación a su voltaje, siendo este, el primer paso para investigaciones futuras.

De los pigmentos antes mencionados, dos fueron óptimos, presentando el mismo voltaje de 0.45 V. Considerando que la eficiencia se muestra relativamente baja en comparación al control, se identificó las plantas arvenses que presentan un buen potencial para este tipo de aplicación. Hay que tomar en cuenta también que en la literatura se discute varias posibles razones en cuanto al efecto de interacción entre el sensibilizador y el semiconductor, dando diversas explicaciones (dos Santos & da Silva-Filho, 2017), una de las más relevantes es que dentro de un tinte de plantas existe una colección de pigmentos que interaccionan de manera distinta con el TiO_2 (Shanmugam et al., 2013). Para finalizar se debe recalcar que los pigmentos de origen natural ofrecen una gran variedad de fotosensibilizadores con capacidad combinatoria que pueden mejorar su estabilidad, eficiencia y versatilidad, también reduce significativamente el impacto ambiental generado durante el proceso de fabricación del dispositivo fotovoltaico, presentado una alternativa de bajo costo, en el propósito de generar corriente eléctrica a gran escala.

d) Análisis estadístico

Se muestra varios estadísticos para cada una de las 5 filas de datos. Para probar diferencias significativas entre las medias de las filas, se seleccionó tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares y se seleccionó gráfica de medias de la lista de opciones gráficas para mostrar detalladamente las medias.

Tabla 2.

Datos estadísticos

Muestra	Valores
Muestra 1: T. officinale	Muestra 1: 3 valores en el rango de 0,42 a 0,45
Muestra 2: E. plantagineum	Muestra 2: 3 valores en el rango de 0,41 a 0,42
Muestra 3: B. latifolia	Muestra 3: 3 valores en el rango de 0,42 a 0,45
Muestra 4: R. crispus	Muestra 4: 3 valores en el rango de 0,3 a 0,33
Muestra 5: RU 719	Muestra 5: 3 valores en el rango de 0,59 a 0,59

Se pudo visualizar que existe una diferencia de más de 3 a 1 entre la desviación estándar más pequeña y la más grande. Esto puede causar problemas puesto que el análisis de varianza asume que las desviaciones estándar de todos los niveles son igual.

Tabla 3.

Resumen estadístico

	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo
T. officinale	3	0,433333	0,0152753	3,53%	0,42	0,45
E. lantagineum	3	0,413333	0,0057735	1,40%	0,41	0,42
B. latifolia	3	0,433333	0,0152753	3,53%	0,42	0,45
R. crispus	3	0,31	0,0173205	5,59%	0,3	0,33
RU 719	3	0,59	0	0%	0,59	0,59
Total	15	0,436	0,093335	21,41%	0,3	0,59

En la tabla ANOVA se descompuso la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 188.062, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 5 variables con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se seleccionó Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares del programa.

Tabla 4.

Tabla ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,12036	4	0,03009	188,06	0
Intra grupos	0,0016	10	0,00016		
Total (Corr.)	0,12196	14			

Finalmente se aplicó un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 7 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. Se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método para discriminar entre las medias fue el de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 5.

Pruebas de múltiples rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
R. crispus	3	0,31	X
E. lantagineum	3	0,413333	X
B. latifolia	3	0,433333	X

T. officinale	3	0,433333	X
RU 719	3	0,59	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T. officinale - E. lantagineum		0,02	0,0230122
T. officinale - B. latifolia		0	0,0230122
T. officinale - R. crispus	*	0,123333	0,0230122
T. officinale - RU 719	*	-0,156667	0,0230122
E. lantagineum - B. latifolia		-0,02	0,0230122
E. lantagineum - R. crispus	*	0,103333	0,0230122
E. lantagineum - RU 719	*	-0,176667	0,0230122
B. latifolia - R. crispus	*	0,123333	0,0230122
B. latifolia - RU 719	*	-0,156667	0,0230122
R. crispus - RU 719	*	-0,28	0,0230122

* indica una diferencia significativa.

d.1) Relación entre área obtenida frente a la eficiencia de la celda

La tabla 6 muestra las correlaciones momento producto de Pearson, entre cada par de variables. El rango del coeficiente de correlación en esta investigación fue de 0.8289 lo cual se considera correcto por que el número obtenido se encuentra entre el rango establecido para este análisis que va de -1 a +1, midiendo la fuerza de la relación lineal entre las variables. También se muestra que con un nivel de confianza del 90.0% los pares de variables tienen relación estadística entre ellas.

Tabla 6.

Plantas Vs Control

	Área UV-Vis	E(V)
RuN719	1607,29	0,59
<i>E. plantagineum</i>	1012,33	0,41
<i>B. latifolia</i>	559,48	0,43
<i>T. officinale</i>	353,70	0,43
<i>R. crispus</i>	345,23	0,31

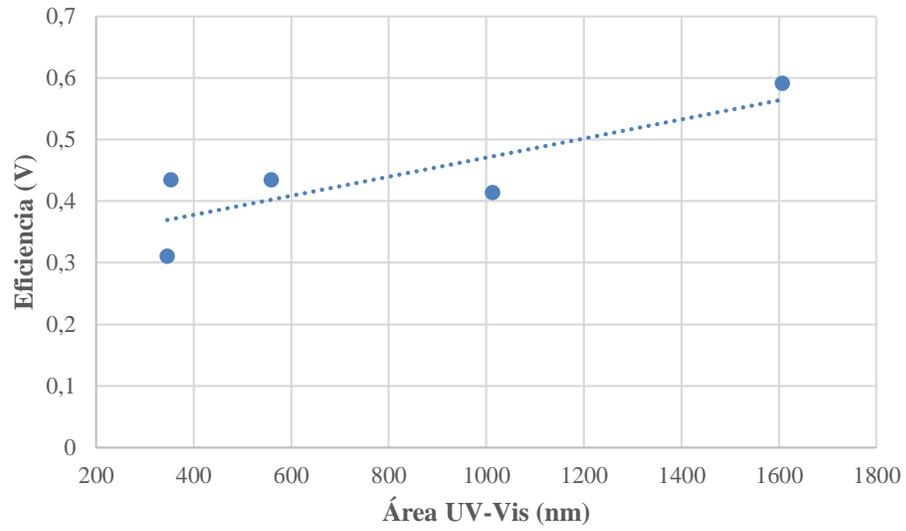


Figura 19. Eficiencia (V), Vs, Área UV-Vis 200-700 nm

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó el índice de diversidad de las plantas arvenses asociadas a los cultivos en la unidad educativa “General Julio Andrade”, Parroquia Los Andes, cantón Bolívar provincia del Carchi, como una expresión sintética de la biodiversidad.
- Se logró identificar los colorantes orgánicos de origen natural de las plantas arvenses que crecen asociadas a los cultivos, que fueron usados como sensibilizadores de celdas solares.
- Se determinó la longitud de onda para la cual se alcanzó el máximo de absorbancia de los colorantes orgánicos utilizados como sensibilizadores en celdas solares de las plantas arvenses asociadas a los cultivos.
- En cuanto a la evaluación en base a la eficiencia de los colorantes se identificó la producción de energía eléctrica en la celda solar, mediante un simulador solar de 1000 W/m².
- Se debe mencionar que a pesar de las ventajas ecológicas y de bajo costo, este tipo de dispositivos a base de tintes orgánicos de arvenses, tienen propiedades ópticas de las nanopartículas semiconductoras, por lo cual es capaz de aprovechar mucho mejor la luz sin que por ello disminuya drásticamente su eficiencia.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones se recomienda realizar un análisis en cuanto a los principales compuestos químicos utilizados como sensibilizadores para DSSC los que corresponden a: Antocianinas, flavonoides, carotenoides y porfirinas; los que han demostrado mayor compatibilidad con el TiO_2
- Se recomienda realizar una mezcla de diferentes sensibilizadores orgánicos en DSSC, por lo que se ha observado que poseen un efecto sinérgico en la eficiencia de conversión de la DSSC.
- En base a ésta identificación se puede proponer nuevas investigaciones que permitan encontrar pigmentos que puedan comparativamente sustituir a los sintéticos.

REFERENCIAS

- A. Boyo, T. O. (2012). *Bitter Leaf (Vernonia amygdalin) for Dye Sensitized Solar Cell*.
- Abril Díaz, N., Bárcena Ruiz, J. A., Fernández Reyes, E., Galván Cejudo, A., Jorrín Novo, J., Peinado Peinado, J., Meléndez Valdés, F. T., & 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.
- Akerlof, Whether, S., Leeg, T., Leeg, T., If, A. I., Robots, D., Human, T., City, N. Y., & Munroe, R. (2011). Fabrication and characterization of dye sensitized solar cells using locally occurring plant dyes. *Journal of Chemical Information and Modeling, 53*(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.5771/9783845289892-15>
- Alouani, I., Oulad, M., Idrissi, B., Draoui, M., & Bouatia, M. (2016). *Review : from screening to application of moroccan dyeing plants : chemical groups and botanical distribution*. 8(10).
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2009). *Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas*. <https://doi.org/10.1109/ASE.2017.8115663>
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología, 8*(1), 7–20. <http://digitum.um.es/jspui/handle/10201/36437>
- 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 .”*”
- Arellano, S. A. B. (2008). *Cambio tecnológico e innovación en las empresas*. ESIC Editorial. <https://books.google.com/books?id=hBzAXUlil8EC&pgis=1>
- Arévalo, E. (2019). *Una metodología básica para la construcción de celdas solares sensibilizadas por colorante (DSSC) tipo Grätzel – Blog Jorge Luis Jaramillo*. <https://www.utpl.edu.ec/jorgeluisjaramillo/?p=1295>
- Barajas-Meneses, F., Fernandez-Alonso, J. L., & Galindo-Tarazona, R. (2005). Diversity and Composition of the borago family in the Department of Santander (Colombia).

Caldasia, 27, 151–172.

- Blanco-Valdes, Y. (2016). El rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 34–56. <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.10964.19844>
- Blanco, Y. y A. L. (2013). *Las arvenses y su entomofauna asociada en el cultivo del frijol* (. 17(3), 51–65.
- Burkart, R. (2013). Conservación y uso sustentable de la biodiversidad. *La Situación Ambiental Argentina 2005*, 399–431.
- 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.
- Cabrera, M., Figueroa, J. G., Ramirez-Perez, J. C., & Solano-Cueva, N. E. (2016). Celdas solares sensibilizadas con colorantes fotosensibles obtenidos de plantas de la región sur de Ecuador. *Química Nova*. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20160184>
- Cabrera, M., Figueroa, J. G., Ramirez-Perez, J. C., Solano-Cueva, N. E., Cabrera, M., Figueroa, J. G., Ramírez-Pérez, J. C., & Solano-Cueva, N. (2016). Celdas solares sensibilizadas con colorantes fotosensibles obtenidos de plantas de la región sur de Ecuador. *Química Nova*, 40(3), 260–263. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20160184>
- Calero. (2006). *Construcción y Caracterización de celdas solares orgánicas*. 1–126.
- Calero, C. (2016). *Construcción y caracterización de celdas solares sensibilizadas por pigmentos naturales extraídos de plantas existentes en el Ecuador y determinación de la eficiencia de conversión energética*.
- Castro, M. (2011). Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador. In *CEDA Centro Ecuatoriano de desarrollo Ambiental*. www.ceda.org.ec
- Castroverde, E. (2007). Evaluación y Predicción de la Biodiversidad, Un modelo con Araneidos en el Parque Natural del Cadí-Moixeró. *PhD Thesis*, 312.
- Chona, R., & Robles, J. (2013). *Diseño experimental de un sistema tradicional de panel solar de pequeña escala ubicado en la ciudad de Barranquilla*. 85.
- Cifra, M., Fields, J. Z., & Farhadi, A. (2011). Electromagnetic cellular interactions. In

Progress in Biophysics and Molecular Biology.

<https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2010.07.003>

Constante. (2016). *Importancia de la energía eléctrica en el cambio de la matriz energética en Ecuador*. El Telégrafo. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/408/1/importancia-de-la-energia-electrica-en-el-cambio-de-la-matriz-energetica-en-ecuador>

de Souza, J. dos S., de Andrade, L. O. M., & Polo, A. S. (2013). Nanomaterials for Solar Energy Conversion: Dye-Sensitized Solar Cells Based on Ruthenium (II) Tris-Heteroleptic Compounds or Natural Dyes. In *Nanoenergy* (pp. 49–80). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31736-1_2

Díaz, A. (2012). *Construcción de una celda solar tipo Grätzel empleando electrodos de TiO₂ nanoparticulado entintados con extracto de fruto de garambullo (Myrtillocactus geometrizans)*.

Díaz, J. C. (2015). *A3-516 Exploración de impactos económicos y sociales en la transición a la agroecología en contextos de comercialización*. 1–6.

Dómine, L. (2013). *Sistema de Iluminación Autónomo Alimentado por Energías Renovables*.

Formentín, R. (2013). *Estudio de las características electrónicas de dispositivos fotovoltaicos moleculares: células Grätzel*. 49. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/36015%0Ahttps://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/36015/memoria.pdf?sequence=1>

Gerowitt, B. (2013). Uso practico de los umbrales economicos de malezas bärbel. *Centro de Investigaciones de Agricultura y Ambiente, Facultad de Ciencias Agrícolas Universidad de Göttingen*, 6(2), 103.

Gomelsky, R. (2013). *Sustainable Energy for All*. https://www.seforall.org/sites/default/files/Ecuador_RAGA_ES_Released.pdf

Gouveia, D. (2014). *Flora Arvense Asociada a Un Agroecosistema De Ceiba Mocha En El Estado Guárico*. 26(3), 177–182.

Grundmann, P. (2012). *Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales*. Hachette. <https://www.redalyc.org/html/1932/193217731003/>

Gutiérrez Beltrán, R. S. de A. y E. (2015). *Nanotecnología inspirada en la naturaleza*:

celdas solares sensibilizadas con colorante. Encuentros En La Biología.
<http://www.encuentrosenlabiologia.es/2015/12/nanotecnologia-inspirada-en-la-naturaleza-celdas-solares-sensibilizadas-con-colorante/>

- Hernández, Á. (2012). *Propuesta metodológica para un estudio de prospectiva del sector energético mediante el uso de sistemas fotovoltaicos en conjunto con los nanomateriales t. 30*.
- Hirsch, R. (2005). *Exploring colour photography : a complete guide*. Laurence King.
- Hollnagel, E., & Woods, D. D. (2005). *Joint cognitive systems : foundations of cognitive systems engineering*. Taylor & Francis.
- Hosseinnezhad, M., Rouhani, S., & Gharanjig, K. (2018). Extraction and application of natural pigments for fabrication of green dye-sensitized solar cells. *Opto-Electronics Review, 26*(2), 165–171. <https://doi.org/10.1016/j.opelre.2018.04.004>
- IDEAM. (2014). *Radiación Solar*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>
- INEN. (2014). *Ecuatoriana nte INEN-IEC 60904-9*.
- Ing, D., Dario, Q., Material, H., En, B., Del, T., & Prando, R. (n.d.). *Energia Solar Uso En*.
- Jentoft, F. (2004). *Diffuse Reflectance IR and UV-vis Spectroscopy Modern Methods in Heterogeneous Catalysis*.
- Lin, L. Y., & Ho, K. C. (2018). Dye-sensitized solar cells. In *Encyclopedia of Modern Optics*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.09545-X>
- M. Rekha, M. K. (2019). A New Organic Dye Cordia sebestena Sensitized Solar Cell with Current-Voltage Characteristics. *Asian Journal of Chemistry, 32*(1), 84–90.
- 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.
- MAE. (2014). *Proyecto Estrategia Nacional de Biodiversidad Propuesta metodológica para la validación de los contenidos de la ENB y la elaboración del Plan de Acción 2014 - 2020*.
- MAE. (2015). *Acuerdo No. 061 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. 80*.

- Manrique, E. (2014). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz. *Asociación Española de Ecología Terrestre*, 12(1), 1–12.
- Matsumoto, Y. (2011). Celdas Solares De Silicio : Fundamento Y Tendencia. *Division de Ciencias e Ingenieria Universidad de Quintana Roo*, 1954, 44.
- Mills, B. (2020). *Luz y pigmentos fotosintéticos (artículo) | Khan Academy*. <https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis/a/light-and-photosynthetic-pigments>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2016). *Plan Nacional de Ciencia Energética 2016-2035*.
- Myers, J. D. (2013). Electromagnetic Spectrum - Introduction. In *High Energy Astrophysics Science Archive Research Center*.
- Narayan, M. R. (2012). Review: Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.148>
- Norgard, J., & Best, G. L. (2017). The electromagnetic spectrum. In *National Association of Broadcasters Engineering Handbook: 11th Edition*. <https://doi.org/10.4324/9781315680149>
- Opazo, C. (1992). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. 1–34.
- Ortega, T. (2013). *Instrumentos para la medida del color*. 1–24.
- Pech, N. (2004). Diversidad y condiciones socioculturales de los solares mayas del municipio de Lázaro Cárdenas, Quintana Roo. In *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*.
- Penna, J., & Cristeche, E. (2012). La valoración de servicios ambientales: diferentes paradigmas. *Estudios Socioeconómicos de La Sustentabilidad de Los Sistemas de Producción y Recursos Naturales*, 2(2), 46. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-paradigma_doc_02.pdf%0Ahttp://inta.gob.ar/documentos/la-valoracion-de-servicios-ambientales-diferentes-paradigmas/at_multi_download/file/paradigma_doc_02.pdf
- Prado, A. (2019). *La matriz energética del Ecuador todavía depende del petróleo | El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/matriz-energetica-petroleo->

ecuador-negocios.html

- 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* ”.
- República, I. D. I. L. D. S. D. La. (2004). *Nuevas energías renovables: una alternativa energética sustentable para México (Análisis y propuesta)*. 1–167.
- Reyes, J. (2015). *Colorantes organicos de origen natural utilizados como sensibilizadores de celdas solares*. 68. <http://www.bdigital.unal.edu.co/50614/>
- Salazar, F. (2010). *las arvenses y su manejo en los cafetales L Capítulo 5*. 127.
- Salazar, L., & Hincapié, E. (2011). Las arvenses y su manejo en los cafetales. *Sistema de Producción Del Café En Colombia*, 30.
- Sánchez-Carballo, M. (2014). Nuevos Sensibilizadores de Rutenio-Bipiridina para Células Solares Sensibilizadas por Colorantes. *Universidad Autonoma de Madrid*, 48–53.
- Sánchez, M. del R. (2010). *Simulación de la actividad del colorante en el proceso de captación de energía en celdas solares sensibilizadas*.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - (Senplades). (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida 4. *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades 2017, 2017*, 1–148. <https://doi.org/10.1109/CDC.2014.7039974>
- Sejenovich, H. (2015). *Pobreza y desarrollo sustentable en la gobernanza ambiental en América Latina*.
- Senplades. (2012). *Transformación de la Matriz Productiva*. 32. <https://doi.org/10.1017/s0022029900021889>
- Solaronix. (2011). *Ruthenizer 535-bisTBA*. 1, 2–7.
- Solaronix. (2017). *Ruthenizer 535-bisTBA - Ruthenium Dyes - Sensitizing Dyes - Solaronix Online Shop*. <https://shop.solaronix.com/sensitizing-dyes/ruthenium-dyes/ruthenizer-535-bistba.html>
- Tafolla, A. (2010). *Celdas fotovoltaicas en generacion distribuida*.

- https://www.academia.edu/9606003/Celdas_fotovoltaicas_en_generacion_distribuida
- Vadell. (2008). *Evaluación De Especies Cultivadas Y Arvenses Como Abonos*.
- Valdes, Y. B. (2016). Cultivos tropicales revista cuatrimestral. In *Cultivos Tropicales* (Vol. 37, Issue 4). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. <http://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1292/html>
- Watts, C. M., Liu, X., & Padilla, W. J. (2012). Metamaterial electromagnetic wave absorbers. *Advanced Materials*. <https://doi.org/10.1002/adma.201200674>
- Whitaker, J. C. (2017). Electromagnetic spectrum. In *The RF Transmission Systems Handbook*. <https://doi.org/10.1201/9781420041132>
- Wolfsegger, C., Fraile, D., & Teske, S. (2008). Solar Generation V–2008. *European Photovoltaic Industry Association (EPIA) ...*
- Zamorano, C., López, H., & Alzate, G. (2008). Evaluación de la competencia de arvenses en el cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia). *Revista Agronomía Colombiana*, 26(3), 443–450. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v26n3/v26n3a09.pdf>

ANEXOS

1. Recursos

Esta sección se refiere a los recursos necesarios para efectuar el trabajo de investigación. Incluye los recursos humanos, materiales y financieros. (Arias, 2012)

Tabla 7.

Recursos

MATERIAL	CANTIDAD (u)	PESO	SUBTOTAL(\$)
Especies vegetales de muestra	8	7 kg	10
Papel aluminio	1	450 g	4
Fundas herméticas ziploc	1	450 g	4
Papel empaque	1	500 g	3
Etiquetas	1	100 g	2
Bandejas de plástico 20x15cm	11	1k g	8
Ethanol	1	1000 ml	20
Methanol	1	1000 ml	20
pH-metro	1	-	40
Soluciones y Tampon	2	100 ml	35
Iodolito AN-50	1	20 ml	49,18
	1	20 ml	88,94

Cristal-FTO (15oms de Ω/sq, 2mm de espesor, 5*5cm (ánodo de la celda)	20	-	94,17
Oxido de titanio natase coloidal de 15 nm de diámetro de 120 m² de superficie especifica	1	20 g	114,05
Agua destilada	1	1000 ml	20
Isopropanol	1	1000 ml	50
Rutenio n719 (pigmento sintético)	1	200 mg	36,62
Insmos logísticos	-	-	70
Imprevistos	-	-	88,54
COSTO TOTAL			1595,05

Se detalla el financiamiento para la realización del proyecto, de dos maneras: propio y por parte de la Universidad Técnica del Norte en lo referente a la utilización de las instalaciones, reactivos y equipos.

A continuación se detallan los porcentajes de relevancia conforme a las dos formas de financiamiento:

Financiamiento propio	80%
Universidad Técnica del Norte	20%

2. Catálogo de materiales SOLARONIX

Test Cell Wafer
High Performance Silicon Wafer for Solar Cells

Resistencia:
 Resistencia a la tracción: 100 MPa
 Resistencia a la compresión: 150 MPa
 Resistencia a la flexión: 100 MPa
 Resistencia a la torsión: 100 MPa
 Resistencia a la tracción: 100 MPa
 Resistencia a la compresión: 150 MPa
 Resistencia a la flexión: 100 MPa
 Resistencia a la torsión: 100 MPa

Polysilicon 625-600/50
High Performance Silicon Wafer for Solar Cells

Resistencia:
 Resistencia a la tracción: 100 MPa
 Resistencia a la compresión: 150 MPa
 Resistencia a la flexión: 100 MPa
 Resistencia a la torsión: 100 MPa
 Resistencia a la tracción: 100 MPa
 Resistencia a la compresión: 150 MPa
 Resistencia a la flexión: 100 MPa
 Resistencia a la torsión: 100 MPa

Wafer 1275-600P
High Performance Silicon Wafer for Solar Cells

Resistencia:
 Resistencia a la tracción: 100 MPa
 Resistencia a la compresión: 150 MPa
 Resistencia a la flexión: 100 MPa
 Resistencia a la torsión: 100 MPa
 Resistencia a la tracción: 100 MPa
 Resistencia a la compresión: 150 MPa
 Resistencia a la flexión: 100 MPa
 Resistencia a la torsión: 100 MPa

Substrato 10-20
High Performance Silicon Wafer for Solar Cells

Resistencia:
 Resistencia a la tracción: 100 MPa
 Resistencia a la compresión: 150 MPa
 Resistencia a la flexión: 100 MPa
 Resistencia a la torsión: 100 MPa
 Resistencia a la tracción: 100 MPa
 Resistencia a la compresión: 150 MPa
 Resistencia a la flexión: 100 MPa
 Resistencia a la torsión: 100 MPa

Chlorosulfonic Acid
High Performance Silicon Wafer for Solar Cells

Resistencia:
 Resistencia a la tracción: 100 MPa
 Resistencia a la compresión: 150 MPa
 Resistencia a la flexión: 100 MPa
 Resistencia a la torsión: 100 MPa
 Resistencia a la tracción: 100 MPa
 Resistencia a la compresión: 150 MPa
 Resistencia a la flexión: 100 MPa
 Resistencia a la torsión: 100 MPa

Fuente: Solaronix