

## Agrifotónica: Aplicación de las Tecnologías Fotónicas en el Sector Agrícola

Agriphotonics: Application of Photonic Technologies in the Agricultural Sector

Ricardo Brayan Juárez Valencia<sup>1</sup>, Alejandro León Mendoza<sup>2</sup>, Omar Jiménez Sanchez<sup>3</sup>, Jesus Arath Cabrera Elias<sup>4</sup>, Cristian Emanuel Vargas Mendoza<sup>5</sup>, Oleksiy Shulika<sup>\*6</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Ingeniería Mecánica, División de ingenierías del campus Irapuato-Salamanca (DICIS), Universidad de Guanajuato,

<sup>2,4,5</sup> Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica, División de ingenierías del campus Irapuato-Salamanca (DICIS), Universidad de Guanajuato,

<sup>3</sup>Licenciatura en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica, División de ingenierías del campus Irapuato-Salamanca (DICIS), Universidad de Guanajuato.

<sup>6</sup>Departamento de Ingeniería Electrónica, División de ingenierías del campus Irapuato-Salamanca (DICIS), Universidad de Guanajuato, oshulika@ugto.mx.

### Resumen

En este artículo, se presenta una técnica basada en la espectroscopía para caracterizar las propiedades ópticas de las plantas a través de los espectros de reflectancia y transmitancia. Esta técnica permite ahorrar tiempo y recursos en la evaluación de la salud vegetal. Se realizaron pruebas de caracterización en hojas de diferentes estados, desde verdes y sanas hasta secas y marchitas. La variación en los espectros obtenidos se debe a la composición química y los pigmentos de las hojas, los cuales cambian según su estado. Todas las muestras de hojas se obtuvieron de un invernadero controlado, donde se monitorearon parámetros como humedad y temperatura, tanto de las plantas como del ambiente. Por último, se obtuvieron los coeficientes de reflectancia de las hojas de fresa de diferentes estados y diferentes lados de incidencia de la luz.

**Palabras clave:** agrifotónica, espectroscopía VIS, reflectancia, transmitancia

### Introducción

La agricultura es una práctica que se ha realizado desde que nuestros antepasados descubrieron que las semillas que caían al suelo germinaban y daban brote a la misma planta, gracias a esto, es que pudieron sobrevivir tantos años. Actualmente, esta práctica representa el 80 % de la producción mundial de alimentos, por eso, con el tiempo, se han ido mejorando las técnicas de cultivo, para obtener mejores cosechas y una mayor producción [1].

Lamentablemente, esta práctica atraviesa dificultades cada vez mayores, tales como los efectos del cambio climático, escasez de agua, plagas y enfermedades, además de la sobrepoblación que provoca una mayor demanda de alimento, entre otros. Gracias al avance de la tecnología, se implementaron técnicas para monitorear y controlar mejor los cultivos, que ayudaron a optimizar tiempo y generar una mayor producción. La contraparte de esto es que estas técnicas muestran deficiencias como, que no se detecten enfermedades en las plantas cuando no muestran síntomas, un uso excesivo del tiempo para determinar muestras y que estas las deben realizar personas capacitadas y con un alto conocimiento del tema.

El objetivo de este artículo es demostrar la eficiencia de una técnica que permita el control de la salud vegetal usando métodos ópticos rápidos y no destructivos [2], además, esta técnica ignora por completo las deficiencias ya antes mencionadas de otros tipos de técnicas. Se basa en controlar y conocer los cultivos mediante espectros de luz reflejada y transmitida en el rango visible y un poco sobre el espectro infrarrojo. Las muestras de la planta se obtuvieron de un invernadero donde se tiene un correcto control de la humedad y temperatura tanto del ambiente como de la tierra en la planta. Apoyándonos con el trabajo anterior [3] logramos a mejorar la metodología de mediciones lo que permitió aumentar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

## Teoría

### A. Espectro electromagnético

Hablando en términos simples y breves para describir el espectro electromagnético; El espectro de luz es como una tabla que agrupa todos los tipos de luz que existen, desde la que no podemos ver, hasta la que si podemos ver, estas diferentes luces, son en realidad ondas, como olas de mar, que transportan energía.

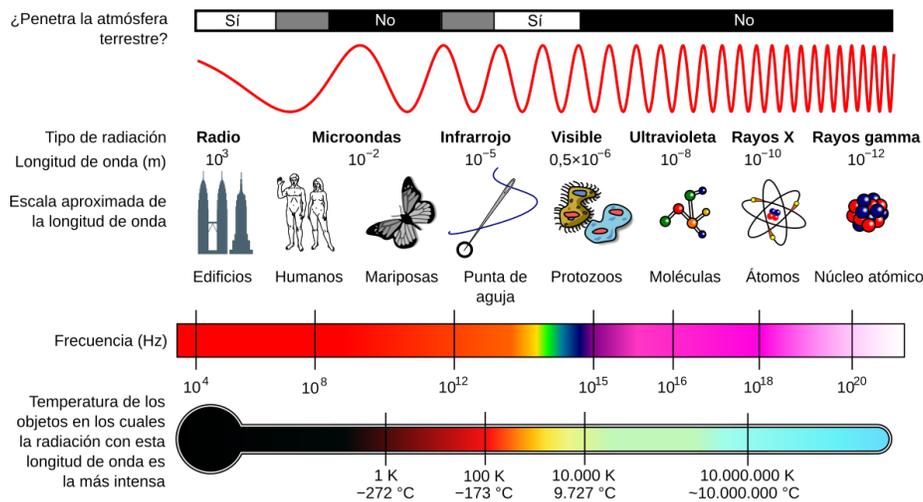


Figura 1. Espectro electromagnético, imagen tomada de [4]

Ahora bien, la energía de estas ondas es proporcional a la longitud de onda que tiene, esto significa que una onda de longitud larga presenta una energía baja, como ejemplo, a las ondas de radio, las microondas y las ondas del espectro infrarrojo que no se ven al ojo humano y contienen una energía débil. Ahora, para el caso de las ondas con una longitud de onda bastante pequeña, se tiene una energía bastante alta, tanto que empieza a dañar el tejido humano, comenzando desde la que es conocida como radiación ultravioleta, y sigue aumentando en energía hasta llegar a obtener los rayos gamma, estos últimos con una energía extremadamente alta y una longitud de onda demasiado pequeña ( $10^{-12}$  metros).

Tras esta breve introducción, los experimentos realizados para esto se enfocan en el espectro de luz visible, rozando el espectro de luz infrarroja, y es que, trabajando en estas partes del espectro electromagnético, es suficiente para cumplir con el objetivo deseado de obtener información de las muestras de la planta, ya que esta última, por su composición química (y dependiendo de la muestra tomada, claro está), absorbe ciertas longitudes de onda, transmite y refleja otras cuantas, que, mediante el espectro, podemos dictaminar irregularidades en su composición.

### B. Reflectancia y transmitancia en hojas

Si bien ya mencionamos que la luz es en parte absorbida, transmitida y reflejada por las hojas de fresa, este apartado lo usaremos para explicar cómo funciona esto y porque las hojas absorben ciertas longitudes de onda en base a su composición química.

### Corte transversal de la hoja

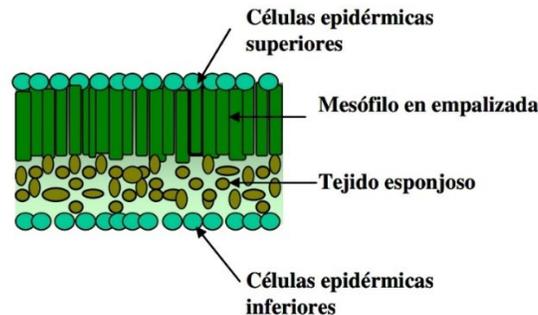


Figura 2. Representación esquemática de la anatomía de una hoja dicotiledónea. Imagen tomada de [3]

La radiación que llega a la superficie de una hoja puede ser reflejada en la capa más superficial (células epiteliales) o puede propagarse hacia su interior. Una vez dentro de la hoja, parte de la radiación es absorbida por los pigmentos presentes en ella, el resto de la radiación puede ser reflejada y refractada muchas veces en todas direcciones ya que una hoja es un sistema heterogéneo. Esto implica que algo de la energía dispersada emerge del material por la misma superficie por donde penetra como radiación difusa, es decir, se suma a la radiación reflejada por la capa superficial (reflectancia especular) la suma de estas dos contribuciones constituye la radiación total reflejada. Otra parte de la radiación dispersada emerge a través de la superficie de entrada, esta es la radiación difusa transmitida por la hoja.

De acuerdo con la ley de conservación de la energía, la suma de las fracciones de luz absorbida, reflejada y transmitida debe ser igual a uno. Representando en términos matemáticos; podemos expresar la fracción de luz absorbida como “ $L_A$ ”, la fracción de luz reflejada como “ $L_R$ ” y la fracción de luz transmitida como “ $L_T$ ”, dando la siguiente expresión:  $L_A + L_R + L_T = 1$

### C. Espectroscopia

La espectroscopía se basa en la teoría cuántica, que establece que los átomos y moléculas pueden absorber o emitir energía en forma de radiación electromagnética. Esta energía se corresponde con transiciones entre diferentes niveles de energía en los átomos o moléculas. Los diferentes tipos de espectroscopía se basan en diferentes regiones del espectro electromagnético (por ejemplo, ultravioleta, visible, infrarrojo) y en diferentes tipos de transiciones (electrónicas, vibracionales, rotacionales).

Conceptos Clave:

1. Espectro: Es una representación gráfica de la intensidad de la radiación absorbida o emitida por una sustancia en función de la longitud de onda o la frecuencia.
2. Longitud de onda ( $\lambda$ ): Es la distancia entre dos puntos consecutivos en una onda. Se mide en unidades de longitud, como nanómetros (nm) o micrómetros ( $\mu\text{m}$ ).
3. Frecuencia ( $\nu$ ): Es el número de ciclos de una onda que pasan por un punto en un segundo. Se mide en hertzios (Hz).
4. Energía (E): La energía de una radiación electromagnética está relacionada con su frecuencia mediante la ecuación de Planck:  $E=h\nu$ , donde h es la constante de Planck.
5. Transiciones electrónicas: Ocurren cuando los electrones en un átomo o molécula pasan de un nivel de energía a otro.
6. Transiciones vibracionales: Ocurren en moléculas debido a cambios en el estado vibracional de los enlaces químicos.

7. **Transiciones rotacionales:** Ocurren debido a cambios en el estado rotacional de las moléculas.

El funcionamiento de la espectroscopía puede variar según el tipo específico, pero generalmente sigue estos pasos básicos:

1. **Fuente de radiación:** Se utiliza una fuente que emite radiación electromagnética en una región específica del espectro (por ejemplo, una lámpara de tungsteno para espectroscopía visible o un láser de infrarrojo).
2. **Interacción con la muestra:** La radiación se dirige hacia la muestra. Dependiendo del tipo de espectroscopía, la muestra puede absorber, emitir o dispersar la radiación. La interacción depende de la estructura y composición de la muestra.
3. **Detector:** La radiación que ha interactuado con la muestra se dirige a un detector, que mide la intensidad de la radiación en función de la longitud de onda o frecuencia.
4. **Análisis de datos:** Los datos obtenidos del detector se analizan para obtener un espectro. Este espectro se interpreta para extraer información sobre la estructura, composición y propiedades de la muestra.

La espectroscopía es una técnica analítica que se utiliza para estudiar la interacción entre la radiación electromagnética y la materia. Gracias a esta interacción, es que nos puede proporcionar información valiosa sobre la estructura, composición y propiedades de las sustancias.

## Experimento

### A. Ambiente controlado

Con el fin de evitar el mayor número de discrepancias en nuestros datos, se monitoreo la planta de fresa desde un invernadero casero, donde obteníamos información como la humedad del suelo de la planta y la temperatura de este, así como la humedad y temperatura del ambiente. Esto nos lo brindaba el circuito gracias a los sensores implantados en este. Todo se logró con la ayuda de un circuito, representado en la imagen siguiente.

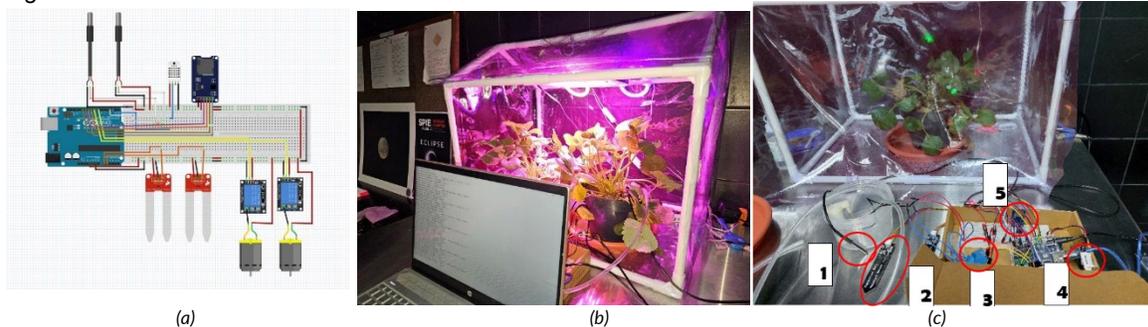


Figura 3 - Diagrama de las conexiones para ambiente controlado (a); Ambiente controlado, vista general (b); Descripción de las partes del circuito (c).

En la Fig. 3(a) se presenta el diagrama de conexiones para monitorear la temperatura y la humedad del invernadero casero mostrado en la Fig. 3(b.). La Fig. 3(c) muestra la planta de fresa y el circuito cuyos componentes son: 1 - sensor de temperatura de la planta; 2 - sensor de humedad de la tierra de las plantas; 3 - Relevadores para activar y desactivar las bombas; 4 - sensor de temperatura y humedad del ambiente; 5 - Módulo de memoria SD.

## B. Caracterización de las hojas

Se seleccionaron tres tipos diferentes de hojas de las plantas de fresa para los estudios espectroscópicos, Fig.4.



Figura 4. Hojas seleccionadas para el experimento.

Las hojas seleccionadas se prepararon adecuadamente, asegurando que cada hoja representaría su salud para obtener datos precisos y comparables, y se aplanaron para obtener mejores resultados en la medición espectroscópica. Para armar el arreglo experimental se utilizó la fuente de luz incoherente de banda espectral ancha (modelo SLS202) cubriendo los rangos visible (VIS) e infrarrojo (IR), el espectrómetro compacto cubriendo los rangos UV – VIS - NIR con la entrada de fibra óptica.

La transmitancia de las hojas se midió usando la configuración mostrada en la Fig.5(a), manteniendo las mismas condiciones experimentales para todas muestras. La reflectancia de las muestras se obtuvo en la configuración mostrada en la Fig. 5(b). Se realizaron múltiples mediciones diarias por cada miembro del equipo para obtener una variedad de resultados. Estos datos, en promedio, permiten la repetición del experimento en futuras investigaciones y aseguran la fiabilidad de los resultados.

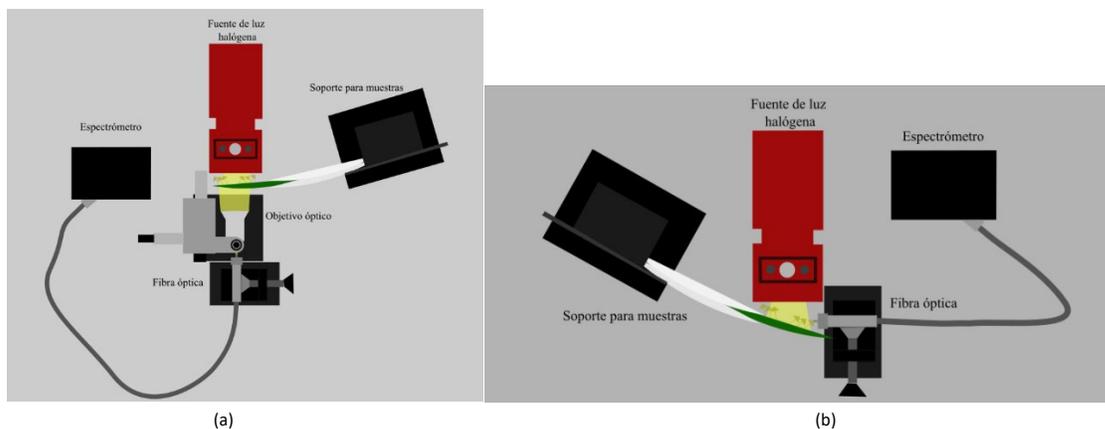


Figura 5 - Arreglo de fuente y fibra óptica para medición de transmitancia (a) y la reflectancia (b).

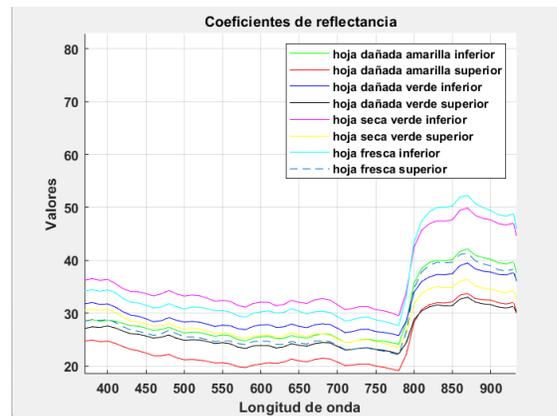


Figura 6 - Comparación de los coeficientes de reflectancia.

Los coeficientes espectrales de reflectancia calculados a partir de los espectros grabados se muestran en la Fig. 6. Se puede notar que el coeficiente de reflectancia depende tanto del estado de la hoja como del lado de incidencia de la luz. Este hecho verificado experimentalmente lo utilizaremos en las siguientes etapas del proyecto para identificación temprana del estado de las hojas cuando el malestar todavía se nota visualmente.

## Conclusión

Al finalizar este proyecto de verano científico, se entendió que la luz interactúa con la materia y cómo identificarlos, siendo más específicos, como cambia la materia orgánica (hojas de planta de fresa) con el tiempo y con insuficiencias de nutrientes y cómo medirlos de manera no invasiva para poder usar esta información en las siguientes etapas del proyecto.

Todo este proyecto se planteó y desarrolló para poder implementar estos procesos junto con la tecnología utilizada para optimizar el desempeño de cosechas en volúmenes grandes, disminuyendo el gasto de recursos para el mantenimiento y mejorando las condiciones de las plantas con un ambiente óptimo para su desarrollo y pudiendo detectar insuficiencias de nutrientes con los primeros signos, para evitar pérdidas efectivas.

## Bibliografías/Referencias

- [1] Cual fue el origen de la agricultura, <https://www.nationalgeographic.es/historia/2022/01/cual-fue-el-origen-de-la-agricultura>, consultado el 19 de julio del 2024
- [2] Cordon, G. B. 2009. Métodos ópticos no destructivos para monitoreo de salud vegetal. Tesis doctoral (Universidad de Buenos Aires)
- [3] Moreno, D. P., Vidal P. M., Cuevas P. C. Agrifotónica: Agricultura de precisión y fotónica como piedra angular en su desarrollo; Jóvenes en la ciencia. Volumen 16, 2022, 15 p., <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3779>
- [4] ChemWiki de UC Davis (Universidad de California en Davis), CC-BY-NC-SA 3.0, [http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical\\_Chemistry/Spectroscopy/Fundamentals/Electromagnetic\\_Radiation](http://chemwiki.ucdavis.edu/Physical_Chemistry/Spectroscopy/Fundamentals/Electromagnetic_Radiation)