

## Depósito de películas de melanina sobre ITO para desarrollar celdas fotovoltaicas

Itzel Lona Fonseca<sup>1</sup>, Edwin Darío Rodríguez Hernández<sup>2</sup>, Alberto Yair Ruvalcaba Acosta<sup>3</sup>, Bárbara González Rolón<sup>4</sup>

<sup>1</sup>División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato

i.lonafonseca@ugto.mx<sup>1</sup>

ed.rodriguezherandez@ugto.mx<sup>2</sup>

ay.ruvalcabaacosta@ugto.mx<sup>3</sup>

barbara@ugto.mx<sup>4</sup>

### Resumen

Se analizaron cristales de melanina extraída de té negro mediante espectroscopía infrarroja y ultravioleta-visible, obteniendo un espectro IR muy similar al de la melanina sintética, una absorbancia alta entre los 200-300nm y una alta transmitancia entre los 300-700 nm. Con dicha melanina se preparó una mezcla melanina-acetona con la que se elaboró una película delgada empleando un spin, depositando gotas de la mezcla sobre un sustrato de vidrio y se dejó secar. La película obtenida se analizó mediante elipsometría, efecto Hall y UV-vis. Mediante elipsometría se obtuvieron los índices ópticos  $n$  y  $k$ , los cuales fueron de 1.75 y de 0.15, respectivamente, y se determinó el espesor de película obtenida, el cual fue de 13437 nm. Los resultados del efecto Hall indicaron que es un semiconductor tipo  $n$  con un coeficiente de Hall de  $-7.5193 \times 10^4$ . En base a los resultados obtenidos se construyó una celda fotovoltaica de melanina con electrodos de cobre y aluminio, alcanzando un voltaje de 451.7 mV y una intensidad de 0.01mA al probarla bajo la luz solar.

**Palabras clave:** melanina; celda fotovoltaica; efecto fotovoltaico; película delgada; semiconductor.

### Abstract

Se analizaron cristales de melanina extraída de té negro mediante espectroscopía infrarroja y ultravioleta-visible, obteniendo un espectro IR muy similar al de la melanina sintética, una absorbancia alta entre los 200-300nm y una alta transmitancia entre los 300-700 nm. Con dicha melanina se preparó una mezcla melanina-acetona con la que se elaboró una película delgada empleando un spin, depositando gotas de la mezcla sobre un sustrato de vidrio y se dejó secar. La película obtenida se analizó mediante elipsometría, efecto Hall y UV-vis. Mediante elipsometría se obtuvieron los índices ópticos  $n$  y  $k$ , los cuales fueron de 1.75 y de 0.15, respectivamente, y se determinó el espesor de película obtenida, el cual fue de 13437 nm. Los resultados del efecto Hall indicaron que es un semiconductor tipo  $n$  con un coeficiente de Hall de  $-7.5193 \times 10^4$ . En base a los resultados obtenidos se construyó una celda fotovoltaica de melanina con electrodos de cobre y aluminio, alcanzando un voltaje de 451.7 V al probarla bajo la luz solar.

**Key words:** melanin; photovoltaic cell; photovoltaic effect; thin film; semiconductor.

### Introducción

La energía solar representa una fuente importante de energía renovable. A pesar de que actualmente se utiliza solamente una pequeña porción de la radiación solar, la energía producida es suficiente para cubrir el requerimiento energético. Existen dos tecnologías para aprovechar la energía solar, las térmicas, que convierten la energía en energía calorífica y las fotovoltaicas, que convierten la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. En un panel fotovoltaico, cuando la luz solar (la cual transporta energía en forma de fotones) incide sobre determinados tipos de materiales, bajo ciertas condiciones, genera una corriente eléctrica [1].

A pesar de que los paneles fotovoltaicos constituyen una fuente de energía limpia y renovable, su uso y su desarrollo se ve limitado por los materiales con los que se fabrican [1]. Esto se debe a que las celdas solares

convencionales se fabrican a base de silicio. El proceso de fabricación de las celdas es muy elevado y poco sostenible, motivo por el cual ha cobrado gran importancia la búsqueda de alternativas que permitan superar estas limitaciones [2].

Una alternativa son las celdas solares orgánicas, cuyo fundamento es el uso de polímeros con propiedades de semiconductores. Un polímero semiconductor es una macromolécula constituida por monómeros, que se caracterizan por ser altamente conjugados, presentando orbitales  $\pi$  dentro de su estructura, confiriéndole una alta densidad electrónica con propiedades electrónicas comparables a las de semiconductores inorgánicos [2].

En 1974, las investigaciones realizadas, McGinnes et al., los llevaron a postular que la melanina puede considerarse como un semiconductor orgánico, obteniéndose espectros de absorción similares a los de semiconductores orgánicos típicos. La melanina es un tipo de pigmento biológico que se encuentra en diversos organismos vivos. Existen diferentes tipos de melanina, entre los que se encuentra la eumelanina, pigmento nitrogenado color negro, y la feomelanina, pigmento sulfurado color amarillo-café. La eumelanina se deriva de la oxidación de la tirosina y necesita aislarse de sus componentes proteicos mediante métodos químicos para obtenerla en su estado puro, pero también puede ser obtenida de manera sintética [3].

La principal función de la melanina es actuar como una capa protectora ante eventos fototóxicos, absorbiendo los rayos UV y la luz visible, provenientes de la radiación solar, para convertirlos en calor. El amplio espectro de absorción y sus propiedades de semiconductor convierten a este pigmento en un material de interés tecnológico para ser empleado en dispositivos fotovoltaicos y electrónicos [4].

En esta investigación se analizó melanina extraída de té negro mediante IR y UV vis, para elaborar una película delgada sobre un sustrato de vidrio. Posteriormente, para conocer las propiedades ópticas y electrónicas de la melanina, se realizaron a la película delgada pruebas de elipsometría y efecto Hall, con el objetivo de elaborar una celda fotovoltaica y probar su viabilidad para ser empleada como material fotovoltaico.

## Metodología

Para esta investigación se utilizó melanina extraída de té negro, la cual se extrajo en Laboratorio de Ciencia de Materiales de la Universidad de Guanajuato. La extracción se llevó a cabo preparando una mezcla de té negro y  $NH_4OH$  para alcanzar un pH de 10. La mezcla obtenida fue incubada y centrifugada para extraer el pigmento sin impurezas. En seguida, se preparó una solución 2N de  $HCl$  con un pH de 2.5. La solución ácida pasó por un proceso de incubación y centrifugación, del cual se obtuvo extracto crudo de melanina, el cual se purificó mediante hidrólisis ácida, tratamiento con solventes orgánicos y una serie de centrifugaciones. Finalmente se removió el amoníaco de la melanina purificada para obtener melanina pura [5].



Figura 1. Melanina extraída de té negro.

Los cristales de melanina obtenidos fueron analizados en el microscopio electrónico (véase figura 2).

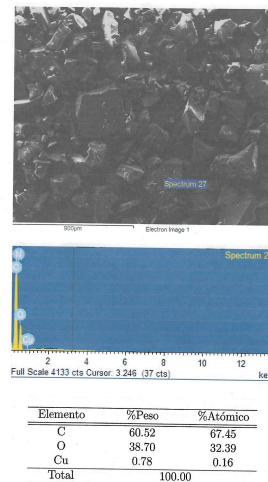


Figura 2. Micrografía a X de melanina de té negro.

Para poder conocer la composición de los cristales se realizó la prueba de espectroscopia infrarroja (IR) usando el equipo Thermo Scientific Nicolet iS50 FT-IR. El espectro IR obtenido se comparó con el de la melanina sintética reportado en la literatura. Además, se realizó la prueba de espectroscopía ultravioleta visible empleando un equipo PerkinElmer Lambda 650 Spectrometer UV-VIS, obteniendo los espectros de absorbancia y transmitancia.

La película de melanina se realizó fragmentaron los cristales de melanina en un ultrasonido (Ultrasonido Fisher Scientific SOLID STATE/ULTRASONIC FS-28). En un tubo de ensaye se preparó una mezcla acetona-melanina y se colocó dentro del equipo de ultrasonido durante sesiones de 10 minutos hasta conseguir una mezcla con un tamaño de partícula menor. Posteriormente, se extrajo la suspensión obtenida y se colocó en un tubo de ensaye para separarla de los cristales más grandes.

El proceso de depósito de la mezcla de melanina-acetona para elaborar películas se realizó mediante goteo dentro del spin (Spin Laurell technologies corporation WS-400B-6NPP/LITE) manteniendo una velocidad de 200 rpm. Se depositó una gota sobre un sustrato de vidrio con ayuda de una jeringa de 0.5 ml y se hizo girar hasta que se secó la acetona. Este procedimiento se repitió hasta obtener una película oscura, de apariencia uniforme, con un diámetro de 7 mm, la cual se observa en la figura 3.

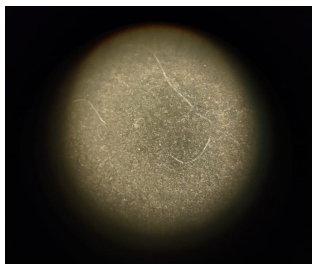


Figura 3. Película de melanina sobre sustrato de vidrio a 40X

La película de melanina obtenida se introdujo en un desecador Dry keeper (sanplatec), para remover el exceso de humedad.

Para conocer, el espesor de la película de melanina, la transmitancia y los índices ópticos  $n$  y  $k$ , se utilizó un elipsómetro PHE-101 ELLIPSOMETER. Se empleó un láser incidente con longitud de onda de 632.8 nm, la

prueba se llevó a cabo con un ángulo de  $80^\circ$ . Con esta prueba se pudo obtener también el valor del espesor de la película de melanina.

Finalmente, para conocer qué tipo de semiconductor que es el material, la movilidad de los portadores de carga, la resistividad y la conductividad, la película de melanina se sometió a la prueba de efecto Hall en el equipo Hall Ecopia HMS5000/AMP55T, empleando contactos óhmicos de plata (figura 4).

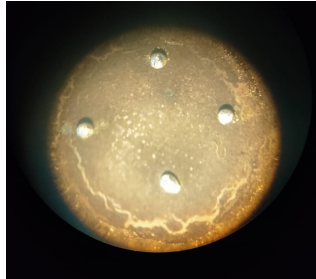


Figura 4. Película de melanina con contactos óhmicos de plata a 40X

Conociendo el tipo de semiconductor que es el material, se diseñó y construyó una celda fotovoltaica para poder evaluar el desempeño de la melanina como material fotovoltaico.

Para elaborar la celda se utilizó la película de melanina y dos electrodos de distintos materiales (aluminio y cobre) los cuales entraron en contacto con la película [6]. Se utilizó un circuito con una resistencia como se muestra en la figura 5.

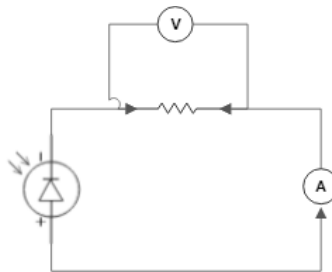
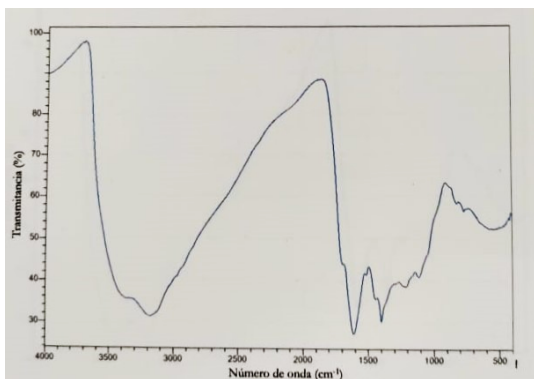


Figura 5. Diagrama eléctrico de la prueba de la celda fotovoltaica de melanina.

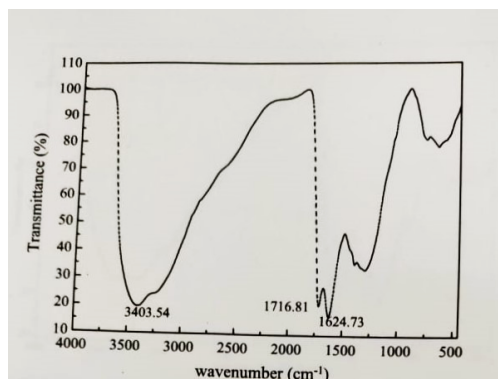
## Resultados

### Espectroscopía infrarroja (IR)

El espectro IR obtenido para los cristales de melanina extraída de té negro fue comparable al espectro IR de la melanina sintética, como se observa en la figura 6.



a)

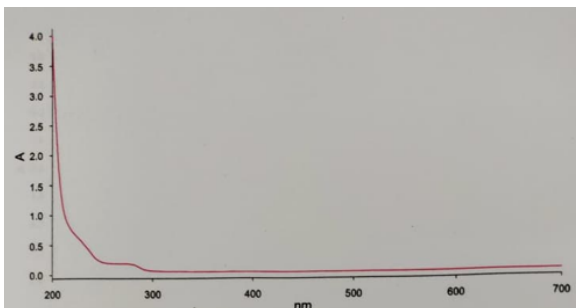


b)

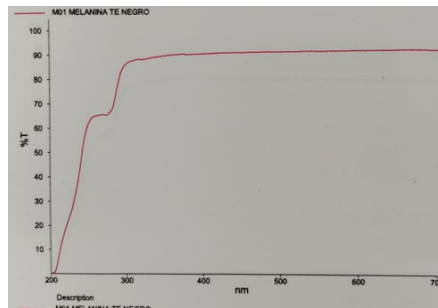
Figura 6. a) Espectro IR de melanina sintética., b) espectro IR de melanina obtenida de té negro

### Espectroscopía ultravioleta-visible (UV-vis)

Usando el PerkinElmer Lambda 650 Spectrometer UV-VIS, se pudo obtener un espectro de absorbancia y transmitancia para la melanina de té negro (figura 7). Se observa que la melanina analizada tiene mayor absorbancia entre los 200 y los 300 nm y mayor transmitancia entre los 300 y 700 nm.



b)



a)

Figura 7. Espectro en UV-vis de melanina extraída de té negro a) absorbancia, b) transmitancia.

### Elipsometría

Del análisis elipsométrico se obtuvieron valores para los índices de refracción y extinción, los cuales fueron de 1.75 y 0.15, respectivamente, como se muestra en la figura 8. Además, del espesor de la película, para el cual se obtuvo un valor de 13437 nm.

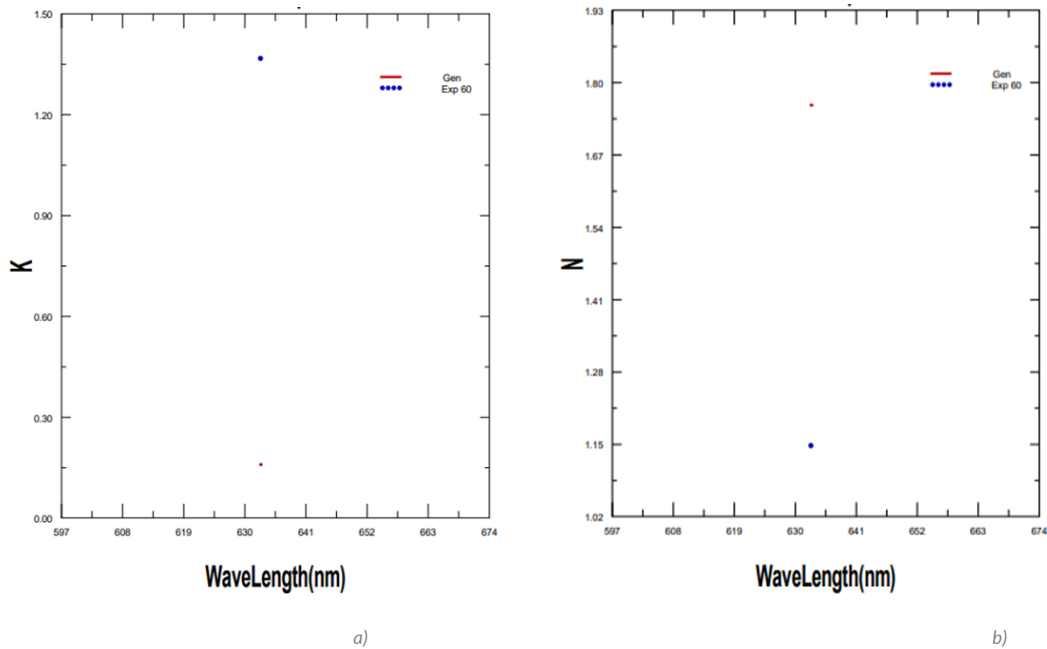


Figura 8. Índices ópticos obtenidos mediante elipsometría empleando un láser de 632.8 nm, a) índice de absorción, b) índice de extinción.

## Efecto Hall

Mediante la prueba de efecto Hall en el equipo Hall Ecopia HMS5000/AMP55T se coeficiente de Hall de  $-7.5193 \times 10^4$ , lo cual indica su carácter semiconductor tipo n. Para realizar la prueba se colocaron contactos óhmicos de plata sobre la película de melanina antes de introducirla en el equipo. Esta prueba también arrojó datos sobre el comportamiento de la resistencia de la melanina a distintas intensidades de corriente (figura 9. a) y voltaje (figura 9. b).

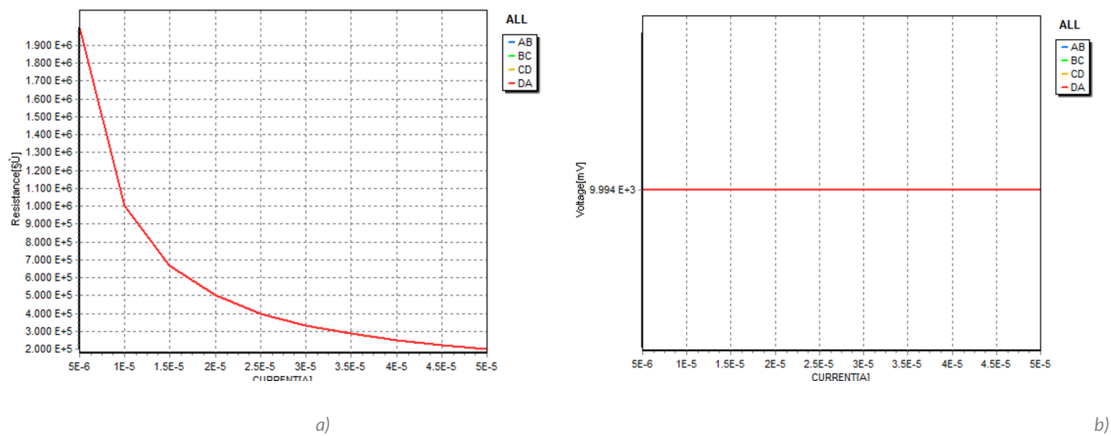


Figura 9. Efecto de la variación de corriente sobre a) la resistencia y b) el voltaje de la película de melanina.

## Celda fotovoltaica

Se construyó una celda fotovoltaica empleando una película delgada de melanina de forma circular con un

diámetro de 1.3 cm sobre un sustrato de vidrio de 1.5x1.5 cm. Como electrodos se utilizaron dos cintas metálicas de 0.4x2.0 cm, una de aluminio y una de cobre. Ambas películas se colocaron sobre la película de melanina dejando una distancia de 0.5 cm entre ellas. Sobre las cintas se colocó un cubreobjeto de vidrio de 2.0x 5.0 cm y se fijaron todos los elementos con cinta adhesiva (figura 10).

Se midió el voltaje de la celda fotovoltaica de melanina exponiéndose a la luz solar, obteniendo un valor máximo de voltaje de 451.7 mV y una intensidad de corriente máxima de 0,01mA (figura 11).



Figura 10. Celda fotovoltaica de melanina con electrodos de cobre y aluminio.

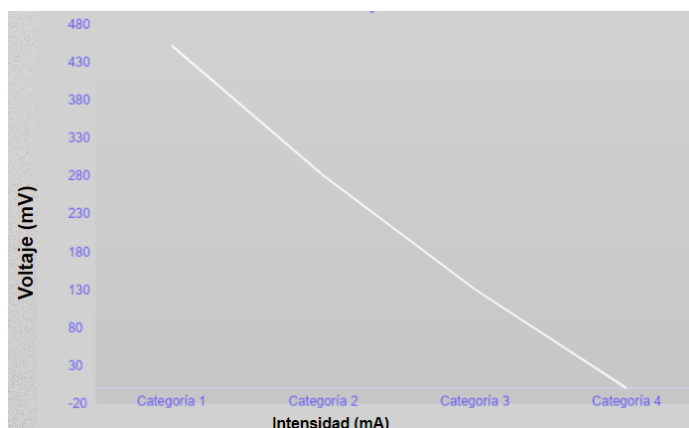


Figura 11. Voltaje e intensidad de corriente de la celda fotovoltaica de melanina.

## Conclusión

Se logró elaborar una película de melanina de apariencia uniforme. En cuanto a los resultados obtenidos de la caracterización de la película de melanina, se obtuvieron valores altos de absorbancia en el infrarrojo cercano y se comprobó su carácter de material semiconductor. El voltaje y la corriente obtenida en la celda fotovoltaica de la melanina fue bajo, sin embargo, no se experimentó modificando la estructura ni los electrodos de la celda.

## Referencias

- O. G. Cucaita-Hurtado y I. O. Cabeza, Tendencias en ingeniería de materiales para la fabricación de células solares fotovoltaicas, Ingeniería Solidaria, vol. 13, n.o 23, 151-162, Sept. 2017.



- Chamorro, W., Urrego, S., (2012) Celdas solares orgánicas, una perspectiva hacia el futuro, Elementos, vol 2, no. 1, 140-149.
- Capozzi, V., Perna, G., Carmone, P., Gallone, A., Lastella, M., Mezzenga, E., Cicero, R. (2006). Optical and photoelectronic properties of melanin thin solid films, 511-512, 362–366.
- Ü. Akın, İ. Çelik, Ç. Avcı, N. Tuğluoğlu, Ö.F. Yüksel, (2019) Some optical properties of melanin thick film. Materials Today: Proceedings, 1972-1977.
- Villanueva Tovar, A., González Rolón, B., Rangel Hernández, V.H., (2015) Desarrollo de celda solar en película delgada de sulfuro de cadmio amorfo y cadmio amorfo y compuestos orgánicos.
- Aramis Azuri Sánchez Juárez. (2013) Fabricación y caracterización de películas delgadas orgánicas para su aplicación en dispositivos optoelectrónicos.