

Extracción y actividad óptica de pigmentos obtenidos a partir de residuos de fresa para su uso como Sensibilizantes Naturales en celdas solares tipo DSSC

María Cristina Castañón-Bautista ^{1,*}, Susana Navarro-García ¹, América Xiomara Jiménez-Pérez ², Rodrigo Vivar-Ocampo ¹, Alicia Ravelo-García ¹, José Francisco Armendáriz-López ¹

¹ Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, UABC, Tijuana, Baja California, México

² Despacho Arquitectónico, La Paz, Baja California, México.

* Autor de correspondencia: crstinacastanon@uabc.edu.mx; Tel.: 664 979 75 91

Energías Renovables (Energía Solar)

Recibido: 13 de junio de 2025

Aceptado: 7 de agosto de 2025

Publicado: 8 de diciembre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i3.486>

Resumen: Ante la creciente demanda energética global y los desafíos ambientales derivados del uso de combustibles fósiles, las celdas solares sensibilizadas por colorantes (DSSC) surgen como una alternativa sustentable. Este trabajo evalúa el potencial de pigmentos naturales obtenidos de residuos agroindustriales de fresa como sensibilizadores en celdas DSSC, comparándolos con extractos de arándano, debido a su contenido común de antocianinas. Se empleó un proceso de deshidratación, maceración y extracción con metanol, seguido de análisis UV-Vis para caracterizar la eficiencia de absorción de luz del extracto. Los resultados mostraron que el metanol es un solvente más eficiente que el ácido cítrico en la extracción de antocianinas, evidenciado por una mayor intensidad de color. Aunque los resultados específicos del desempeño fotovoltaico están en proceso, el análisis espectrofotométrico sugiere que los residuos de fresa tienen un buen potencial como fuente de colorantes para DSSC, mostrando una absorción significativa en el rango de 350 a 430 nm (4a y 4b), que coincide con las longitudes de onda efectivas para la excitación de colorantes en celdas solares DSSC. Este estudio busca proponer futuras investigaciones orientadas a mejorar la estabilidad del colorante, evaluar su eficiencia en condiciones reales y explorar otros residuos de frutas. Se concluye que los residuos de fresa representan una alternativa viable y sustentable frente al arándano, lo cual promueve la economía circular y el aprovechamiento de biomasa en el sector energético.

Palabras clave: celdas solares DSSC, antocianinas, pigmentos naturales, residuos agroindustriales, energía renovable

Extraction and optical activity of pigments obtained from strawberry waste for use as Natural Sensitizers in solar cells DSSC

Abstract: In response to the growing global energy demand and the environmental challenges posed by fossil fuels, dye-sensitized solar cells (DSSCs) are emerging as a sustainable alternative. This study assesses the potential of natural pigments extracted from strawberry agro-industrial waste as sensitizers in DSSCs, compared to blueberry extracts, due to their shared anthocyanin content. A process involving dehydration, maceration, and methanol-based extraction was used, followed by UV-Vis analysis to evaluate light absorption efficiency. Results indicated that methanol was a more effective solvent than citric acid for anthocyanin extraction, as evidenced by stronger color intensity. Although specific photovoltaic performance results are in progress, spectrophotometric analysis suggests that strawberry waste has good potential as a source of dyes for DSSCs, showing significant absorption in the range of 350 to 430 nm (4a and 4b), which coincides with the effective wavelengths for dye excitation in DSSC solar cells. Future research is proposed to enhance pigment stability, test real-world efficiency, and explore other fruit-based waste. The study concludes that strawberry waste presents a viable and sustainable alternative to blueberries, promoting circular economy and biomass utilization in the energy sector.

Keywords: DSSC solar cells, anthocyanins, natural pigments, agro-industrial waste, renewable energy

Introducción

El crecimiento acelerado de la población mundial demanda un uso y consumo de energía, que en la actualidad ha sido cubierta principalmente por combustibles fósiles, sin embargo, su impacto negativo al medio ambiente muestra que no se debe depender de esta fuente de energía y para mitigar estos efectos adversos es pertinente diversificar a través de energías renovables como la eólica, la biomasa, hidráulica y la fotovoltaica por mencionar algunas. Como respuesta a este desafío, el uso de la energía solar se destaca por su abundancia, accesibilidad y bajo impacto ambiental (Kalair, 2020). Sin embargo, las tecnologías fotovoltaicas convencionales, basadas principalmente en silicio, presentan

desventajas significativas, como altos costos de fabricación y la alta pureza de su materia prima (Pooja Prakash y B. Janarthanasu, 2023).

Ante estas limitaciones, han surgido nuevas propuestas tecnológicas, como las celdas solares sensibilizadas con pigmentos (DSSC), cuyos inicios en 1991 hacen referencia a Michael Grätzel y Brian O'Regan (Harrison *et al.*, 2024). En las celdas solares DSSC pueden emplearse colorantes obtenidos de forma sintética o de origen natural y como sensibilizadores que, al absorber la luz solar, liberan electrones hacia un material semiconductor, generando corriente eléctrica, por lo que la elección del pigmento es un componente esencial de las celdas solares DSSC (Barraza-Jiménez, 2024), así como tener una banda de absorción entre los 400 a 600 nm (Harrison *et al.*, 2024).

Los pigmentos de origen natural pueden obtenerse de plantas, animales, microorganismos y fuentes minerales (Alegbe y Uthman, 2024), en su selección deben considerarse características como la capacidad de absorción en el espectro visible e infrarrojo, de unirse al semiconductor a través del anclaje con grupos hidroxilo, la transferencia de electrones (Mohamed *et al.*, 2021), la capacidad de regeneración (Pooja Prakash y B. Janarthanasu, 2023), su eficiencia y vida útil. De acuerdo con Shennan *et al.* (2025) los colorantes obtenidos de plantas presentan un rango de absorción en el espectro visible entre los 400 y 700 nm y pueden estar presentes pigmentos como carotenoides, taninos, betalainas, clorofila y flavonoides (Srivastava P. *et al.*, 2024), estos últimos se clasifican principalmente en flavanonas, flavonas, isoflavonas, flavonoles, catequinas y antocianinas (Lyu *et al.*, 2022).

En el caso de las antocianinas, son compuestos polares y solubles en agua (Glennise *et al.*, 2022) y están presentes en bayas, algunas flores, en raíces y corteza de los árboles donde han mostrado propiedades como sensibilizantes (Samina Qmar y Sule Erten Ela, 2024), pertenecen al grupo de los compuestos fenólicos y son los que les dan el color rojo, morado y azul (Brera *et al.*, 2023) a las plantas y algunos autores refieren que el color dependerá del pH (P.H. S. Miranda *et al.*, 2021). Asimismo, tienen la capacidad de absorber la radiación solar en la región UV-Visible (Korir B. *et al.*, 2024). Ejemplo de ello son los pigmentos obtenidos a partir de fresa (*Fragaria sp*) y arándano (*Vaccinium myrtillus*) (Gomes *et al.* 2022, Ghann *et al.* 2017). Al respecto, Senthil *et al.* (2014) reportan que los espectros de absorción UV-Vis para extractos de fresa están entre los 420 nm y en el caso del arándano (Cerdeira *et al.* 2023) las bandas de absorción entre los 520 y 565 nm.

Para la extracción de los colorantes, Ujjwal *et al.* (2024) señalan que pueden utilizarse diversos métodos como la Extracción Soxhlet (ES), Extracción Asistida por Ultrasonido (EAU), Extracción con Fluidos Supercríticos (EFS), Extracción Asistida por Microondas (EAM), Extracción Asistida por Enzimas (EAE), destilación al vapor, prensado, extracción sólido-líquido y maceración/infusión. En este último método, la muestra se macera en un durante un tiempo prolongado utilizando disolventes, los mas comunes son el agua y los disolventes orgánicos como el metanol y etanol (P.H. S. Miranda *et al.*, 2021).

Noguerio *et al.* (2024) refieren que en 2022 la producción mundial de fresas fue de 9.6 millones de toneladas y México se encuentra entre los principales productores. El estado de Baja California es una región con producción y procesamiento de este fruto (SAGARPA, 2022) y, por tanto, hay una generación de residuos orgánicos (biomasa) procedente de este sector agroindustrial en la región. La valorización de subproductos de la industria agroalimentaria es uno de los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas para el 2030, debido a la generación de grandes cantidades de residuos orgánicos, reportando más del 50% de la fruta fresca (Noguerio *et al.* 2024).

El propósito de este trabajo es obtener un pigmento de fresa deshidratada, utilizando un deshidratador solar directo y la técnica de maceración utilizando dos disolventes y la medición de su actividad óptica mediante un espectrofotómetro UV-Vis. Los resultados obtenidos se compararán con datos de referencia extraídos de arándano, dado que ambos frutos comparten la misma molécula activa y son productos agrícolas que se producen en la región. Esta comparación busca identificar cuál de los dos residuos vegetales puede considerarse viable como un pigmento para el uso posterior en celdas solares DSSC en términos de eficiencia energética, sostenibilidad y viabilidad de implementación. Los resultados obtenidos permitirán determinar si los residuos de fresa representan una alternativa competitiva frente a los datos de referencia de arándano y promover así el aprovechamiento de biomasa y la reducción del impacto ambiental de la industria agroalimentaria de la zona.

Materiales y Métodos

Maceración

Se seleccionaron 10 fresas (*Fragaria sp.*) frescas con un peso total de 171.29 g obtenido en la balanza analítica (CGOLDENWALL). Se cortaron en láminas delgadas y se colocaron en una charola para ser deshidratadas durante 6 horas a una temperatura constante de 50 °C en un deshidratador solar directo. Como resultado, se obtuvieron 8.42 g de fresa deshidratada que se molieron en un mortero hasta obtener un polvo fino (Figura 1).

Selección de disolvente

Del polvo obtenido, y como se muestra en la Figura 1, se tomaron dos muestras: 3.16 g se depositaron en un frasco de vidrio con tapa (número 7) y 5.33 g en otro frasco similar (número 8). A la muestra contenida en el frasco 7 se le añadieron 20 ml de metanol (disolvente polar soluble en agua), mientras que a la del frasco 8 se le incorporaron 30 ml de una solución de ácido cítrico (ácido orgánico soluble en agua). Ambos frascos se dejaron reposar durante cinco días a temperatura ambiente, protegidos de la luz, con el fin de favorecer la extracción de los pigmentos.



Figura 1. Maceración de muestra de fresa deshidratada

Después del periodo de reposo, se observó una mayor intensidad de color en el extracto obtenido con metanol en comparación con el ácido cítrico. La mezcla se filtró utilizando papel filtro Whatman de 90 mm y se expuso a la luz de una lámpara ultravioleta de 395nm de longitud de onda (Figura 2), observándose como resultado, un cambio en la tonalidad de rojo a verde.

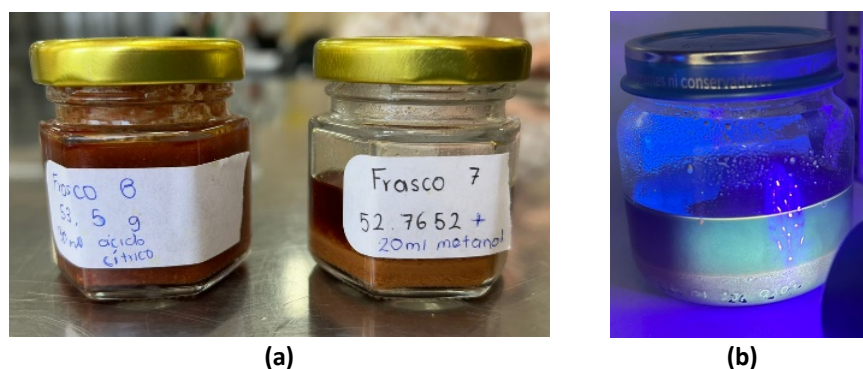


Figura 2. (a) Muestras con disolvente, (b) resultados de prueba con luz ultravioleta

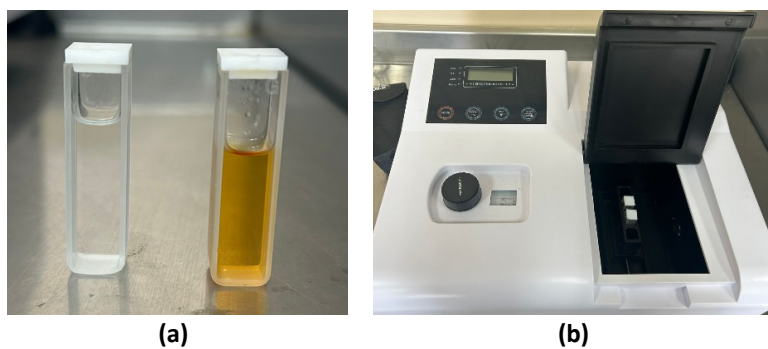


Figura 3. (a) Probetas con muestra de fresa con disolvente y (b) medición en espectrofotómetro

Prueba UV-Vis

El extracto obtenido fue analizado utilizando un espectrofotómetro UV-Vis modelo 721. Para la medición, se emplearon dos probetas: una con metanol como blanco y otra con la mezcla de metanol y extracto (Figura 3a). Ambas fueron llenadas con la ayuda de una micropipeta marca ANGGREK (rango de 100 a 1000 μL) y posteriormente introducidas en el espectrofotómetro para realizar la lectura correspondiente (Figura 3b).

Resultados y Discusión

El proceso de extracción de pigmentos a partir de residuos de fresa permitió obtener una muestra rica en antocianinas, donde se observó mayor intensidad de color al utilizar metanol como disolvente en comparación con el ácido cítrico. Por una parte, se observa que en el proceso de deshidratación se pierde alrededor del 95% en peso, correspondiente al agua retirada por evaporación, lo que supone un gasto energético importante, este gasto se evitó utilizando un deshidratador solar. La exposición a luz ultravioleta generó una tonalidad verde característica, indicando la presencia de compuestos fotoactivos, asimismo al estar dentro del espectro visible, la luz emitida se puede aprovechar en celdas fotovoltaicas. La espectrofotometría UV-Vis reveló un pico de absorción máximo aproximadamente a 430 nm (Figura 4), similar al reportado (Senthil *et al.*, 2014) y con las longitudes de onda efectivas para la excitación de colorantes en celdas solares DSSC (Harrison *et al.*, 2024).

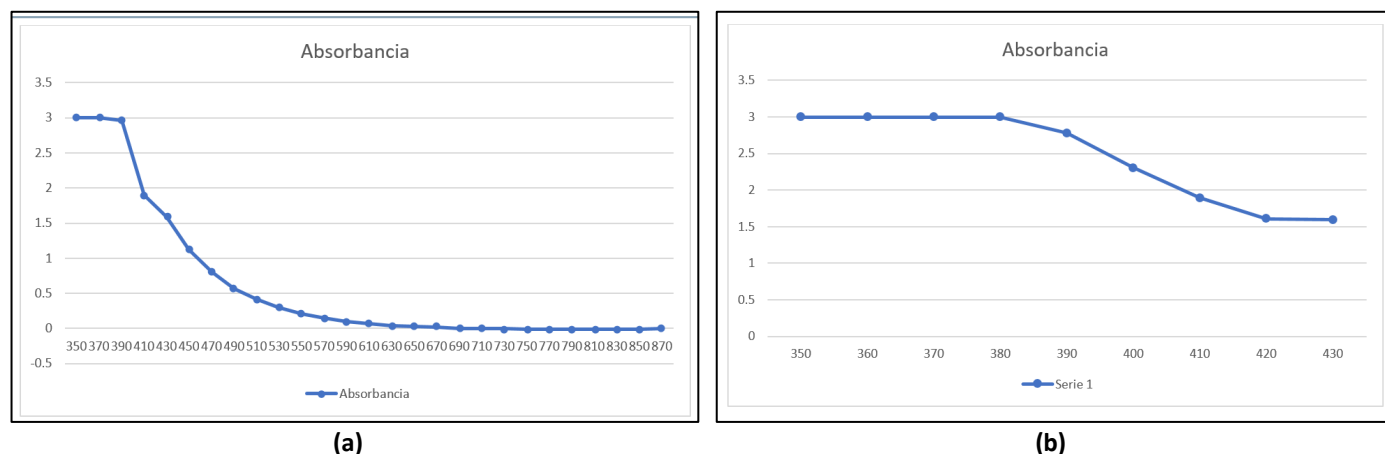


Figura 4. Curvas de absorción en: (a) Intervalo de 350-870 nm, (b) intervalo de 350-430nm

Conclusiones

Este estudio demuestra el potencial de los residuos agroindustriales de fresa como fuente viable de pigmentos naturales para su uso en celdas solares sensibilizadas por colorantes (DSSC) en diferentes etapas e integrando diferentes tecnologías sustentables. En la etapa de extracción se destaca el uso de ecotecnologías como el evaporador solar que reduce el costo energético y consecuentemente la huella de carbono. La extracción mediante metanol resultó más eficiente que el ácido cítrico para obtener antocianinas, lo cual se confirmó por la intensidad del color y el comportamiento en el análisis UV-Vis. Esto muestra una mayor eficiencia en la extracción del colorante con solventes de carácter no polar, en este caso el metanol es un solvente que se obtiene principalmente de un proceso industrial; mientras que la extracción utilizando ácido cítrico muestra que ésta se puede realizar con un solvente no polar de origen vegetal. Lo que sugiere que una mezcla de solventes podría optimizar la extracción, a la vez que el uso de un solvente obtenido de manera natural como lo es el ácido cítrico reduce la dependencia de solventes industriales. Los colorantes obtenidos son fotoactivos y su desempeño óptico respalda la hipótesis de que a partir de residuos pueden obtenerse sensibilizadores efectivos, debido a que su actividad se encuentra en el intervalo de luz visible aprovechable en celdas fotovoltaicas.

La comparación con extractos de arándano, utilizados como referencia, sugiere que los residuos de fresa representan una alternativa sustentable, económica y localmente accesible, con beneficios adicionales en términos de reducción de desechos y aprovechamiento de biomasa. Estos hallazgos refuerzan la importancia de explorar fuentes de origen natural no convencionales en la fabricación de dispositivos para la generación de energía a partir del sol, mediante las celdas solares DSSC, sumando a la transición hacia tecnologías energéticas más limpias y asequibles.

En conclusión, el uso de pigmentos naturales derivados de residuos agroindustriales no solo es técnicamente prometedor, sino también ambientalmente favorable, abriendo nuevas oportunidades para el desarrollo de soluciones energéticas sostenibles desde una perspectiva de economía circular.

Agradecimientos y financiamiento: Agradecemos al Cuerpo Académico de Ingeniería y Tecnología en Energías Renovables de la UABC y la oportunidad de presentar estos resultados preliminares que forman parte del Proyecto “Evaluación de Sensibilizantes Orgánicos para la Producción de Celdas Fotovoltaicas a partir de residuos de la Industria Agroalimentaria de Baja California.

Bibliografía

- Alegbe, E. O., & Olatunde, U. T. (2024). A review of history, properties, classification, applications and challenges of natural and synthetic dyes. *Heliyon*, 10, e33646. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33646>
- Anaya González, G. S., & Rodríguez Romero, J. (2024). Tres generaciones de celdas solares: Alternativas para un mundo más sustentable. *Tendencias en Energías Renovables (TERYS)*, 3(1), 65–69. <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.195>
- Barraza-Jiménez, D., Manuel Lerma Mancinas, D., Iván Flores-Hidalgo, H., Armando Olvera Corral, R., Iliana Torres-Herrera, S., & Alberto Flores-Hidalgo, M. (2024). Perspectives of organic dyes cosensitization and its utilization in TiO₂ nanoclusters for photocatalysis applications. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.113395>
- Ghann, W., Kang, H., Jeque, T., Yadav, S., Chavez-Gil, T., Nesbitt, F., & Uddin, J. (2017). Fabrication, optimization and characterization of natural dye sensitized solar cell. *Scientific Reports*, 7, 41470. <https://doi.org/10.1038/srep41470>
- Gomes, A. R., Costa, L. A. T., Silva, M. P. A., Tomé, N. S. R., Cestarolli, D. T., & Guerra, E. M. (2022). Preliminary investigation on application of VO₂, polyaniline, and ethanolic extracts of different fruits as components for DSSCs. *International Journal of Electrochemical Science*, 12, 1–12. <https://doi.org/10.20964/2022.12.56>
- Harrison, O. E., Lethole, N. L., & Mukumba, P. (2024). Luminescent materials for dye-sensitized solar cells: Advances and directions review. *Applied Sciences*, 14, 9202. <https://doi.org/10.3390/app14209202>
- Kalair, A., Abas, N., Saleem, M. S., Raza Kalair, A., & Khan, N. (2020). Role of energy storage systems in energy transition from fossil fuels to renewables. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*. <https://doi.org/10.1002/est2.135>
- Korir, B. K., Kibet, S. K., & Ngari, M. P. A. (2024). A review on the current status of dye-sensitized solar cells: Toward sustainable energy. *Energy Science & Engineering*, 12(8), 3188–3226. <https://doi.org/10.1002/ese3.1815>
- Lyu, X., Lyu, Y., Yu, H., Chen, W., Ye, L., & Yang, R. (2022). Biotechnological advances for improving natural pigment production: A state-of-art review. *Bioresources and Bioprocessing*, 9, 8. <https://doi.org/10.1186/s40643-022-00497-4>
- Mejica, G. F. C., Unpaprom, Y., Balakrishnan, D., Dussadee, N., Buochareon, S., & Ramaraj, R. (2022). Anthocyanin pigment-based dye-sensitized solar cells with improved pH-dependent photovoltaic properties. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 51, 101971. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.101971>
- Miranda, P. H. S., Martins, G. A., Carvalho dos Santos, A., Bastos de Freitas, B. C., de Barros-Vilas Boas, E. V., & Damiani, C. (2021). A scientific approach to extraction methods and stability of pigments from Amazonian fruits. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 335–345. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.047>
- Mohamed, Y., Bouziani, A., Ocaik, C., Seferoğlu, Z., & Sillanpää, M. (2021). Organic/metal-organic photosensitizers for dye-sensitized solar cells (DSSC): Recent developments, new trends, and future perceptions. *Dyes and Pigments*, 192, 109227. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2021.109227>
- Montagni, T., Rodríguez Chialanza, M., & Cerda, M. F. (2023). Blueberries as a source of energy: Physical chemistry characterization of their anthocyanins as dye-sensitized solar cells' sensitizers. *Solar*, 3, 283–297. <https://doi.org/10.3390/solar3020017>
- Nabi, B. G., Mukhtar, K., Ahmed, W., Manzoor, M. F., Nawaz Ranjha, M. M. A., Kieliszek, M., Bhat, Z. F., & Aadil, R. M. (2023). Natural pigments: Anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as colorants in food products. *Food Bioscience*, 52, 102403. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102403>
- Nogueiro Estevinho, B., & Bastos, Y. R. F. (2024). Microencapsulation of extracts of strawberry (*Fragaria vesca*) by-products by spray-drying using individual and binary/ternary blends of biopolymers. *Molecules*, 29, 4528. <https://doi.org/10.3390/molecules29194528>
- Pooja, P., & Janarthanan, B. (2023). Review on the progress of light harvesting natural pigments as DSSC sensitizers with high potency. *Inorganic Chemistry Communications*, 152, 110638. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.110638>
- Qmar, S., & Erten Ela, S. (2024). Dye-sensitized solar cells (DSSC): Principles, materials and working mechanism. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 74, 101871. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2024.101871>
- Sanchez, O. L. (2020). Fabricación y caracterización de celdas solares de TiO₂ sensibilizadas con colorantes orgánicos obtenidos de *Dactylopius coccus* Costa (grana cochinilla) y Jamaica. *Instituto de Ciencias, Centro de Investigaciones en Dispositivos Semiconductores, BUAP*. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/fb39b5ae-2bf0-4643-a4c7-0ba1033d053c/content>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2022). Encabeza cultivo de fresa, las siembras en la zona costa de Baja California. <https://www.gob.mx/agricultura/bajacalifornia/es/articulos/encabeza-cultivo-de-fresa-las-siembras-en-la-zona-costa-de-baja-california?idiom=e>
- Senthil, T. S., Muthukumarasamy, N., & Kang, M. (2014). Zn nanorods based dye sensitized solar cells sensitized using natural dyes extracted from beetroot, rose and strawberry. *Bulletin of the Korean Chemical Society*, 35(4), 1050–1056. <https://doi.org/10.5012/bkcs.2014.35.4.1050>
- Shengnan, L., Xiaocai, H., Qingxin, X., Yí'na, L., & De, F. (2025). Research progress on dyes for n-type dye-sensitized solar cells. *Materials Science and Engineering B*, 314, 118052. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2025.118052>
- Srivastava, P., Tiwari, A., Sharma, S., & Srivastav, N. (2024). Comparative study of natural dyes extracted from dark red and yellow *Frangipani* flowers (*Plumeria rubra* L.) as DSSC sensitizer. *Optik – International Journal for Light and Electron Optics*, 317, 172055. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2024.172055>
- Ujjwal, M., Prajapat, K., Dhonde, M., Sahu, K., & Shirage, P. M. (2024). Natural dyes for dye-sensitized solar cells (DSSCs): An overview of extraction, characterization and performance. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 37, 101111. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2024.101111>