

Experiencia con el aprendizaje basado en proyectos en la enseñanza de la espectroscopia con grupos interdisciplinarios

Julio David González-Balladares 

Universidad de Ingeniería y Tecnología. Lima. Perú. julio.gonzalesb@ciplima.org.pe

Evelyn Toque-Huamán 

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima. Perú. pcinetoq@upc.edu.pe

[Recibido: 7 marzo 2023. Revisado: 10 agosto 2023. Aceptado: 29 octubre 2023]

Resumen: La enseñanza de la espectroscopia en la iniciación científica universitaria presenta un desafío para los profesores de ciencia, debido a la necesidad de equipos analíticos específicos. Por esta razón, este trabajo propone el diseño de tres prototipos de bajo costo para ser desarrollados por grupos interdisciplinarios conformados por estudiantes universitarios de cuarto ciclo, aplicando el aprendizaje basado en proyectos como metodología educativa para solucionar un problema de adulteración de alimentos. Con este fin, los estudiantes deben identificar un aceite de oliva extra virgen de un aceite vegetal económico empleando los principios de la espectroscopia en sus proyectos.

Palabras clave: Enseñanza universitaria; espectrofotómetro; EVOO; grupo interdisciplinario; PBL.

Experience with project-based learning in teaching spectroscopy with interdisciplinary groups

Abstract: The teaching of spectroscopy in university scientific initiation presents a challenge for science teachers, due to the need for specific analytical equipment. For this reason, this work proposes the design of three low-cost prototypes to be developed by interdisciplinary groups made up of fourth-cycle university students, applying project-based learning as an educational methodology to solve a problem of food adulteration. For this purpose, the students they must identify an extra virgin olive oil from a cheap vegetable oil using the principles of spectroscopy in their projects.

Keywords: University education; spectrophotometer; EVOO; interdisciplinary group; PBL.

Para citar este artículo: González-Balladares, J. D. y Toque-Huamán, E. (2024) Experiencia con el aprendizaje basado en proyectos en la enseñanza de la espectroscopia con grupos interdisciplinarios. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 21(1), 1203. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i1.1203

Introducción

Cambiar la educación universitaria tradicional requiere de nuevos modelos de enseñanza, estrategias enfocadas en el aprendizaje activo y herramientas didácticas que permitan al estudiante ser responsable de su propio aprendizaje con la finalidad de adquirir competencias que le servirán en el campo laboral. Por esta razón, es necesario emplear modelos educativos innovadores centrados en los estudiantes que les permitan adquirir conocimientos y competencias profesionales (Toledo y Sánchez, 2018). Modelos como el aprendizaje basado en proyectos (PBL: Project Based Learning, por su denominación en inglés) y estrategias educativas, como la educación interdisciplinaria.

La educación interdisciplinaria es una estrategia aplicada en la educación superior basada en el constructivismo como una teoría de aprendizaje que permite la interacción entre grupos de estudiantes de diversas carreras (Corbacho, 2018). Mientras el PBL es un

modelo educativo que brinda una serie de instrucciones que permiten a los estudiantes realizar una investigación profunda al integrar la teoría con la práctica. El PBL tiene por objetivo aplicar los conocimientos, y habilidades de los estudiantes para encontrar una solución viable a un problema mediante el desarrollo de un proyecto a largo plazo que culmine con la presentación de un producto final (Thomas et al., 1999; Toledo y Sánchez, 2018). Por esta razón, el proyecto debe generar interés y resolver un problema actual que requiera de distintas áreas del conocimiento para su solución.

El problema de adulteración en los alimentos, como el aceite de oliva extra virgen (EVOO), es muy común y afecta a los consumidores en todo el mundo. Estos aceites vegetales son ampliamente utilizados en productos farmacéuticos y alimenticios por poseer un alto valor nutricional y calórico para la dieta humana (Rohman, 2016). Estos aceites comestibles contienen ácido oleico, esteroides, fosfolípidos, vitaminas liposolubles (vitamina A, D, E y K), azúcares, y pigmentos que le dan un tinte amarillo-verdoso con un aroma afrutado distintivo (Mínguez-Mosquera et al., 1990; Braniša et al., 2014; Rohman, 2016).

La coloración es una de las características del aceite que depende de los pigmentos en su composición, como la clorofila, la feofitina que le dan un color verde, o la luteína y los carotenos, que le dan un color amarillo. La coloración también está relacionado con la calidad del aceite, debido que es un indicativo de los tratamientos de transformación a los que han sido sometidos para su elaboración (Moyano et al., 2010; Giuffrida et al., 2007). Por ello los aceites de cocina económicos tienen menos pigmentos de clorofila y luteína en comparación a los EVOO, lo que permite su identificación por medio de la espectroscopia.

La espectroscopia es un método que hace referencia a la observación, al análisis espectral, y se basa en la interacción entre la energía radiante con la materia (González y Montaña, 2015). Esto permite identificar, y cuantificar a la materia por medio de la absorción cuando se mide la radiación absorbida, o por medio de la emisión cuando miden la radiación emitida. La espectrometría ultravioleta-visible (UV-VIS) es una técnica analítica que mide la cantidad de luz absorbida en función de la longitud de onda utilizada. La relación entre la intensidad de luz incidente (I_0) y la intensidad de la luz transmitida (I_i) proporciona la transmitancia (T), mostrada en la ecuación (1), y la absorbancia (A), mostrada en la ecuación (2) (Grasse et al., 2015; Poh et al., 2021). Así mismo, en mezclas suficientemente diluidas se cumple que la absorbancia es linealmente proporcional a la concentración de la especie absorbente de acuerdo con la ley de Beer-Lambert mostrada en la ecuación (3), donde ϵ es la absorptividad molar ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), b es la longitud atravesada por la luz en el medio (cm), y C es la concentración del absorbente en ese medio (mol L^{-1}) (Swinehart, 1962; Cid y González-Fernández, 2020; Poh et al., 2021):

$$T = \frac{I_i}{I_0} = 10^{-\epsilon b C} \quad (1)$$

$$A = -\log T = -\log \left(\frac{I_i}{I_0} \right) \quad (2)$$

$$A = \epsilon b C = -\log T \quad (3)$$

Un espectrofotómetro es un dispositivo que se utiliza para el análisis cuantitativo de una sustancia química, biológica, orgánica o inorgánica, por medio de la cantidad de luz que es absorbida por el compuesto presente en una solución. Los precios de los

espectrofotómetros dependen de las aplicaciones en el laboratorio, y la complejidad en su diseño (Thomas y Burgess, 2017). Pero los espectrofotómetros de rango de luz visible de bajo costo utilizados en la educación son simples, usualmente utilizan un diodo emisor de luz (LED), un sensor de luz, y requieren de un monocromador para separar la luz. Mientras, los colorímetros requieren de varios LEDs de colores para obtener el rango de espectro deseado (O'Toole y Diamond, 2008).

La espectroscopia en las aulas

Los proyectos que impulsan e introducen a los estudiantes a la construcción de instrumentos analíticos los ayudan a entender conceptos complejos de física, y química (Kovarik et al., 2020). El análisis espectroscópico es enseñado por algunas carreras universitarias como parte del contenido de los cursos de ciencias (Cid y González-Fernández, 2020). Sin embargo se realizan de manera abstracta por no contar con equipos. Por este motivo algunos investigadores han desarrollado espectroscopios de bajo costo con fines educativos. Así, Kassakian y Wedlock (1968) desarrollaron un espectroscopio de 20 USD para describir las propiedades ópticas de los semiconductores; Wakabayashi y Hamada (2006) facilitaron la construcción de un espectrofotómetro con el uso de un disco versátil digital (DVD) en el monocromador; Scheeline (2010) acercó a los estudiantes universitarios a la espectrometría usando smartphones; Albert et al. (2012) desarrollaron un espectro de absorción cuantitativa usando piezas de legos y papel holográfico en el monocromador; Braniša et al. (2014), por medio de la espectroscopia, determinaron pigmentos en aceites para introducir a los estudiantes en la química; mientras que Yingprayoon y Tanachutiwat (2020) desarrollaron un espectrómetro básico usando microcontroladores de bajo costo.

Descripción de la experiencia

Las actividades educativas propuestas en este estudio fueron realizadas en el ciclo 2022 de manera presencial para el curso universitario de proyectos interdisciplinarios, curso requisito para proyectos de tesis con una duración de dos horas semanales llevado a cabo con grupos interdisciplinarios conformados por estudiantes de cuarto ciclo de las carreras de bioingeniería, ciencias de la computación, ingeniería industrial, e ingeniería mecatrónica. Estos grupos, conformados por cuatro estudiantes de distintas carreras, fueron seleccionados durante la etapa de planificación del proyecto con el objetivo de aplicar sus conocimientos y habilidades para encontrar una solución viable a un problema de adulteración de alimentos. Para el desarrollo de este trabajo se aplicó el modelo PBL con el trabajo interdisciplinario como estrategia educativa y el diseño de proceso del doble diamante con el diseño de experimento (DOE) como herramientas para lograr el aprendizaje. El proyecto tuvo una duración de cuatro meses (dieciséis semanas) dividido en dos etapas con una duración de ocho semanas. Durante la primera etapa se investiga y se analiza sobre el problema hasta la definición de la pregunta generadora (semana 8). En la segunda etapa, se diseña la solución al problema de adulteración de aceite y se evalúan posibles soluciones empleando la espectroscopia (semana 16). Para el desarrollo de sus proyectos, los estudiantes cuentan con el apoyo y supervisión de su profesor.

El rol del profesor durante la ejecución de los proyectos es el de mentor y asesor. Se encarga de la asignación de actividades semanales, el monitoreo del progreso de los proyectos, brinda información para el desarrollo y el diseños de los prototipos. Se encarga también del proceso de evaluación del aprendizaje continuo y es moderador en las

exposiciones programadas cada dos semanas. La evaluación es continua para cada una de las dos etapas del proyecto, con un valor de 50 % de la nota total. Cada etapa está conformada por cuatro exposiciones y un examen escrito. Para la presentación final, se evalúan las competencias relacionadas a las habilidades de comunicación, y pensamiento crítico bajo el criterio mostrado en la tabla 1. Finalmente, los proyectos que cumplieron con el objetivo de este trabajo se inscribieron en una feria científica de fin de ciclo y presentaron su trabajo ante un jurado evaluador en la categoría de iniciación científica.

Tabla 1. Aspectos a valorarse en la presentación del proyecto en la etapa final (semana 16).

Habilidades	Niveles de logro	Puntaje
1. Comunicación efectiva	Excelente	4
	Adecuado	3
2. Pensamiento crítico	Mínimo	2
	Insuficiente	1

Para el presente manuscrito se seleccionaron tres propuestas para solucionar un problema de adulteración de aceite de oliva extra virgen mediante el diseño de un equipo analítico. Los datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles en Mendeley Data. doi:10.17632/t7j3sxkmv7.1

Experiencia 1: luminiscencia inducida por láser

Durante la realización de las experiencias los estudiantes investigaron sobre la composición química de los EVOO hallando que poseen propiedades luminiscentes, y fluorescentes que los diferencian de los aceites económicos. Estos compuestos fluorescente son principalmente pigmentos (clorofilas, carotenos), fenoles, y vitamina E (tocoferol) (Kyriakidis y Skarkalis, 2000). Gracias a estos compuestos, se puede identificar un EVOO con un láser por medio de la fotoluminiscencia, fluorescencia, fosforescencia y Raman, debido que la clorofila al estar frente de un haz de láser verde (532 nm) cambia el color del haz aun color rojizo (680 nm) lo que permite distinguir un EVOO de un aceite económico. Para ello se diseñó un equipo (véase la figura 1) con un fotodiodo (módulo OPT-101) con alta responsabilidad a la longitud de onda de 650 nm y sensibilidad en parte del infrarrojo (NIR), con su configuración pre establecido de resistencia interna de 1 M Ω en su amplificador operacional (AMP-OP), lo que facilitó la construcción y permitió introducir a los estudiantes en conceptos de química orgánica, física relacionada a la longitud de onda en el espectro, y conocimientos en electrónica básica.

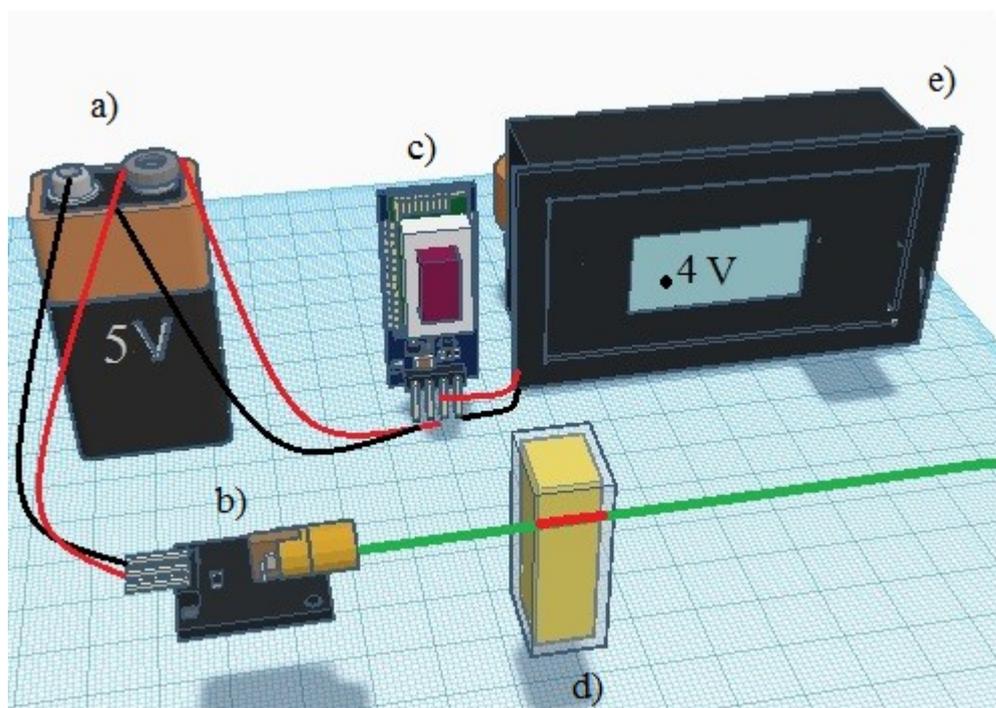


Figura 1. Configuración del equipo analítico: a) fuente de alimentación; b) láser verde; c) sensor OPT-101; d) cubeta de plástico para espectroscopia; e) voltímetro o multítester.

Los estudiantes presentaron como conjetura que el aceite con mayor concentración de clorofila tendría un valor mayor de voltaje en el sensor OPT-101 que un aceite económico. Esto fue confirmado posteriormente con los valores experimentales obtenidos con el voltímetro de 0.35 V para el EVOO, y 0.18 V para el aceite económico (véase la figura 2). Este diseño confirma que los aceites pueden ser identificados mediante la espectroscopia por medio de la luminiscencia.

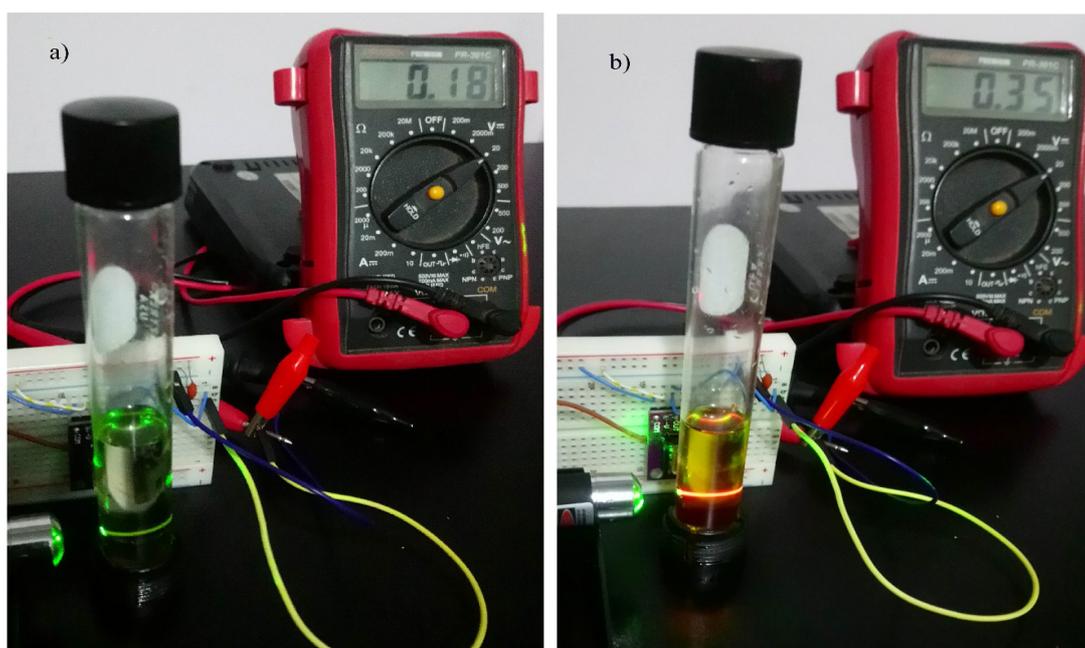


Figura 2. Configuración del equipo analítico para la prueba de luminiscencia con un láser de color verde: a) aceite económico presenta un haz de color amarillo; b) aceite de oliva extra virgen presenta un haz de color rojo.

Experiencia 2: Espectrometría con LEDs

Los espectrómetros de bajo costo como los colorímetros han sido empleados para introducir a los estudiantes a la espectroscopia. Estos equipos usan como fuente de luz LEDs de color rojo, verde, azul (RGB), y resistencias que varían con la luz (LDR). Por medio del método fotovoltaico se remplaza los valores de intensidad por los de voltaje de salida (V_{OUT}) en las ecuaciones (1) y (2). Sin embargo, para algunas muestras las variaciones de voltaje obtenidas por el sensor son muy bajas por lo que es necesario emplear un AMP-OP en estos espectrofotómetros. Bui y Hauser (2014) evaluaron la absorbancia en dispositivos analíticos basados en LEDs sustituyendo la fuente de luz comercial (lámpara halógena), y demostraron su utilidad para la investigación académica en análisis químicos. Para el diseño de este equipo se decidió emplear una placa de desarrollo Arduino como fuente de energía ($V_{IN} \approx 5\text{ V}$), un LDR de tipo GL5528 como R_1 variable hasta $20\text{ k}\Omega$ en presencia de luz, una resistencia de $1\text{ k}\Omega$ como R_2 conectadas formando un divisor de tensión para obtener V_{OUT} según la ecuación (4) y para registrar los voltajes en un archivo txt se usó un script de Python, Como parte del proyecto se consideró un voltímetro para visualizar los valores de V_{OUT} en el aula (véase la figura 3):

$$V_{OUT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{IN} \quad (4)$$

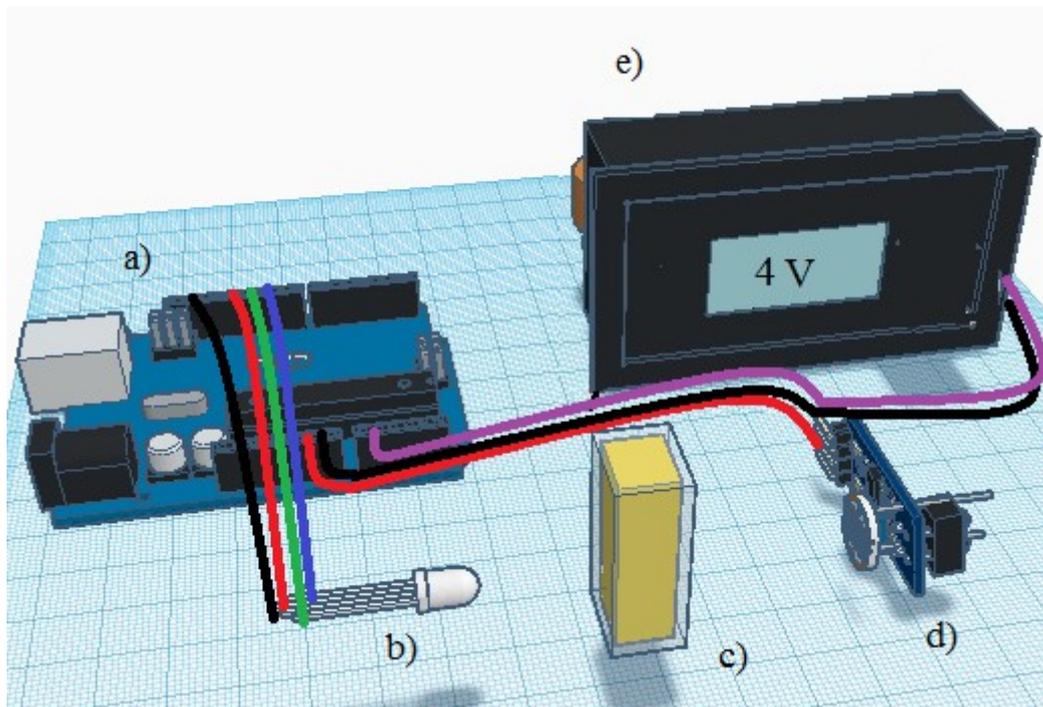


Figura 3. Configuración del equipo analítico: a) placa de desarrollo Arduino; b) LED RGB con resistencias de $220\ \Omega$; c) cubeta de plástico para espectroscopia; d) LDR con R_2 formando un divisor de tensión; e) voltímetro o multímetro opcional.

Sanjaya et al. (2018) utilizando su espectrofotómetro por el método máquina de vectores de soporte (SVM) demostraron que se pueden apreciar gráficamente diferencias entre distintos aceites al ser expuestos a un determinado color. Esto fue confirmado experimentalmente en la figura 4, en donde se observó la diferencia de V_{OUT} entre el aceite

económico, y el EVOO en presencia de distintas longitudes de ondas generadas por el LED RGB.

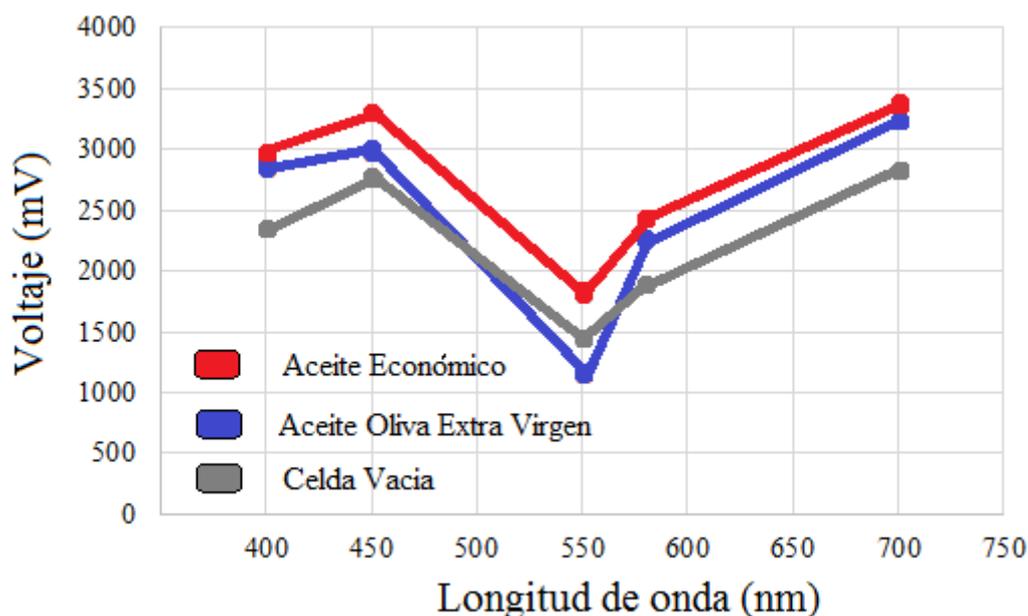


Figura 4. Voltajes (V_{out}) obtenido por el LDR con diferentes colores del LED RGB al comparar el aceite de oliva extra virgen con un aceite económico.

Al finalizar el proyecto los estudiantes aplicaron los conceptos de espectrometría en el diseño de su equipo. Para hallar T por el método fotovoltáico se compararon ambos aceites empleando la ecuación (1) considerando a los aceites con I_i , y para la celda vacía con I_0 . Ejemplo de los resultados obtenidos son mostrados en la figura 5 en unidades de transmitancia (U.T), donde se aprecian valores menores de T en el EVOO debido a la presencia de mayor cantidad de pigmentos.

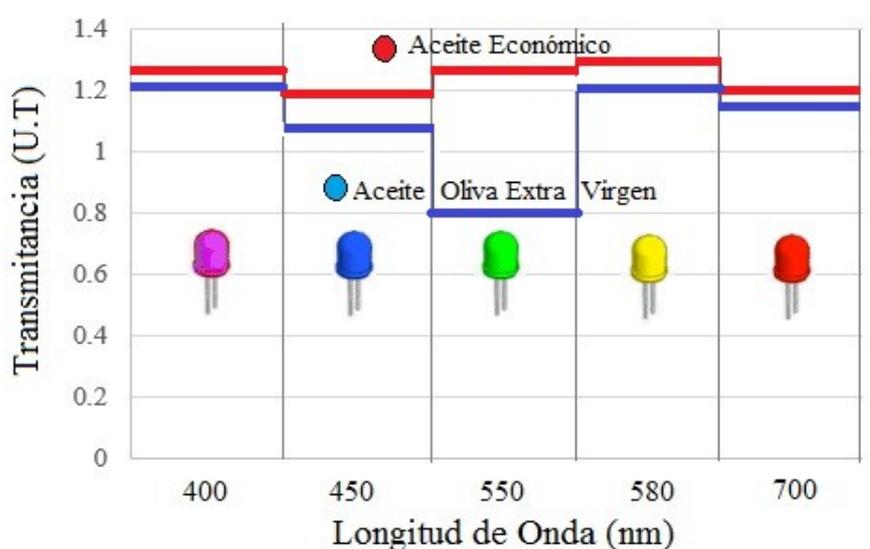


Figura 5. Transmitancias obtenidas con diferentes colores del LED RGB al comparar el aceite de oliva extra virgen con un aceite económico.

Experiencia 3: Espectros con un DVD-espectrofotómetro

Un problema de la enseñanza de la espectrometría es el alto costo en los componentes, y la complejidad en los diseños en los equipos. Por lo que se requieren de equipos de bajo costo hechos con materiales fáciles de adquirir por los estudiantes, como el uso de un DVD como rejilla de difracción (Wakabayashi y Hamada, 2006), o el uso de una cámara web en reemplazo de un costoso sensor óptico (Montoya et al., 2013) y software libres para el procesamiento de los datos. Con esta información los estudiantes desarrollaron el DVD-espectrofotómetro mostrado en la figura 6.

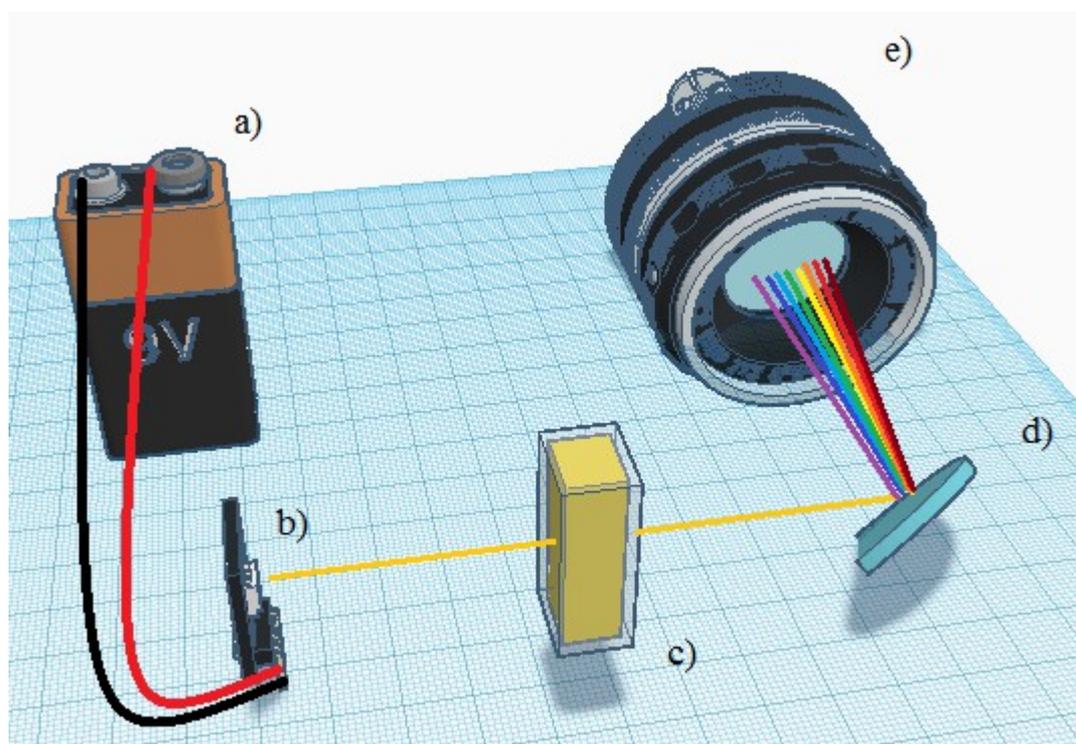


Figura 6. Configuración del equipo analítico: a) fuente de alimentación; b) módulo LED blanco; c) cubeta de plástico para espectroscopia; d) fragmento de DVD a 27°; e) cámara web.

Previo al ensayo con muestras de aceites se calibro el equipo con una bombilla fluorescente compacta (CFL) utilizando el software Spectral Workbench de PublicLab, y para evaluar el experimento se utilizó el software Theremino-Spectrometer-V-3. Luego se procedió a realizar por triplicado lecturas a la celda vacía, a la celda con aceite económico, y a la celda con el EVOO, obteniendo el registro espectral mostrado en la figura 7. Donde se observa que el EVOO antes de los 530 nm presenta valores menores de intensidad al compáralo con la celda vacía (zona coloreada) esto se debe porque este absorbe luz, y presenta valores mayores de intensidad después de los 530 nm debido que el EVOO presenta luminiscencia posterior a esta longitud de onda lo que concuerda con las experiencias 1 y 2. Además se comprobó que el equipo gráficamente puede distinguir entre los aceites estudiados.

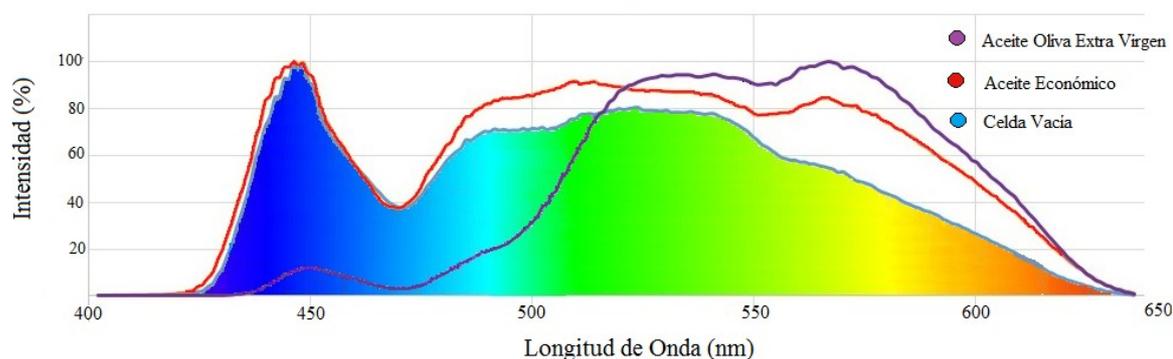


Figura 7. Comparación espectral entre el aceite económico y el EVOO obtenidas por el DVD-espectrofotómetro.

La coloración es un atributo importante en los alimentos por lo que este tipo de experimentos introducen a los estudiantes a la ciencia. Para la clorofila se presenta absorción a 430 y 664 nm, los carotenoides a 424, 448, la luteína a 476 nm, y para el caroteno a 454 y 480 nm (Moyano et al., 2010). Estos pigmentos se encuentran dentro del rango de absorción de luz establecido en la figura 7. Para hallar A por el método fotovoltaico se compararon ambos aceites empleando la ecuaciones (1) y (2), considerando a los aceites con I_i , y para la celda vacía con I_0 . Los resultados obtenidos son mostrados en la figura 8 en unidades de absorbancia (U.A). Donde se aprecia para el rango de 430-520 nm valores mayores de A para el EVOO debido que tiene mayor presencia de pigmentos en comparación con el aceite económico. Confirmando los resultados obtenidos por la experiencias 1 y 2, demostrando que los aceites pueden ser identificados por medio de la espectroscopia.

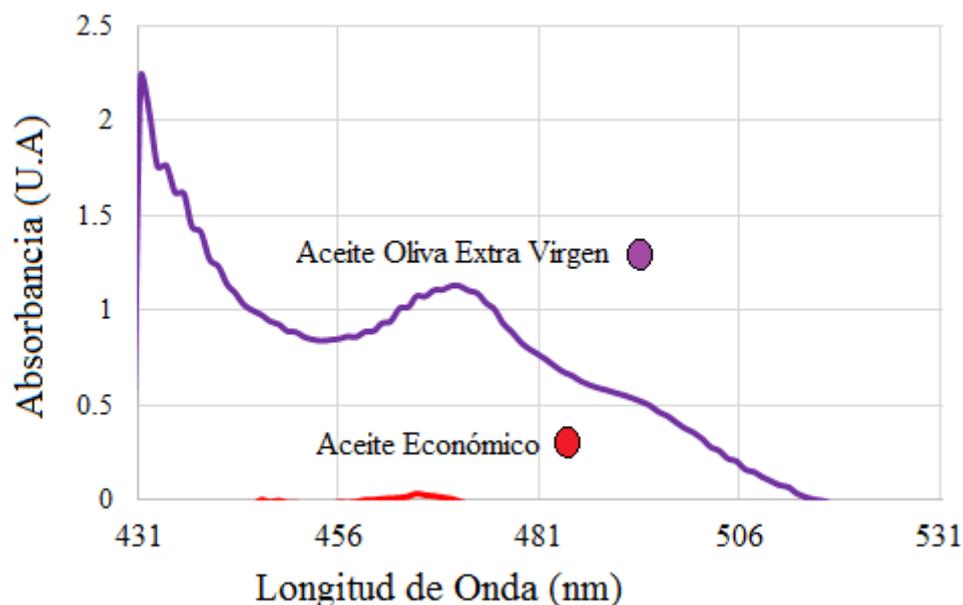


Figura 8. Comparación de la absorbancia en el rango 430-530 entre el aceite económico y el EVOO obtenida por el DVD-espectrofotómetro.

Reflexión final del trabajo

Durante el desarrollo de la experiencia el método PBL permitió realizar la evaluación, y retroalimentación constante por parte del docente, las continuas exposiciones permitían realizar un control, y buen seguimiento de las metas establecidas por los estudiantes en sus

cronogramas. El trabajo multidisciplinario permitió integrar los conocimientos entre los estudiantes de distintas carreras, reforzar la comunicación, y la tolerancia en el aula. Al finalizar el proyecto los estudiantes demostraron trabajo en equipo, e interés los que les permitió adquirir conocimientos, y competencias profesionales propuestas en el curso. Las dificultades encontradas durante en el desarrollo de las actividades fueron las siguientes. En la experiencia 3, debido al retiro en línea del software libre SpectralWorkbench, las pruebas se tuvieron que realizar posteriormente con el software Theremino-Spectrometer-V-3 para descargar los espectros. Mientras que en la experiencia 1, debido a la escasez del sensor OPT-101 en el mercado las pruebas se tuvieron que suspender hasta la adquisición de este componente electrónico. Durante la experiencia 2, el diseño propuesto era complejo debido que el LDR usado inicialmente necesitaba un AMP-OP, por lo que fue reemplazado por un LDR tipo GL5528 para simplificar el diseño. Finalmente como propuesta de mejora se plantea un aumento en el tiempo de una hora durante las sesiones de clases para poder realizar la parte práctica en el aula, y tener una mejor supervisión en los avances. Respecto a la actitud durante el desarrollo del proyecto, los estudiantes mostraron disposición a la metodología PBL y satisfacción durante el desarrollo de las actividades debido que lograron los objetivos planteados. Por lo que esta metodología de aprendizaje puede ser repetida en los siguientes cursos de proyectos y tesis. Esta metodología es una buena alternativa para la enseñanza, debido a que el trabajo multidisciplinario con la metodología BPL se complementan, logrando que los estudiantes solucionen un problema de actualidad.

Conclusión

El modelo del aprendizaje basado en proyectos se complementa con la educación interdisciplinaria en la educación superior al permitir a los estudiantes ser responsable de su propio aprendizaje, genera interés en los estudiantes al abordar un problema actual, fortalece el trabajo en equipo, enriquece con nuevos conocimientos, y permite analizar un problema desde distintas áreas del conocimiento. Al finalizar de las actividades los estudiantes demostraron sus conocimientos física, química, y electrónica al desarrollar sus equipos analíticos basados en los principios de espectrometría con distintos enfoques.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado y financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), y la Universidad de Ingeniería y Tecnología-UTEC.

Referencias

- Albert, D. R., Todt, M. A., y Davis, H. F. (2012). A low-cost quantitative absorption spectrophotometer. *Journal of Chemical Education*, 89(11), 1432–1435. <https://doi.org/10.1021/ed200829d>
- Boskou, D. (2009). *Culinary applications of olive oil-minor constituents and cooking. In olive oil-minor constituents and health*, 1.st ed., editorial., CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420059946>
- Braniša, J., Jenisová Z., y Jomová, K. (2014). Pigment profile of olive oils determined by school measurement system labquest and spectrometer. *Journal of Technology and Information Education*, 6(2), 48-57. <https://doi.org/10.5507/jtie.2014.017>

- Bui, D.A., y Hauser, P.C. (2014). Analytical devices based on light-emitting diodes: A review of the state-of-the-art. *Analytica Chimica Acta*, 853, 46-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2014.09.044>
- Cid, R., y González-Fernández, D. (2020). Una aproximación a la espectrometría en educación secundaria. *Anales de Química*, 116(1). 25-29. <https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/1309>
- Corbacho, A. M. (2018). El aprendizaje interdisciplinario, intensivo e integrado como herramienta para el desarrollo de conocimientos, habilidades y aptitudes en estudiantes de grado. *INTERdisciplina*, 5(13), 63-85. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2017.13.62384>
- Giuffrida, D., Salvo, F., Salvo, A., Pera, L., y Dugo, G. (2007). Pigments composition in monovarietal virgin olive oils from various sicilian olive varieties. *Food Chemistry*, 101, 833-837. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.030>
- González, M. A., y Montaña L. M. (2015). La espectroscopia y su tecnología: Un repaso histórico y su importancia para el siglo XXI. *Latin-American Journal of Physics Education*, 9(4), 460201-460212. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5514757>
- Grasse E. K., Torcasio M. H., y Smith, A. W. (2015). Teaching UV-Vis spectroscopy with a 3D-printable smartphone spectrophotometer. *Journal of Chemical Education*, 93(1), 146-151. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00654>
- Kassakian, J. G., y Wedlock, B. D. (1968). A Low-cost spectrometer for instructional purposes, *IEEE Transactions on Education*, 11(4), 229-23. <https://doi.org/10.1109/te.1968.4320411>
- Kovarik, M. L., Clapis, J. R., y Romano-Pringle, K. A. (2020). Review of student-built spectroscopy instrumentation projects. *Journal of Chemical Education*, 97(8), 2185-2195. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00404>
- Kyriakidis, N. B., y Skarkalis, P. (2000) Fluorescence spectra measurement of olive oil and other vegetable oils. *Journal of AOAC International*, 83(6), 1435-1439. <https://doi.org/10.1093/jaoac/83.6.1435>
- Mínguez-Mosquera, M.I., Gandul-Rojas, B., Garrido-Fernandez, J., y Gallardo-Guerrero, L. (1990). Pigments present in virgin olive oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 67, 192-196. <https://doi.org/10.1007/BF02539624>
- Montoya, E., Baltuano, Ó., y López, A. A. (2013). Espectrómetro para radiación visible hecho en casa, de bajo costo y altas prestaciones. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(1). 80-91. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000100011
- Moyano M. J., Heredia F. J., y Meléndez-Martínez A. J. (2010). The color of olive oils: The pigments and their likely health benefits and visual and instrumental methods of analysis. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(3), 278-291. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00109.x>
- Poh, J-J., Wua, W-L, Gohb, N., Tana, S., y Gana, S. (2021). Spectrophotometer on-the-go: The development of a 2-in-1 UV-Vis portable Arduino-based spectrophotometer. *Sensors and Actuators A: Physical*. 325, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112698>

- Rohman A. (2016). Infrared spectroscopy for quantitative analysis and oil parameters of olive oil and virgin coconut oil: A review. *International Journal of Food Properties*, 20(7), 1447-1456. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1213742>
- Sanjaya W. S. M., Anggraeni, D., Mira, Maryanti, S., Wardoyo, C., Marlina, L., Roziqin, A., y Kusumorini, A. (2018). Low-cost portable spectrometer for lard detection based on SVM method, *IEEE, International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, Yogyakarta, Indonesia, 923-928, <https://doi.org/10.1109/ICOIACT.2018.8350700>
- Scheeline, A. (2010). Teaching, learning, and using spectroscopy with commercial, off-the-shelf technology. *Applied Spectroscopy*, 64(9), 256A-268A. <https://doi.org/10.1366/000370210792434378>
- Swinehart, D. F. (1962). The Beer-Lambert Law. *Journal of Chemical Education*, 39(7), 333. <https://doi.org/10.1021/ed039p333>
- Thomas, J. W., Mergendoller, J. R., y Michaelson, A. (1999). *Project-based learning: A handbook for middle and high school teachers*. Editorial Novato.
- Thomas, O., y Burgess, C. (2017). *UV-Visible spectrophotometry of water and wastewater*. 2.^a ed., Elsevier Science.
- Toledo, P. y Sánchez, J. M. (2018). Aprendizaje basado en proyectos: Una experiencia universitaria. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 22(2), 472-491. <https://doi.org/10.30827/profesorado.v22i2.7733>
- Wakabayashi, F., y Hamada, K. (2006). A DVD Spectroscope: A simple, high-resolution classroom spectroscope. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 56-58. <https://doi.org/10.1021/ed083p56>
- Yingprayoon, K., y Tanachutiwat, S. (2020). Simple spectrometer for education using microcontroller, *IEEE, 17th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Phuket, Thailand*, 592-594. <https://doi.org/10.1109/ECTI-CON49241.2020.9158310>