

# DetECCIÓN DE INSECTICIDAS Y FUNGICIDAS EN SEMILLAS DE MAÍZ HÍBRIDO, A TRAVÉS DE ESPECTROSCOPIA FOTOACÚSTICA.

Sindy Janneth Olvera Vazquez<sup>1\*</sup>, Alfredo Cruz Orea<sup>1</sup>, Sergio Armando Tomás Velázquez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física, CINVESTAV– IPN, Av. IPN no. 2508, Col. San Pedro Zacatenco, A.P. 14-740, 07360 México City, México

\*Corresponding author email: [sindy.olvera@cinvestav.mx](mailto:sindy.olvera@cinvestav.mx)

URL ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6948-3117>

**Resumen**— El uso de insecticidas y fungicidas en semillas de maíz híbrido es una práctica común para proteger el cultivo en sus primeras etapas. Sin embargo, la acumulación de estos productos puede generar problemas ambientales y riesgos toxicológicos para la salud. La detección de estos agroquímicos en semillas es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola. Este estudio evalúa la aplicabilidad de la espectroscopia fotoacústica (EF) como un método rápido y no destructivo para la identificación de residuos de insecticidas y fungicidas en semillas de maíz.

Para ello, se analizaron 3 clases de semillas; maíz blanco, maíz amarillo y maíz híbrido (semilla proceso PW400), esta última tratada con Regent® Ultra, una mezcla de combinaciones comerciales de agroquímicos como insecticidas con fungicidas. Utilizando la técnica de Espectroscopia Fotoacústica (EF), se registraron los espectros de absorción ópticos de dichas semillas, en un rango de 250 nm a 800 nm, identificando los picos característicos de los compuestos activos presentes.

Los resultados mostraron diferencias significativas entre semillas tratadas y no tratadas, permitiendo la identificación de los componentes del Regent® Ultra. En conclusión, la EF es una herramienta eficaz para la detección rápida y no invasiva de agroquímicos en semillas de maíz híbrido, proporcionando una alternativa eficiente y económica a los métodos tradicionales de análisis de residuos.

**Palabras Clave** — Espectroscopia fotoacústica, Detección de agroquímicos, Semillas de maíz híbrido, Insecticidas y fungicidas, Análisis no destructivo.

**Abstract**- The use of insecticides and fungicides on hybrid corn seeds is a common practice to protect the crop in its early stages. However, the accumulation of these products can generate environmental problems and toxicological health risks. The detection of these agrochemicals in seeds is essential to guarantee food security and agricultural sustainability. This study evaluates the applicability of photoacoustic spectroscopy (PAS) as a rapid and non-destructive method for the identification of insecticide and fungicide residues in corn seeds.

In the present study 3 different classes of seeds were analyzed; white corn, yellow corn and hybrid corn (PW400 process seed), the latter treated with Regent® Ultra, a mixture of commercial combinations of agrochemicals such as insecticides with fungicides. By using Photoacoustic Spectroscopy (PAS) technique, the optical absorption spectra of the studied seeds were recorded, in a wavelength range from 250 nm to 800 nm, identifying the characteristic peaks of the active present compounds.

The results showed significant differences between treated and untreated seeds, allowing the identification of the components of Regent® Ultra. In conclusion, PAS is a available tool for the rapid and non-invasive detection of agrochemicals in hybrid corn seeds, providing an efficient and economical alternative to traditional residue analysis methods.

## I. INTRODUCCIÓN

El uso de insecticidas y fungicidas en semillas de maíz híbrido es una práctica agrícola extendida debido a su capacidad para mejorar la resistencia de los cultivos ante plagas y enfermedades en sus primeras etapas de desarrollo [1]. Sin embargo, la persistencia de estos agroquímicos en las semillas puede generar efectos adversos en el medio ambiente y la salud humana [2], lo que ha impulsado la necesidad de desarrollar técnicas analíticas eficientes para su detección y monitoreo [3].

Los métodos tradicionales para la detección de residuos agroquímicos incluyen la cromatografía de gases y la espectrometría de masas, los cuales ofrecen alta sensibilidad y precisión, pero requieren procedimientos complejos y costosos que limitan su aplicabilidad en análisis rutinarios [4]. En este contexto, la espectroscopia fotoacústica (EF) ha surgido como una técnica innovadora que permite la detección rápida y no destructiva de compuestos químicos en muestras sólidas y líquidas, proporcionando una alternativa viable para el análisis de residuos de insecticidas y fungicidas en semillas de maíz [3], [5]. Algunos investigadores han usado análisis matemáticos en los espectros obtenidos por EF, tales como desviación standard móvil o también primera y segunda derivada, para distinguir mejor los picos máximos de absorción ópticos en granos de maíz con diferentes pigmentaciones [3].

Antecedentes recientes han demostrado que la EF puede emplearse eficazmente en la caracterización de contaminantes en productos agrícolas, ofreciendo alta sensibilidad en la detección de residuos químicos a concentraciones mínimas [6]. Su principio de funcionamiento, basado en la conversión de energía luminosa en señales acústicas medibles, permite diferenciar la presencia de diversos compuestos sin la necesidad de un procesamiento previo de la muestra [7].

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es evaluar la aplicación de la espectroscopia fotoacústica para la detección de residuos de insecticidas y fungicidas en semillas de maíz híbrido tratadas con Regent® Ultra [8], proporcionando una alternativa eficiente y accesible para el control de calidad en la industria agroalimentaria.

#### Principios de la Espectroscopia Fotoacústica

La espectroscopia fotoacústica es una técnica basada en la absorción de luz modulada por una muestra, lo que provoca la generación de una señal acústica debido al flujo de calor modulado hacia el aire circundante, provocando la expansión térmica de este gas. Esta señal se detecta mediante un micrófono sensible, lo que permite analizar, mediante su espectro de absorción óptico, la composición de la muestra sin necesidad de destruirla. En la detección de residuos de agroquímicos, la EF permite identificar picos característicos de absorción óptico asociados con los componentes de las semillas del maíz, así como componentes activos adicionales de los insecticidas y fungicidas utilizados en el tratamiento de semillas.

## II. METODOLOGÍA/DESARROLLO

### A. Criterios de selección de la muestra.

Para este estudio, se utilizaron tres tipos de semillas de maíz, las cuales se eligieron según los siguientes criterios: disponibilidad, color y su potencial demanda en el mercado de la siembra, estas semillas fueron de maíz blanco, maíz amarillo y maíz híbrido (Semilla Proceso PW400) este último tratado con Regent® Ultra, cuyos ingredientes activos son combinaciones comerciales de insecticidas y fungicidas. De las muestras seleccionadas se eligió a la semilla más grande, con la mejor coloración y el aspecto más sano. Posteriormente se procedió a seccionar el pericarpio de cada una de ellas, para su caracterización por espectroscopia fotoacústica.

### B. Caracterización por espectroscopia fotoacústica.

Se empleó un sistema de espectroscopia fotoacústica compuesto por una lámpara de xenón, operada a una potencia de 700W, se colocaron las muestras de pericarpio de cada tipo de maíz y se obtuvieron sus espectros de absorción ópticos, las caracterizaciones se realizaron en un rango de longitudes de onda de 250 nm a 800 nm, los espectros fueron analizados y comparados con la literatura para identificar los componentes de las tres muestras, así como para identificar los picos característicos de absorción de los compuestos agroquímicos presentes en el maíz híbrido.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de la técnica de espectroscopia fotoacústica, se obtuvieron los espectros de absorción ópticos, los cuales mostraron diferencias significativas entre semillas tratadas (maíz híbrido, semilla proceso PW404) y no tratadas (maíz blanco y maíz amarillo). Para los maíces blanco y amarillo (semillas no tratadas) se obtuvieron solo los picos característicos de los componentes del pericarpio (carotenoides y flavonoides principalmente), ver figura 1 y 2. Mientras que en el caso del maíz híbrido tratado con Regent® Ultra, se identificaron picos de absorción característicos de los componentes presentes en el pericarpio de este, como carotenoides y flavonoides [9], además de una banda de absorción más debida a los insecticidas y fungicidas con los que fueron tratadas estas semillas [10], ver figura 3. Esto confirma la viabilidad de la EF para la detección de estos compuestos, validando la efectividad de la técnica como método de detección y que, además, mediante una calibración adecuada, podría tener un alto potencial también en la cuantificación de los mismos.

#### Aplicaciones en la Industria Agroalimentaria.

La implementación de la espectroscopia fotoacústica en la industria agroalimentaria puede proporcionar una herramienta rápida y eficiente para el monitoreo de la seguridad de las semillas tratadas. Al ser un método no destructivo, permite realizar controles de calidad sin afectar la viabilidad de las semillas, lo que lo hace ideal para su aplicación en grandes volúmenes de producción.

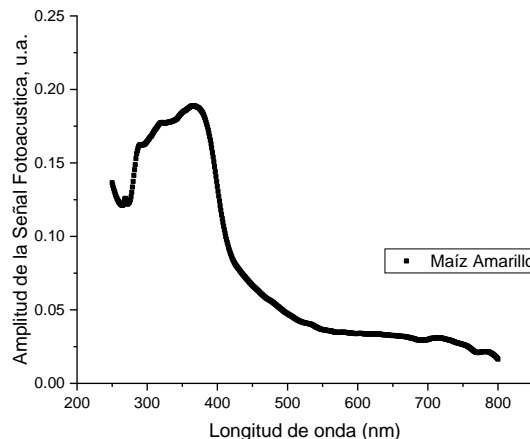
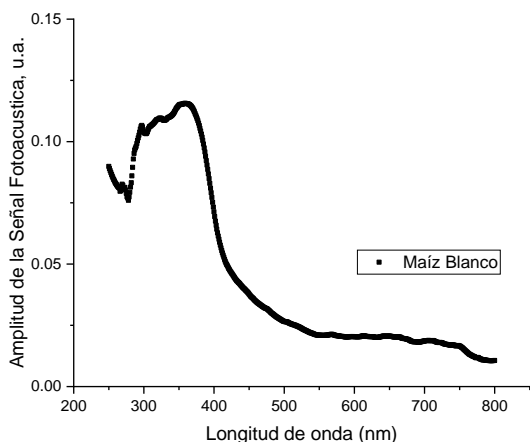
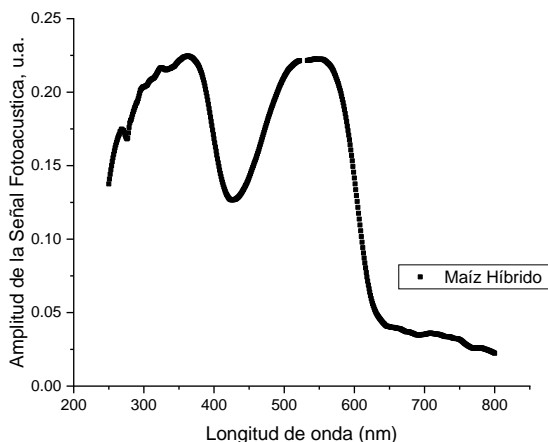


Figura 1.- Espectro de absorción óptica del pericarpio de maíz amarillo (semilla no tratada), se observa una banda de absorción entre 300nm y 400nm correspondiente a los carotenoides y flavonoides presentes en este.



**Figura 2.-** Espectro de absorción óptica del pericarpio de maíz blanco (semilla no tratada), se observa una banda de absorción entre 300nm y 400nm correspondiente a los carotenoides y flavonoides presentes en este.



**Figura 3.-** Espectro de absorción óptica del pericarpio de maíz híbrido (Semilla Proceso PW404, tratada con Regent® Ultra), se observa una banda de absorción entre 300nm y 400nm correspondiente a los carotenoides y flavonoides presentes en este y adicional otra banda entre 450nm y 600nm correspondiente a los componentes del Regent® Ultra.

En la figura 1 y 2 se pueden apreciar una banda en común para ambas semillas (amarillo y blanco) alrededor de 300nm a 400nm debido a los carotenoides y flavonoides presentes en el pericarpio de estas muestras y que concuerda con reportes de la literatura [11]. Mientras que en la figura 3 también se observa dicha banda debido a estos componentes, adicional a ella se puede observar una banda más en un rango de 450nm y 600nm, debida a los componentes del Regent® Ultra, agroquímico con el cual fueron tratadas las semillas de maíz híbrido.

#### IV. CONCLUSIONES

La espectroscopia fotoacústica demuestra ser una técnica eficaz para la detección rápida y no destructiva de residuos de insecticidas y fungicidas en semillas de maíz híbrido. Su alta sensibilidad y bajo costo de operación la posicionan como una alternativa viable a los métodos tradicionales. Se recomienda su implementación en la industria agroalimentaria para su aplicación en seguridad y calidad de los cultivos tratados.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), México y el proyecto SIP 20230718 y la beca Estancias Postdoctorales por México – Académica-Conacyt-2022(1).

#### DECLARACIÓN ÉTICA

Los autores no tienen conflictos de intereses que declarar que sean relevantes para el contenido de este artículo.

#### REFERENCIAS

- [1] "(PDF) García-Martínez et al. 2020." Accessed: Feb. 27, 2025. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/342010555\\_Garcia-Martinez\\_et\\_al\\_2020](https://www.researchgate.net/publication/342010555_Garcia-Martinez_et_al_2020)
- [2] S. G. . Misra and Dinesh. Mani, "Agricultural pollution," 1994, Accessed: Feb. 27, 2025. [Online]. Available: [https://books.google.com/books/about/Agricultural\\_Pollution.html?hl=es&id=PSchAQAIAAJ](https://books.google.com/books/about/Agricultural_Pollution.html?hl=es&id=PSchAQAIAAJ)
- [3] C. Hernández-Aguilar, A. Domínguez-Pacheco, A. Cruz-Orea, and R. Ivanov, "Photoacoustic spectroscopy in the optical characterization of foodstuff: A review," *Journal of Spectroscopy*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/5920948.
- [4] M. C. Hespanhol, C. Pasquini, and A. O. Maldaner, "Evaluation of a low-cost portable near-infrared spectrophotometer for in situ cocaine profiling," *Talanta*, vol. 200, pp. 553–561, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.TALANTA.2019.03.091.
- [5] "htwu443 379..384 | Enhanced Reader."
- [6] T. Schmid, "Photoacoustic spectroscopy for process analysis," *Anal Bioanal Chem*, vol. 384, no. 5, pp. 1071–1086, Mar. 2006, doi: 10.1007/S00216-005-3281-6/FIGURES/12.
- [7] J. Li, W. Chen, and B. Yu, "Recent Progress on Infrared Photoacoustic Spectroscopy Techniques," *Appl Spectrosc Rev*, vol. 46, no. 6, pp. 440–471, Aug. 2011, doi: 10.1080/05704928.2011.570835.
- [8] "FICHA TÉCNICA Regent® Ultra Fipronil + Tiofanato de metilo + Piraclostrobina."
- [9] A. Cruz-Orea et al., "Study of the lime influence on the thermal and optical properties of pericarp films of nixtamalized corn by means of the photoacoustic techniques," AIP Publishing, Apr. 2009, pp. 634–636. doi: 10.1063/1.58152.
- [10] Z. Shaheed Si and . S. K., "Effect of Systemic Fungicides and Insecticides on Absorption Spectra, Chlorophyll and Phenolic Contents of Vigna radiata (L.) Wilczek," *Pakistan Journal of Biological Sciences*, vol. 4, no. 7, pp. 812–814, Jun. 2001, doi: 10.3923/PJBS.2001.812.814.
- [11] R. A. Muñoz Hernández, A. Calderón, A. Cruz Orea, S. A. Tomás, F. Sánchez Sinencio, and G. Peña Rodríguez, "Application of photoacoustic spectroscopy to the optical study of pigments in corn pericarp: Spectral separation of optical absorption centres," *High Temp High Press*, vol. 32, no. 4, pp. 379–383, 2000, doi: 10.1068/htwu443.