



## DETERMINACIÓN DE RESIDUOS DE PARAQUAT EN MAÍZ POR ESPECTROFOTOMETRÍA UV-VISIBLE, FINCAS DE LA PROVINCIA LA VEGA, REPÚBLICA DOMINICANA

### DETERMINATION OF PARAQUAT RESIDUES IN MAIZE BY UV-VISIBLE SPECTROPHOTOMETRY, FARMS IN THE PROVINCE OF LA VEGA, DOMINICAN REPUBLIC

Laura del Carmen Méndez Gutiérrez<sup>1</sup>  
Cándida Mercedes Concepción Acevedo<sup>2</sup>  
Andy Mariela Ureña Adrián<sup>3</sup>  
Pedro Leonardo Peña Duarte<sup>4</sup>

(Recibido/received: 22-marzo-2024; aceptado/accepted: 02-mayo-2024)

**RESUMEN:** El paraquat (PQ), es un herbicida altamente tóxico, por lo que se requiere una rigurosa vigilancia en los alimentos para cumplir con los límites reglamentarios. Este estudio tuvo como propósito cuantificar residuos de PQ en maíz (*Zea mays L.*) por espectrofotometría UV-Visible, en muestras provenientes de fincas de la provincia La Vega, República Dominicana. Se preparó una solución de estándar de PQ de 10 mg L<sup>-1</sup> y se optimizó la cantidad de reactivo reductor en las soluciones estándar de PQ, obteniéndose un coeficiente de determinación de 0.999. Los límites de detección y de cuantificación fueron 0.05 y 0.17 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente; con una recuperación del 101.7% y el coeficiente de variación menor al 5%. Se determinó mediante la curva de adición estándar que la concentración de PQ en maíz fue de 0.56 mg L<sup>-1</sup>, la cual se encuentra dentro de los límites permitidos por la administración de alimentos y medicamentos (FDA) para el consumo humano y no existe efecto de matriz, permitiendo el uso de una curva de calibración sencilla para la detección confiable de este analito. Las cantidades de PQ en maíz de diferentes fincas obtenidas con la curva de calibración sencilla fueron comparables a las obtenidas con la curva de adición estándar. Pruebas estadísticas F y t-Student no revelaron diferencias significativas entre las concentraciones de PQ en las muestras de maíz de distintas fincas (p>0.05). Este estudio demuestra la viabilidad de la detección precisa de PQ en maíz y su consistencia entre diferentes fincas, contribuyendo a la seguridad alimentaria.

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, Santiago, República Dominicana. Correo autor para correspondencia: l.mendez@ce.pucmm.edu.do, <https://orcid.org/0000-0002-7665-6191>

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica del Cibao, Cotuí, República Dominicana. <https://orcid.org/0009-0004-9751-3714>

<sup>3</sup> Universidad Tecnológica del Cibao, Cotuí, República Dominicana. <https://orcid.org/0009-0004-4011-4317>

<sup>4</sup> Instituto de Formación Docente Salomé Ureña, sede Licey al Medio, Santiago, República Dominicana. [pedro.pena@isfodosu.edu.do](mailto:pedro.pena@isfodosu.edu.do) <https://orcid.org/0000-0002-3746-0030>

**PALABRAS CLAVE:** Métodos analíticos; herbicida; agroquímicos; alimentos; agente reductor.

**ABSTRACT:** Paraquat (PQ), a highly toxic herbicide, requires rigorous monitoring of foodstuffs to comply with regulatory limits. The purpose of this study was to quantify PQ residues in maize (*Zea mays L.*) by UV-Visible spectrophotometry in samples from farms in La Vega province, Dominican Republic. A PQ standard solution of 10 mg L<sup>-1</sup> was prepared and the amount of reducing reagent in the PQ standard solutions was optimized, obtaining a coefficient of determination of 0.999. The limits of detection and quantification were 0.05 and 0.17 mg L<sup>-1</sup>, respectively; with a recovery of 101.7% and the coefficient of variation less than 5%. It was determined by means of the standard addition curve that the concentration of PQ in corn was 0.56 mg L<sup>-1</sup>, which is within the limits allowed by the Food and Drug Administration (FDA) for human consumption and there is no matrix effect, allowing the use of a simple calibration curve for the reliable detection of this analyte. The amounts of PQ in corn from different farms obtained with the simple calibration curve were comparable to those obtained with the standard addition curve. F and t-Student statistical tests revealed no significant differences between PQ concentrations in corn samples from different farms ( $p > 0.05$ ). This study highlights the feasibility of accurate detection of PQ in corn and its consistency.

**KEYWORDS:** Analytical methods; herbicide; agrochemicals; food; reducing agent.

## INTRODUCCIÓN

El paraquat, PQ (dicloruro de 1,1-dimetil-4,4-bipiridinio) destaca como uno de los herbicidas más ampliamente utilizados en la agricultura a nivel mundial durante más de 50 años (Bromilow, 2004). Este compuesto ha sido aplicado en más de 130 países para inhibir el crecimiento de hierbas y malezas, gracias a su acción rápida, su capacidad de contacto no selectivo con el tejido vegetal verde y su fácil solubilidad en agua a temperatura ambiente (Zhao et al., 2018).

No obstante, el PQ exhibe una alta toxicidad a largo plazo al medio ambiente, ya que dispersa sus residuos a través del aire, el suelo, el agua, las plantas y los animales. El mecanismo de toxicidad del PQ se produce a través del ciclo redox de un solo electrón en los sistemas biológicos. Este ciclo puede generar oxígeno activado en forma de anión superóxido, radical superóxido y peróxido de hidrógeno, elementos cruciales para el desarrollo de la toxicidad (Suntres, 2002). A pesar de que los residuos de PQ pueden degradarse mediante procesos microbiológicos y fotoquímicos, este proceso es lento, especialmente en suelos arcillosos. El ion PQ presenta una fuerte afinidad por la carga negativa del suelo, transformándose en un residuo adsorbido por el medio ambiente, con una vida media de 1.3 a 13 años (Rashidipour, 2019).

El uso excesivo de este herbicida en la agricultura ha generado contaminación ambiental, conduciendo a la prohibición del PQ en varios países, tales como China, Corea, Brasil y países miembros de la UE (Zou et al, 2015). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA) ha establecido límites de paraquat de 0.03 mg L<sup>-1</sup> en el agua potable y en 0.0045 mg kg<sup>-1</sup> como la ingesta diaria aceptable (IDA). Cabe destacar, que el PQ está asociado con graves

daños a la salud humana, incluyendo su vínculo con la enfermedad de Parkinson (Pathan, 2019 y Siangproh, 2017). Mientras que la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, siglas en inglés) reporta que los alimentos que contienen residuos de pesticidas pueden tener concentraciones de 0.005 a 2 mg L<sup>-1</sup> (Sangsum y Saetear, 2022) y el Codex Alimentarius FAO (Codex, 2013) establece un límite de 1 mg L<sup>-1</sup>.

En la literatura se reportan varias técnicas para la cuantificación de pesticidas y herbicidas en las que se destacan los métodos de extracción, técnicas cromatográficas, técnicas electroquímicas, técnicas espectrofotométricas, métodos de quimioluminiscencia y fluorescencia, ensayos bioquímicos e inmunoensayos y técnicas diversas (Liu et al., 2018). Donde la cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas (GC/MS) la cual ha sido considerada como método de detección de referencia y con resultados confiables para la cuantificación de pesticidas y herbicidas en diferentes muestras biológicas y agrícolas según la Codex Alimentarius (Codex, 2013).

En la actualidad, los estudios se centran en técnicas analíticas con tecnología avanzada que permita determinar paraquat (PQ) y diquat (DQ) simultáneamente, como la técnica de cromatografía acoplada a un espectrómetro tándem, por su alta sensibilidad, selectividad y precisión, obteniéndose límite de detección (LOD) de 4 pg mL<sup>-1</sup> en suero (Chamkasem et al., 2017 y Guo et al., 2023). Del mismo modo Sha et al., (2020) y Melo et al., (2020) determinaron PQ y DQ en muestras de orina usando diferentes absorbentes para la extracción en fase sólida de estos analitos por medio de la cromatografía líquida de alta eficiencia acoplada a un espectrómetro de masa (LC/MS) y al mismo tiempo trata los efectos de matriz.

También con las técnicas electroquímica se han encontrado resultados confiables para la cuantificación de PQ usando diferentes electrodos modificados de metales nobles, nanopartículas metálicas, polímeros, biomoléculas, arcilla y minerales de apatita, en matrices complejas de alimentos, obteniéndose atributos de precisión menores al 5%, con recuperaciones que varían entre 80 y 90%; y límites de detección (LOD) por debajo 0.22µM (Laghrif et al., 2020; Traiwatcharanon et al., 2022).

Del mismo modo, las técnicas de cromatografía y de electroquímica han sido comparadas con las técnicas de espectroscopía UV-Visible del método estándar AOAC 969.09 (Association of Analytical Chemists y Helrich [AOAC], 1990) encontrándose resultados con un alto grado de confiabilidad y reproducibilidad para la detección del PQ en muestras de alimentos y agua (Lara et al., 2015, Alza - Camacho et al., 2016; Barrantes et al., 2020; Sha et al, 2020 y Samsung y Saetear, 2022). Además, se reporta en la literatura el uso de un fotómetro portátil con un kit sensible a PQ que contiene ditionito de sodio como agente reductor, mostrando resultados satisfactorios en agua y vegetales donde el límite de detección (LOD) fue de 0.30 mg L<sup>-1</sup>, las recuperaciones en un rango de 101-115%, la precisión fue inferior al 1% y con un nivel de confianza de 95% (Sangsum y Saetear, 2022).

Por todo lo expuesto, en esta investigación se determinó la presencia de residuos de PQ en muestras maíz por espectrofotometría UV-Visible con el uso de reactivos de bajo costo y promover la calidad de este rubro agrícola, según los límites establecidos por la FAO, la FDA y la US EPA para el consumo humano. La cuantificación de PQ en muestras en maíz ha sido poco explorada y las técnicas más usadas para determinar este analito es a través GC/MS y LC/MS,

técnica que no están al alcance de las mayorías e implican tiempos de análisis muy largos y mayor gasto de reactivos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo desarrollado fue de tipo experimental y la determinación de residuos de PQ en las muestras de maíz se realizaron en Laboratorio de Química de la Escuela de Educación de la Universidad ISA ubicada en la provincia de Santiago, República Dominicana.

Las muestras de maíz (*Zea mays L.*) se recogieron en dos fincas ubicadas en las zonas Los Bayacanes en la provincia La Vega, República Dominicana con una latitud 19.2305, la longitud -70.5663 y altura sobre el nivel del mar 242 m. Para el estudio se tomaron doce muestras aleatorias del maíz de cada finca.

Todos los reactivos empleados fueron de grado analítico: PQ:1,1'-Dimetil-4,4'-dicloro 98% de Sigma -Aldrich; hidróxido de sodio 98 % de Merck; ácido ascórbico 99,8 % de Aldrich; y EDTA 99-101 % de Sigma-Aldrich. Todas las soluciones se prepararon con agua ultrapura (Mullipore, 18M $\Omega$ ). Las medidas de absorbancia se realizaron en un espectrofotómetro UV-Vis Génesis UV 20 (rango espectral: 325-1100 nm y rango fotométrico: -0.1-2.5 A) a una longitud de onda de 600nm.

*Preparación de soluciones y muestras de maíz:* La concentración de la solución estándar de PQ se preparó de 10 mg L<sup>-1</sup>, basándose en un estudio realizado por Sangsum y Saetear (2022), donde determinaron que esta concentración exhibió la mayor absorbancia a una longitud de onda de 600nm. A partir de la solución estándar de PQ se prepararon las soluciones patrones de la curva de calibración sencilla y para la curva de adición estándar. Las soluciones de PQ se conservaron a una temperatura de 4°C para evitar la degradación por la luz.

Mientras la preparación del reactivo reductor, se siguieron las concentraciones recomendadas por Luna et al. (2008): ácido ascórbico al 0.4%, hidróxido de sodio al 2M y EDTA al 5% m/V. Se recomienda añadir el reactivo reductor a las soluciones de PQ justo antes de realizar las mediciones, con el fin de evitar la transformación de PQ a DQ. Por consiguiente, los patrones se miden de manera individual, según lo indicado por Pérez et al. (2020).

Para el estudio de la exactitud y precisión se prepararon tres muestras de zumo de maíz a un volumen constante (1.0 mL) y enriquecidas con PQ a 0.75mgL<sup>-1</sup>. En la determinación de PQ se prepararon seis soluciones de trabajo con concentraciones desde 0.0 hasta 1.25 mg L<sup>-1</sup>, a las cuales se le adicionaron un volumen constante de 4.0 mL de zumo de maíz (muestras aleatorias de las diferentes fincas) y 0; 250; 500; 750; 1000 y 1250  $\mu$ L de solución estándar de PQ. Las muestras de maíz fueron desgranadas, trituradas y filtradas con el objetivo de obtener la máxima cantidad de zumo posible. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

*Validación del método analítico:* Para la validación del método analítico se llevó a cabo el análisis estadístico propuesto por Suárez et al., (2009), en lo cual se determinaron los principales parámetros estadísticos a partir del test de linealidad como: la precisión con la desviación

estándar y el coeficiente de variación, la exactitud con el porcentaje de recuperación, los límites de cuantificación (LOQ) y de detección (LOD) y la sensibilidad. También se realizó la curva de adición estándar para cuantificar el residuo de PQ en maíz y estudiar las interferencias provenientes de la matriz comparando las pendientes de ambas curvas de calibrado. El estudio de la exactitud y precisión se empleó el método de adición/recuperación con el porcentaje de recuperación, el cual se determinó con base a la concentración preparada e incluyendo la desviación estándar y el coeficiente de variación, para comprobar la confiabilidad y la reproducibilidad en la metodología de trabajo. Todos los análisis se realizaron por triplicado e incluyendo el blanco. Los análisis estadísticos se realizaron por el ANOVA, con un nivel de confianza de 95% y un nivel de significancia de 0.05. Mediante el Software estadístico de Excel.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Optimización del agente reductor

Para aplicación de la metodología planteada se realizaron pruebas preliminares, con el fin de optimizar las cantidades idóneas del reactivo reductor en soluciones estándar PQ mediante la construcción de curvas de calibración sencilla y tomando en cuenta el mejor coeficiente de determinación ( $R^2$ ) a una longitud de onda de 600nm.

Para construir la curva de calibración se prepararon una serie de patrones de soluciones estándar de PQ que variaban entre 0.18 y 1.23 mg L<sup>-1</sup>, el rango lineal concuerda con el reportado por Alza et al., (2016) para la técnica de espectrofotometría de UV-Visible. Al comparar los coeficientes de determinación de las figuras 1.A y 1.B se encontró que las cantidades apropiadas para trabajar con el PQ fueron 4 ml de ácido ascórbico, 3 ml de EDTA y 3 ml NaOH (figura 1.B) debido a que  $R^2$  fue de 0.999 en comparación con el mostrado en la figura 1.A.

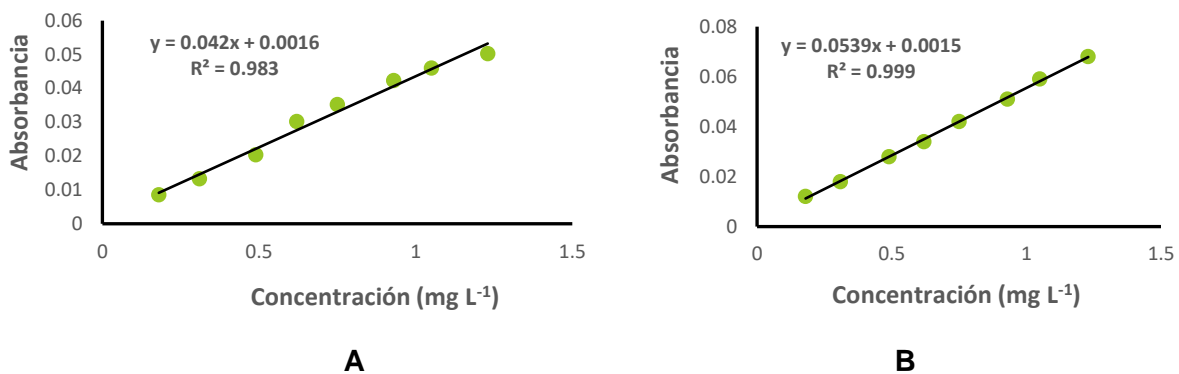


Figura 1. Curva de calibración sencilla de PQ A. 5 ml de ácido ascórbico, 2.5 ml de EDTA y 2.5 ml de NaOH y B. 4 ml de ácido ascórbico, 3 ml de EDTA y 3 ml de NaOH

Es de resaltar que al usar el ácido ascórbico como agente reductor requiere de EDTA para enmascarar los iones metálicos como calcio, hierro, magnesio, plomo, mercurio, zinc, cobre, cobalto y aluminio (Ren et al., 2021). Por otra parte, existen diversas sustancias que se utilizan como agentes reductores; algunas de ellas son el ditionito de sodio, el borohidruro de sodio y la

glucosa, todas en medio alcalino por cuanto el radical catiónico es inestable en medio ácido (Luna et al., 2008).

De la mejor curva de calibración (figura 1.B) se realizó el test de linealidad (tabla 1) se encontró que el coeficiente de variación (C.V) de los factores de respuesta fue de 2.05% por debajo del 5%, lo que indica la baja dispersión de los datos mejorando la precisión del intervalo de trabajo estudiado. Se encontró que los límites de detección y de cuantificación fueron de 0.05 y 0.17 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, los cuales están dentro de los valores reportados por Lara et al., (2015) y Laghrif et al., (2020) usando técnicas electroquímicas en la determinación de residuos de PQ en cultivos de papas y por Zhang et al., (2020) a través de técnicas colorimétricas en jugos de frutas.

Tabla 1. Test de linealidad, Coeficiente de variación de los factores de respuestas

Concentración (mg/L) X	Absorbancia Y	Factor de respuesta f (Y/X)
0.18	0.012	0.067
0.31	0.018	0.058
0.49	0.028	0.057
0.62	0.034	0.055
0.75	0.042	0.056
0.93	0.051	0.055
1.05	0.059	0.056
1.23	0.068	0.055
<i>Media</i> ( $\bar{X}$ )		0.056
<i>Desviación estándar</i> (S)		1.15E-3
<i>Coeficiente de variación</i> (C.V)		2.05%

### *Exactitud y precisión*

En la tabla 2 se observa que la recuperación global de PQ fue mayor al 100%, por tanto, los resultados son comparables con los reportados por Pérez, et al., (2020); Rent et al., (2021); Traiwatcharanon et al., (2022); Yar et al., (2022); Sangsum y Saetear (2022), en muestras de alimentos y biológicas con diferentes técnicas analíticas. A sí mismo, el coeficiente de variación global encontrado es menor al 5% y son similares a los obtenidos por diferentes técnicas de cuantificación de PQ (Traiwatcharanon et al., 2022; Rezende et al., 2020; Sha et al., 2020), lo que demuestra que la metodología propuesta presenta exactitud y precisión para ser considerado adecuado para la determinación de PQ en maíz.

Tabla 2. Evaluación de la exactitud y la repetibilidad del método estudio

Muestra*	Paraquat añadido mgL <sup>-1</sup>	Paraquat recuperado mgL <sup>-1</sup>	%C.V	%Recuperación
1	0.75 mg L <sup>-1</sup>	0.77±0.04040	3.42	102,6
2	0.75 mg L <sup>-1</sup>	0.76±0.03512	3.00	101.3
3	0.75 mg L <sup>-1</sup>	0.76±0.03987	3.40	101.3
				%Recuperación global = 101.7
				%C.V global= 3.27
*tres replicas por cada muestra				

### Determinación de paraquat en muestras de maíz

Para la determinación de PQ se prepararon seis soluciones de trabajo y con los datos obtenidos se construyó la curva de calibración por el método de adición estándar (figura 3.A) en donde la intersección negativa sobre el eje x corresponde a la concentración de PQ presente en la muestra, sin dejar a un lado el factor de dilución. En la gráfica de la figura 3.A y extrapolando se obtuvo que la concentración de PQ en el zumo de maíz fue de 0.56 mg L<sup>-1</sup> la cual se encuentra por debajo de los valores reportado por la FAO, la FDA y la US EPA. Por tanto, el maíz es apto para el consumo humano y no provoca daño a la salud humana (Pérez et al.,2020 y Sangsum y Seater, 2022). También se estudió el efecto de interferencias provenientes de la matriz, donde se compararon las pendientes de la curva de calibración por adición estándar con la curva de calibración sencilla (figura 3) y la prueba t-Student mediante análisis estadístico.

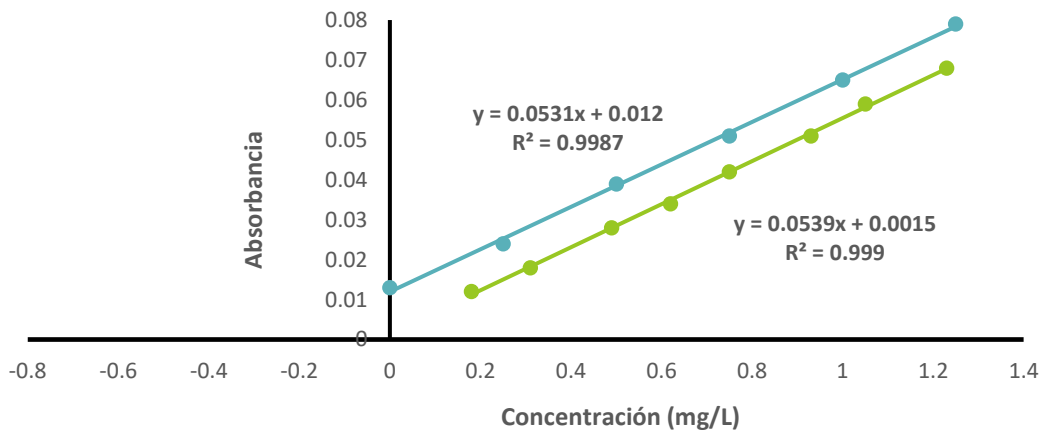


Figura 3. A. Curva de calibración por el método de adición estándar (color azul) y B. la curva de calibración sencilla (color verde)

Los resultados obtenidos en la tabla 3, muestran que al comparar el valor de la pendiente de la curva de calibración sencilla fue 0.0539 Lmg<sup>-1</sup> con el valor obtenido de la pendiente de la curva adición estándar (0.0531 Lmg<sup>-1</sup>) se observa que los resultados son reproducibles y no existen diferencias estadísticas significativas entre los valores de ambas pendientes de la figura 3 con un nivel de confianza del 95%, según la prueba t-Student ( $t_{calculada}$  es menor que la  $t_{crítica}$ ). Este comportamiento de las pendientes de las diferentes curvas de calibración indica que no existe



efecto de matriz en la determinación de PQ en la muestra de maíz por la metodología aplicada y se puede utilizar la curva de calibración sencilla para la detección de este analito.

Tabla 3. Prueba de significación entre las pendientes de la curva de adición estándar y la curva de calibración sencilla con un nivel de confianza de 95%

<i>Pendiente (m) de la curva de adición estándar</i>	<i>Pendiente (m) de la curva de calibración sencilla</i>	<i>t-Student calculada</i>	<i>t-Student crítica</i>	<i>G.L.</i>
0.0531 Lmg <sup>-1</sup>	0.0539 Lmg <sup>-1</sup>	2.408	2.571	5

Al no mostrar efecto de matriz proveniente de las muestras de maíz, se utilizó la curva de calibración sencilla para la cuantificación de PQ en las muestras de maíz de las diferentes fincas, las cuales las denotaremos M1 y M2, respectivamente. La determinación de las concentraciones de PQ se obtuvieron por medio de la ecuación de la Ley de Lambert- Beer ( $A=ebC$ ). En la tabla 4 se muestra las medias de las concentraciones de PQ son comparable con la hallada por el método de adición estándar.

Tabla 4. Concentración de PQ en las muestras de maíz proveniente de dos fincas obtenidas por medio de la curva de calibración sencilla

Valores estadísticos	$\overline{X}_{M1} \pm S$	$\overline{X}_{M2} \pm S$
ANOVA	0.5475±0.2225 mgL <sup>-1</sup>	0.455±0.119023 mgL <sup>-1</sup>

Así mismo se estudió la confiabilidad de la metodología de trabajo mediante el análisis estadístico de la prueba F para varianzas de dos muestras. Se observa en la tabla 5 que la  $F_{calculada}$  es menor que la  $F_{crítica}$ , según la prueba F para varianza de dos muestras, por lo tanto, el método es sensible al variar la concentración de PQ en las muestras de maíz de las diferentes fincas, por tanto, no hay diferencias significativas en la precisión del análisis ( $p>0.05$ ) y las desviaciones estándar son comparables. En otras palabras, los errores cometidos en las medidas son aleatorios y no dependen de la muestra. Estos resultados son comparables a los mostrados por Melo et al., (2022) aplicando cromatografía de alta resolución y por Lara et al., (2015) usando voltametría de onda cuadrada.

Tabla 5. Análisis de varianza para el contenido de PQ en muestras de maíz de diferentes fincas con un nivel de confianza de 95%.

Valores estadísticos	$S^2_{M1}$	$S^2_{M2}$	F calculada	F crítica	Valor p	G.L.
ANOVA	0.049491667	0.01416667	3.493529412	9.276628153	0.165806632	3



Por otra parte, se utilizó la prueba t de Student para dos muestras para contrastar las medias de las dos muestras, considerando varianzas desiguales y desviaciones estándar comparables. Los resultados mostraron que la  $t_{estadística}$  es menor que la  $t_{crítica}$  (ver tabla 6), lo cual sugiere una alta reproducibilidad del análisis y ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones medias de las muestras de maíz provenientes de las fincas estudiadas ( $p > 0.05$ ), con un nivel de confianza del 95%. Esto demuestra que la determinación de PQ en maíz es precisa y confiable.

Tabla 6. Análisis de la t-Student para el contenido de PQ en muestras de maíz de diferentes fincas con un nivel de confianza de 95%.

Valores estadísticos		Estadístico t	t crítica	Valor p	G.L.
ANOVA		0.73323653	2.57058184	0.49633014	5

## CONCLUSIONES

Se estableció que la metodología analítica estudiada para la cuantificación de PQ en maíz utilizando espectrofotometría UV-Vis es lineal en el intervalo de concentración estudiado (0.18 y 1.23 mg L<sup>-1</sup>) con un coeficiente de determinación ( $R^2=0.999$ ) optimizando la concentración idónea de agente reductor. Se obtuvo que la recuperación cuantitativa fue mayor del 98% y el coeficiente de variación menor al 5%, el cual es comparable con los mostrado en la literatura para la determinación de PQ en muestras de alimentos y biológicas con el uso de diferentes técnicas de análisis.

La concentración encontrada de PQ en muestras aleatorias de maíz fue de 0.56 mg L<sup>-1</sup> por adición estándar y son comparables con las obtenidas mediante la curva de calibración sencilla para las distintas muestras de maíz de diferentes fincas. Además, se encuentra la concentración de PQ por debajo de los límites reportado por la FDA, FAO y US EPA, siendo apta para el consumo humano.

Los resultados estadísticos muestran reproducibilidad y precisión para la cuantificación PQ en muestras de maíz con un nivel de confianza de 95% y ausencia de diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). Por tanto, el método empleado puede ser usado para la cuantificación de residuos de PQ en otros alimentos, así como muestras de agua y biológicas; por ser económico por el bajo costo de los reactivos y para comprobar la confiabilidad de la metodología de análisis.

## REFERENCIAS

Alza-Camacho, W. R., García-Colmenares, J. M., & Chaparro-Acuña, S. P. (2016). Determinación voltamétrica de paraquat y glifosato en aguas superficiales. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), 331–345. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol17\\_num3\\_art:510](https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:510)

- Association of Official Analytical Chemists & Helrich K. (1990). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists* (15th ed. 1990). Association.
- Barrantes Barrantes, Ericka, Pérez López, Esteban, & Villalobos Landazuri, Roberto. (2020). Dos métodos para la cuantificación de paraquat en plaguicidas tipo Concentrado Soluble. *Cuadernos de Investigación UNED*, 12(2), 565-576. <https://dx.doi.org/10.22458/urj.v12i2.3042>
- Bromilow, R. H. (2004). Paraquat and sustainable agriculture. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 60(4), 340-349. <https://doi.org/10.1002/ps.823>
- Chamkasem, N., Morris, C., y Harmon, T. (2017). Determination of Paraquat and Diquat in Potato by Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometer. *Journal of Regulatory Science*. 05, 1-8. <https://pdfs.semanticscholar.org/eca8/2e1ced4efdef64cb126afba7114cbdd66e6d.pdf>
- Codex Alimentarius. (2013). Residuos de plaguicidas. [https://www.fao.org/unfao/govbodies/gsb-subject-matter/statutory-bodies-details/es/c/314/?no\\_cache=1](https://www.fao.org/unfao/govbodies/gsb-subject-matter/statutory-bodies-details/es/c/314/?no_cache=1)
- Guo, H., Li, L., & Gao, L. (2023). Paraquat and Diquat: Recent Updates on Their Pretreatment and Analysis Methods since 2010 in Biological Samples. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 28(2), 684. <https://doi.org/10.3390/molecules28020684>
- Laghrib, F., Bakasse, M., Lahrich, S., El Mhammedi, M. (2020). Electrochemical sensors for improved detection of paraquat in food samples: A review. *Materials Science and Engineering: C*. 107, e110349. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110349>
- Lara, A., García, J., y Chaparro, S. (2015). Validación del método voltamétrico para la determinación de residuos de paraquat aplicado en cultivos de papa. *Acta Agronómica*, 64(4), 336-341. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n4.44521>
- Liu, C., Guo, B., & Xue, J. (2018). Analytical Methods for Pesticides and Herbicides. *Water environment research: a research publication of the Water Environment Federation*, 90(10), 1323-1347. <https://doi.org/10.2175/106143018X15289915807245>
- Luna, J., Bernardo, M., García, M., Ovalles, F., y Calderón, L. (2008). Determinación de paraquat en orina utilizando un sistema de inyección en flujo continuo. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*. 42 (2), 251-259. <https://www.redalyc.org/pdf/535/53542211.pdf>
- Melo, K. G.; Silva, G. T. S.; Santos, A. D.; Dolores, R. C.; Oliveira, F.; Trape, A. Z.; Rosa, P. C. P. (2022). Development of Paraquat Pesticide Determination Methodology in Urine Samples by UHPLC-MS/MS. *Brazilian Journal of Analytical Chemistry*. 9(35),76-85. <http://dx.doi.org/10.30744/brjac.2179-3425.TN-49-2021>
- Pathan, A., Baseer, M, Kadam, A., & Junne, S. (2019). A Novel Chromogenic Spray Reagent for Thin-Layer Chromatographic Analysis of Paraquat and Design of an Ultra-Low-Cost Sensor for On-The-Field Detection of Viologens. *JPC – Journal of Planar Chromatography – Modern TLC*, 32, 335 - 338. <https://doi.org/10.1556/1006.2019.32.4.9>
- Rashidipour, M.; Maleki, A.; Kordi, S.; Birjandi, M.; Pajouhi, N.; Mohammadi, E.; Heydari, R.; Rezaee, R.; Rasoulia, B.; y Davari, B. (2019). Pectin/Chitosan/Tripolyphosphate

- Nanoparticles: Efficient Carriers for Reducing Soil Sorption, Cytotoxicity, and Mutagenicity of Paraquat and Enhancing Its Herbicide Activity. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 67, 5736–5745. <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.jafc.9b01106>
- Ren, H., Mao, M., Li, M., Zhang, C., Peng, C., Xu, J., & Wei, X. (2021). A Fluorescent Detection for Paraquat Based on  $\beta$ -CDs-Enhanced Fluorescent Gold Nanoclusters. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(6), 1178. <https://doi.org/10.3390/foods10061178>
- Rezende, R., Nicoletti, M., Pereira, A., Serafim, B., Paixão, D., Diniz, J., Gama, L., Silva, L., Muñoz, J., & Fukushima, A. (2020). Determinação de Paraquate em maçãs do tipo Gala, Fuji, Argentina e Verde. *Vigil Sanit Debate, Rio De Janeiro*, 8(1), 106–110. <https://doi.org/10.22239/2317-269X.01341>
- Sangsum, C and Saetear P. (2022). All-Step-in-One Test Kit for Paraquat Detection in Water and Vegetable Samples. *Analytica*. 3(1):92-105. <https://doi.org/10.3390/analytica3010007>
- Suntres, Z. (2002). Role of antioxidants in paraquat toxicity. *Toxicology*. 180, 65–77. <https://cradpdf.drdc-rddc.gc.ca/PDFS/unc18/p521125.pdf>
- Sha, O., Cui, B., Chen, X., Liu, H., Yao, J., and Zhu, Z. (2020). Separation and Determination of Paraquat and Diquat in Human Plasma and Urine by Magnetic Dispersive Solid Phase Extraction Coupled with High-Performance Liquid Chromatography. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. 2020, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2020/7359582>
- Siangproh, W., Somboonsuk, T., Chailapakul, O., & Songsrirote, K. (2017). Novel colorimetric assay for paraquat detection on-silica bead using negatively charged silver nanoparticles. *Talanta*. 174, 448–453. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.06.045>
- Suarez, R., Arévalo, E., Linares, L., Ustáriz, F y Hernández, G. (2009). Validación de un método analítico para la determinación de magnesio eritrocitario. *Avances en Química*. 4(2), 53-62. <https://www.redalyc.org/pdf/933/93313204001.pdf>
- Traiwatharanon, P., Siriwatcharapiboon, W., Jongprateepc, O., and Wongchoosuk, C. (2022). Electrochemical paraquat sensor based on lead oxide nanoparticles. *Royal society of chemistry advances*. 12, 16079–16092. <https://doi.org/10.1039/d2ra02034c>
- Yar, A., Ansari, T., Raza, A., y Manzoor S. (2022). Development and Validation of HPLC-UV Method for Determination of Paraquat in Raw and Commercial Samples. *Pakistan Journal of Analytical & Environmental Chemistry*, 23(1), 148-159. <http://doi.org/10.21743/pjaec/2022.06.15>
- Zhang, Y., Huang, Y., Fu, L., Qiu, J., Wang, Z., and Wu, A. (2020). Colorimetric detection of paraquat in aqueous and fruit juice samples based on functionalized gold nanoparticles. *Journal of Food Composition and Analysis*. 92, e103574. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103574>
- Zhao, Z., Zhang, F., y Zhang, Z. (2018). A facile fluorescent "turn-off" method for sensing paraquat based on pyranine-paraquat interaction. *Spectrochimica acta. Part A, Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 199,96-101. <http://10.1016/j.saa.2018.03.042>

Zou, T.; He, P.; Cao, J.; y Li, Z. (2015). Determination of paraquat in vegetables using HPLC-MS-MS. *Journal of Chromatographic Science*. 53(2), 204–209.  
<https://doi.org/10.1093/chromsci%2Fbmu041>

## SEMBLANZA DE LOS AUTORES



**Laura del Carmen Méndez Gutiérrez:** Licenciada en Química y Licenciada en Educación mención Ciencias Naturales y con Maestría en Electroquímica Fundamental y Aplicada de Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Doctorado en Educación de la Universidad Rafael María Baralt, Venezuela. Con 20 años de experiencia docencia. Docente de la Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, Santiago, República Dominicana.



**Cándida Mercedes Concepción Acevedo:** Licenciada en Educación Mención Biología y Química en la Universidad Pedro Henríquez Ureña (UNPHU). Maestría en Química en la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO). Con 10 años de experiencia docencia. Docente en el Centro Educativo Prof. Carlos Manuel Medina Cruz, Rincón, Jima Abajo, Rep. Dom.



**Andy Mariela Ureña Adrián:** Licenciada en Educación Mención Biología y Química, con Maestría en Química de la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), Sánchez Ramírez, República Dominicana. Agrimensora de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU), recinto La Vega, República Dominicana. Docente del Politécnico Don Pepe Álvarez, La Vega, R.D.



**Pedro Leonardo Peña Duarte:** Licenciado en Matemáticas de la Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Maestría en Matemática Aplicada de Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela. Doctorado en Matemática de la de Los Andes, Mérida, Venezuela. Con más de 20 años de experiencia docente. Docente del Instituto de Formación Docente Salomé Ureña, sede Licey al Medio, Santiago, República Dominicana.