

# Evaluación de la dispersión del glifosato en cultivos: enfoque ecológico y económico con papeles hidrosensibles y método enzimático

## Evaluation of glyphosate dispersion in crops: ecological and economic approach with water-sensitive papers and enzymatic method



**Milton Sael Aparicio Villanueva**

Químico

Universidad de Córdoba

[msaparicio@correo.unicordoba.edu.co](mailto:msaparicio@correo.unicordoba.edu.co)

<https://orcid.org/0009-0000-4085-739X>

Colombia

Environment & Technology | ISSN: 2711-4422

Vol. 5 No. 1. Enero-Julio, 2024: 66-82

URL: <https://revistaet.environmenttechnologyfoundation.org/>

DOI: <https://doi.org/10.56205/ret.5-1.4>

Recibido: 29/05/2024

Revisado: 16/06/2024

Aprobado: 08/09/2024

**José Luis Marrugo Negrete**

Ph.D.

Ingeniero químico

Universidad de Córdoba

[jmarrugo@correo.unicordoba.edu.co](mailto:jmarrugo@correo.unicordoba.edu.co)

<https://orcid.org/0000-0002-3181-7529>

Colombia

### Resumen

Implementar un proceso experimental para el muestreo, cuantificación y deriva de glifosato en aspersiones manuales utilizando parches de algodón, el método de inmunoadsorción ligada a enzimas y papeles hidrosensibles (WSP) en el municipio de Ciénaga de Oro, Córdoba, Colombia, utilizando papeles hidrosensibles (WSP) y el método de inmunoadsorción ligada a enzimas en muestras de algodón. **Metodología:** La aspersión se realizó manualmente con una bomba de fumigación de 18 L. Se ubicaron 132 estaciones de muestreo con WSP y parches de algodón en un terreno de 50 x 20 metros. Los papeles hidrosensibles se analizaron mediante el software "DepositScant" y las muestras de algodón con el método enzimático. El análisis estadístico se realizó con el software Statgraphics Centurion versión XVI aplicando análisis de varianza, de distribución y pruebas significativas ( $p < 0.05$ ). **Resultados.** Se reportaron concentraciones promedio de glifosato de  $1,50 \pm 0,16 \mu\text{g/L}$  para la aspersión;  $0,65 \pm 0,14 \mu\text{g/L}$  en la post aspersión diurna y  $0,07 \pm 0,02 \mu\text{g/L}$  para la post aspersión nocturna. De acuerdo con los WSP se descarta el efecto deriva que se produce por la acción del viento. **Conclusión.** Se detectó glifosato en el 48,4% de las muestras analizadas para los procesos de aspersión, post aspersión diurna y nocturna. Las concentraciones de glifosato en la zona variaron considerablemente evidenciando una persistencia en el ambiente.

**Palabras clave:** Aspersión; Deposición atmosférica; ELISA; Plaguicidas; Toxicidad. (Fuentes: CAB thesaurus, FAO, MeSH, NLM.)

## Abstract

To implement an experimental process for the sampling, quantification and drift of glyphosate in manual spraying using cotton patches, the enzyme-linked immunoadsorption method and water-sensitive papers (WSP) in the municipality of Ciénaga de Oro - Córdoba, Colombia, using water-sensitive papers (WSP) and the enzyme-linked immunoadsorption method in cotton samples. **Methodology:** Spraying was performed manually with an 18 L fumigation pump. A total of 132 sampling stations with WSP and cotton patches were located in a 50 x 20 meter plot. Hydrosensitive papers were analyzed using “DepositScant” software and cotton samples were analyzed using the enzymatic method. Statistical analysis was performed with Statgraphics Centurion software version XVI applying analysis of variance, distribution and significant tests ( $p < 0.05$ ). **Results.** Average glyphosate concentrations of  $1.50 \pm 0.16 \mu\text{g/L}$  were reported for the spraying;  $0.65 \pm 0.14 \mu\text{g/L}$  in the daytime post-spraying and  $0.07 \pm 0.02 \mu\text{g/L}$  for the nighttime post-spraying. According to the WSPs, the drift effect produced by wind action is ruled out. **Conclusion.** Glyphosate was detected in 48.4% of the samples analyzed for the spraying, daytime and nighttime post-spraying processes. Glyphosate concentrations in the area varied considerably, showing persistence in the environment.

**Key word:** Spraying; Atmospheric deposition; ELISA; Pesticides; Toxicity (Sources: CAB thesaurus, FAO, MeSH, NLM).

## Introducción

El glifosato es un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura por su eficacia para el control de malezas. Su uso excesivo ha planteado preocupaciones en torno a los riesgos que pueda generar en la salud y el ambiente. Estas preocupaciones han llevado a cambios en las regulaciones y políticas de uso en diferentes regiones y a enfatizar la búsqueda de alternativas más seguras (IARC, 2020).

La exposición a este plaguicida se da muy frecuente cuando se realizan aspersiones aéreas o manuales, presentando un inconveniente adicional: el desvío de la aspersión dentro del área de interés (blanco) por acción del viento, conocido como deriva (Massaro y García, 2017). Este efecto implica un riesgo para las matrices ambientales cercanas al área de aspersión como suelo, agua y personas, por lo cual, determinar el efecto deriva y las concentraciones persistentes de glifosato en las aspersiones, se ha convertido en un objetivo clave para determinar sus posibles riesgos.

Según Bohórquez (2020), la ingesta diaria aceptada de glifosato en humanos se estableció en 0,30 mg/kg de peso corporal según las evaluaciones toxicológicas. Un exceso



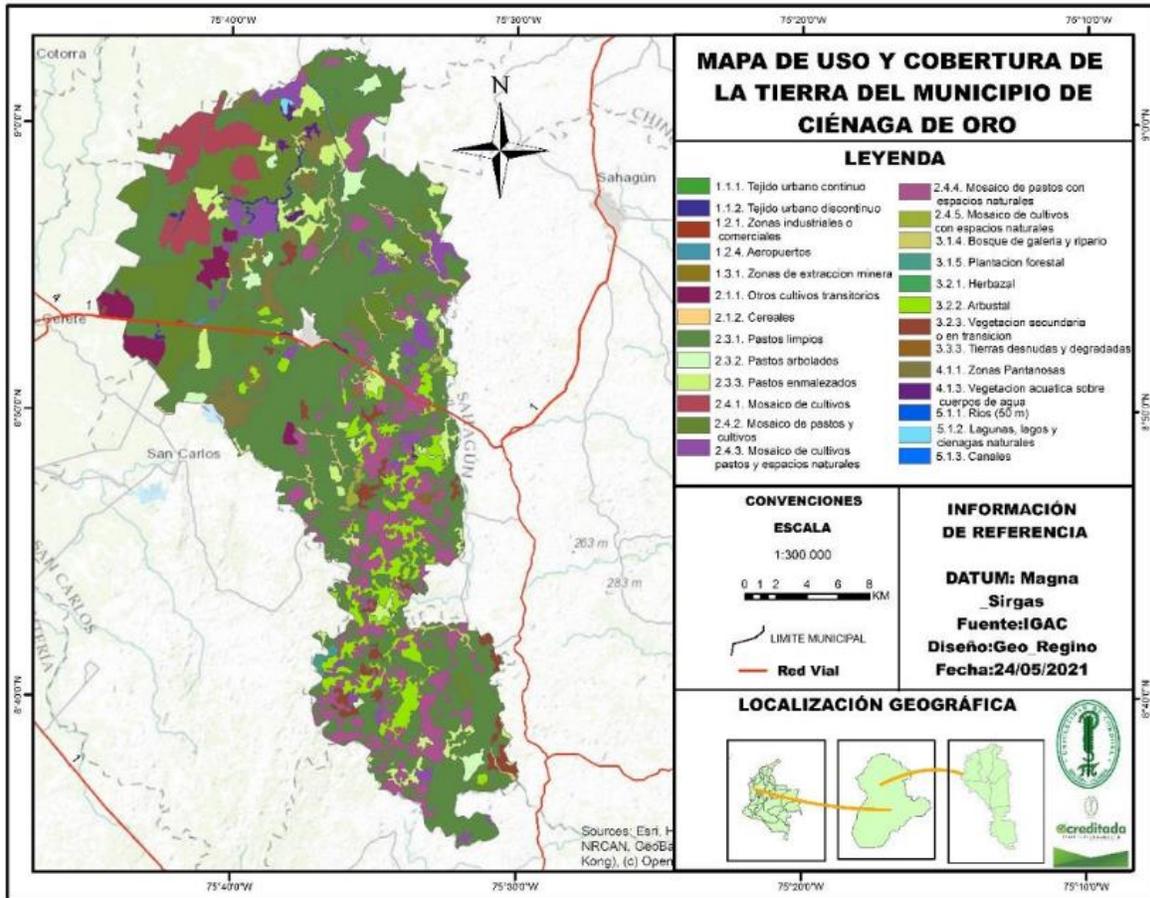
en el organismo puede llevar a la muerte, con una letalidad menor al 30% en la población, con resultados clínicos que varían desde toxicidad de múltiples órganos, nefrotoxicidad, hepatotoxicidad, gastrointestinal, cardiovascular y efectos respiratorios (ICA, 2018a).

Para la determinación de la concentración de glifosato en cualquier matriz es necesaria la derivación de la molécula para su posterior detección. La técnica de cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC) es la más utilizada en la actualidad, pero tiene altos costos de análisis (Paravani et. al., 2016) y el proceso de derivatización es muy complejo. Por otro lado, se han desarrollado nuevos métodos para la determinación de glifosato, como el empleo del ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas (ELISA), que es práctico, rápido, sensible, de bajo costo y selectivo que no requiere de instrumentación sofisticada y permite analizar un elevado número de muestras en poco tiempo (Paravani et. al., 2016).

Los objetivos del presente trabajo consistieron en implementar un proceso experimental para el muestreo de glifosato, utilizando parches de algodón, cuantificación de las concentraciones mediante el método de inmunoabsorción ligada a enzimas (ELISA) y la deriva provocada en la aspersión manual glifosato en la vegetación circundante por medio de papales hidrosensibles (WSP) en el municipio de Ciénaga de Oro.

### **Metodología.**

**Sitio de estudio.** El estudio se desarrolló en un lote de 1000 m<sup>2</sup> de área (50 x 20 m) que posee una vegetación conformado por hierba, pasto y algunos arbustos con tamaños desde los 20 cm hasta 1 m de altura, frente a la universidad de Córdoba sede Berástegui, municipio de Ciénaga de Oro, (8°52'55" N y 75°41'04" W) que se encuentra al Nororiente del Departamento de Córdoba. De acuerdo con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, por sus características topográficas y de suelos, es un municipio con una vocación para la producción agrícola (63%), donde se destacan los cultivos transitorios (43%). La categoría de vocación de forestal de protección ocupa un 17%, seguida de áreas con vocación agrosilvícola con cultivos permanentes (6%) como se muestra en la **Figura 1**.



*Figura 1. Sitio de estudio. Fuente: Regino (2021)*

La aspersión se realizó de manera manual sobre la vegetación existente utilizando una bomba de fumigación Royal Condor de 18 L, con una presión de trabajo de 40 psi (+/- 10%), boquilla de 600 cm<sup>3</sup>/min y una mezcla de Round up Activo, concentrado soluble (Glifosato: 356 g/L de ácido glifosato). Se aplicaron diferentes técnicas de aspersión de acuerdo a la vegetación existente y al conocimiento de los campesinos: una mitad del área en zigzag horizontalmente (vegetación corta o mediana) y la otra mitad verticalmente (vegetación mediana y alta) aplicada a diferentes alturas 20, 30 y 60 cm del suelo.

**Recolección de muestras.** Las estaciones de muestreo se ubicaron de la siguiente manera: tres estaciones centrales separadas a 12,5 m; 12 estaciones en el perímetro del área de estudio (rectángulo) y 15 estaciones ubicadas en ocho líneas distribuidas de acuerdo al centro de la zona de estudio a 10 y 20 m partiendo del borde al área de aspersión (**Figura 2**).



**Figura 2.** Estaciones de muestreo. Fuente: Milton Aparicio (Google Earth)

Los puntos de muestreo consistieron en una base de triple de 20 x 20 cm a la altura del suelo o del dosel circundante en el centro del área de aspersión donde se ubicaron tres parches de algodón y tres papeles hidrosensibles, (**Figura 3**).



**Figura 3.** Estación de muestreo. Fuente: Milton Aparicio (Elaboración propia).

El proceso de pre-aspersión (considerado blanco o control para el análisis) consistió en la ubicación de los WSP y parches en las estaciones de muestreo y posterior recolección luego de 30 min y 4 horas respectivamente (tiempos de recolección en cada muestro); de acuerdo con el estudio de Lamprea et. al. (2011). Se ubicaron nuevos WSP y parches para el proceso de aspersión (aplicación), luego de 8 horas de la aplicación (postaspersión diurna, PAD) y al cabo de 16 horas se ubicaron solamente parches de algodón (postaspersión nocturna, PAN), teniendo en cuenta los tiempos de recolección para cada muestreo. Se utilizaron en cada proceso pinzas de teflón, guantes de nitrilo y bolsas de aluminio debidamente rotuladas.

Las muestras se recolectaron en el mes de marzo, un total de 372 parches de algodón, 93 para cada proceso de muestreo: Pre Aspersión, Aspersión (aplicación), PAD y PAN; y 279 papeles hidrosensibles (WSP), 93 para cada proceso de muestreo: Pre Aspersión, Aspersión y PAD. Los WSP se fotografiaron luego de ser recolectados y los parches se almacenaron en cadena de frío en cavas hasta su debido transporte al laboratorio.

**Análisis de papeles hidrosensibles (WSP).** Los WSP se escanearon a través del software Deposit Scan y se estimó la concentración de glifosato en cada una de las estaciones de muestreo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Gly_{depos} = Vol_{depos} \left( \frac{\mu L_{mezcla}}{cm^2} \right) \times Gly_{mezcla} \left( \frac{ng_{glifosato}}{\mu L_{mezcla}} \right)$$

Donde:

$Gly_{depos}$  es la cantidad de glifosato en  $ng/cm^2$  que se deposita en cada estación de muestro.

$Vol_{depos}$  en  $\mu L/cm^2$  es la cantidad de mezcla que se deposita cada WSP, obtenida a partir del análisis de las imágenes con Deposit Scan.

$Gly_{mezcla}$  en  $ng/\mu L$  es la cantidad teórica de glifosato en la mezcla.

$Gly_{mezcla}$  se obtiene a partir de la preparación de la mezcla de aspersión, sabiendo que la concentración de glifosato (ácido) en el producto formulado es de 356 g/L, y que la mezcla



de aspersión mantiene la relación 10 L de producto formulado por cada 30 L de mezcla. A partir de esta información  $Gly_{mezcla}$  es estimado en 118,5 ng/ $\mu$ L.

***Determinación de la concentración de glifosato mediante el método ELISA.*** Para la detección y cuantificación las medidas fueron llevadas a cabo en placas de pocillos de acuerdo a la cantidad de muestras a analizar y respetando las instrucciones del fabricante.

El analito se extrajo de las muestras (parches de algodón) utilizando 50 mL de agua desionizada y aplicando ultrasonido durante 15 minutos. Se añadieron 250  $\mu$ L de los estándares y muestras a viales rotulados para su derivatización agregando 1 mL de buffer ( $KH_2PO_4/NaOH$  1 M), y luego 100  $\mu$ L del reactivo diluido de derivatización previamente preparado a cada vial, homogenizando con un vortex. Incubamos por 10 min a temperatura ambiente.

Se agregó 50  $\mu$ L de los estándares, control y muestras en cada pozo individual, luego, se adicionó 50  $\mu$ L del anticuerpo específico, mezclando por 60 segundos. Se incubó por 30 min a temperatura ambiente cubriendo la placa con papel siliconado evitando contaminación en las muestras.

Luego de incubar, se agregó 50  $\mu$ L de enzima conjugada mezclando por 60 segundos, se incubó nuevamente por 60 min. Finalizado el tiempo, se lavó por triplicado cada pozo con 250  $\mu$ L de solución de lavado, se secó la placa y se verificó que no quedara ningún rastro de líquido en los pozos. A continuación, se agregó 150  $\mu$ L de solución cromófora (desarrollo de color) en la placa y se mezcló durante 30 s. Se incubó por 30 min cubriendo con papel siliconado.

Al finalizar la incubación se agregaron 100  $\mu$ L de solución Stop Color (ácido sulfúrico 0,5 M) y se mezclaron suavemente durante 30 s. Finalmente, se midió la placa con las muestras en el Equipo Lector ELISA a 450 nm.

### **Aspectos éticos**

Según la OMS (2020) y Bai et. al. (2016), el glifosato se encuentra en la clasificación 2A como probable carcinógeno para humanos, y los plaguicidas que contienen glifosato están

registrados en Colombia en la clase toxicológica IV, levemente tóxicos de forma aguda, basados en la DL<sub>50</sub> oral a ratas del ingrediente activo, considerada mayor de 5.000 mg/kg.

La EPA (U.S. Environmental Protection Agency) clasifica al glifosato como un sustrato "menos tóxico" (categoría IV) para animales, esto debido al modo de acción único del glifosato que se limita a una pequeña gama de organismos, principalmente plantas verdes, hongos y bacterias. La vida media del glifosato y su metabolito principal, AMPA, puede prolongarse entre 10-98 días, dependiendo de las propiedades químicas del suelo y condiciones ambientales, y la ingesta diaria aceptada en humanos se estableció en 0,3 mg/kg de peso corporal, según las evaluaciones toxicológicas (Bohórquez, 2020).

### Resultados y discusión.

A continuación, se relaciona la estimación promedio de las concentraciones de glifosato en WSP (**Figura 4**) a partir del número de gotas depositadas en las tres tarjetas hidrosensibles de cada sitio de muestreo y el uso del software Deposit Scan.



**Figura 4.** Estimación de la concentración de glifosato en WSP.

Fuente: Milton Aparicio (Elaboración propia)

## Datos obtenidos por el método Elisa

**Curva de Calibrado.** La concentración de glifosato se obtuvo interpolando los valores de absorbancia obtenidos en las muestras, en una curva de calibración del %B/B<sub>0</sub> versus concentración de glifosato. B es la media de la absorbancia de los estándares de concentración conocida provistos por la empresa Abraxis LLC (0; 0,075; 0,2; 0,5; 1,0 y 4,0 µg/L) y B<sub>0</sub> la media de la absorbancia del solvente utilizado sin glifosato.

**Concentraciones obtenidas.** En la **Tabla 1** se describen las concentraciones promedios encontradas en los puntos más importantes, analizados por duplicado por el método ELISA.

**Tabla 1.**

*Concentraciones promedio de glifosato en cada punto de muestreo.*

<b>P. Muestreo</b>	<b>Prom A</b>	<b>Prom PAD</b>	<b>Prom PAN</b>
<b>C<sub>1</sub></b>	1,737	0,622	0,079
<b>C<sub>2</sub></b>	1,598	0,608	0,080
<b>C<sub>3</sub></b>	1,434	0,729	0,089
<b>P<sub>1</sub></b>	1,282	0,505	0,087
<b>P<sub>2</sub></b>	1,512	0,411	0,091
<b>P<sub>3</sub></b>	1,815	0,865	0,081
<b>P<sub>4</sub></b>	1,475	0,563	0,088
<b>P<sub>5</sub></b>	1,494	0,555	0,091
<b>P<sub>6</sub></b>	1,360	0,599	0,078
<b>P<sub>7</sub></b>	1,377	0,616	0,084

<b>P<sub>8</sub></b>	1,381	0,711	N.D.*
<b>P<sub>9</sub></b>	1,361	0,721	0,079
<b>P<sub>10</sub></b>	1,418	0,788	N.D.*
<b>P<sub>11</sub></b>	1,584	0,723	N.D.*
<b>P<sub>12</sub></b>	1,663	0,824	0,086
<b>Promedio</b>	1.500 ( $\pm 0.157$ )	0.655 ( $\pm 0.141$ )	0.741 ( $\pm 0.604$ )

*N.D.\*: No Detectado. Límite Observado de Detección (LD): 0,07 µg/L. Límite de Cuantificación 4 µg/L. Fuente: Milton Aparicio (Elaboración propia).*

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla, no existe correlación de los puntos de mayor y menor concentración entre los WSP y algodones.

La mayor concentración en los WSP se encontró en el punto C<sub>3</sub> (16.093,8 µg/L) que fue diferente de acuerdo con los algodones, donde el punto con mayor concentración fue el punto P<sub>3</sub> (1,815 µg/L). Los puntos con menor concentración, fueron el punto P<sub>5</sub> (6183,3 µg/L) para WSP y el punto P<sub>1</sub> (1,282 µg/L) para algodones. Este comportamiento puede deberse a la influencia de factores ambientales como el viento y la vegetación circundante, así como a la técnica empleada en la aspersión.

Teniendo en cuenta los puntos analizados, se logró estimar resultados positivos en el 48,4% de las muestras para cada uno de los procesos de Aspersión, PAD y PAN, que, de acuerdo con el análisis estadístico, las concentraciones promedias fueron de  $1,50 \pm 0,156$ ;  $0,65 \pm 0,14$  y  $0,07 \pm 0,02$  µg/L respetivamente. Lo anterior puede dar una idea de la persistencia que podría tener el glifosato con este tipo de aplicaciones.

Los resultados obtenidos el día de la aspersión en el área de estudio son similares a los encontrados por Morshed et. al. (2011) y por Lavy et. al. (1992), que aplicaron una metodología de muestreo parecida a la utilizada en este estudio y a los resultados obtenidos por Paravani et. al (2016), Kumar et. al. (2014) y Nardo et. al. (2015), quienes utilizaron el

método de inmunoensayo por enzimas ELISA para el análisis de las muestras, estos datos se relacionan en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.**

*Relación de los resultados de ELISA con la literatura consultada*

Autor	Investigación	Resultado
Johnson et al. 2005	Utilizaron parches de algodón estándar (100 cm <sup>2</sup> ; Philip Harris Medical, Birmingham, Reino Unido) adaptados a la ropa de los trabajadores expuestos a fumigación con tractores. La cuantificación se realizó mediante la cromatografía de gases acoplado a masas.	7 – 37 mg/m <sup>3</sup>
Kumar et al. 2014	Utilizaron ratones C57BL/6, TLR4-/- e IL-13-/- en una granja, exponiéndolos a inhalar extractos de muestras de aire ricas en glifosato recolectadas durante la fumigación de herbicidas. Analizaron muestras de sangre mediante la técnica ELISA. Adicionalmente evaluaron la respuesta celular, la respuesta humoral y la función pulmonar de los ratones expuestos.	17,33 µg/L – 22,59 ng/m <sup>3</sup>
Lavy et al. 1992	Usaron gasa de algodón en forma de parches de 15 cm <sup>2</sup> pegada a la ropa de los trabajadores. La cuantificación se realizó con el método de HPLC-UV utilizando un muestreador automático LDC/Milton Roy, Whatman C18 PartiSphere. Todas las muestras fueron analizadas a 254 y 280 nm.	0,03 – 11,27 µg/mL

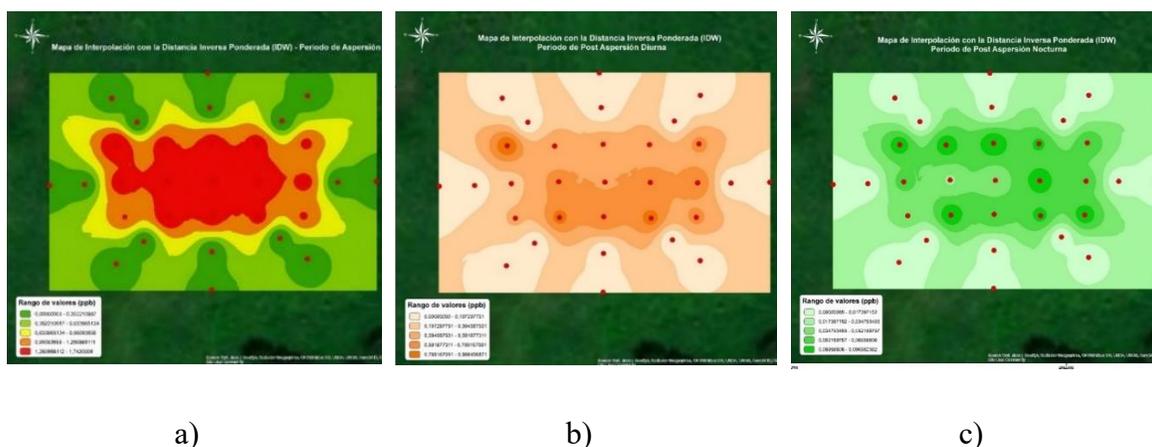
	Recolectaron las muestras a través de gasa de algodón (Gasmed Sdn. Bhd., Malasia)	
Morshed et al. 2011	ubicadas a 1 m de altura y posteriormente se analizaron mediante la Cromatografía Líquida con Detector de Diodos y Fluorescencia (HPLC-FD).	0,84 – 4,16 ng/cm <sup>2</sup>
	Investigaron la presencia de glifosato en muestras de agua y algunos de sus afluentes de la Laguna de Rocha, Uruguay, mediante ELISA y cromatografía iónica	
Nardo et al. 2015		0,27 – 0,92 µg/L
	Determinación de glifosato utilizando papeles hidrosensibles y el método de inmunoabsorción ligada a enzimas (elisa) en muestras de algodón en el municipio de Ciénaga de Oro	
Este estudio		0,077 – 1,815 µg/L

*Fuente: Milton Aparicio (Elaboración propia)*

La tabla 3 muestra las comparaciones de los resultados obtenidos con los reportados en la literatura. Los resultados de este estudio mostraron concentraciones que variaron entre 0,077 µg/L y 1,815 µg/L. Estas cifras se compararon con investigaciones previas como la de Johnson et. al. (2005), quienes encontraron concentraciones más altas (7 – 37 mg/m<sup>3</sup>) en trabajadores expuestos a la fumigación agrícola con tractores. Además, estudios como el de Kumar et. al. (2014), revelaron concentraciones significativamente mayores en experimentos controlados con ratones expuestos directamente a aerosoles de herbicidas, con niveles que alcanzaron hasta 22,59 ng/m<sup>3</sup>. En contraste, estudios como el de Morshed et. al. (2011), mostraron concentraciones más moderadas (0,84 – 4,16 ng/cm<sup>2</sup>) recolectadas a un metro de altura con gasas de algodón, similares a las encontradas por Milton et al. (2023). Esta variabilidad subraya la influencia de los métodos de exposición y las condiciones ambientales en la presencia de glifosato, destacando la importancia de considerar diferentes contextos para una evaluación precisa de riesgos ambientales y de salud pública.

Para los procesos de PAD y PAN, se obtuvieron resultados positivos para la presencia de glifosato encontrando concentraciones para PAD desde 0,555  $\mu\text{g/L}$  (PAD-P<sub>5</sub>) hasta de 0,824  $\mu\text{g/L}$  (PAD-P<sub>12</sub>) y de 0,077  $\mu\text{g/L}$  (PAN-C<sub>3</sub>) hasta 0,091  $\mu\text{g/L}$  (PAN-P<sub>4</sub>) para las PAN; esta variación de los resultados en el área de estudio se debe a las diferentes cantidades de glifosato que se depositaron por toda la zona.

A continuación, se relacionan geográficamente las concentraciones encontradas en los procesos de Aspersión (**Figura 5a**), PAD (**Figura 5b**) y PAN (**Figura 5c**) para los parches de algodón.



**Figura 5.** Mapa geográfico de concentraciones: a) Aspersión, b) PAD, c) PAN. Fuente: Milton Aparicio (Elaboración propia).

La mayor concentración de glifosato en el proceso de aspersión se concentra en la parte central del área de estudio, aunque podemos observar también influencia hacia la parte noroeste que corresponde al punto P<sub>3</sub>. Para el proceso de PAD la mayor influencia de glifosato se trasladó a la parte sur en los puntos 8, 10 y 12 y en el punto P<sub>3</sub> al noroeste de la zona. Finalmente, para el proceso de PAN las concentraciones de glifosato se trasladan a la derecha de la zona de estudio y parte de la zona norte.

## Discusión

La utilización de papeles hidrosensibles brindó información importante del movimiento del glifosato en el área de estudio, con los resultados obtenidos entre el software Deposit Scan y ELISA se descarta el efecto deriva que se produce por la acción del viento.



Teniendo en cuenta el método de aplicación manual, el cual es a 1 m aproximadamente del suelo, podemos inferir que es mínimo el movimiento del glifosato por acción del aire a diferentes zonas cercanas al área de aplicación.

Las concentraciones de glifosato en la zona variaran considerablemente y se evidencia una persistencia en el ambiente del glifosato con concentraciones de  $0,655 \pm 0,140$   $\mu\text{g/L}$  para la aspersión diurna (4 h) y de  $0,077 \pm 0,017$   $\mu\text{g/L}$  para la aspersión nocturna (8 h).

Los mapas geográficos muestran un comportamiento aleatorio de las concentraciones de glifosato al transcurrir el tiempo, que puede deberse a la acción del viento, temperatura y humedad del lugar.

Se analizó un número considerable de muestras obteniendo resultados confiables (reproducibles) en el 48,4% de ellas en los procesos de Aspersión, PAD y PAN, por tanto, el método ELISA se considera una alternativa confiable y sencilla de análisis.

### **Conclusiones.**

El método ELISA utilizado, demuestra ser una alternativa eficiente, rápida y económica ya que se logró reproducir los parámetros estandarizados por sus fabricantes para la determinación de la concentración de glifosato; así mismo, estos resultados son similares a los obtenidos por otros métodos y autores ya citados en este trabajo.

No obstante, teniendo en cuenta los trabajos previos, como el de Johnson et al. (2005), el glifosato puede permanecer prolongadamente en la ropa y piel de las personas, lo cual puede provocar enfermedades cutáneas y respiratorias; los mismos autores concluyeron que la exposición dérmica, en manos, guantes y calcetines de los trabajadores oscila entre 0,6 y 13,6 ml/h. Adicional una exposición potencial al líquido de pulverización por inhalación en el 85 % de las muestras, con rango de 7 a 37  $\text{mg/m}^3$ , lo cual infiere una alta exposición al glifosato.

Esto se refleja también en el estudio de Kumar et. al. (2014), cuyos resultados demuestran la capacidad de las muestras de aire ricas en glifosato y del glifosato puro, para inducir inflamación tipo 2 de las vías respiratorias, tanto en períodos de tiempo cortos como prolongados; y el de Morshed et. al. (2011), donde encontraron que la concentración más alta



de glifosato ( $42,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) se midió en el aire en la zona de respiración del operador durante el período de aplicación de aspersión de 25 minutos. Por tanto, se debe tener cuidado con los procesos de aspersión y uso de glifosato, como también utilizar los equipos de protección personal específicos para cuidar la salud de las personas aplicadoras y otras expuestas.

### **Recomendaciones**

A partir de los resultados obtenidos, se recomienda a la población campesina y trabajadores agrícolas de Ciénega de Oro, que manipulan glifosato y otros plaguicidas, los siguientes puntos:

- Utilizar siempre los equipos de protección personal adecuados.
- Disminuir y controlar la aplicación de glifosato en el control de plagas y malezas en los cultivos de la zona.
- Las aplicaciones manuales de glifosato se deben hacer en la menor distancia posible del suelo, para evitar efectos negativos por la exposición del glifosato adsorbido en la ropa de los campesinos.
- Si la vegetación o campo a fumigar es alta, se recomienda la utilización de trajes antifluido y mascarillas de seguridad para evitar el contacto de la piel, ojos y vías respiratorias del glifosato y evitar posibles riesgos a la salud.
- Unir esfuerzos con los entes territoriales como Alcaldía o Gobernación, para adelantar campañas alternativas de manejo responsable de los cultivos, evitando la contaminación por la aplicación de agroquímicos, buscando una agricultura sustentable y amigable con el medio ambiente.

### **Agradecimientos**

Al doctor José Luis Marrugo Negrete por colaboración, conducción y ejecución de este trabajo. Al Grupo de Aguas, Química Aplicada y Ambiental, Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental, Montería, por la colaboración en el muestreo y análisis de las muestras por el método ELISA.

A Dios por permitirme culminar esta meta de crecimiento personal y profesional. Especialmente a mi madre por todo su apoyo y motivación a mis hermanos y amigos que estuvieron conmigo en este proceso motivándome y aconsejándome a seguir adelante

## Referencias

- Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), Organización Mundial de la Salud. (2020). Evaluation of Five Organophosphate Insecticides and Herbicides. Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), Organización Mundial de la Salud. <https://www.iarc.who.int/news-events/iarc-monographs-volume-112-evaluation-of-five-organophosphate-insecticides-and-herbicides/>
- Bai SH, Ogbourne SM. (2016). Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination. *Environ Sci Pollut Res Int*. Oct; 23(19):18988-9001. doi: 10.1007/s11356-016-7425-3. Epub 2016 Aug 19. PMID: 27541149.
- Bohórquez Vivas, D. (2020). Métodos analíticos para la determinación de Glifosato en matrices ambientales. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/77955>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2018a). Registros de venta de plaguicidas químicos de uso agrícola. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/Areas/Agricola/Servicios/Regulacion-y-Control-de-Plaguicidas-Quimicos/REGISTROS-DE-VENTA-FEB-28-2017.aspx>
- Johnson, DA Rimmer, Ani Garrod, JE Helps, C. Mawdsley, (2005). Exposición del operador al aplicar herbicidas de uso en vehículos todo terreno y aplicadores de gotitas controlados, *The Annals of Occupational Hygiene*, Volumen 49, Número 1, enero de 2005, páginas 2532, <https://doi.org/10.1093/annhyg/meh073>
- Kumar, S., Khodoun, M., Kettleson, E. M., McKnight, C., Reponen, T., Grinshpun, S. A., & Adhikari, A. (2014). Glyphosate-rich air samples induce IL-33, TSLP and generate IL-dependent airway inflammation. *Toxicology*, 325, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2014.08.008>
- Lamprea, Katerine & Ruban, Véronique. (2011). Characterization of atmospheric deposition and runoff water in a small suburban catchment. *Environmental technology*. 32. 1141-9.10.1080/09593330.2010.528045.

Lavy, T. L., Cowell, J. E., Steinmetz, J. R., & Massey, J. H. (1992). Conifer seedling nursery worker exposure to glyphosate. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 22(1), 6–13. doi:10.1007/bf00213295 (Trabajo que se utilizó para la comparación de resultados.)

Massaro, R., & García, A. (2017). Evaluación de la deriva en pulverización aérea y terrestre con plaguicidas en situación de barbecho. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Centro Regional Santa Fe Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-ensayo-deriva-aerea-y-terrestre.pdf>

Morshed, Md. Mahbub et al. “Determinación de glifosato mediante métodos de muestreo pasivos y activos en atmósfera de campo tratada”. *Revista Africana de Investigación Agrícola* 6 (2011): 4010-4018. DOI: [10.5897/AJAR11.533](https://doi.org/10.5897/AJAR11.533) (Trabajo que se utilizó para la comparación de resultados y generación de metodología)

Nardo, D., Evia, G., Castiglioni, E., Egaña, E., Galiotta, G., Laporta, M., & Núñez Chichet, M. E. (2015). Determinación de Glifosato mediante inmunoensayo enzimático (ELISA) en el Paisaje Protegido Laguna de Rocha y su entorno, Uruguay. *INNOTEC*, (10 ene-dic), 64–70. <https://doi.org/10.26461/10.06>

Organización Mundial de la Salud, OMS (2020). “Anexo B: Clasificación Toxicológica de los Plaguicidas,” pp. 245–247, 2015. ISBN: 9789240016057. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240005662>

Paravani, Enrique V., Sasal, María C., Sione, Silvana M., Gabioud, Emmanuel A., Oszust, José D., Wilson, Marcelo G., Demonte, Luisina, & Repetti, María R.. (2016). Determinación de la concentración de glifosato en agua mediante la técnica de inmunoabsorción ligada a Enzimas (ELISA). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(4), 399-406. <https://doi.org/10.20937/rica.2016.32.04.03>

Regino Bruno, J. (2021). Vocación agrícola, y conflictos por cambios en los usos del suelo en el municipio de Ciénaga de Oro Córdoba: una mirada desde la geografía rural. (<https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/4280>)