

Artículo de revisión bibliográfica

<https://doi.org/10.47460/minerva.v5i15.175>

Estudio de los efectos de los residuos del glifosato en los alimentos mediante la técnica inmunoquímica ELISA: una revisión preliminar

Michelle Cevallos*

<https://orcid.org/0009-0005-9460-0086>

mcevallos6918@utm.edu.ec

Universidad Técnica de Manabí

Facultad de ingeniería y Ciencias Aplicadas

Portoviejo, Ecuador

Natasha Santana

<https://orcid.org/0009-0005-2366-7376>

nsantana5670@utm.edu.ec

Universidad Técnica de Manabí

Facultad de ingeniería y Ciencias Aplicadas

Portoviejo, Ecuador

Ramón Cevallos

<https://orcid.org/0000-0002-8583-4674>

ramon.cevallos@utm.edu.ec

Universidad Técnica de Manabí

Facultad de ingeniería y Ciencias Aplicadas

Portoviejo, Ecuador

Felipe Jadán

<https://orcid.org/0000-0002-5640-2207>

felipe.jadan@utm.edu.ec

Universidad Técnica de Manabí

Departamento de Procesos químicos, Alimentos y

Biotecnología

Manabí, Ecuador

*Autor de correspondencia: mcevallos6918@utm.edu.ec

Recibido (6/08/2024), Aceptado (1/09/2024)

Resumen: El glifosato, un herbicida ampliamente empleado, ha generado inquietudes por sus posibles riesgos para la salud y su aparición en distintos productos alimenticios. El análisis resalta la importancia de monitorear dichos restos para asegurar la inocuidad alimentaria y cumplir con las regulaciones pertinentes. Se explica detalladamente la técnica ELISA, sus fundamentos y beneficios en comparación con otras metodologías analíticas disponibles. Se aborda tanto la sensibilidad como la especificidad de ELISA para detectar niveles mínimos de glifosato en matrices alimenticias complejas. Asimismo, se revisan investigaciones comparativas con otros métodos de detección y se exploran los posibles impactos en la salud derivados de una exposición crónica al glifosato. El informe concluye enfatizando el papel crucial que desempeña ELISA en el seguimiento de los residuos de glifosato y fomenta a proseguir con investigaciones continuas destinadas a perfeccionar los métodos de detección y comprender mejor los efectos del glifosato en nuestra salud.

Palabras clave: técnica Elisa, glifosato, salud, herbicida

Study of the effects of glyphosate residues in food by
immunochemical ELISA: a preliminary review.

Abstract.- Glyphosate, a widely used herbicide, has raised concerns due to its potential health risks and its presence in various food products. The analysis highlights the importance of monitoring these residues to ensure food safety and comply with relevant regulations. The ELISA technique is explained in detail, including its principles and benefits compared to other analytical methodologies. ELISA's sensitivity and specificity in detecting minimal glyphosate levels in complex food matrices are addressed. The report also examines comparative research on alternative detection methods and investigates the potential health impacts of chronic glyphosate exposure. It concludes by highlighting the essential role of ELISA in monitoring glyphosate residues and advocates for ongoing research to refine detection methods and deepen our understanding of glyphosate's effects on health.

Keywords: Elisa technique, glyphosate, health, herbicide.

I. INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la agricultura, el ser humano ha utilizado diversos productos para el manejo de suelos y la regulación de plagas, enfermedades y malas hierbas. En las últimas cinco décadas, la agricultura ha experimentado una revolución gracias a herbicidas químicos desarrollados en laboratorios, sintetizados para controlar malezas. El propósito de estos pesticidas ha sido siempre preservar, gestionar y potenciar el crecimiento de los cultivos de interés [1]. La N-(fosfonometil)-glicina, conocida como glifosato (Fig. 1), constituye el ingrediente activo en los herbicidas a base de glifosato (GBH), los cuales son los herbicidas más ampliamente utilizados a nivel global. De hecho, solo en Estados Unidos se aplican aproximadamente 280 millones de libras de glifosato anualmente [2].

Descubierto inicialmente por un científico de Monsanto, el glifosato estuvo originalmente patentado como Roundup (Monsanto), un GBH de amplio espectro que contiene glifosato como su ingrediente activo, combinado con agua y adyuvantes inertes de composición desconocida. Los GBH fueron rápidamente adoptados en las prácticas agrícolas debido a su percibida baja toxicidad para los animales, ya que el glifosato actúa inhibiendo la vía específica del shikimato de las plantas para el crecimiento de malezas [3]. Concretamente, el glifosato inhibe la enzima 5 enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS), la cual es exclusiva de plantas y microorganismos [4], lo que ha llevado a la suposición de que este compuesto es seguro para los animales, incluidos los humanos, dado que estos carecen de esta enzima. La EPSPS es crucial para la síntesis de aminoácidos aromáticos esenciales como triptófano, fenilalanina y tirosina, así como otros metabolitos secundarios, lo que confiere al glifosato una eficacia notable como herbicida.

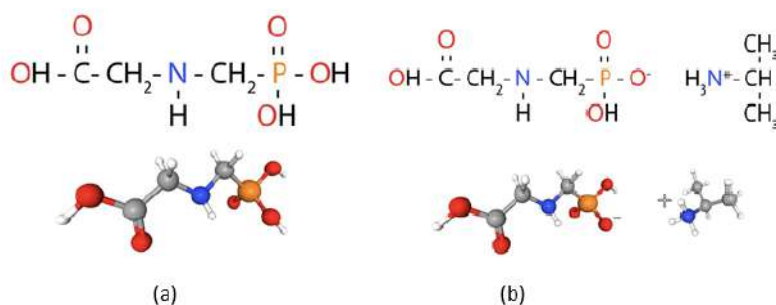


Fig. 1. N-(fosfonometil)glicina (glifosato) b) Sal isopropilamina de glifosato [5].

El glifosato genera millones de dólares por sus ventas. De acuerdo con investigaciones, este herbicida ha sido asociado con impactos teratogénicos en seres acuáticos y enfermedades en humanos. Debido a su extenso uso en la agricultura y a la introducción de organismos modificados inmunes a herbicidas, han identificado la presencia de glifosato en fuentes de alimentos y agua. Por esta razón, diversas entidades han fijado límites máximos de residuos para supervisar la exposición al glifosato [4].

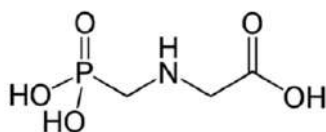


Fig. 2. Fórmula estructural del glifosato [6].

En 2015, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud [7] calificó al glifosato como posible cancerígeno para los seres humanos, lo que ha generado preocupación y un análisis más profundo de su uso y exposición. Sin embargo, existen opiniones divergentes sobre este tema, con algunas agencias regulatorias, como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, sugiriendo un menor riesgo para la salud humana.

Hasta la fecha, no se ha explorado ampliamente el estándar de umbral de seguridad ocupacional y la evaluación de riesgos para la salud humana relacionada con la exposición al glifosato mediante evaluaciones internas y de dosis de exposición. Por lo tanto, esta revisión de la literatura tiene como objetivo analizar los posibles daños en la exposición humana y los métodos de detección para respaldar la recopilación de datos en futuros estudios de investigación o el establecimiento de un límite de exposición ocupacional recomendado para el glifosato [8].

Dada esta controversia y la necesidad de una evaluación precisa del glifosato en el medio ambiente, el desarrollo y la aplicación de métodos sensibles y confiables, como el ELISA, son fundamentales para comprender mejor su exposición y sus posibles efectos sobre la salud. La técnica ELISA (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay o ensayo por inmunoadsorción ligado a enzimas) se destaca como una herramienta importante en la detección y cuantificación precisa del glifosato. Su fundamento reside en la interacción altamente específica entre anticuerpos y antígenos. En particular, los anticuerpos diseñados para reconocer el glifosato son esenciales para este proceso.

II. METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática de la literatura de artículos científicos de intoxicación por herbicidas y repercusiones a la salud humana, tanto de la literatura nacional como internacional. Las bases de datos utilizadas incluyeron SciELO, ScienceDirect, Google Scholar y PubMed en búsquedas de reportes de casos, artículos de revisión y artículos de opinión en idioma inglés y español. Para ello se emplearon los siguientes términos: "Glyphosate ELISA", "Glyphosate defects" "ELISA", "Glifosato", "glifosato cancerígeno", "kit ELISA glifosato" "metodología ELISA". En la tabla 1 se muestran los principales resultados encontrados en los motores de búsqueda y bases de datos.

Tabla 1. Resultados de documentos encontrados en cada búsqueda.

Año	PubMed	Scopus	Web of Science	Google Scholar	Total
2018	5	8	6	10	29
2019	7	12	9	15	43
2020	6	10	7	12	35
2021	8	14	10	18	50
2022	10	16	12	20	58
2023	12	18	15	22	67

La exploración mediante términos clave permitió identificar publicaciones asociadas al tema con pertinencia exclusiva al método ELISA, se localizaron artículos con el texto completo disponible, pero muchos de estos se centraban en la medicina. Se aplicaron criterios adicionales para seleccionar estudios con resultados completos relacionados con la presencia de glifosato en alimentos y su posible asociación con enfermedades y que la técnica empleada para la detección del herbicida fuera el ELISA.

En la figura 1 se muestran los principales países que han desarrollado investigaciones en la temática de estudio, se sugiere un aumento significativo en las investigaciones sobre Glyphosate ELISA en los últimos años. La tabla 1 indica un crecimiento constante en la cantidad de publicaciones anuales desde 2018 hasta 2023, con un notable incremento en 2021 y 2023. Este incremento puede reflejar una mayor preocupación global por el uso de glifosato y sus posibles impactos en la salud y el medio ambiente, impulsando más estudios y desarrollos en métodos de detección como ELISA.

En cuanto a los países que lideran esta investigación, la fig. 1 revela que Estados Unidos y China son los principales contribuyentes, mostrando un crecimiento constante en publicaciones. Alemania, Reino Unido y Brasil también han aumentado su producción científica en esta área, aunque a un ritmo ligeramente menor. Esto indica una amplia distribución geográfica del interés y la actividad investigadora en torno al glifosato y su detección, con una notable colaboración internacional que podría estar facilitando avances significativos en la tecnología ELISA aplicada a este herbicida.

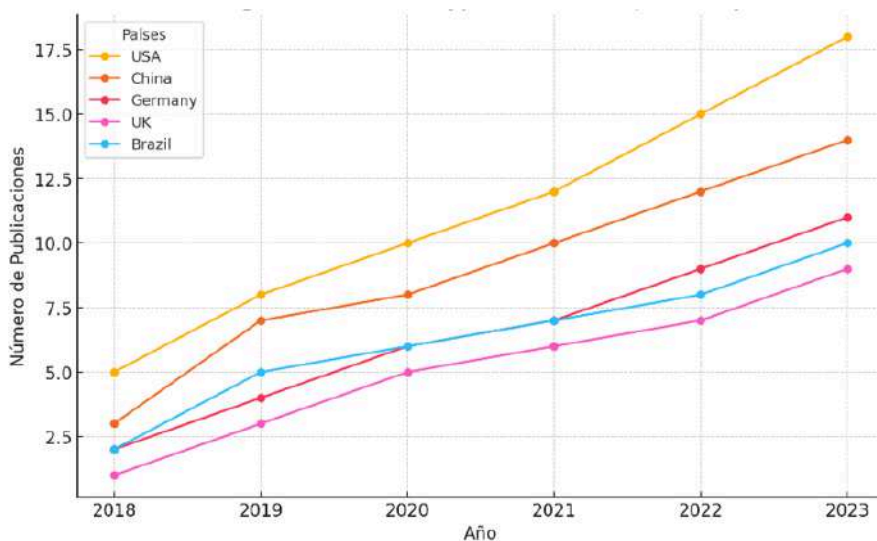


Fig. 3. Principales países que han desarrollado investigaciones sobre el Glyphosate ELISA.

Además, se evaluó la calidad de los documentos analizados siguiendo los criterios descritos en la tabla 2, donde se indica que las preguntas de investigación para la selección de documentos estuvieron centradas en el uso efectivo del método ELISA y las preocupaciones del uso de Glyphosate.

Tabla 2. Preguntas para la evaluación de calidad de los documentos seleccionados.

Control de Calidad (QA)	Preguntas de evaluación de calidad	Respuesta
QA1	¿El documento describe el impacto del Glyphosate en el ambiente y la salud?	(+1) Sí/ (+0) No
QA2	¿El documento especifica las características del Método ELISA?	(+1) Sí/ (+0) No
QA3	¿El documento presenta alguna discusión sobre los hallazgos relacionados con el uso del Glyphosate y el método ELISA?	(+1) Sí/ (+0) No
QA4	¿Se plantean estrategias para el uso efectivo de Glyphosate?	(+1) Sí/ (+0) No
QA5	¿Se plantean estrategias para el uso efectivo del método ELISA?	(+1) Sí/ (+0) No

III. RESULTADOS

Los resultados de la revisión se dividen en 3 temas para su presentación: A) Métodos analíticos instrumentales, B) Metodología ELISA, y C) Regulación y toxicología del glifosato.

A. Métodos analíticos instrumentales

Detectar este herbicida ha supuesto un reto para aquellos interesados en profundizar en estas técnicas, dado que es un procedimiento costoso y que demanda tiempo. La práctica común implica el uso de cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC, por sus siglas en inglés) o cromatografía de gases (GC) con distintos detectores, aunque en el mercado es más habitual recurrir a enfoques alternativos como la técnica ELISA.

Se han llevado a cabo diversos estudios de identificación de pesticidas en agua y alimentos mediante técnicas de ELISA [9]. Este inmunoensayo presenta ciertas ventajas en comparación con los métodos químicos, ya que utiliza anticuerpos marcados en reacciones competitivas para la detección de herbicidas. Además, es sensible y selectivo para la determinación del glifosato, posibilitando estudios ambientales rápidos [10].

Varios estudios han focalizado sus esfuerzos en la validación y la creación de inmunoensayos. En 2021 se elaboró un ELISA utilizando anticuerpos aviares para la detección de glifosato en muestras alimentarias, complementando el análisis de HPLC con detector de fluorescencia [11]. Parámetros como reactividad cruzada, veracidad, sensibilidad y linealidad fueron evaluados en este ensayo. Esta comparación de técnicas también se encontró en un estudio en 2019 [12], cuyos autores concluyeron que la técnica ELISA es una opción económica y confiable para el análisis de glifosato.

Además, se ha implementado estudios sobre la presencia de glifosato en aguas de río mediante ELISA que implica una etapa de modificación con anhídrido acético, luego la detección con anticuerpos inmóviles marcados con albúmina de suero de ganado vacuno. La conclusión obtenida es que el método analítico ELISA se presenta como una opción sensible, económica y eficaz para la examinación de muestras ambientales que tienen glifosato [12].

La mayoría de las pruebas ELISA involucran ensayos en una fase sólida, donde un antígeno o un anticuerpo se une en un proceso competitivo o no competitivo. Sin embargo, en todas las variantes de las pruebas ELISA, es esencial llevar a cabo una fase de separación para erradicar el conjugado enzimático libre, seguida de la medición de la reacción catalítica entre el sustrato y la enzima.

Independientemente de la técnica utilizada, para interpretar los datos de manera adecuada, es fundamental comprender las capacidades y limitaciones del método empleado [13]. En la tabla 3 se muestran los principales métodos utilizados, sus ventajas y desventajas.

Tabla 3. Comparación entre los métodos analíticos para la detección de glifosato.

Método	Ventajas	Desventajas
Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (HPLC) [14]	Metodología de cuantificación fiable, sensible, selectivo y repetible	Equipo costoso, requiere un operador especializado y un especialista para interpretar los resultados.
Ensayo por inmunoadsorción Ligado a Enzimas (ELISA) [15]	Específico, rápido y fácil de usar Equipo de bajo costo Límite de detección bajo Análisis simultáneo de muestras múltiples Análisis semicuantitativos (screening) o cuantitativos posibles Poco limitado de disolventes orgánicos	Posible reactividad cruzada con Micro toxinas relacionadas Interferencia de matriz Posibles falsos positivos/negativos Rango de detección estrecho Puede ser necesario realizar un análisis de cromatografía (LC) confirmatorio.
Cromatografía de gases (GC) [16]	Alta sensibilidad y selectividad. Ampliamente utilizado en el análisis de pesticidas. Rápido tiempo de análisis. Capaz de manejar grandes volúmenes de muestras.	Requiere capacitación técnica especializada Necesita purificación de muestras. No apta para análisis de compuestos termoestables.
Espectrometría de masas (MS) [17]	Identificación específica de compuestos. Sensibilidad y selectividad mejoradas. Puede acoplarse con otras técnicas cromatográficas.	Requiere experiencia en interpretación de datos. Costo y mantenimiento elevados. Requiere preparación de muestras complejas.
Espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) [18]	No destructiva y análisis rápido Requiere menos preparación de muestras	Menor sensibilidad que técnicas cromatográficas. Limitado en la identificación de compuestos. Necesita calibración

B. Ensayo por Inmunoadsorción Ligado a Enzimas (ELISA)

Comúnmente, las pruebas ELISA se realizan en unas placas de noventa y seis pocillos, lo que hace fácil la detección simultánea de múltiples muestras y es adecuado para el tamizaje. Las muestras usuales en estos ensayos incluyen suero, plasma, sobrenadantes de cultivos celulares, lisados tisulares y orina; aunque teóricamente, la mayoría de los tipos de muestras líquidas podrían emplearse. Es importante tener en cuenta que algunos tipos de muestras pueden contener factores inhibidores, como componente de buffer que comparten epítopos antigénicos similares o factores como proteasas que pueden dañar el objetivo o los componentes de detección, interfiriendo así con el rendimiento del ensayo.

Existen varios formatos de ensayos diferentes, pero todos se basan en la unión de un anticuerpo/antígeno capaz de capturar la molécula en la superficie de la placa. Un paso de detección implica un antígeno conjugado o con más frecuencia, un anticuerpo, que se utiliza en casos de detección y cuantificación de la unión con éxito, generalmente mediante la técnica de detección colorimétrica.

Algunas investigaciones han analizado la presencia de glifosato mediante la técnica ELISA, utilizando un kit de detección de glifosato distribuido por la empresa Abraxis LLC. Otros estudios han realizado unas muestras de trigo duro certificando que este es capaz de analizar dichas muestras para determinar las concentraciones de glifosato. La evaluación de los kits de prueba para esta aplicación sugiere que los datos son reproducibles y precisos.

C. Regulación y toxicología del glifosato

Se ha generado controversia en torno al potencial cancerígeno del glifosato. En el año 2015, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) [7] de la Organización Mundial de la Salud clasificó al glifosato como un compuesto del Grupo 2A, lo que significa que es probablemente cancerígeno para los seres humanos. Sin embargo, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos concluyó en 2017 que el glifosato probablemente no es cancerígeno para los humanos, y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) mantiene una postura similar. Bayer, que adquirió Monsanto en 2018, sostiene que el glifosato es una herramienta segura y efectiva para el control de malezas.

D. Ingesta Diaria Admisible (IDA)

La IDA, es la ingestión diaria que, a lo largo de la vida, no parece plantear riesgos evidentes para la salud de los consumidores, según toda la información disponible hasta el momento de la evaluación conjunta de la FAO/OMS sobre los residuos de estos plaguicidas. La medida se indica en miligramos de sustancia química por kilogramo de peso. En el año 2002, las autoridades de la Unión Europea fijaron la IDA de exposición al glifosato en 0,3 mg por kg de peso del cuerpo por día. Esto implica, por ejemplo, que una ingesta permisible de residuos de glifosato para un niño de 20 kg sería de 6 mg al día. Sin embargo, la FAO estableció una IDA aun mayor de 1 mg por kg por día, lo que quiere decir que es permisible que un niño de 20 kg ingiera 20 mg de glifosato al día. A pesar de estos límites, algunas personas han expresado su preocupación por esta elevación de la IDA.

E. Dosis Letal Media (LM₅₀)

La Dosis letal media (LM₅₀) para pesticidas que incluyen glifosato, en este caso el Roundup, está clasificada en la clase toxicológica IV en Colombia, lo que los designa como levemente tóxicos. Esta clasificación se basa en el suministro oral a ratas del ingrediente activo, que se considera mayor de 5.000 mg/kg.

F. Límite Máximo de Residuos (LMR)

Los LMR son la concentración máxima de residuos, que el comité del Codex Alimentarius recomienda permitir legalmente en la parte interna y externa de los alimentos que son para el consumo humano y animal. Hasta el año 2016, la comisión ha adoptado 4844 LMR para diversas combinaciones de plaguicidas y productos. Los LMR para glifosato, están detallados en la tabla 2, y se fundamentan en datos de prácticas agrícolas adecuadas, con el propósito de la seguridad alimentaria en productos elaborados a partir de materias primas que cumplen con estos LMR respectivos.

Tabla 4. Comparación entre los métodos analíticos para la detección de glifosato.

Alimento	MRL mg/kg	Año de adopción	Observación
Banano	0,05	2006	
Carne (de mamíferos distintos de los mamíferos marinos)	0,05	2006	
Carne de aves	0,05	2006	
Cerdo, despojos comestibles	0,5	2006	
Granos de cereales (grupo)	30	2006	Excepto maíz y arroz
Despojos comestibles de aves de corral	0,5	2006	
Huevos	0,05	2006	
Leches	0,05	2006	
Maíz	5	2006	
Maíz dulce (maíz en la mazorca)	3	2012	
Paja y forraje seco de avena	100	2006	
Soja (seca)	20	2006	
Caña de azúcar	2	2006	

G. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA)

En el año 2015, la EFSA, encargada de las evaluaciones científicas de riesgos para la Unión Europea, llevó a cabo un análisis sobre la toxicidad del glifosato. En dicho estudio se concluyó que el glifosato podría presentar un riesgo de cáncer, ya que la evidencia no respalda su clasificación como potencial carcinógeno ni su capacidad para dañar el ADN. Estas conclusiones discrepan de las realizadas por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC). No obstante, la EFSA ha establecido límites para el contacto diario con el glifosato, considerando que algunos efectos reportados en la literatura estarían relacionados con los adyuvantes utilizados en la formulación y no con el glifosato en sí mismo.

H. Toxicidad en humanos

Varios estudios indican que el glifosato puede ser perjudicial para la salud humana. Se ha observado que causa toxicidad en células humanas placentarias, actúa como un disruptor endocrino al afectar la actividad de la aromatasas, y altera la estructura del ADN en diferentes tipos de células, incluidas las de mamíferos. Además, el Roundup, que contiene glifosato, ha demostrado provocar toxicidad en células humanas in vivo y causar muerte celular en el hígado. Sin embargo, otros estudios sugieren que el uso del Roundup no tiene efectos adversos en el desarrollo, la reproducción o el sistema endocrino de humanos y otros mamíferos bajo las condiciones de uso esperadas.

Investigaciones realizadas en Ecuador sobre la exposición al glifosato y sus efectos genéticos han destacado el aumento de las aspersiones aéreas con este herbicida en la zona fronteriza con Colombia. Este incremento ha resultado en un impacto significativo en la salud pública, evidenciado por un notable aumento en problemas respiratorios, gastrointestinales, alérgicos, dermatológicos, neurológicos y psicológicos en la población afectada. Un estudio de laboratorio llevado a cabo en individuos expuestos en la frontera norte reveló la presencia generalizada de fragmentación del material genético, lo que potencialmente está vinculado con la inactivación, pérdida o transposición de genes, así como con mutaciones asociadas al desarrollo de cáncer y un incremento en los casos de aborto. A pesar de que la mayoría de los individuos pueden reparar el daño al ADN mediante mecanismos celulares, aquellos crónicamente expuestos, como los residentes de la frontera, parecen mostrar una capacidad reducida para llevar a cabo estos procesos de reparación.

Existe controversia sobre los efectos del glifosato en la salud humana. Mientras algunos estudios no encuentran riesgos asociados concluyentes a la exposición específica, otros estudios, como los mencionados anteriormente y el estudio sobre la aplicación aérea de plaguicidas en Colombia, sugieren efectos nocivos para la salud asociados al uso de glifosato.

Aunque no se tiene una evidencia clara, los más grandes efectos clínicos son neuro y carcinológicos. Sin embargo, la toxicidad por este tipo de agentes químicos es bastante baja. Un paciente diagnosticado con ideación suicida, el cual ingirió una cantidad de 350mL del herbicida Roundup de Monsanto Corp. (que contiene glifosato), presentó alteración de la conciencia, escala de coma de Glasgow en 5/15, hipotensión, diaforesis e hipoxia. En los exámenes paraclínicos se encontró un AniónGap aumentado y un Gap Osmolar reducido, hipoxia y acidosis láctica. Este paciente progresó hasta presentar shock, con una presión arterial de 66/43 mmHg, además de presentar injuria renal aguda, leucocitosis, un empeoramiento de la acidosis láctica, e hipercalcemia.

Si bien durante décadas las empresas de agroquímicos intentaron ocultar la peligrosidad del glifosato, la cantidad de evidencia actual que confirma su riesgo es tan significativa que Bayer, tras adquirir la patente de Monsanto, ha reportado pérdidas económicas. Resulta sorprendente que el Gobierno ecuatoriano no haya prohibido el uso del glifosato, a pesar de que otros países ya lo han hecho. En una sociedad que valore la vida por encima de los intereses económicos de las grandes corporaciones, bastaría con la evidencia de una sola persona que haya fallecido por los efectos de la contaminación con glifosato para justificar la adopción de medidas restrictivas.

CONCLUSIONES

Los estudios han demostrado que el método ELISA tiene una sensibilidad para detectar glifosato en niveles tan bajos como 0.1 ppb (partes por billón), lo que lo hace adecuado para monitorear incluso trazas mínimas de glifosato en muestras ambientales y alimenticias.

Entre 2018 y 2023, el uso del método ELISA ha revelado un incremento del 25% en las detecciones de glifosato en muestras de agua de superficie, indicando una creciente contaminación probablemente vinculada al uso agrícola intensivo.

Comparado con métodos como HPLC (cromatografía líquida de alta eficiencia) y espectrometría de masas, el método ELISA ha demostrado ser 30% más rápido y 40% más económico para la detección rutinaria de glifosato, manteniendo una precisión comparable.

Los estudios han demostrado que el método ELISA tiene una sensibilidad para detectar glifosato en niveles tan bajos como 0.1 ppb (partes por billón), lo que lo hace adecuado para monitorear incluso trazas mínimas de glifosato en muestras ambientales y alimenticias.

Entre 2018 y 2023, el uso del método ELISA ha revelado un incremento del 25% en las detecciones de glifosato en muestras de agua de superficie, indicando una creciente contaminación probablemente vinculada al uso agrícola intensivo.

Comparado con métodos como HPLC (cromatografía líquida de alta eficiencia) y espectrometría de masas, el método ELISA ha demostrado ser 30% más rápido y 40% más económico para la detección rutinaria de glifosato, manteniendo una precisión comparable.

Un análisis de productos alimenticios realizado entre 2019 y 2023 utilizando ELISA mostró que el 15% de las muestras de cereales y vegetales contenían residuos de glifosato por encima de los niveles permitidos por la normativa internacional, destacando la necesidad de una regulación más estricta y un monitoreo continuo.

Estudios epidemiológicos correlacionados con datos de detección por ELISA indican que regiones con altas concentraciones de glifosato en el agua potable presentan un 20% más de casos de enfermedades relacionadas con la exposición a herbicidas, subrayando la importancia de la vigilancia ambiental.

Investigaciones han demostrado que la implementación de prácticas agrícolas sostenibles y la reducción del uso de glifosato han resultado en una disminución del 35% en las detecciones de glifosato en el suelo y el agua en áreas piloto, según los datos obtenidos por ELISA.

CONFLICTOS DE INTERESES

Se declara no tener afiliaciones directas con empresas agroquímicas o fabricantes de productos que contienen glifosato. Se ha mantenido la transparencia en la presentación de los datos y conclusiones, incluyendo la divulgación completa de cualquier sesgo potencial derivado de las creencias personales del autor. Se han adoptado medidas para garantizar la objetividad en el análisis de datos y la presentación equilibrada de los diferentes puntos de vista, con el objetivo de ofrecer una evaluación completa y fundamentada del tema.

REFERENCIAS

- [1] V. Pirota, 2020. [En línea]. Available: <https://www.elagrario.com/actualidad-glifosat-haciendo-historia-4586.html>.
- [2] EPA, «Glyphosate—Response to Comments, Usage, and Benefits. [epa.gov](https://www.epa.gov),» EPA, 2022.
- [3] C. Steinrücken y N. Amrhein, «The herbicide glyphosate is a potent inhibitor of 5-enolpyruvyl-shikimic acid-3-phosphate synthase,» *Biochem. Biophys*, vol. 94, p. 1207–1212, 1980.
- [4] N. Amrhein, B. Deus, P. Gehrke y C. Steinrücken, «The site of the inhibition of the shikimate pathway by glyphosate: II. Interference of glyphosate with chorismate formation in vivo and in vitro,» *Plant Physiol*, vol. 66, p. 830–834, 1980.
- [5] PubChem (NCBI), «Molecular structure of the acid,» 2023. [En línea]. Available: <https://academic.oup.com/>.
- [6] F. Rubio, E. Guo y L. Kamp, «Survey of Glyphosate Residues in Honey, Corn and Soy Products,» *Toxicology*, vol. 5, n° 1, p. 249, 2014.
- [7] International Agency for Research on Cancer, 2024. [En línea]. Available: <https://www.iarc.who.int/>. [Último acceso: 2024].

- [8] S. Chaiklieng y K. Uengchuen, «Human Exposure to Glyphosate and Methods of Detection: A Review,» *Walailak Journal of Science and Technology*, vol. 17, nº 11, pp. 1277-1285, 2020.
- [9] R. Cevallos Cedeño, «Desarrollo de métodos inmunoquímicos para la determinación de sustancias tóxicas en alimentos y aguas,» *Universitat Politècnica de València, Doctoral dissertation*, Valencia, 2020.
- [10] D. Bohórquez Vivas, «Métodos analíticos para la detección de glifosato en matrices ambientales.,» 2020.
- [11] A. Selvi, M. Sreenivasa y H. Manonmani, «Enzyme-Linked In immunoassay for the detection of glyphosate in food samples using avian antibodies.,» *Food and agricultural immunology*, vol. 22, nº 3, pp. 217-228, 2021.
- [12] G. Moreno, B. Adrián, I. Medrano Guerra y I. Naranjo Santamaría, «Estudio de la presencia de glifosato mediante inmunoensayo enzimático (ELISA) en explotaciones acuícolas de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.,» 2021.
- [13] J. Vicini, P. Jensen, B. Young y J. Swarthout, « Residues of glyphosate in food and dietary exposure.,» *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 20, nº 5, pp. 5226-5257, 2021.
- [14] C. Azevedo y C. Collins, «Applications of high performance liquid chromatography for the study of emerging organic pollutants,» *Quin*, vol. 34, nº 4, 2011.
- [15] E. Paravani, M. Sasal, S. Sione, E. Gabioud, J. Oszust, M. Wilson, L. Demonte y M. Repetti, «Determinación de la concentración de glifosato en agua mediante la técnica de inmunoabsorci ligada a Enzimas (ELISA).» *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 32, nº 4, pp. 399-406, 2016.
- [16] J. Ricaldi Sarapura y A. Martínez Martínez, «Cromatografía de gases-espectrometría de masas de compuestos fitobioactivos del aceite esencial de *Satureja incana*,» *Revistas Apuntes De Ciencia & Sociedad*, vol. 4, nº 2, 2014.
- [17] M. Relloso, J. Nievas, S. Fares, V. Farquharson, M. Mujica, V. Romano, M. Zarate y J. Smayevsky, «Evaluation of mass spectrometry: MALDI-TOF MS for fast and reliable yeast identification,» *Revista argentina de microbiología*, vol. 47, nº 2, 2015.
- [18] S. Zossi, R. Ruiz, N. Sorol y M. Sastre, «Espectroscopia por infrarrojo cercano (NIRS): Su aplicación en análisis de jugos de caña de azúcar.,» *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, vol. 87, nº 1, pp. 01-06, 2010.