

EIEI ACOFI 2024
INGENIERÍA:
UNA TRANSICIÓN HACIA EL FUTURO

Cuantificación del glifosato en fuentes de abastecimiento subterráneas y de agua potable que suministran al municipio de Aguachica, Cesar

Luis Fernando Vargas Velázquez, María Angélica Álvarez Bayona, Romel Jesús Gallardo Amaya, Agustín Armando Macgregor, Pedro Nel Angarita Uscategui

Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña, Colombia

Resumen

El municipio de Aguachica es un punto estratégico para la comercialización de productos agrícolas, sin embargo, enfrenta problemas de escasez y mala gestión del agua por parte de las autoridades locales, obligando a sus habitantes a recurrir a fuentes subterráneas contaminadas, lo que aumenta el riesgo de enfermedades. Varias investigaciones realizadas en el municipio han publicado la pésima calidad del agua que tiene la quebrada Buturama, la cual es la principal fuente de abastecimiento de agua potable del casco urbano, debido al uso excesivo de productos agroquímicos para la agricultura en la zona, los que afectan tanto las corrientes superficiales como subterráneas.

En las áreas cercanas de la ribera de la quebrada Buturama, los cultivos principales son algodón, sorgo, arroz y maíz, y se emplean técnicas mecanizadas para su cultivo. Sin embargo, debido a la pérdida de nutrientes en el suelo, se requiere una cantidad considerable de fertilizantes para mantener la productividad. Esta práctica agrícola aumenta la vulnerabilidad de los cultivos a plagas y enfermedades, lo que promueve el uso excesivo de agroquímicos, especialmente de herbicidas como el Glifosato que es ampliamente utilizado en la zona debido a su efectividad en el control de malezas.

El objetivo principal de esta investigación fue determinar la concentración de Glifosato en tres áreas del Municipio de Aguachica, donde los habitantes dependen de fuentes subterráneas para el suministro de agua, así como en una zona que utiliza agua tratada proveniente de la planta de tratamiento. El herbicida se cuantifico mediante espectrofotometría ultravioleta – visible (UV/VIS), donde dos de los tres puntos de agua subterránea arrojaron concentraciones (0.118 y 0.101 ppm)

DOI: https://doi.org/ 10.26507/paper.3649

superiores a los niveles máximos permitidos en la Resolución 2115 del 2007 (0.1 ppm), sin embargo, se debe tener en cuenta que dicha normativa contempla la sumatoria de todos las concentraciones de los productos agroquímicos; así mismo, al comparar los resultados obtenidos con los estándares internaciones, todos los puntos estudiados sobrepasan los límites de países como: Reino Unido (0.0001 ppm) y la unión Europea (0.0001 ppm); y por debajo de Canadá, Australia y Estados Unidos. Por su parte, con la concentración hallada en todos los puntos de muestreo se realizó la evaluación cuantitativa de riesgos para la salud humana, determinando que, según las directrices para la calidad del agua potable de Canadá y para la Organización Mundial de la Salud (OMS) se encontraban en riesgo bajo. Sin embargo, la presencia de este herbicida en las fuentes de agua potable plantea una preocupación continua sobre la salud pública y destaca la necesidad urgente de medidas de control y regulación más estrictas en el uso de agroquímicos en la región.

Palabras clave: calidad del agua; glifosato; riesgo en la salud.

Abstract

The municipality of Aguachica is a strategic point for the commercialization of agricultural products; however, it faces problems of water scarcity and poor water management by local authorities, forcing its inhabitants to resort to contaminated subway sources, which increases the risk of disease. Several investigations carried out in the municipality have published the very poor water quality of the Buturama stream, which is the main source of drinking water supply for the urban area, due to the excessive use of agrochemicals for agriculture in the area, which affect both surface and subway flows.

In the areas near the banks of the Buturama ravine, the main crops are cotton, sorghum, rice and corn, and mechanized techniques are used for their cultivation. However, due to the loss of nutrients in the soil, a considerable amount of fertilizer is required to maintain productivity. This agricultural practice increases the vulnerability of crops to pests and diseases, which promotes the excessive use of agrochemicals, especially herbicides such as Glyphosate, which is widely used in the area due to its effectiveness in controlling weeds.

The main objective of this research was to determine the concentration of Glyphosate in three areas of the Municipality of Aguachica, where inhabitants depend on underground sources for water supply, as well as in an area that uses treated water from the treatment plant. The herbicide was quantified by ultraviolet-visible spectrophotometry (UV/VIS), where two of the three groundwater points showed concentrations (0.118 and 0.101 ppm) higher than the maximum levels allowed in Resolution 2115 of 2007 (0.1 ppm), without However, it must be taken into account that said regulations contemplate the sum of all concentrations of agrochemical products; Likewise, when comparing the results obtained with international standards, all the points studied exceed the limits of countries such as: the United Kingdom (0.0001 ppm) and the European Union (0.0001 ppm); and below Canada, Australia and the United States. For its part, with the concentration found at all sampling points, the quantitative evaluation of risks to human health was carried out, determining that, according to the guidelines for the quality of drinking water in Canada and for the World Health Organization (WHO),) were at low risk. However, the presence of this herbicide in drinking

water sources raises an ongoing public health concern and highlights the urgent need for stricter control and regulation measures on the use of agrochemicals in the region.

Keywords: *water quality; glyphosate; health risk.*

1. Introducción

El uso indiscriminado de herbicidas como el glifosato en la agricultura representa un grave problema ambiental y de salud pública. Estudios han demostrado que el glifosato puede contaminar los recursos hídricos y causar efectos nocivos en los seres humanos y otros organismos vivos. La Organización Mundial de la Salud (OMS), a través de la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC), ha clasificado al glifosato como "probablemente cancerígeno para los seres humanos" (IARC, 2015). Este compuesto se caracteriza por tener el volumen de producción global más alto entre los herbicidas, y su uso se ha incrementado considerablemente desde el desarrollo de cultivos transgénicos resistentes al mismo (IARC, 2015). Durante su aplicación, se ha detectado la presencia de glifosato en el aire, agua superficial y subterránea, así como en alimentos (Rendón-Von Osten & Dzul-Caamal, 2017; Vera et al., 2009).

En el municipio de Aguachica, Cesar, la contaminación de las fuentes hídricas por glifosato representa un riesgo significativo debido a la intensa actividad agrícola y el uso de aguas subterráneas sin tratamiento por parte de la población (Atuesta Ortiz, 2020; Centro de Estudios Económicos Regionales, s.f.). Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian la presencia de glifosato en aguas subterráneas y agua potable, con concentraciones que oscilan entre 0.061 ppm y 0.118 ppm. Estos valores superan la concentración máxima admitida de 0.1 ppm para la suma de plaguicidas en el agua potable, según la Resolución 2115 de 2007 en Colombia, lo que ocasiona un problema de salud significativo en las personas.

Frente a la problemática del uso indiscriminado de herbicidas, esta investigación tuvo como objetivo determinar la presencia del glifosato en las fuentes subterráneas de abastecimiento y en el agua potable de la ciudad de Aguachica. Asimismo, se evaluaron los riesgos asociados a la exposición de este compuesto en los seres humanos. Aunque las concentraciones encontradas indican un riesgo bajo según los parámetros más altos permitidos para agua potable en países como Canadá y Estados Unidos, es importante destacar que a medida que se utilicen más herbicidas en la zona de estudio, los niveles de contaminación aumentarán, lo que aumentará el riesgo para la salud humana.

2. Metodología

La investigación se desarrolló de acuerdo con las etapas que se indican en la Ilustración 1.

.

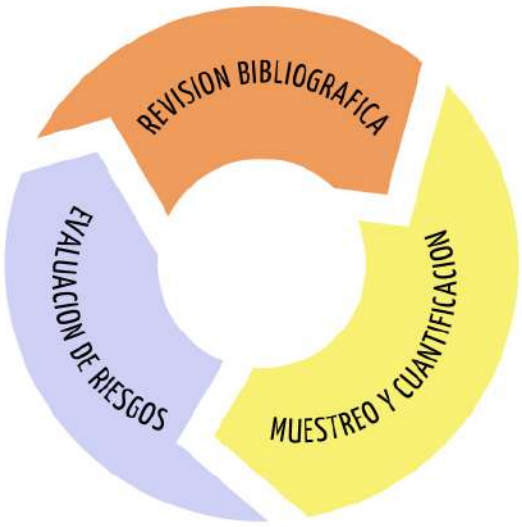


Ilustración 1. Fases para el desarrollo de la investigación

Fase 1: Se llevó a cabo una revisión bibliográfica con respecto a las diferentes investigaciones que se han llevado a cabo a nivel regional, nacional e internacional, con el fin de analizar el efecto del herbicida glifosato en las fuentes hídricas, haciendo especial énfasis en las zonas de agua subterránea y agua potable. Esta revisión permitió conocer la incidencia de este herbicida y sus posibles consecuencias en el agua y en la salud de las personas que la consumen.

Fase 2: Para el estudio, se seleccionaron cuatro zonas de muestreo. Tres de estas zonas corresponden a pozos de agua subterránea cercanos a las arroceras del municipio. Los puntos específicos dentro de estas zonas se eligieron cuidadosamente, priorizando lugares de fácil acceso y manteniendo una distancia considerable entre ellos, con el fin de abarcar un área significativa de estudio. Adicionalmente, se incluyó un punto de muestreo del agua potable que abastece a gran parte del municipio. La selección de los puntos de muestreo siguió los lineamientos establecidos en el "Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water" Ed. 23, las recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Posteriormente, se analizó la concentración del herbicida glifosato en cada una de las muestras recolectadas mediante la técnica de espectrofotometría UV/VIS.

Las características de los sitios de muestreo de los pozos de agua subterránea y de agua potable se muestran en la Tabla 1 y Tabla 2.

Agua subterránea					
Punto	**Ubicación**	**Georreferenciación**			**Observación**
		Latitud	**Longitud**	**Elevación**	
P1	Predio 1	8° 18' 26.96"N	73° 37' 16.37"O	156.24	Carrera 13 con calle 6 - Barrio San Pedro

P2	Predio 2	8° 18' 22.95''N	73° 37' 20.39"O	154.65	Calle 7 con carrera 10A - Barrio San Pedro
P3	Predio 3	8° 18' 47.04''N	73° 37' 55.56''O	140.31	Carrera 1 con calle 1 - Barrio Jerusalén

Tabla 1. Sitios de estudio pozos de agua subterránea

Agua Potable					
Punto	**Ubicación**	**Georreferenciación**			**Observación**
		Latitud	**Longitud**	**Elevación**	
P4	Predio 4	8° 18' 44.30''	73° 36' 19.01''	179.08	Carrera 31 con calle 2 - Barrio María Eugenia

Tabla 2. Sitio de estudio en el agua potable

La ilustración 2 permite visualizar la distribución espacial de los puntos de muestreo y comprender el alcance geográfico del estudio. Los puntos se encuentran dispersos a lo largo y ancho del municipio de Aguachica, abarcando diversas zonas residenciales y áreas cercanas a la arrocera. Esta distribución permite obtener una visión representativa de la calidad del agua subterránea consumida por los habitantes en diferentes sectores.Fase **3:** Para evaluar los riesgos potenciales del glifosato en la salud humana, se llevó a cabo una estimación basada en los niveles de incidencia de este compuesto reportados en investigaciones precedentes. Posteriormente, se efectuó un análisis tomando como referente la concentración máxima de glifosato detectada en las muestras de agua potable y subterránea de la zona de estudio, estableciendo así una clasificación del riesgo asociado a la exposición a dichos niveles de contaminación.

Fase 3: Para evaluar los riesgos potenciales del glifosato en la salud humana, se llevó a cabo una estimación basada en los niveles de incidencia de este compuesto reportados en investigaciones precedentes. Posteriormente, se efectuó un análisis tomando como referente la concentración máxima de glifosato detectada en las muestras de agua potable y subterránea de la zona de estudio, estableciendo así una clasificación del riesgo asociado a la exposición a dichos niveles de contaminación.

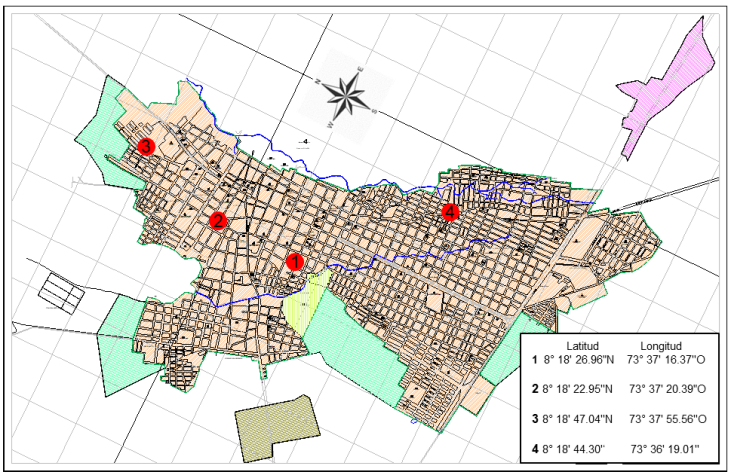


Ilustración 2. Puntos de muestreo en la zona de estudio
Fuente: PBOT Aguachica, 2002.

3. Resultados y discusión

3.1. Revisión de material bibliográfico

Para el desarrollo de este estudio, se utilizó la base de datos Scopus accesible a través de la biblioteca de la UFPSO. Se realizó una búsqueda empleando la siguiente cadena de términos: "Presence AND of AND glyphosate AND in AND surface AND drinking AND water". Como resultado de esta consulta, se obtuvieron un total de 421 documentos publicados, los cuales abarcaban diversos formatos, tales como artículos de investigación, revisiones, trabajos presentados en conferencias académicas, capítulos de libros y libros de investigación. Cabe destacar que la totalidad de estas publicaciones fueron consideradas fuentes primarias de literatura científica.

El análisis detallado de las 421 publicaciones examinadas reveló un patrón de crecimiento exponencial del 14.3 % anual en el número de estudios relacionados con la presencia de glifosato en fuentes hídricas, abarcando el período desde 1989 hasta 2023 (Ilustración 3). Esta tendencia ascendente se hizo notoria a partir del año 2007, cuando solo se registraron 9 publicaciones, en contraste con las 47 publicaciones observadas en 2022 y las 45 adicionales registradas hasta la fecha en 2023. Este aumento sustancial en la cantidad de investigaciones científicas en torno a esta temática refleja la creciente relevancia e importancia que ha adquirido el estudio del impacto del glifosato en la calidad del agua y sus posibles efectos en la salud humana y el medio ambiente.

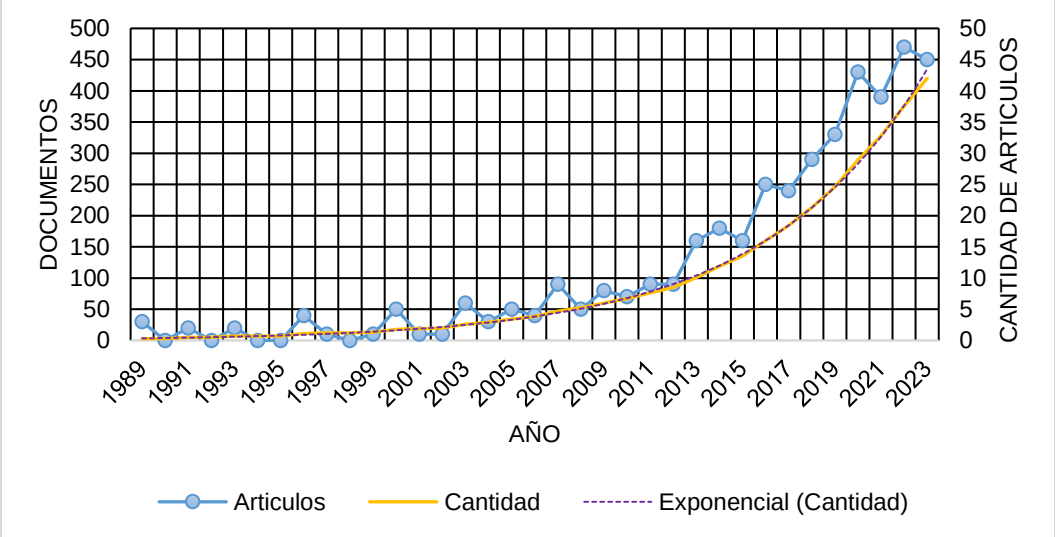


Ilustración 3. Crecimiento de la cantidad de artículos por años.

3.2. Técnicas de análisis para la determinación cuantitativa de glifosato

Materiales: Se emplearon agua desmineralizada, el herbicida glifosato en su formulación Glifosol Soluble SL con una concentración de 480 g/L (MA, Colombia), ninhidrina (LOBA CHEMIE PVT. LTD; Merck, India), molibdato de sodio (R.A. Chemical, India), diclorometano (Merck, India), y filtros de membrana de acetato de celulosa de 47 mm de diámetro y 0.45 micras de tamaño de poro para soluciones acuosas.

Equipos: Se utilizó un espectrofotómetro visible DR 5000 HACH, un rotoevaporador versión RV 10 digital, un baño de agua Memmert, una centrifugadora CLAY Adams y una bomba de vacío.

Metodología: Con el fin de cuantificar el glifosato, se aplicó el método detallado por Nagaraja et al. Esta técnica se basa en la reacción entre el grupo amino del glifosato y la ninhidrina, empleando molibdato de sodio como catalizador. Al eliminarse una molécula de agua, se generan los productos I y II, los cuales en un medio acuoso neutro forman un complejo de tonalidad púrpura (Nagaraja & Bhaskara, 2006).

Curva de calibración: Para la construcción de la curva de calibración, se realizaron ligeras variaciones en los volúmenes de los reactivos empleados en comparación con el procedimiento metodológico originalmente propuesto de acuerdo con Álvarez Bayona et al. Se prepararon tres curvas de calibración independientes, utilizando el promedio de estas para los cálculos posteriores. En primer lugar, se elaboró una solución stock de glifosato con una concentración de 500 ppm. A partir de esta, se tomaron alícuotas que variaban entre 1 y 300 µL, transfiriéndolas a tubos de ensayo individuales. A cada tubo se le adicionaron 500 µL de una disolución de molibdato al 5 % y 500 µL de una disolución de ninhidrina al 5%. Los tubos fueron sellados herméticamente y sumergidos en un baño de agua a 85°C durante 12 minutos para favorecer la reacción. Luego de

este periodo, las muestras se dejaron enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente y su contenido fue transferido cuantitativamente a matraces aforados de 5 mL, completando el volumen final con agua desionizada (Álvarez Bayona et al., 2022). Finalmente, se realizaron las lecturas espectrofotométricas a una longitud de onda máxima de 568 nm (Ilustración 4). Los datos obtenidos se utilizaron para construir tres curvas de calibración, graficando la absorbancia en función de la concentración de glifosato en un rango de 0.1 a 30 ppm (Ilustración 5)

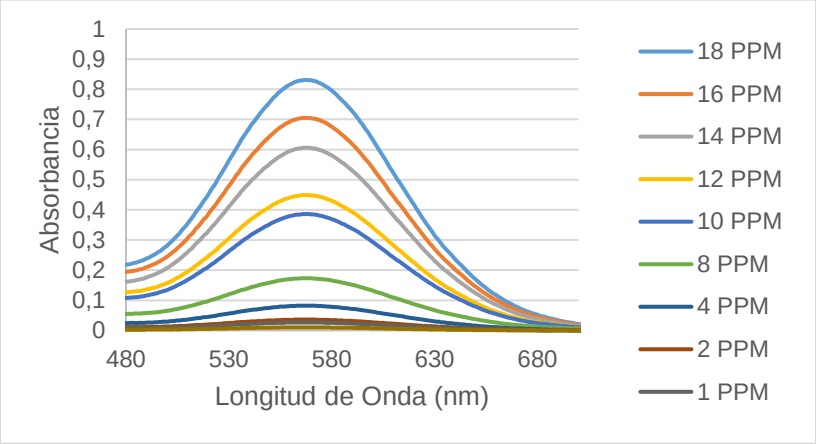


Ilustración 4. Máxima Longitud de Onda de la derivatización Glifosato con Ninhidrina y Molibdato de Sodio

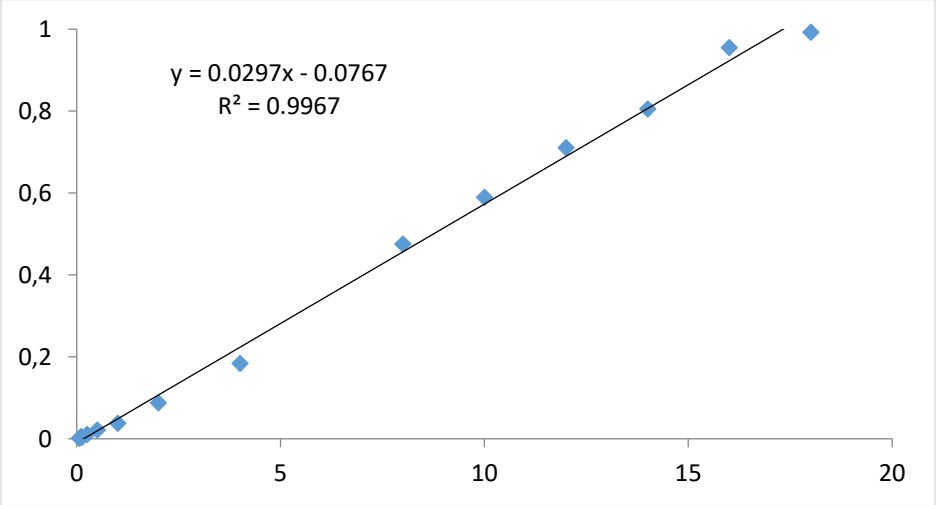


Ilustración 5. Curva calibración para cuantificación de Glifosato

Validación del Método: Se llevó a cabo la validación del método analítico empleado, cuyos resultados se resumen en la Tabla 3. Dicha tabla muestra los valores del coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de correlación (r), ordenada al origen, desviación estándar de los residuales (Sy/x) y pendiente (m) calculados a partir de la curva de calibración promedio. Asimismo, se muestran el límite de detección (LOD) y el límite de cuantificación (LOQ) expresados en ppm. El LOD se estimó dividiendo la desviación estándar entre la pendiente y multiplicando por

un factor de 3.3. De forma análoga, el LOQ se obtuvo aplicando la misma relación, pero utilizando un factor multiplicativo de 10.

Parámetros	Características del Método
Color	Purpura
Máxima Longitud de Onda ($\lambda max = nm$)	568
Intercepto de la curva de calibración	-0.0767
Pendiente de la curva de calibración	0.0297
Coeficiente de Correlación de la curva de calibración	0.9967
Coeficiente de Determinación de la curva de calibración	0.993
Desviación Estándar de la curva de calibración	0.012
Promedio del Coeficiente de Variación de la curva de calibración (triplicado)	4.6%
Límite de Detección (ppm)	1.297
Límite de Cuantificación (ppm)	3.932

Tabla 3. Validación del método de derivatización

Con base en los datos obtenidos, se procedió a estimar el porcentaje de recuperación y las pérdidas asociadas al método de derivatización del glifosato empleando ninhidrina y molibdato. Para concentraciones añadidas de 25 ppm, se obtuvieron porcentajes de recuperación de 98.473% y 100.611%; para 10 ppm, los porcentajes fueron 98.922% y 96.396%; y para 1 ppm, se logró una recuperación del 100% en ambas mediciones. El porcentaje de recuperación promedio fue de 99.057%, cercano al 100%, indicando un desempeño satisfactorio del método. Asimismo, el porcentaje de pérdidas, calculado como el recíproco del porcentaje de recuperación, fue de 1.00, cumpliendo con lo previsto. Estos resultados demuestran que el método de derivatización propuesto es adecuado para la determinación de glifosato, con una alta recuperación y bajas pérdidas.

3.3. Cuantificación del glifosato

Para el análisis de las muestras de agua recolectadas en los puntos de muestreo previamente definidos, se implementó un riguroso protocolo. Este procedimiento se realizó por triplicado, tomando volúmenes de 500 mL tanto de agua subterránea en las zonas de estudio como de agua potable suministrada en el municipio. Inicialmente, todas las muestras se sometieron a una filtración minuciosa mediante una bomba de vacío, con el fin de eliminar cualquier material sólido presente. Luego, se llevaron a cabo extracciones y rotoevaporaciones por segmentos, trabajando con alícuotas de 100 mL hasta obtener un volumen final concentrado de 5 mL para cada muestra. Adicionalmente, se incorporó una etapa de centrifugación durante 10 minutos, cuyo objetivo específico fue garantizar la remoción completa de sólidos suspendidos, asegurando así la máxima pureza antes de la cuantificación del herbicida. Los datos detallados de este proceso y la determinación de las concentraciones de glifosato empleando el método analítico establecido se pueden observar en la Tabla 4.

Punto de Muestreo	Desviación Estándar	Coeficiente de Variación	Concentración Final (ppm)
Punto 1 (pozo)	0.006	2.172	0.118
Punto 2 (pozo)	0.008	3.074	0.101
Punto 3 (pozo)	0.009	4.048	0.081
Punto 4 (potable)	0.013	4.626	0.061

Tabla 4. Concentración final para cada punto de muestreo

3.4. Evaluación de riesgos por la presencia de glifosato

Se evaluó el riesgo asociado a la presencia de glifosato detectado en muestras de agua subterránea y potable. Para ello, se tomó el Nivel sin Efectos Adversos Observados (NOAEL) de 3.0 mg/kg-d reportado por Health Canada (2006) y se calculó la Ingesta Diaria Tolerable (TDI) según la Organización Mundial de la Salud (2017). Luego se determinó el Valor de Referencia (GV) siguiendo las Directrices de Canadá (Health Canada, 2006) y la OMS, que difieren en parámetros como peso corporal y consumo diario.

Finalmente, se calculó el índice de riesgo (HQ) dividiendo la concentración promedio de glifosato por el GV, según la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (2011). Los resultados indicaron un riesgo bajo para todos los puntos según la OMS y Canadá ($0.1 < HQ \leq 1.0$). La clasificación de Lemly (1996) cataloga el riesgo como: sin riesgo ($HQ \leq 0.1$), bajo ($0.1 < HQ \leq 1.0$), moderado ($1.1 \leq HQ \leq 10$) y alto ($HQ > 10$). En la Tabla 5 se pueden observar los resultados obtenidos.

Parámetro	Directrices para la calidad del agua potable de Canadá (GV=0.28 ppm)	Organización Mundial de la Salud (GV=0.18 ppm)
Pozo 1	HQ= 0.42 – Riesgo Bajo	HQ= 0.66 – Riesgo Bajo
Pozo 2	HQ=0.36 – Riesgo Bajo	HQ=0.56 – Riesgo Bajo
Pozo 3	HQ=0.29 – Riesgo Bajo	HQ=0.45 – Riesgo Bajo
Agua Potable	HQ=0.22 – Riesgo Bajo	HQ=0.34 – Riesgo Bajo

Tabla 5. Riesgo asociado al glifosato en diversas muestras hídricas

4. Conclusiones

Los niveles individuales de glifosato encontrados en los puntos de muestreo no exceden los límites permisibles establecidos por las directrices de Canadá y la OMS para agua potable. No obstante, la normativa colombiana establece un límite de 0.1 mg/L para la concentración combinada de todos los plaguicidas presentes. Al ser el glifosato solo uno de los utilizados en la agricultura, su contribución sumada a la de otros compuestos podría hacer que algunas muestras excedan dicho límite. Aunque los cálculos de riesgo determinaron niveles bajos para el glifosato según las regulaciones internacionales, esto no implica necesariamente un riesgo bajo para la mezcla total de plaguicidas.

Es necesario que Colombia actualice su normativa, estableciendo límites máximos específicos para el glifosato y otros plaguicidas en diferentes tipos de agua, alineados con las regulaciones más recientes y estrictas a nivel mundial, con el fin de proteger adecuadamente la salud pública y el medio ambiente, evaluando los riesgos de forma integral.

5. Referencias

- Álvarez Bayona, M. A., Maturana Córdoba, A., Gallardo Amaya, R. J. and Muñoz Acevedo, A. (2022). Occurrence of glyphosate in surface and drinking water sources in Cúcuta, Norte de Santander, and its removal using membrane technology. Frontiers in Environmental Science, Vol. 10, 941836. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.941836
- Atuesta Ortiz, J. (2020). Proyecto MEGIA [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER). (s.f.). Caracterización económica del municipio de Aguachica. Consultado el 10 de abril de 2024 en https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-42.pdf.
- Health Canada (HC). (2006). Guidelines for Canadian drinking water quality: Guideline Technical Document Glyphosate. Consultado el 8 de junio de 2024 en https://www.canada.ca/en/healthcanada/services/publications/healthy-living/guidelines-canadian-drinking-waterquality-guideline-technical-document-glyphosate.html#fn30.
- IARC. (2015). Monografías de la IARC: Evaluación de cinco insecticidas y herbicidas orgánicos. Consultado el 8 de junio de 2024 en https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/MonographVolume112.pdf.
- Lemly, A. D. (1996). Evaluation of the hazard quotient method for risk assessment of selenium. Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 35, No. 2, pp. 156-162. https://doi.org/10.1006/eesa.1996.0095
- Rendón-Von Osten, J. and Dzul-Caamal, R. (2017). Residuos de glifosato en aguas subterráneas, agua potable y orina en agricultores de subsistencia de localidades de agricultura intensiva; una encuesta en Hopelchén Campeche, México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, Vol. 33, No. 1, pp. 31-42.
- Vera, M. S., Lagomarsino, L. and Silvestre, M. (2009). Impacto del glifosato sobre mesocosmos de agua dulce: Un caso con concentraciones de campo. Ecotoxicología y Seguridad Ambiental, Vol. 72, No. 7, pp. 1986-1993.
- World Health Organization. (2017). Guidelines for Drinking-water Quality (Fourth). World Health Organization, Geneva, pp. 631.

Sobre los autores

- **Luis Fernando Vargas Velásquez:** Ingeniero civil. Egresado de la UFPSO Ocaña. lfvargasv@ufpso.edu.co
- **María Angélica Álvarez Bayona:** Ingeniera civil, Magister en Ingeniería Civil – Recursos Hídricos. Profesora Asistente del departamento de Ingeniería Civil de la UFPS Ocaña. maalvarezb@ufpso.edu.co
- **Romel Jesús Gallardo Amaya:** Ingeniero civil, Especialista en Ingeniería Ambiental, Magister en Geotecnia. Profesor Asociado del departamento de Ingeniería Civil de la UFPS Ocaña. rjgallardoa@ufpso.edu.co

- **Agustín Armando Macgregor** Torrado: Ingeniero civil, Especialista en Geotecnia, Magister en Ingeniería Civil – Recursos Hídricos. Profesor Asistente del departamento de Ingeniería Civil de la UFPS Ocaña. aamacgregort@ufpso.edu.co
- **Pedro Nel Angarita Uscatgui:** Ingeniero civil, Especialista en Gerencia De Proyectos De Construcción, Magister en Construcción. Profesor Asistente del departamento de Ingeniería Civil de la UFPS Ocaña. aamacgregort@ufpso.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2024 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)