



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Encontro Internacional de
Educação em Engenharia ACOFI

Presencia de herbicidas (glifosato) en el agua superficial y potable del Río Algodonal Ocaña Norte de Santander

**María Angélica Álvarez Bayona, Romel Jesús Gallardo Amaya,
Agustín MacGregor Torrado**

**Universidad Francisco de Paula Santander
Ocaña, Colombia**

Resumen

El Departamento de Norte de Santander, basa su economía principalmente en el sector agropecuario, para el caso del municipio de Ocaña y circunvecinos, predominan cultivos de cebolla, frijol y tomate, favorecido por su ubicación en una zona de clima templado, sin embargo, para el control de las malezas asociadas a estos cultivos, se utilizan grandes cantidades de herbicidas, los cuales tienen un mayor contacto con los cuerpos de agua debido a que estos cultivos se desarrolla en zonas cercanas a la ronda de río. Por lo anterior, esta investigación tuvo como fin cuantificar la presencia del glifosato en las fuentes de agua superficial y potable del Río Algodonal, uno de los ríos con los cuales se abastece el municipio de Ocaña; para ello, se evaluaron dos puntos, uno en el agua superficial cruda; el cual, de acuerdo con el Índice de Calidad del Agua-ICA, se encontraba entre regular y aceptable; el segundo punto en el agua potable que de acuerdo con el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua - (IRCA) se determinó que no presentaba ningún riesgo. El herbicida se cuantificó mediante espectrofotometría (ultravioleta-visible), determinando una concentración en el agua potable de 0.316 ppm, sobrepasando los niveles máximos establecidos en la Resolución 2115 del 2007 de 0.1 ppm; por su parte el valor detectado en el agua superficial de 0.887 ppm, no se pudo valorar a la luz de la normativa vigente, porque aun cuando esta contempla la categoría toxicológica, el glifosato no califica dentro de dicha categoría por ser considerado ligeramente tóxico, por lo cual no se establece un rango de medición permisible para este tipo de fuentes. Por su parte, con la concentración hallada en el agua potable 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 la Organización Mundial de la Salud, presentaban un riesgo moderado.

Palabras clave: contaminación; glifosato; normativas

Abstract

The Department of Norte de Santander, bases its economy mainly on the agricultural sector, in the case of the municipality of Ocaña and surrounding areas, onion, bean and tomato crops predominate, favored by its location in a temperate climate zone, however, for the control of weeds associated with these crops, large amounts of herbicides are used, which have greater contact with water bodies because these crops are developed in areas close to the river banks. Therefore, the purpose of this research was to quantify the presence of glyphosate in the surface and drinking water sources of the Algodonal River, one of the rivers that supplies the municipality of Ocaña; for this purpose, two points were evaluated, one in the raw surface water, which, according to the Water Quality Index (ICA), was between regular and acceptable; the second point in the drinking water, which according to the Water Quality Risk Index (IRCA) was determined not to present any risk. The herbicide was quantified by spectrophotometry (ultraviolet-visible), determining a concentration in drinking water of 0.316 ppm, exceeding the maximum levels established in Resolution 2115 of 2007 of 0.1 ppm; for its part the value detected in surface water of 0.887 ppm, could not be detected. 887 ppm, could not be assessed in light of current regulations, because even though it contemplates the toxicological category, glyphosate does not qualify within that category because it is considered slightly toxic, so it does not establish an allowable measurement range for this type of source. The concentration found in the drinking water was used to perform a quantitative risk assessment for human health, which determined that, according to the Canadian and World Health Organization guidelines for drinking water quality, it presented a moderate risk.

Keywords: contamination; glyphosate; regulations

1. Introducción

El municipio de Ocaña y la región del Catatumbo basan su economía principalmente en la comercialización y producción de productos agrícolas, siendo los cultivos más representativos la cebolla con un 70.1 % de las hectáreas sembradas en el departamento, el tomate con un 58.6 %, el frijol con un 52.2 % y el maíz con un 19 % (Gobernación de Norte de Santander, 2020). Esto debido a las condiciones climáticas de la zona, sin embargo, estos cultivos no son ajenos a malezas, estas remueven factores esenciales para el desarrollo y adicionan compuestos que afectan el crecimiento y los rendimientos (Cuevas & Puentes, 2018), por tal motivo se hace necesario la utilización de productos agroquímicos como lo son, los herbicidas.

Uno de los herbicidas más usados a nivel mundial, nacional y local es el glifosato, ya que se puede emplear prácticamente en cualquier cultivo, sin embargo, su uso intensivo ha generado el aumento de residuos en diferentes matrices ambientales. Es así, que son muchas las investigaciones que se han realizado para determinar la presencia de glifosato en diferentes fuentes de agua; por ejemplo, se realizaron muestreos en el agua superficial en Alberta una provincia ubicada en el oeste de Canadá, dedicada al cultivo de granos donde se detectaron niveles entre 0.2 µg/L y 6.079 µg/L



(Anderson et al., 2015). En México en una zona donde predomina la agricultura intensiva se tomaron muestras en el agua superficial, subterránea y en la orina de los agricultores, determinando las concentraciones más altas en el agua subterránea, sin embargo, se determina que en las muestras de orina había presencia del herbicida (Rendón-Von Osten & Dzul-Caamal, 2017). Por otro lado, en el ámbito nacional en las veredas Puente Boyacá, Bojirque y Montoya del municipio de Ventaquemada (Boyacá), en zonas dedicadas a labores agrícolas se determinó la presencia de glifosato en las fuentes hídricas aledañas a los cultivos (Alza-Camacho et al., 2016).

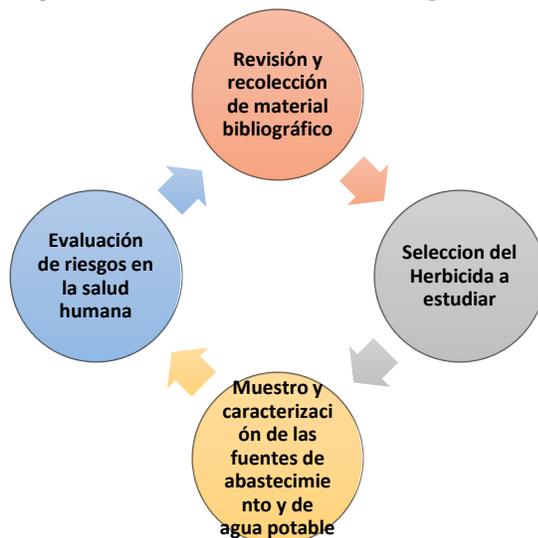
Actualmente, a nivel internacional son muy pocas las normativas que existen para la regularización de los límites máximos permisibles del glifosato en el agua potable, países como: Australia, Canadá, Estados Unidos, Reino Unido y la Unión Europea; ya cuentan con ello. Sin embargo, a nivel nacional, aun no se ha establecido ninguna normativa, aunque en la Resolución 2115 de 2007, se menciona que la sumatoria de productos de agroquímicos en el agua potable no debe ser superior a 0.1 ppm. La presencia de glifosato en el agua está relacionada con algunos efectos potenciales en la salud de los seres humanos tales como: diversas formas de cáncer, daño renal y afecciones mentales como el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH), autismo, Alzheimer y la enfermedad de Parkinson, así como problemas reproductivos y renales (Fluegge & Fluegge, 2016; Fortes et al., 2016; Jayasumana et al., 2014; Kwiatkowska et al., 2017; Mesnage et al., 2015; Watts et al., 2016).

De acuerdo con lo anterior, esta investigación determinó la presencia de glifosato en el agua superficial cruda del río Algodonal en una zona donde predomina el cultivo de productos agrícolas y en el agua potable que se suministra en la ciudad de Ocaña, con el fin de determinar la evaluación de riesgos sobre la salud de los seres humanos.

2. Metodología

En la **Figura 1** se pueden observar las fases por medio de las cuales se desarrolló la investigación.

Figura 1. Procesos para el desarrollo de la investigación



Fase 1: Revisión y recolección de material bibliográfico. En esta fase de la investigación se realizó una recopilación bibliográfica en cuanto a los antecedentes y estudios realizados sobre la presencia de herbicidas en diferentes matrices de agua, a nivel local, nacional e internacional; así mismo, los efectos potenciales que se pueden generar en la salud de los seres humanos por la exposición a diferentes concentraciones en el agua potable. Esto se logró gracias a las bases de información científica disponibles en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, tales como: Science-Direct, Scopus, SciCielo, entre otras.

Fase 2: Selección del herbicida a estudiar. En esta fase se determinó cual era el herbicida a estudiar, de acuerdo con el uso, distribución y comercialización en la zona; para ello se consultaron los datos de los insumos agroquímicos que se comercializan en la región, con el Boletín mensual de insumos y factores asociados en la producción agropecuaria del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para marzo de 2022 (**Tabla 1**), determinando que el glifosato junto con el paraquat son los de mayor venta, sin embargo, para la mayoría de los cultivos que se siembran en la zona se usa el glifosato, al ser este de amplio espectro; esta información se verificó al consultar en diferentes puntos de comercialización de herbicidas y cultivadores de la región cual era el más usado; siendo así que se seleccionó el glifosato.

Tabla 1. Herbicidas comercializados y usados en la región

Principio Activo	Marca Comercial	Uso	Sistémico	Contacto	Preemergencia	Postemergencia
Linuron	Afalon 50 Wp	zanahoria			x	x
Paraquat	Cerillo Sl	Café, banano, arroz, tomate, frijol, maíz		x		x
	Gramafin Sl					
	Gramoxone SL					
	Cerrero 200 Sl					
Clethodim	Clethodim 120 Ec	Algodón, cebolla, tomate, zanahoria y soya	x			x
Glifosato	Glifosato 480 Sl	Algodón, maíz, frijol, cebolla caña, soya, banano, tomate	x			x
	Glifosol Sl					
	Panzer 480 Sl					
	Roundup Activo					
Profiamina	Profiamina 480 SL	Arroz, eucalipto, maíz, caña	x			
	Profiamina 720 SL					

Fase 3: Muestreo y caracterización de las fuentes de abastecimiento y agua potable. En esta fase de la investigación, se tomó una muestra del agua cruda del río Algodonal que es la fuente que



abastece al acueducto de la ciudad de Ocaña (**Figura 2**), así mismo, se tomó una muestra de agua potable luego del tratamiento convencional realizado por la planta, siguiendo los lineamientos establecidos en el "Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water" Ed. 23, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y otros estándares aplicables. La selección del punto de muestreo en el agua superficial se llevó a cabo en la zona donde predomina la mayor cantidad de cultivos y cerca de la bocatoma de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), durante el mes de abril donde comienza la temporada invernal y los cultivos se encuentran en germinación, por lo tanto, se hace necesario la aplicación de herbicidas.

Fase 4: Evaluación de riesgos en la salud humana. Se realizó considerando el posible efecto que surge por la exposición del glifosato en la salud de los seres humanos. Se llevó a cabo identificando el peligro con base en la información encontrada en la literatura, se realizó la evaluación de la exposición con la máxima concentración hallada en el agua potable y la relación dosis-respuesta, finalmente, se categorizó el riesgo siguiendo las directrices de la EPA.

Figura 2. Muestreo del agua superficial



3. Resultados y discusión

3.1. Métodos Analíticos para la cuantificación del glifosato

Materiales: Agua destilada, Glifosato (Isopropilama sal isopropilamina de N-(fosfonometil); Glifosol Concentrado Soluble SL, concentración de 480 g/L; MA, Colombia), Ninhydrin (=2,2-dihydroxy-1H-indene-1,3(2H)-dione; Merck, India), Sodio Molibdato (R.A.Chemical, India), Diclorometano (Merck, India), filtros Whatman (Membrane Circles, Cellulose Nitrate, White Plain, 0.45 μm 47 mm 100/pk).

Equipo: Espectrofotómetro UV/VIS HACA, Baño María Thermo Fisher Scientific, Rotavapor Buchi R-215, Centrifugador CLAY Adams, Bomba de Vacío.

Método: La cuantificación de glifosato se realizó mediante el método propuesto por Nagaraja et al., donde la reacción del grupo amino de la molécula de glifosato con la ninhidrina en presencia de molibdato de sodio como catalizador, con la eliminación de una molécula de agua, da origen a los productos I y II formando un producto coloreado púrpura en medio acuoso neutro (Nagaraja & Bhaskara, 2006).

Curva de Calibración: La curva de calibración se generó con una ligera modificación con respecto al volumen de los reactivos para el método propuesto, según Tzaskos et al. (Tzaskos et al., 2012). Para realizar el procedimiento se preparó una solución stock de glifosato a 500 ppm, donde se transfirió a alícuotas que variaban de 0.625 a 180 μL , a tubos de ensayo y se adicionaron 500 μL de ninhidrina al 5% y 500 μL de molibdato de sodio 5% en cada tubo. Los tubos se taparon y se mantuvieron en baño maría a 85 $^{\circ}\text{C}$ durante 12 min. A continuación, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente y se transfirieron cuantitativamente a matraces aforados de 5 ml. El volumen se completó con agua destilada. Luego, las lecturas se tomaron con un espectrofotómetro, donde la longitud de onda máxima fue de 568 nm (Figura 3). A partir de estos datos, se generó la curva de calibración por duplicado utilizando la absorbancia en función de la concentración de glifosato entre 0.0625 y 18 ppm (Figura 4). Para el blanco se utilizaron 500 μL de ninhidrina y 500 μL de molibdato de sodio, hasta un volumen total de 5 mL con agua destilada.

Figura 3. Máxima Longitud de Onda de la derivatización Glifosato con Ninhidrina y Molibdato de Sodio

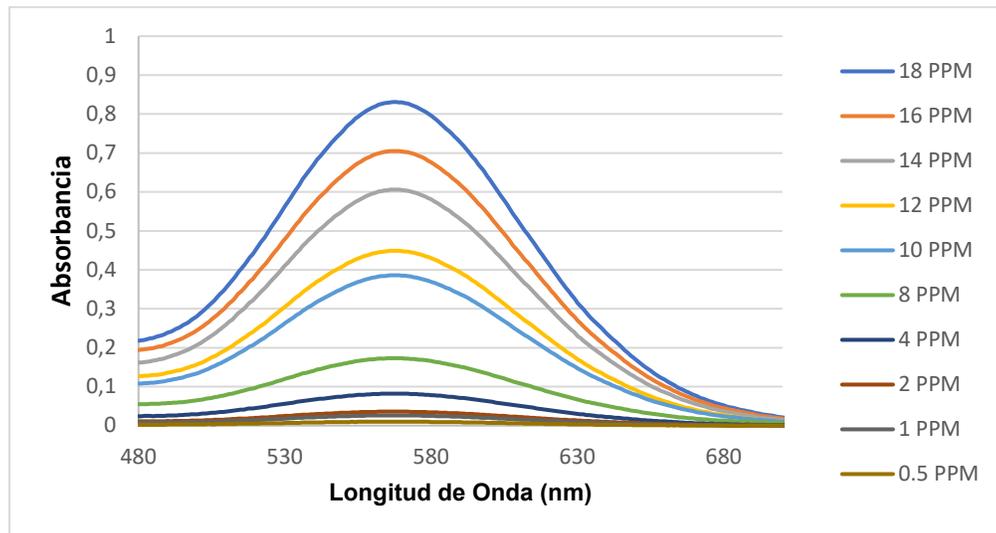
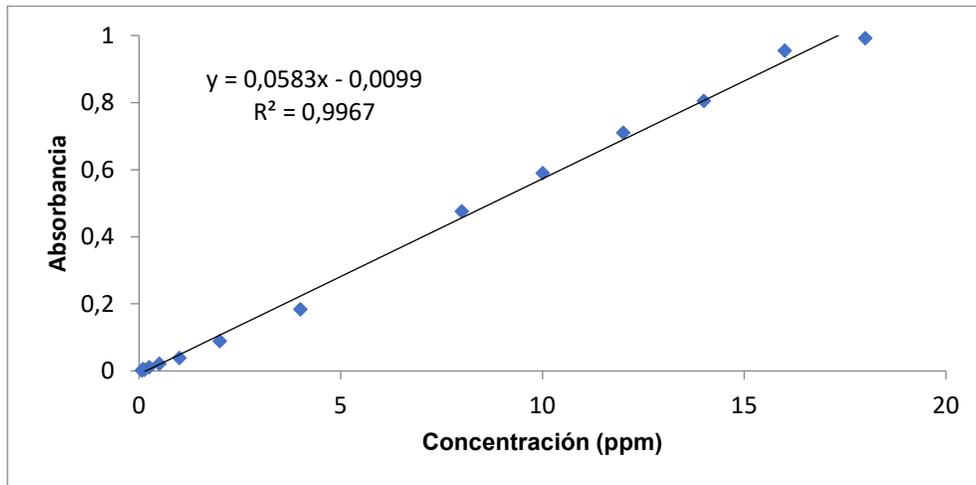


Figura 4. Curva calibración para cuantificación de Glifosato



Validación del Método: En la Tabla 2 se puede observar la validación del método donde se presenta el coeficiente de correlación, de determinación, el intercepto y la pendiente de los datos obtenidos de la curva promedio de calibración. El límite de cuantificación (LOQ) se determinó tomando la relación de la desviación estándar de los blancos y la pendiente de la curva de calibración multiplicada por un factor 10. El límite de detección (LOD) se determinó tomando la misma relación, pero multiplicada por un factor de 3.3.

Tabla 2. Características del Método de derivatización del Glifosato con Ninhidrina y Molibdato de Sodio

Parámetros	Características del Método
Color	Purpura
Máxima Longitud de Onda ($\lambda_{max} = nm$)	568
Intercepto de la curva de calibración	-0.0099
Pendiente de la curva de calibración	0.0583
Coefficiente de Correlación de la curva de calibración	0.997
Coefficiente de Determinación de la curva de calibración	0.993
Desviación Estándar de la curva de calibración	0.013
Promedio del Coeficiente de Variación de la curva de calibración (Duplicado)	4.6%
Límite de Detección (ppm)	0.075
Límite de Cuantificación (ppm)	2.296

Para determinar la recuperación y las pérdidas del método (Tabla 3), se tomaron 3 concentraciones que se encontraban dentro de la curva de calibración (por duplicado), para ello se agregó una cantidad de glifosato a un volumen de 100 ml de agua potable, la extracción del herbicida se realizó utilizando 100 mL de Diclorometano (4 veces en muestras de 25 mL de agua) con el fin de remover los compuestos orgánicos. La fase acuosa con Glifosato se rotoevaporó hasta los 5 ml, y luego se determinó la concentración con el método propuesto. A continuación, se presentan los datos obtenidos:



Tabla 3. Recuperación y pérdidas del Método de derivatización del Glifosato con Ninhidrina y Molibdato de Sodio

Concentración Añadida (ppm)	Desviación Estándar	% Coeficiente de Variación	Concentración Determinada (ppm)	Recuperación	Pérdidas
4	0.031	0.703	4.381	109.53%	0.913
2	0.032	1.790	1.795	89.77%	1.114
1	0.056	6.965	0.803	80.26%	1.246

3.2. Cuantificación del glifosato

El procedimiento se realizó por duplicado, se tomaron 500 mL de las muestras de agua cruda y potable, las cuales se filtraron en la bomba de vacío, luego se realizó la extracción y la rotoevaporación se hizo por partes, con volúmenes de 100 mL. Una vez obtenida una concentración de 5 mL de la muestra, se centrifugo durante 10 minutos para asegurarse de no tener sólidos suspendidos, y luego se realizó la cuantificación del glifosato con el método propuesto, teniendo en cuenta las pérdidas determinadas en la validación. A continuación, en la Tabla 4 se presentan los datos obtenidos.

Tabla 4. Concentración de Glifosato medida por el presente estudio en cada uno de los sitios de muestreo del Río Algodonal

Punto	Desviación Estándar	% Coeficiente de Variación	Promedio Concentración (ppm)
Río Algodonal	0.021	2.348	0.887
Agua Tratada	0.005	1.646	0.316

3.3. Evaluación cuantitativa de riesgos por la presencia del glifosato en el agua potable

Una vez determinada la presencia de glifosato en el agua potable, la evaluación cuantitativa del riesgo se realizó teniendo en cuenta el Nivel sin efectos adversos observados (NOAEL) más restrictivo encontrado en la literatura, que para este caso fue de 3.0 mg/kg-d (Health Canada (HC), 2006); con el cual se determina la Ingesta diaria Tolerable (TDI) de acuerdo con la Ec. 1 (World Health Organization, 2017), para un Factor de Incertidumbre (UF) de 100 %; con este mismo NOAEL se basan las regulaciones para la calidad del agua potable de Canadá (Health Canada (HC), 2006).

$$TDI = \frac{NOAEL}{UF} \quad \text{Ec. 1}$$

El valor de referencia (GV) para la exposición al glifosato se calculó a partir de la Ec. 2 (World Health Organization, 2017), donde la TDI es de 0.03 mg/kg por día de acuerdo, el peso corporal de 70 kg, la fracción de la TDI, P, del 20 % y el consumo, C, de 1.5 litros por día; de acuerdo con los valores establecidos en las Directrices para la calidad del agua potable de Canadá. El resultado fue un valor de referencia de 0.28 mg/L por día. Sin embargo, la OMS establece valores diferentes, por ejemplo, el peso corporal de 60 kg, la fracción de la TDI, P, del 20% y el consumo, C, de 2.0 litros por día; por tal motivo calculó de las dos formas, para este caso, el valor de referencia fue 0.18 mg/L por día.



$$GV = \frac{TDI \times bw \times P}{c} \quad \text{Ec. 2}$$

Una vez determinados estos valores se tomaron las concentraciones promedio de glifosato encontradas en el agua potable, se calculó el cociente de riesgos de acuerdo con la Ec. 3 (EPA, 2011), dando como resultado un riesgo moderado, según las regulaciones para la calidad del agua potable de Canadá ($HQ = 1.1 - 10$) y un riesgo de moderado según la Organización Mundial de la Salud (OMS) ($HQ = 1.1 - 10$). Los resultados se presentan en la Tabla 5.

$$HQ = \frac{ED}{GV} \quad \text{Ec. 3}$$

Las pautas para interpretar los cálculos de HQ son (Lemly, 1996):

$HQ = < 0.1$, No existe riesgo

$HQ = 0.1 - 1.0$, El riesgo es bajo

$HQ = 1.1 - 10$, El riesgo es moderado

$HQ = > 10$, El riesgo es alto

Tabla 5. Determinación del Riesgo para el glifosato en el agua potable

Directrices para la calidad del agua potable de Canadá		Organización Mundial de la Salud	
GV (mg/L)	0.280	GV (mg/L)	0.180
ED (Concentración (mg/L))	0.316 ± 0.005	ED (Concentración (mg/L))	0.316 ± 0.005
HQ	1.129	HQ	1.756
Riesgo Moderado		Riesgo Moderado	

4. Conclusiones

De acuerdo con la concentración hallada en el agua potable se puede establecer que el tratamiento convencional realizado en la PTAP de la ciudad de Ocaña es insuficiente para remover la presencia de glifosato. Además, es importante resaltar que dicha concentración no estaría cumpliendo con la normativa colombiana ya que en el Artículo 8 de la Resolución 2115 de 2007, se contempla que la suma total de las concentraciones de plaguicidas no podrá ser superior a 0.1 ppm, y solo el glifosato estaría por encima de dicho rango. En cuanto a la evaluación de riesgos para la salud humana, y considerando las concentraciones encontradas, según las directrices para la calidad del agua potable de Canadá, se encontraría en riesgo moderado al igual que para la Organización Mundial de la Salud (OMS), advirtiendo que, en la medida que aumente la utilización del glifosato en el área de estudio o la que tiene influencia sobre ella, el riesgo podrá aumentar de manera significativa dada que esto producirá una mayor concentración de éstos en el agua.

5. Referencias

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



- Anderson, A.-M., Byrtus, Gary., & Humphries, Dave. (2015). Glyphosate residues in Alberta's atmospheric deposition, soils and surface waters /. In *Glyphosate residues in Alberta's atmospheric deposition, soils and surface waters* /. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.102010>
- Cuevas, A., & Puentes, B. (2018). El manejo de las malezas en el programa AMTEC. FEDERARROZ, 1–70. Consultado el 10 de abril de 2022 en http://www.fedearroz.com.co/docs/cartilla_malezas.pdf
- EPA. (2011). Risk Characterization. Environmental Protection Agency (USA). Consultado el 21 de julio de 2021 en [http://www.epa.ohio.gov/portals/30/Brownfield_Conference/%0Adocs/Presen-tations/3-Risk characterization.pdf](http://www.epa.ohio.gov/portals/30/Brownfield_Conference/%0Adocs/Presen-tations/3-Risk%20characterization.pdf)
- Fluegge, K., & Fluegge, K. (2016). Glyphosate use predicts healthcare utilization for ADHD in the healthcare cost and utilization project net (HCUPnet): A two-way fixed-effects analysis. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(4), 1489–1503. <https://doi.org/10.15244/pjoes/61742>
- Fortes, C., Mastroeni, S., Segatto, M., Hohmann, C., Miligi, L., Bakos, L., & Bonamigo, R. (2016). Occupational Exposure to Pesticides with Occupational Sun Exposure Increases the Risk for Cutaneous Melanoma. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 58(4), 370–375. <https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000665>
- Gobernación de Norte de Santander. (2020). Plan Departamental de Extensión Agropecuaria Norte de Santander. Consultado el 12 de abril de 2022 en <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36541>
- Health Canada (HC). (2006). Guidelines for Canadian drinking water quality: Guideline Technical Document Glyphosate. Water Quality and Health Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, 1–5. Consultado el 10 de marzo de 2021 en <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/guidelines-canadian-drinking-water-quality-guideline-technical-document-glyphosate.html#fn30>
- Jayasumana, C., Gunatilake, S., & Senanayake, P. (2014). Glyphosate, hard water and nephrotoxic metals: ¿Are they the culprits behind the epidemic of chronic kidney disease of unknown etiology in Sri Lanka? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(2), 2125–2147. <https://doi.org/10.3390/ijerph110202125>
- Kwiatkowska, M., Reszka, E., Woźniak, K., Jabłońska, E., Michałowicz, J., & Bukowska, B. (2017). DNA damage and methylation induced by glyphosate in human peripheral blood mononuclear cells (in vitro study). *Food and Chemical Toxicology*, 105, 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.03.051>
- Lemly, A. D. (1996). Evaluation of the hazard quotient method for risk assessment of selenium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 35(2), 156–162. <https://doi.org/10.1006/eesa.1996.0095>
- Mesnage, R., Defarge, N., Spiroux de Vendômois, J., & Séralini, G. E. (2015). Potential toxic effects of glyphosate and its commercial formulations below regulatory limits. *Food and Chemical Toxicology*, 84, 133–153. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.08.012>
- Nagaraja, P., & Bhaskara, B. L. (2006). Sensitive spectrophotometric assessment of carbofuran using dapsona as a new chromogenic reagent in formulations and environmental samples. *Eletica Quimica*, 31(4), 43–48. <https://doi.org/10.1590/S0100-46702006000400006>
- Rendón-Von Osten, J., & Dzul-Caamal, R. (2017). Glyphosate residues in groundwater, drinking water and urine of subsistence farmers from intensive agriculture localities: A survey in Hopelchén, Campeche, Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph14060595>
- Tzaskos, D. F., Marcovicz, C., Dias, N. M. P., & Rosso, N. D. (2012). Development of sampling for quantification of glyphosate in natural waters. *Ciência e Agrotecnologia*, 36(4), 399–405. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542012000400003>
- Watts, M., Clausing, P., Lyssimachou, A., Schutte, G., Guadagnini, R., & Marquez, E. (2016). Glyphosate. In Pesticide Action Network International. PAN Asia Pacific. Consultado el 15 de marzo de 2022 en <https://pan-international.org/wp-content/uploads/Glyphosate-monograph.pdf>



- World Health Organization. (2017). Guidelines for Drinking water Quality (Fourth). World Health Organization. Consultado el 12 de abril de 2022 en <https://apps.who.int/iris/handle/10665/254637>

Sobre los autores

- **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. rjgallardo@ufpso.edu.co
- **Agustín Armando Macgregor Torrado:** Ingeniero civil, Especialista en Geotecnia, Candidato a Magister en Ingeniería Civil – Recursos Hídricos. Profesor Asistente del departamento de Ingeniería Civil de la UFPS Ocaña. amacgregort@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 © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

