

# Genotoxicidad y citotoxicidad por plaguicidas en agua: un análisis bibliométrico

*Genotoxicity and cytotoxicity by pesticides in water: a bibliometric analysis*

Israel Mendoza Flores<sup>1</sup>  
Luis Daniel Ortega Martínez<sup>2</sup>  
Verónica Rodríguez Soria<sup>3</sup>

## Resumen

Las actividades antropogénicas generan diferentes contaminantes, estos ocasionan un deterioro en los distintos compartimentos ambientales, incluyendo el agua. Se realizó un análisis bibliométrico de textos publicados entre los años 2004 y 2024 con las palabras clave: Genotoxicidad, Citotoxicidad, Agua, y Plaguicidas. La búsqueda arrojó un total de 147 registros para su posterior análisis, utilizando los softwares R-Studio, bibliometrix y VOSviewer. Los resultados mostraron que la temática ha tenido un crecimiento a través de los años. A partir del 2014 se incrementó el empleo de las palabras genotoxicidad, citotoxicidad y ensayo cometa. Las investigaciones utilizaron diferentes bioindicadores, destacando peces, anfibios y cladóceros. El país con mayor número de artículos publicados fue Brasil, la co-concurrencia arrojó la palabra genotoxicidad como la de mayor visualización, seguido de animales, plaguicida y contaminación.

**Palabras clave:** genotoxicidad, citotoxicidad, agua, plaguicidas.

## Abstract

Anthropogenic activities generate different pollutants, which cause a deterioration in the various environmental compartments, including water. A bibliometric analysis was carried out using the keywords: Genotoxicity, Cytotoxicity, Water, and Pesticides, which were published between 2004 and 2024. The search yielded 147 records for subsequent analysis using R-Studio, bibliometrics, and VOSviewer software. The results showed that the subject has grown through the years; since 2014, the use of genotoxicity, cytotoxicity, and testing concepts are increased, the researchers used different biomarkers, mainly fish, amphibians, and cladocerans. The country with the highest number of published articles was Brazil, and the co-occurrence yielded the word genotoxicity as the one with the highest visualization, followed by animals, pesticide and contamination.

**Keywords:** genotoxicity, cytotoxicity, water, pesticides.

---

1 Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. ORCID. [orcid.org/0009-0009-7478-6994](https://orcid.org/0009-0009-7478-6994)  
Correo: [Israel.mendoza@upaep.edu.mx](mailto:Israel.mendoza@upaep.edu.mx)

2 Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. ORCID. [orcid.org/0000-0003-4672-8809](https://orcid.org/0000-0003-4672-8809)  
Correo: [luisdaniel.ortega@upaep.mx](mailto:luisdaniel.ortega@upaep.mx)

3 Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. ORCID. [orcid.org/0000-0002-4956-2480](https://orcid.org/0000-0002-4956-2480)  
Correo: [veronica.rodriguez@upaep.mx](mailto:veronica.rodriguez@upaep.mx)

## Introducción

El agua en nuestro planeta está presente en aproximadamente el 70 % de la superficie, en la atmósfera como vapor, en el suelo como humedad y presente en ríos, lagos, aguas subterráneas y océanos. Debido al ciclo del agua, el suministro de este recurso en nuestro planeta es permanente y en continuo movimiento. Es el único elemento que podemos encontrar en los tres diferentes estados de la materia, sólido, líquido y gaseoso. El agua dulce es un recurso limitado, el cambio climático ha afectado su suministro y la contaminación la inutiliza. El informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos del año 2023, señala que entre 2,200 y 3,200 millones de habitantes vivieron en condiciones de estrés hídrico por al menos un mes al año en 2010, lo que representa del 32 % al 46 % de la población mundial en ese momento. El 80 % de estas personas se encontraban viviendo en Asia; en el noreste de China, además de India y Pakistán (Vanham et al., 2021).

De acuerdo con datos de He et al., (2021), la población urbana a nivel mundial que sufre escasez de agua pasará de 933 millones de individuos, es decir, un tercio de la población urbana mundial en 2016, a un estimado de entre 1.700 a 2.400 millones, aproximadamente la mitad de la población urbana mundial para el 2050. Se prevé que los habitantes de India serán los más afectados.

El consumo global de agua ha experimentado un incremento del 1% durante los últimos 40 años. Este incremento se agrupa principalmente en los países comúnmente conocidos como de rentas medias y bajas, es decir, en economías emergentes (Ritchie y Roser, 2017). Este incremento en el uso del agua se debe a una combinación de crecimiento poblacional y desarrollo socioeconómico. Los mayores niveles de extracción de agua per cápita en el mundo se han encontrado en América del Norte y Asia Central (FAO, 2022).

Diferentes estudios sugieren que el promedio anual de agua disponible a nivel mundial es de aproximadamente 1,386 millones de km<sup>3</sup>, de los cuales el 97% es agua salada, y 35 millones de km<sup>3</sup>, aproximadamente el 3%, es agua dulce, sin embargo, casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. El agua disponible para consumo humano es la que se encuentra en la superficie de la tierra o cerca de ella, en depósitos subterráneos poco profundos. No obstante, estas fuentes se ubican lejos de las zonas pobladas, lo que las convierte en recursos de difícil acceso, quedando el 0.77 % del agua dulce disponible para el consumo humano. A nivel mundial hay cada vez más áreas en donde las aguas subterráneas se están terminando, particularmente en zonas de extracción intensiva para riego agrícola o para el abastecimiento de grandes ciudades (Naciones Unidas, 2022).

Gran parte de los ecosistemas dulceacuícolas se encuentran amenazados en el mundo (Vári et al., 2021). En general, los indicadores en ecosistema y biodiversidad han mostrado un rápido deterioro a causa de múltiples factores humanos. Cerca del 75 % de los ecosistemas han sufrido pérdidas de hasta el 85 % de los humedales naturales, esto con el cambio de uso de suelo a partir de la década de los setenta, lo cual fue el factor que más perjudicó a los ecosistemas terrestres y dulceacuícolas (IPBES, 2019).

El crecimiento poblacional en el último siglo y el aumento en la industrialización a nivel global, se consideran los principales responsables de la sobreexplotación

de los recursos hídricos y de la subsecuente contaminación de estos, al convertirlos en vertederos de los residuos generados principalmente por las actividades industriales y agropecuarias (Gómez et ál., 2008). Esta contaminación afecta negativamente la calidad del agua y puede tener consecuencias perjudiciales para la salud humana (Stella, 2019).

Los vertidos industriales en agua a nivel mundial, constituyen una seria amenaza para la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos. Se calcula que dos tercios de todo el consumo de agua que se utiliza en la industria, se efectúa utilizando cadenas de suministro corporativas (TNC, s. f.); las industrias de alimentación, textil, energía, industrial, química, farmacéutica y minería monopolizan el 70 % del uso y son, por lo tanto, los responsables de la contaminación del agua dulce en el mundo (CDP, 2018).

Se considera que la demanda de agua del sector industrial y energético aumentará un 24 % en el 2050 (Burek et al., 2016). Esta demanda de agua dulce ha propiciado la reasignación de los recursos hídricos destinados a la agricultura hacia los centros industriales y urbanos, estrategia que se ha hecho común para satisfacer las necesidades de agua dulce para las ciudades en expansión (Garrick et al., 2019; Marston y Cai, 2016). Casi una tercera parte de las ciudades en el mundo dependen de las aguas superficiales y compiten por este recurso con la agricultura, principal consumidora del agua dulce en el mundo (Garrick et al., 2019). Se pronostica que esta competencia entre ciudad y agricultura se irá incrementando debido al rápido proceso de urbanización, aumentando la demanda de agua en un 80 % para el 2050 (Flörke et al., 2018).

Las actuales prácticas agrícolas han resultado ser insostenibles, generando una grave amenaza para los ecosistemas y la salud humana, derivada de la contaminación de los recursos hídricos por la producción intensiva de alimentos a nivel mundial, principalmente por la utilización de plaguicidas y fertilizantes (Smith et al., 2017; Ouyang et al., 2019).

Según el informe *Más gente, más alimentos, ¿peor agua? Un examen mundial de la contaminación del agua de la agricultura*, publicado por la FAO y el Instituto Internacional para el Manejo del Agua (IWMI) en junio del 2022, a nivel mundial, el contaminante químico con mayor presencia en los acuíferos subterráneos son los nitratos procedentes de la producción agrícola.

Entre los contaminantes agrícolas que presentan un mayor riesgo para la salud humana están los plaguicidas, nitratos, oligoelementos metálicos y los contaminantes emergentes. La aplicación intensiva de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura da lugar a estas escorrentías agrícolas, principales causantes de contaminación hídrica, fenómeno estrechamente relacionado con la salud humana y ecosistémica. Se calcula que el 80 % de las aguas residuales en el planeta se incorporan a las masas de agua sin haber sido tratadas (WWAP, 2017).

En todo el mundo se utilizan aproximadamente 3 mil millones de kg. de plaguicidas al año, justificando su uso extensivo con el aumentado en el rendimiento de los cultivos y a la reducción en las pérdidas de la cosecha (Sharma et al., 2020). Sin embargo, por su naturaleza no biodegradable y recalcitrante, estos plaguicidas pueden persistir en el ambiente durante muchos años, por lo que se consideran un riesgo biológico latente (Yahaya et al., 2017).

La gran mayoría de los plaguicidas se clasifican de acuerdo con la función que desempeñan (plaguicidas, herbicidas, fungicidas) y por las especies objetivo sobre las cuales actúan (Niaoumakis et al., 2017). Estas sustancias químicas están conformadas

principalmente por compuestos inhibidores de la acetilcolinesterasa y organoclorados, los cuales se encuentran en la primera categoría de plaguicidas implicados en intoxicaciones a humanos (Bertero et al., 2020).

Dependiendo de su composición química, los plaguicidas se clasifican en: organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, glifosatos entre otros (Gauicha y Bolívar, 2015).

Los organoclorados tienen una estructura química con hidrocarburos clorados aromáticos, no obstante, pueden contener otros elementos como el oxígeno y azufre. Son compuestos químicos muy estables, son liposolubles, recalcitrantes con una alta neurotoxicidad (Zubero et al., 2010). Estos tienden a acumularse en el tejido adiposo de los organismos vivos, perpetuándose en la red trófica, permitiendo que se biomagnifiquen sus efectos. La mayor parte de estos compuestos disolventes clorados y derivados organoclorados, se encuentran prohibidos en muchos países, debido a su persistencia en el ambiente y toxicidad (Ribas et al., 2003).

Los organofosforados, son plaguicidas con efectos tóxicos más severos en vertebrados, pero son menos recalcitrantes que los organoclorados (Badii y Varela, 2015). En la actualidad, podemos encontrar con mayor distribución y uso los insecticidas que contienen clorpirifos, utilizados para controlar plagas de insectos, vectores en uso doméstico y para controlar las garrapatas del ganado. Por otro lado, el glifosato se ha establecido como el herbicida de los organofosforados que es más utilizado en el mundo, aunque se ha observado el incremento paulatino en el uso también del malatión y el paratión. La exposición prolongada a estos compuestos ha sido asociada con efectos negativos en la función de la enzima colinesterasa y con bajos niveles en la producción de insulina en vertebrados, relacionándolos con el incremento en enfermedades metabólicas, como la diabetes tipo II y con efectos genotóxicos (Nicolopoulou et al., 2016). Además de afectar la calidad del agua y, por consiguiente, a la estructura y función de los ecosistemas acuáticos, (Salazar y Madrid, 2011).

Los plaguicidas carbamatos son fungicidas mayoritariamente, estas sustancias orgánicas son contaminantes que tienen un efecto neurotóxico en el ser humano (Blanco et al., 2013), que actúan inhibiendo la actividad de la enzima acetilcolinesterasa (Dhouib et al., 2016).

Los piretroides, son compuestos sintetizados a partir de las piretrinas naturales, diseñados estructuralmente a partir de la molécula de piretrina y diferenciados químicamente por el grupo  $\alpha$ -ciano en su molécula. Estas sustancias alteran el cierre y apertura de los canales de sodio en células nerviosas, dejando este canal permanentemente abierto, alterando la transmisión de señales eléctricas en las redes neuronales. Los piretroides, se usan generalmente en el control de insectos vectores, gracias a su baja toxicidad en mamíferos (Rinkevich et al., 2015).

La contaminación del agua es un desafío ambiental global que afecta la salud de los ecosistemas acuáticos y tiene consecuencias directas en la citotoxicidad y genotoxicidad ambiental. La presencia de contaminantes en el agua puede tener efectos perjudiciales en las células y los organismos que dependen de estos sistemas acuáticos para su supervivencia.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2020, se estimó que más de 1.8 mil millones de personas en todo el mundo consumían agua

potable contaminada con bacterias, químicos y otros contaminantes. Estas sustancias químicas pueden afectar la salud humana y la de los ecosistemas acuáticos, generando citotoxicidad y genotoxicidad a diferentes niveles tróficos.

### Genotoxicidad y citotoxicidad

La genotoxicología relaciona la genética con la toxicología, evalúa la capacidad de ciertas sustancias que inducen cambios o daños en el material genético, incidiendo su estructura o función en diferentes etapas del ciclo celular (Arcaute et al., 2021). El término genotoxicidad o genotóxico, es una propiedad de diversas sustancias que provocan alteraciones tanto estructurales como funcionales en las células, lo que puede generar mutaciones genéticas, aberraciones cromosómicas y desarrollo de enfermedades debido a la interacción directa o indirecta con el ADN (Yin et al., 2022).

La citotoxicidad o toxicidad celular, se define como los diferentes efectos adversos que se producen como consecuencia de la exposición a sustancias tóxicas como productos de síntesis química, medicamentos, radiación, entre otros agentes que tienen el potencial de afectar negativamente a las células al interferir con sus estructuras o procesos propios de las células, los cuales son esenciales para un buen funcionamiento, supervivencia y proliferación celular. La citotoxicidad es, por consiguiente, un fenómeno que se ha estudiado ampliamente en toxicología, siendo importante la evaluación de la seguridad de productos químicos, fármacos y otros compuestos (Valderrama et al., 2009; Rodríguez et al., 2004).

### Metodología

La cienciometría o bibliometría, como campo emergente de investigación de frontera de la bibliotecología y ciencia de la información, definida como la aplicación de métodos matemáticos y estadísticos a los libros y otros medios de comunicación escrita utilizada comúnmente para resumir, clasificar y proporcionar resultados representativos de un conjunto de documentos bibliográficos, se vincula a publicaciones de carácter científico (Rovelli et al., 2021).

Se efectuó un análisis mediante técnicas de bibliometría, estas han aportado a la comunidad científica información de consulta para los investigadores (Morales et al., 2017; Rovelli et al., 2021). Con el objetivo de obtener la producción científica, la colaboración entre autores, la difusión de temas y otras métricas relacionadas con las tendencias del tema “genotoxicidad en aguas por plaguicidas”, utilizando la base de datos de SCOPUS. Esta es una de las plataformas que indexan artículos de alto rigor, es decir, las revistas alojadas tienen un factor de impacto en el Journal Citation Report (JCR) en diferentes cuartiles. Las palabras clave utilizadas fueron genotoxicidad, citotoxicidad, plaguicidas y agua, y se empleó el operador booleano “and”. Para la realización del análisis bibliométrico, en este trabajo hemos utilizado el software R-Studio, bibliometrix y VOSviewer, empleados por su flexibilidad debido a que son softwares de código abierto (Dervis, 2019). Aplicado las herramientas de Excel (Araya et al., 2021). Logrando datos estructurales dentro de la comunidad científica, asociando las referencias (co-rreferenciación o *bibliographic coupling*) o co-ocurrencia (*co-occurrence*).

La búsqueda nos arrojó un total de 147 artículos en el periodo 2004-2024. Los criterios de exclusión se efectuaron partiendo de que en el título se presentara la pala-

bra “genotoxicidad”. En caso de no presentarla, el artículo quedaría descartado. Se incluyen los estudios relacionados con el daño genotóxico por plaguicidas únicamente, descartando otras moléculas. La generación de los resultados de la Tabla del impacto de los plaguicidas en agua en diferentes indicadores, se generó a partir de artículos de los últimos 10 años, con la palabra genotoxicidad en el título y con DOI con un total de 12 publicaciones.

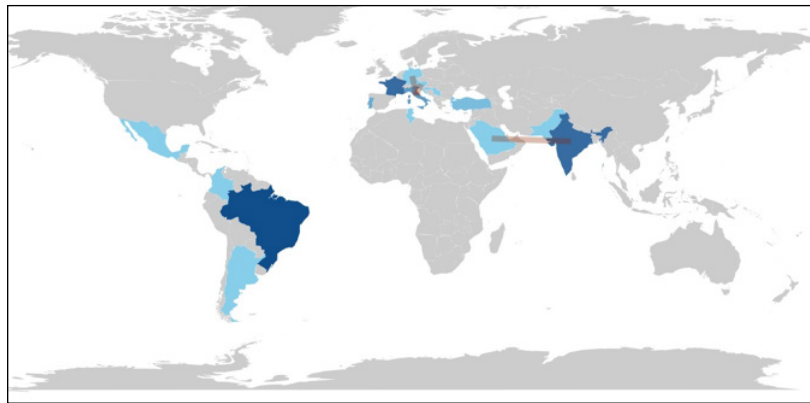
### Resultados

**Tabla 1. Resultados de la genotoxicidad por exposición a contaminantes con diferentes bioindicadores**

Autores	Sustancia evaluada	Bioindicador	Genotoxicidad
Nugnes et al., 2022	xenobióticos, microplásticos, plaguicidas	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	Positivo
Zafra-Lemos et al., 2021	ácido 2,4-diclorofenoxiacético	<i>Astyanax lacustris</i>	Positivo
Carere et al., 2021	organofosforados, HAP, sustancias alquílicas perfluoradas y polifluoradas (PFAS) y metales pesados.	<i>Dreissena polymorpha</i> , <i>Daphnia magna</i> , embriones de <i>Danio rerio</i> , <i>Hydra vulgaris</i>	Positivo
Rubio-Vargas et al., 2021	metalotioninas, hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)	<i>Oreochromis niloticus</i>	Positivo
Pavan et al., 2021	glifosato, ácido diclorofenoxiacético	<i>Boana faber</i> , <i>Leptodactylus latrans</i>	Positivo
Motta et al., 2020	nanopartículas de óxido de zinc	<i>Lithobates catesbeianus</i>	Positivo
Chinnadurai et al., 2019	fumaronitrilo	<i>Oreochromis mossambicus</i>	Positivo
Annabi et al., 2019	acetamiprid	células PC12 de <i>rattus sp.</i>	Positivo
Costa et al., 2018	penoxsulam	<i>Procambarus clarkii</i>	Positivo
Ribeiro et al., 2014	plaguicidas	<i>Astyanax paranae</i>	Positivo
Pinto et al., 2014	benza pireno	células HepG2 (hepatoma humano)	Positivo
Roustan et al., 2014	glifosato, la atrazina, el ácido aminometilfosfórico (AMPA), la desetil-atrazina (DEA)	micronúcleos in vitro en células CHO-K1.	Positivo

Fuente: elaboración propia a partir de bibliometrix con datos de SCOPUS.

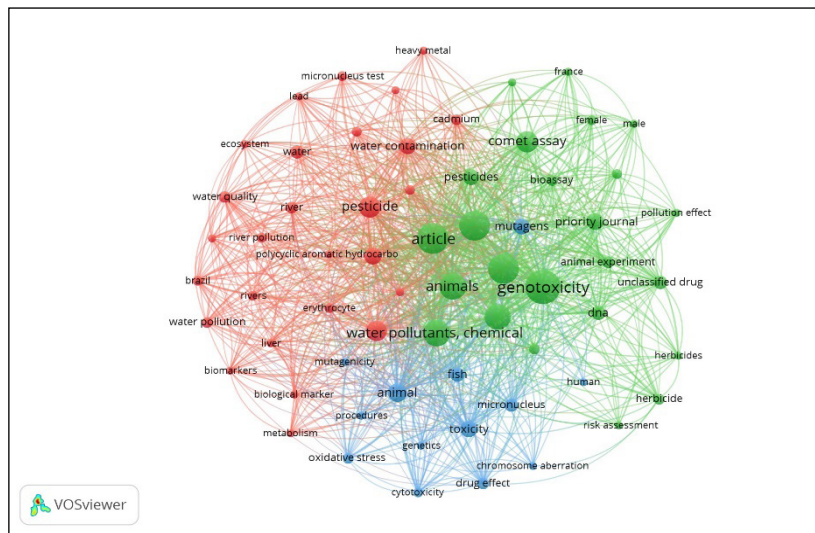
**Figura 1. Colaboración y Producción científica de documentos relacionados por país**



Fuente: elaboración propia a partir de bibliometrix con datos de SCOPUS.

Podemos observar que los bioindicadores utilizados predominantemente en los estudios analizados, utilizan especies animales (peces, anfibios, cladóceros), lo que explica su importancia en la red de los términos más co-concurrentes. De igual manera, al limitar la búsqueda a “contaminación solo por plaguicidas en cuerpos de agua”, se entiende la concurrencia de los demás.

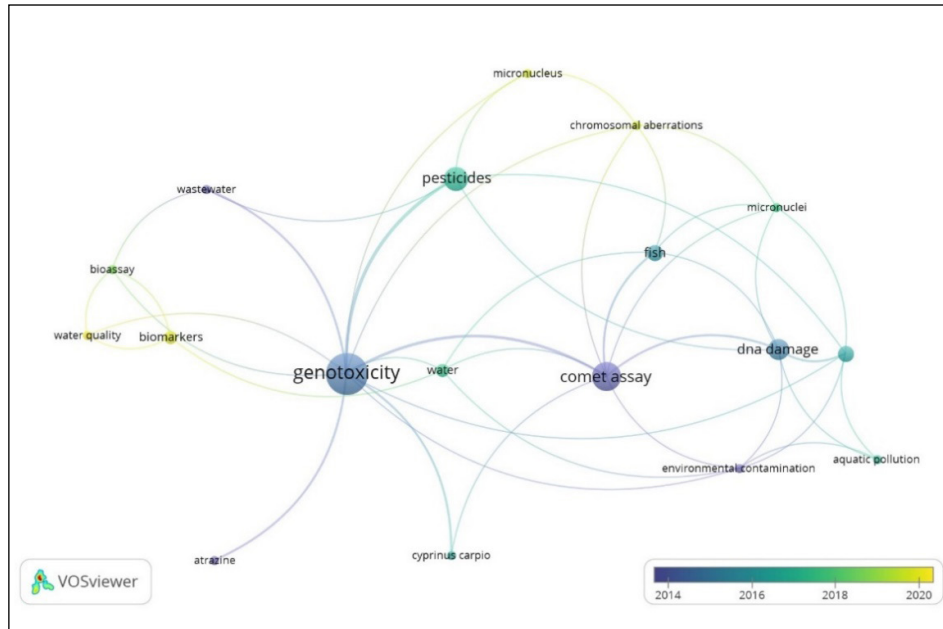
**Figura 2. Visualización de redes, resultado de la co-concurrencia de palabras clave entre las publicaciones**



Fuente: elaboración propia a partir de datos generados por SCOPUS, después de ser procesados por VOSviewer.

Al generar la visualización de red de los términos más co-concurrentes con VOSviewer, se observó que *genotoxicity* se posicionó en el centro del gráfico y, al momento de pasar el cursor sobre los términos, se resalta su relación con los demás, sobresalen las palabras: *article*, *animals*, *pesticide*, *pollutants*, lo que nos indica que las investigaciones están relacionadas principalmente con estos términos.

**Figura 3. Visualización de redes resultado de la co-concurrencia de palabras claves más utilizadas en cada año a partir del 2014**

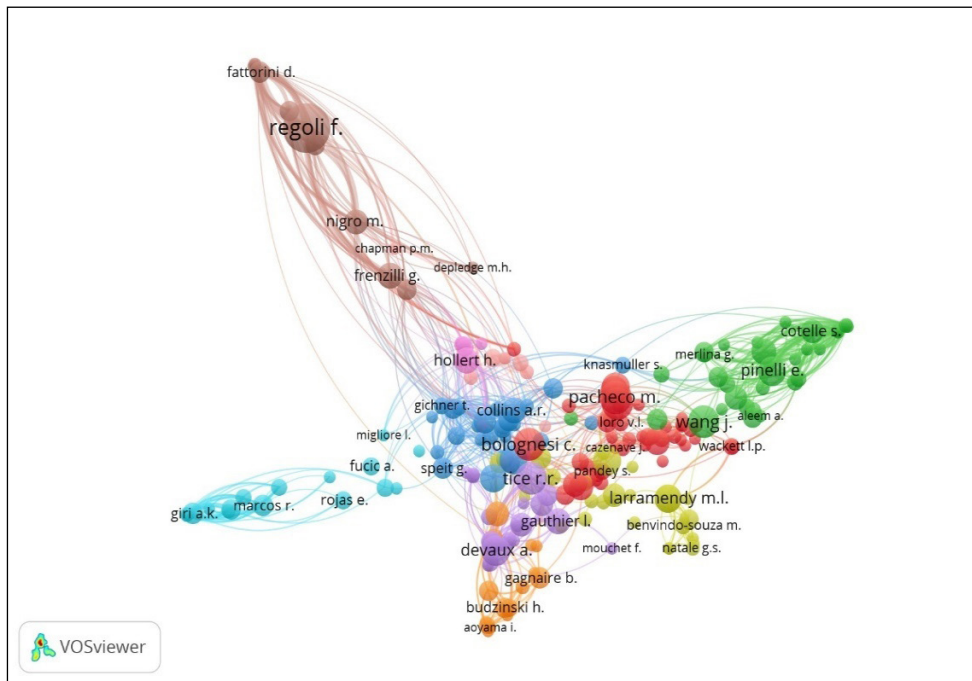


Fuente: elaboración propia a partir de datos generados por SCOPUS, después de ser procesados por VOSviewer.

Análisis de la co-concurrencia de los términos más frecuentes a través de los últimos 10 años, que muestran 3 nodos centrales: genotoxicidad, ensayo cometa, daño en DNA. Otras palabras como bioensayos, plaguicidas micronúcleos, entre otras, aparecen con menor co-concurrencia; no obstante, estas reflejan el tema de investigación relacionado con las diferentes actividades que promueven análisis de las condiciones, las cuales integran.



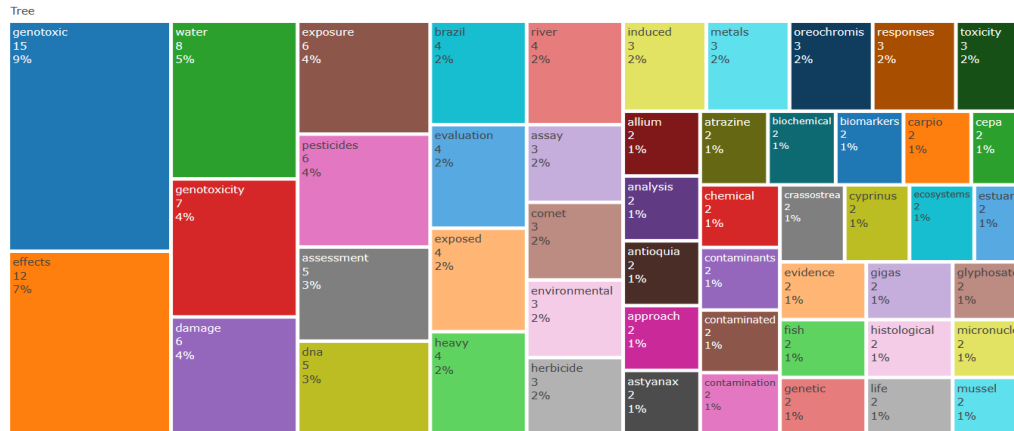
Figura 4. Visualización de redes de co-citación en publicaciones científicas.



Fuente: elaboración propia a partir de datos generados por SCOPUS, después de ser procesados por VOSviewer.

Los resultados de la co-citación de autores también fueron graficados en VOSviewer, tomando como criterio de selección que por lo menos tuvieran 5 citaciones (figura 4) lo que generó una visualización de redes en la que los autores con los nombres de Regoli F., Pacheco M. y Bolognesi C. se muestran como los más citados.

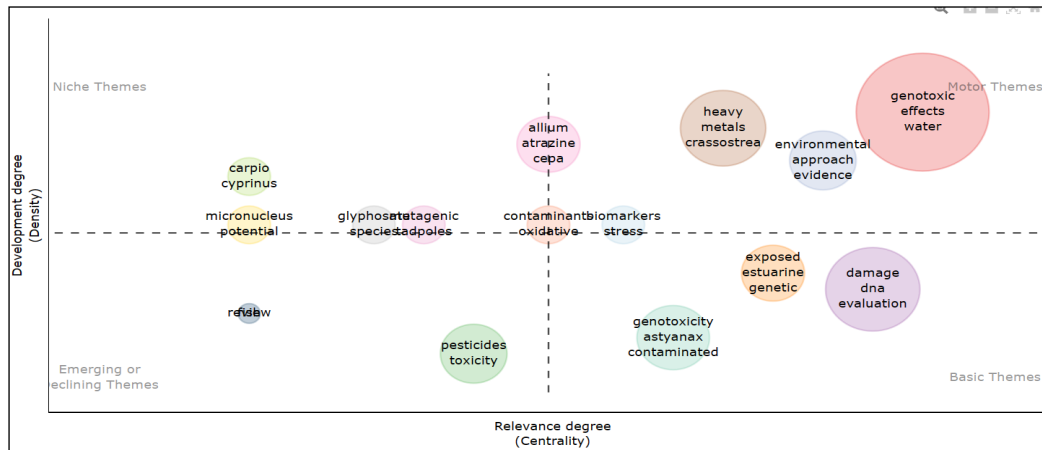
**Figura 5. Mapa de árbol combinación de palabras clave**



Fuente: elaboración propia a partir de bibliometrix con datos de SCOPUS.

El mapa de árbol, muestra la posible combinación de las palabras clave empleadas. “Genotóxico”, es la palabra clave que más se empleó, seguida de “efectos”; mientras que “mejillón, micronúcleos glifosato”, son las menos empleadas. Centrándonos en las palabras clave, “plaguicidas, daño, exposición y DNA”, resultan de interés.

**Figura 6. Estructura conceptual y evolución temática de la genotoxicidad por plaguicidas en agua**



Fuente: elaboración propia a partir de bibliometrix con datos de SCOPUS.

La estructura conceptual y evolución temática de la genotoxicidad por plaguicidas en agua partiendo del análisis del mapa temático de diferentes clústeres (figura 6) representa cuatro momentos evolutivos en cada uno de los cuadrantes del plano cartesiano. Los efectos genotóxicos por agua son el tema más relevante y consolidado en las investigaciones. No obstante, los temas relacionados con la evolución del daño en el DNA, los biomarcadores, el estrés oxidativo, entre otros, se encuentran en una tendencia fundamental en el periodo evaluado. No se muestran temas aislados.

## Discusión

Los resultados del análisis bibliométrico sobre genotoxicidad y citotoxicidad por plaguicidas en agua, utilizando las palabras clave “agua”, “plaguicidas”, “genotoxicidad” y “citotoxicidad”, proporcionan una visión detallada sobre el estado actual de la investigación en este campo específico, logrando tener un análisis crucial para comprender la evolución, las tendencias y las áreas de enfoque dentro de la literatura científica, lo que coincide con las recientes investigaciones en genotoxicidad y agua (Sierra, 2024; Rojas et al., 2024 ; Ying et al., 2024).

Se mostró un creciente interés en la relación existente entre el agua contaminada con plaguicidas y la genotoxicidad/citotoxicidad, lo cual ha indicado un incremento en la preocupación pública y científica sobre los posibles efectos dañinos de estos contaminantes presentes en el agua, así como sus potenciales efectos en la salud humana y ambiental (Giménez et al., 2023; Diaz et al., 2021; Cabello et al., 2021; Rangel et al., 2023).

Además, se observa que la genotoxicidad y citotoxicidad son áreas de investigación interdisciplinarias, (Córdova, 2024; Llanos y Saavedra, 2023; Plascencia y Almada, 2023). Este enfoque es crucial para comprender la complejidad de los efectos de los contaminantes del agua en los organismos vivos y los ecosistemas.

El análisis bibliométrico también identificó autores y países que lideran la investigación en este campo. Esto proporciona información valiosa sobre las comunidades científicas más activas y los centros de investigación líderes en el estudio de la genotoxicidad y citotoxicidad del agua. (Gonçalves et al., 2023; Collins et al., 2023).

Además, el análisis puede revelar lagunas en la investigación, como áreas poco estudiadas o temas emergentes que requieren más atención. Por ejemplo, podría identificarse una falta de estudios sobre los efectos combinados de múltiples contaminantes en el agua o sobre la genotoxicidad/citotoxicidad de contaminantes emergentes, como los productos farmacéuticos o los nanomateriales.

## Conclusiones

En conclusión, el análisis bibliométrico sobre la genotoxicidad, citotoxicidad por plaguicidas en agua, ofrece una perspectiva valiosa sobre el panorama actual de la investigación en este campo multidisciplinario, destacando en la producción científica países como Brasil, Francia e India. Se ha observado un creciente interés en entender los posibles efectos nocivos de los contaminantes presentes en el agua y sus efectos en la salud humana y en el impacto ambiental. Este enfoque interdisciplinario refleja la complejidad del problema y la necesidad de abordarlo desde diversas perspectivas científicas.

El análisis ha identificado áreas de enfoque clave, destacando la importancia de continuar investigando sobre los efectos combinados de múltiples contaminantes en el agua y la genotoxicidad/citotoxicidad de contaminantes emergentes. Además, se ha evidenciado la necesidad de promover la colaboración entre investigadores, instituciones y países para abordar estos desafíos de manera efectiva.

Este análisis proporciona una base sólida para orientar futuras investigaciones y políticas destinadas a proteger la salud humana y ambiental frente a los riesgos asociados con la contaminación del agua. Es fundamental seguir avanzando en el conocimiento científico en este campo y tomar medidas preventivas y correctivas para mitigar los impactos negativos que la genotoxicidad y citotoxicidad en el agua produce sobre los ecosistemas y la sociedad en general.

## Bibliografía

- ARAYA-Castillo, L.; Hernández-Perlines, F.; Millán-Toledo, C. y Cisneros (2021). “Bibliometric analysis of studies on family firms” en *Economic Research-Ekonomiska Istraživanja*. Volumen 35, número 1, pp. 4778-4800. Doi.org/10.1080/1331677x.2021.2018003
- ANNABI, E., Ben Salem, I. y S. Abid-Essefi (2019). “Acetamiprid, a neonicotinoid insecticide, induced cytotoxicity and genotoxicity in PC12 cells” en *Toxicology Mechanisms and Methods*, Volumen 29, número 8, pp. 580-586. Doi.org/10.1080/15376516.2019.1624907
- ARCAUTE, C. R. De, Laborde, M., Soloneski, S. y M. Larramendy (2021). “Genotoxicidad y carcinogénesis” en Carriquiriborde, P. (Coord.) *Principios en ecotoxicología*. La Plata, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/131176/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/131176/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- BADII, M. H. y S. Varela (2015). “Insecticidas organofosforados: efectos sobre la salud y el ambiente” en *CULCYT Cultura Científica y Tecnológica*, Volumen 5, número 28, pp. 5-17.
- BERTERO, A. et al., (2020). “Types of pesticides involved in domestic and wild animal poisoning in Italy” en *Science of the Total Environment*. Volumen 707. Doi.org/10.1016/j.agee.2021.107341
- BLANCO, L.; Marquina, M. E. y Y. Castro (2013). “Respuestas a la aplicación de carbamatos en dos aislados Rizobianos provenientes de Mucuchíes, estado Mérida, Venezuela” en *Bioagro*. Volumen 25, número 2, pp. 117-128. Disponible en: <http://www.scielo.org/ve/pdf/ba/v25n2/art05.pdf>
- BUREK, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L. F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B. y D. Wiberg (2016). *Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report)*. Austria, Ministerium Für Eim Lebenswertes Österreich, Austrian Development Agency, IIASA. Disponible en: [pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/](http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/)
- CABELLO, G. G. C.; Nolberto, E. D. E.; Huachos, K. M. H.; Chávez, M. P. y L. Y. M. Ávila (2021). “Use of Chemical Pesticides in the cultivation of Potato (*Solanum tuberosum* L), its relationship with the Environment and Health” en *Ciencia Latina Multidisciplinary Scientific Magazine*. Volumen 5, número 2, pp. 1482-1503.
- CARERE, M., Antoccia, A., Buschini, A., Giada Frenzilli, Marcon, F., Andreoli, C., Gessica Gorbi, Suppa, A., Montalbano, S., Prota, V., Francesca De Battistis, Guidi, P., Bernardeschi, M., Palumbo, M., Scarcelli, V., Colasanti, M., D’Ezio, V., Tiziana Persichini, Scalici, M. y Antonella Sgura (2021). “An integrated approach for chemical water quality assessment of an urban river stretch through Effect-Based Methods and emerging pollutants analysis with a focus on genotoxicity” en *Journal of Environmental Management*. Volumen 300. Doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113549
- CDP (2018). *Treading Water: Corporate Responses to Rising Water Challenges. CDP Global Water Report (2018)*. Londres, CDP Worldwide. Disponible en: [www.cdp.net/en/research/global-reports/global-waterreport-2018](http://www.cdp.net/en/research/global-reports/global-waterreport-2018).
- CDP (2021). *A Wave of Change: The Role of Companies in Building a Water-Secure World. CDP Global Water Report (2020)*. Londres, CDP Worldwide. Disponible en: [www.cdp.net/en/research/global-reports/global-waterreport-2020](http://www.cdp.net/en/research/global-reports/global-waterreport-2020).

- CHINNADURAI, K.; Balaji, P. y M. Eyini (2020). "Evaluation of Micronucleus Assay and Genotoxic Effect in *Oreochromis mossambicus* Exposed to a Fumaronitrile". en *Toxicology International*. Volumen 26, número 3(4), pp. 70-79. Doi.org/10.18311/ti/2019/v26i3&4/24267
- COLLINS, A., Moller, P., Gajski, G., Vodenková, S., Abdulwahed, A., Anderson, y Azqueta, A. (2023). "Measurement of DNA modifications with the comet assay: a compendium of protocols" en *Nature Protocols*. Volumen 18, número 3, pp. 929-989.
- COSTA, R.; Pereira, J. L.; Santos, M. J.; Pacheco, M. y S. Guilherme (2018). "The role of contamination history and gender on the genotoxic responses of the crayfish *Procambarus clarkii* to a penoxsulam-based herbicide" en *Ecotoxicology*. Volumen 27, número 7, pp. 908-918. Doi.org/10.1007/s10646-018-1948-y
- DERVIS, H. (2020). "Bibliometric Analysis using Bibliometrix an R Package" en *The Journal of Scientific Research*. Volumen 8, número 3, pp. 156-160. Doi.org/10.5530/jscires.8.3.32
- DÍAZ-Vallejo, J., Barraza-Villarreal, A., Yáñez-Estrada, L., y Hernández-Cadena, L. (2021). "Plaguicidas en alimentos: riesgo a la salud y marco regulatorio en Veracruz, México" en *Salud Pública de México*, Volumen 63, número 4, pp. 486-497.
- DHOUIB, I. B., Annabi, A., Jallouli, M., Marzouki, S., Gharbi, N., Elfazaa, S., y Lasram, M. M. (2016). "Carbamates pesticides induced immunotoxicity and carcinogenicity in human: A review" en *Journal of Applied Biomedicine*. Volumen 14, número 2, pp. 9448-9458. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26988364>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2022). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2021: Systems at Breaking Point. Main Report*. Roma, FAO. Doi.org/10.4060/cb9910
- FLÖRKE, M.; Schneider, C. y R. I. McDonald (2018). "Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth" en *Nature Sustainability*. Volumen 1, pp. 51-58. Doi.org/10.1038/s41893-017-0006-8
- GARRICK, D., De Stefano, L., Yu, W., Jorgensen, I., O'Donnell, E., Turley, L., Aguilar-Barajas, I., Dai, X., De Souza Leão, R., Punjabi, B., Schreiner, B., Svensson, J. y Wight, C. (2019). "Rural water for thirsty cities: A systematic review of water reallocation from rural to urban regions" en *Environmental Research Letters*. Volumen 14, No. 043003. Doi.org/10.1088/1748-9326/ab0db7
- GAUICHA, J. y E. Bolívar (2015). *Contaminación ambiental por agroquímicos, formas de exposición e impactos en la salud de la población de la parroquia Sabanilla del cantón Célica*. Tesis de Maestría. Loja, Universidad Técnica de Loja.
- GIMÉNEZ, A. (2023). *Exposición a plaguicidas organofosforados y crecimiento fetal*. Granada, Universidad de Granada. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10481/89276>
- GÓMEZ, A. (2008). "Surfactantes biológicos en la biorremediación de aguas contaminadas con crudo liviano" en *Interciencia*. Volumen 33, número 4. Disponible en <https://bit.ly/2LVPs9>
- GONCALVES, JM, Benedetti, M., d'Errico, G., Regoli, F. y Bebianno, MJ (2023). "Polystyrene nanoplastics in the marine mussel *Mytilus galloprovincialis*" en *Environmental Pollution*. Volumen 333. Doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122104
- HE, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J. y Bryan, B. A. (2021). "Future global urban water scarcity and potential solutions" en *Nature Communications*. Volumen 12, artículo número 4667. Doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3.
- IPBES (Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas) (2019). *El Informe de la Evaluación Mundial sobre la Diversidad Biológica*

- y los Servicios de los Ecosistemas: Resumen para los Encargados de la Formulación de Políticas. Bonn, Secretaría de IPBES. Disponible en: <https://igualdad.cepal.org/es/digital-library/el-informe-de-la-evaluacion-mundial-sobre-la-diversidad-biologica-y-los-servicios>
- LAYON Zafra-Lemos, Cusioli, Bergamasco, R., Borin-Carvalho y Luiza, A. (2021). "Evaluation of the genotoxic and cytotoxic effects of exposure to the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in *Astyanax lacustris* (Pisces, Characidae) and the potential for its removal from contaminated water using a biosorbent" en *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. Volumen 865. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2021.503335>.
- LLANOS Yangua, F. L. y L. S. Fernández Saavedra (2023). "Cytotoxic and genotoxic effect of the aqueous extract of *Matricaria Chamomilla* (chamomile) on meristematic cells of *Allium Cepa* (onion)" en *Manglar*. Volumen 18, número 2, pp. 129-133.
- MARSTON, L. y Cai, X. M. (2016). "An overview of water reallocation and the barriers to its implementation" en *Wiley Interdisciplinary Reviews (WIREs)*. *Water*, Volumen 3, número 5, pp. 658-677. Doi.org/10.1002/wat2.1159
- MEINZEN-Dick, R. y Ringler, C. (2008). "Water reallocation: Drivers, challenges, threats, and solutions for the poor" en *Journal of Human Development*, Volumen 9, número 1, pp. 47-64. Doi.org/10.1080/14649880701811393
- MORALES Á, Ortega E, Conesa E, y Ruiz-Esteban C. (2017) "Análisis bibliométrico de la producción científica en educación musical en España" en *Revista Española de Pedagogía*. Volumen 75, número 268, pp. 399-414. Doi.org/10.22550/REP75-3-2017-07
- MOTTA, A.G.C., do Amaral, D.F., Benvindo-Souza, M., Rocha, T.L. y de Melo e Silva, D. (2020). "Genotoxic and mutagenic effects of zinc oxide nanoparticles and zinc chloride on tadpoles of *Lithobates catesbeianus* (Anura: Ranidae)" en *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*. Volumen 14. Doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100356
- NACIONES Unidas (2015). *Acuerdo de París*. París, Naciones Unidas. Disponible en: [unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/spanish_paris_agreement.pdf).
- NACIONES Unidas (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021. El valor del agua*. París, UNESCO. Disponible en: [unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378890](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378890)
- NACIONES Unidas (2022). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022. Aguas subterráneas: hacer visible el recurso invisible*. París, UNESCO. Disponible en: [unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382894](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382894)
- NIAOUNAKIS, M. (2017). "Environmental, Social, and Economic Impacts" en *Management of Marine Plastic Debris*. Doi.org/10.1016/B978-0-323-44354-8.00002-1
- NICOLOPOULOU, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., y Hens, L. (2016). "Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture" en *Frontiers in Public Health*. Volumen 4, número 148. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4947579/>
- NUGNES, R., Russo, C., Lavorgna, M., Orlo, E., Kundi, M. y Isidori, M. (2022). "Polystyrene microplastic particles in combination with pesticides and antiviral drugs: Toxicity and genotoxicity in *Ceriodaphnia dubia*" en *Environmental Pollution*, Volumen 313. Doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120088

- ORGANIZACIÓN Mundial de la Salud (2020). *Organización mundial de la salud*. Disponible en: <https://www.who.int/es>
- OUYANG, W., Hao, X., Wang, L., Xu, Y., Tysklind, M., Gao, X., y Lin, C. (2019). “Watershed diffuse pollution dynamics and response to land development assessment with riverine sediments” en *Science of the Total Environment*. Volumen 659, pp. 283-292. Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.367
- PAVAN, F.A., Samojeden, C.G., Rutkoski, C.F., Folador, A., Da Fré, S.P., Müller, C., Hartmann, P.A. y Hartmann, M.T. (2021). “Morphological, behavioral and genotoxic effects of glyphosate and 2,4-D mixture in tadpoles of two native species of South American amphibians” en *Environmental Toxicology and Pharmacology*. Volumen 85. Doi.org/10.1016/j.etap.2021.103637
- PINTO, M., Costa, P.M., Louro, H., Maria Helena Costa, João Lavinha, Caeiro, S. y Maria João Silva (2014). “Determining oxidative and non-oxidative genotoxic effects driven by estuarine sediment contaminants on a human hepatoma cell line” en *Science of the Total Environment*. Volumen 478, pp. 25-35. Doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.084
- PLASCENCIA, A. E., y Almada, M. D. C. B. (2023). “Aflatoxins, a toxin that continues to be present in food and its biological effects on humans and animals” en *TIP Specialized Magazine in Chemical-Biological Sciences*. Volumen 26, pp. 1-16.
- RANGEL-Ortiz, E., Landa-Cansigno, O., Páramo-Vargas, J., y Camarena-Pozos, D. A. (2023). “Prácticas de manejo de plaguicidas y percepciones de impactos a la salud y al medio ambiente entre usuarios de la cuenca del Río Turbio, Guanajuato, México” en *Acta Universitaria*. Número 33, pp.1-26.
- RIBAS, N., Sunyer, J., Sala, M. y J. O. Grimalt (2003). “Cambios en las concentraciones de compuestos organoclorados en las mujeres de Flix, Tarragona” en *Gaceta Sanitaria*. Volumen 17, número 4, pp. 309-311.
- RIBEIRO, Rafael, G. y Paula, L. (2014). “Genotoxic Effects of Water from São Francisco River, Brazil, in *Astyanax paranae*” en *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Volumen 93, número 3, pp. 274-279. Doi.org/10.1007/s00128-014-1291-9
- RINKEVICH, F. D., Du, Y., Tolinski, J., Ueda, A., Wu, C. F., Zhorov, B. S., y Dong, K. (2015). “Distinct roles of the DmNav and DSC1 channels in the action of DDT and pyrethroids” en *Neurotoxicology*. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25687544>
- RITCHIE, H. y Roser, M. (2017). *Water Use and Stress*. Sitio web de Our World in Data. Disponible en: [ourworldindata.org/water-use-stress](http://ourworldindata.org/water-use-stress).
- RODRÍGUEZ CE, Shinyashiki M, Froines J, Yu RC, Fukuto JM, y Cho AK. (2004). “An examination of quinone toxicity using the yeast *Saccharomyces cerevisiae* model system” en *Toxicology*. Volumen 201, pp. 185-96.
- ROJAS Lemus, M., López Valdez, N., González Villalva, A., Bizarro Nevares, P., Cervantes Valencia, M. E., Casarrubias Tabarez, B. y Fortoul, T. I. (2024). “La importancia de evaluar el daño al DNA” en *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*. Volumen 67, número 1, pp. 8-16.
- ROUSTAN, Aye M, M. De Meo y C. Di Giorgio (2014). “Genotoxicity of mixtures of glyphosate and atrazine and their environmental transformation products be-

- fore and after photoactivation” en *Chemosphere*. Volumen 108, pp. 93-100. Doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.02.079.
- ROVELLI P, Ferasso M, De Massis A, y Kraus S (2021) “Thirty years of research in family business journals: Status quo and future directions” en *J. Family Bus. Strat.* Doi.org/10.1016/j.jfbs.2021.100422
- RUBIO-Vargas, D.Á., de Oliveira Ribeiro, C.A., Neto, F.F., Cordeiro, A.L., Cestari, M.M., de Souza, A.C., Martins, C. de C., da Silva, C.P., de Campos, S.X., Esquivel Garcia, J.R. y Mela Prodocimo, M. (2021). “Exposure to pollutants present in Iguazu River Southern Brazil affect the health of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758): Assessment histological, genotoxic and biochemical” en *Environmental Toxicology and Pharmacology*. Doi.org/10.1016/j.etap.2021.103682
- SALAZAR, N. J. y J. O. Madrid, M. L. (2011). “Herbicida Glifosato: Usos, toxicidad y regulación” en *Biotécnia*. Volumen 13, número 2, pp. 23-28.
- SIERRA Chuquín, A. (2024). *Evaluación del daño en el ADN en niños menores de 5 años en dos zonas distintas de contaminación ambiental en la ciudad de Bogotá*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad de los Andes.
- SHARMA, A., Shukla, A., Attri, K., Kumar, M., Kumar, P., Suttee, A., y Singla, N. (2020). “Global trends in pesticides: A looming threat and viable alternatives” en *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110812
- SMITH, L., Inman, A., Lai, X., Zhang, H., Fanqiao, M., Jianbin, Z., Burke, S., RahnC., Siciliano, G., Haygarth, P. M., Bellarby, J., y Surridge, B. (2017). “Mitigation of diffuse water pollution from agriculture in England and China, and the scope for policy transfer” en *Land Use Policy*. Volumen 61, pp. 208-219. Doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.028
- STELLA Korbust (s.f.). *Contaminacion en agua*. Disponible en: <http://www.ingenieroaambiental.com/agua2.pdf> 3
- TNC (The Nature Conservancy) (s.f.) *Conservation Gateway*. Disponible en: [www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/CorporateWaterUse/Pages/corporate-water-use.aspx](http://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/CorporateWaterUse/Pages/corporate-water-use.aspx)
- VALDERRAMA JA, Ibacache JA, Arancibia V, Rodriguez J, y Theoduloz C. (2009). “Studies on quinones. Part 45: Novel 7-aminoisoquinoline-5,8-quinone derivatives with antitumor properties on cancer cell lines” en *Bioorg Med Chem*. Volumen 17, número 7, pp. 2894-901. Doi: 10.1016/j.bmc.2009.02.013
- VANHAM, D., Alfieri, L., Flörke, M., Grimaldi, S., Lorini, V., De Roo, A. y Feyen, L. (2021). “The number of people exposed to water stress in relation to how much water is reserved for the environment: A global modelling study” en *The Lancet Planet Health*, Volumen 5, número 11, pp. e766-e774. Doi.org/10.1016/S2542-5196(21) 00234-5
- VÁRI, Á., Podschun, S. A., Erős, T., Hein, T., Pataki, B., Iojă, I.-C., Adamescu, C. M., Gerhardt, A., Gruber, T., Dedić, A., Ćirić, M., Gavrilović, B. y Báldi, A. (2021). “Freshwater systems and ecosystem services: Challenges and chances for cross-fertilization of disciplines” en *Ambio*. Volumen 51, pp. 135-151. Doi.org/10.1007/s13280-021-01556-4
- WWAP (Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos). (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: el recurso no explotado*. París, UNESCO. Disponible en: [unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647](http://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647)



- YAHAYA, A., Okoh, O. O., Okoh, A. I., y Adeniji, A. O. (2017). "Occurrences of Organochlorine Pesticides along the Course of the Buffalo River in the Eastern Cape of South Africa and Its Health Implications" en *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Volumen 14, número 11. Doi.org/10.3390/ijerph14111372
- YIN, D., Xu, Z., Feng, M., Zhao, Z., Chen, D., y Song, L. (2022). "Genotoxicity Evaluation of Metformin in Freshwater Planarian *Dugesia japonica* by the Comet Assay and RAPD Analysis" en *BioMed Research International*. eCollection 2022. Doi.org/10.1155/2022/2822605
- YING Li, Chen Xu, Xueting Zhou, Jinhong Li, Shiting Xu, Yuanbo Tu, Xue Mu, Jiajun Huang, Qing Huang, Lifeng Kang, Huaisong Wang, Mei Zhang, Yaozuo Yuan, Chunyong Wu, y Junying Zhang (2024). "DNA adductomics aided rapid screening of genotoxic impurities using nucleosides and 3D bioprinted human liver organoids" en *Talanta*. Volumen 273, Doi.org/10.1016/j.talanta.2024.125902
- ZUBERO, M. B., Aurrekoetxea, J. J., Ibarluzea, J. M., Goñi, F., López, R., Etxeandia, A., y Sáenz, J. R. (2010). "Plaguicidas organoclorados en población general adulta de Bizkaia" en *JR Gaceta Sanitaria*. Volumen 24, número 4, pp. 274-281. Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0213-91112010000400003](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112010000400003)