

**Estudio bibliométrico del efecto de los contaminantes emergentes del sector agroquímicos  
en el ser humano y medio ambiente**

Silvia Vanessa Rangel Mendoza y Gabriela Alejandra Rangel Quintero

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero químico

Modalidad presencial

Director

Crisóstomo Barajas Ferreira

Ingeniero Químico M. SC.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2026

**Dedicatoria**

A mis padres, Bernardo y Haydee

Por estar presentes de manera incondicional a lo largo de mi camino, por su sacrificio, amor y comprensión, hoy he logrado convertirme en aquello que soñaba hace algunos años. Este logro es para ustedes, quienes fueron y siguen siendo mi mayor apoyo y fortaleza.

*Silvia Vanessa Rangel Mendoza*

Para mis tres grandes motores: Dairo, Patricia, Alejo

Por ser la guía constante, la luz que ilumino cada paso y el apoyo silencioso que nunca faltó, gracias por enseñarme a creer en mí incluso cuando dudaba, mi inspiración diaria se la debo a mi pequeño hermano Alejo por darme la valentía suficiente para salir adelante. A mi pareja

Ciro Antonio por su apoyo, amor y paciencia constante, por confiar en mí aun cuando el cansancio quiso vencerme. Fuiste parte fundamental de este proceso. Este logro también es para vos.

Esto es y será siempre de ustedes, el camino apenas comienza...

*Gabriela Alejandra Rangel Quintero.*

### **Agradecimientos**

Primeramente, a Dios y a la Virgen María que me regalo sabiduría y fortaleza para poder tomar las decisiones correctas y poder culminar este logro.

A la Universidad Industrial de Santander y docentes de la Escuela de Ingeniería Química por la formación académica recibida durante mi carrera.

Al profesor Crisóstomo Barajas Ferreira, por el acompañamiento académico, la orientación constante y el respaldo otorgado durante el desarrollo de este trabajo, así como por su valiosa contribución intelectual y experiencia compartida.

A mis padres y a mi hermana, por creer en mí incluso en los momentos de incertidumbre, por enseñarme que con esfuerzo, perseverancia y dedicación las metas se alcanzan, y por cada consejo, apoyo y palabra de aliento que me impulsaron a seguir adelante.

A todas aquellas personas cercanas, con su apoyo constante, dedicación, generosidad, y afecto me acompañaron a lo largo de este proceso, expreso mi sincero y profundo agradecimiento. Este logro es el reflejo del esfuerzo compartido, la confianza brindada y el acompañamiento recibido en cada etapa de este camino.

*Silvia Vanessa Rangel Mendoza*

### **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por ser mi roca y mi refugio a la virgen maría por ser mi consuelo y mi esperanza, por su infinita misericordia y por ser mi fortaleza en momentos de duda, Gracias por ayudarme a creer en mí y darme la perseverancia por alcanzar este logro.

Expreso mi sincero agradecimiento al profesor Crisóstomo Barajas Ferreira por su orientación académica, disposición permanente y valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo. Su acompañamiento y experiencia contribuyeron de manera significativa al cumplimiento de los objetivos propuestos, trascendiendo el rol de docente para convertirse en un referente y guía fundamental en este proceso.

Al cuerpo de docentes de la Escuela de Ingeniería química que forjaron mi perseverancia y me impulsaron a alcanzar mi máximo potencial para lograr este título.

A los que ya no están conmigo, les agradezco por estar presente en mi vida su amor y memoria me acompañan. Para vos abuelita María gracias por tu amor y por tu legado. tu recuerdo y enseñanza siguen vivos en mi corazón por siempre.

A mi viejito querido Miguel Antonio le agradezco por las meriendas y por enseñarme a disfrutar de los pequeños momentos cuando empezaba a dar mis primeros pasos. Este logro también es para vos.

A mi papi, gracias por su amor silencioso, por el apoyo constante y por la fe que siempre depositó en mí. por las oraciones que me sostuvieron aun cuando no estabas cerca y por las palabras justas que siempre llegaron a tiempo. En tu silencio aprendí fortaleza y en tu fe encontré abrigo para seguir adelante. A mi mami, mi Matilde Lina gracias por el amor que no pide nada a cambio, por los sacrificios que nunca se nombran y por la fe inquebrantable con la que siempre creíste en mí. Gracias por dejarme partir aun cuando, con cada despedida, tus ojos anhelaban que me quedara. En cada paso que doy caminan sus esfuerzos, en cada logro late sus esperanzas.

A mi amigo Jem, quienes sin esperar nada a cambio compartió su conocimiento, alegría. A mis suegros Leonor y Oriel por su ayuda desinteresada y a todas aquellas personas que durante estos años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

A todos, Dios los bendiga.

*Gabriela Alejandra Rangel Quintero*

**TABLA DE CONTENIDO**

Introducción .....	11
1. Objetivos .....	13
1.1. Objetivo General .....	13
1.2. Objetivos Específicos .....	13
2. Estado del arte .....	14
3. Descripción Metodológica .....	16
3.1. Fase I .....	17
3.1.1 Protocolo de búsqueda .....	17
3.1.2 Protocolo de selección y clasificación .....	17
3.2. Fase II .....	18
3.2.1 Protocolo de revisión .....	18
3.3. Fase III .....	18
3.3.1 Presentación de resultados y análisis .....	18
4. Resultados .....	19
4.1. Identificación detallada de los compuestos activos y metabolitos catalogadas como contaminantes emergentes presentes en los productos agroquímicos. ....	19
4.1.1 Sulfitos .....	20
4.1.2 Organoclorados .....	22
4.1.3 Ditiocarbamatos .....	24
4.1.4 Compuestos inorgánicos .....	27
4.1.5 Organofosforados .....	28
4.2. Contaminantes emergentes presentes en los agroquímicos .....	31
4.3. Normativa nacional vigente en la comercialización en la comercialización y uso de agroquímicos. ....	33
Convenio de Róterdam .....	33
Convenio de Basilea .....	34
Plaguicidas prohibidos en Colombia .....	34
5. Conclusiones .....	35
Referencias Bibliográficas .....	37

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Clasificación de los plaguicidas según su vida media efectiva.....	30
Tabla 2. ....	31
Clasificación de sustancias emergentes de interés ambiental y toxicológico asociadas a los agroquímicos.....	31
.....	32

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Metodología de investigación.....	16
Figura 2. Las 12 sustancias toxicas más usadas en el mundo, convenio Estocolmo .....	20

## Resumen

**Título:** Estudio bibliométrico del efecto de los contaminantes emergentes del sector agroquímicos en el ser humano y medio ambiente.

**Autores:** Silvia Vanessa Rangel Mendoza y Gabriela Alejandra Rangel Quintero

**Palabras Claves:** Agroquímicos, plaguicidas, medio ambiente, tóxicos, contaminantes emergentes.

**Descripción:** En este contexto, se habla de contaminante emergente debido a la creciente preocupación por sustancias tóxicas presentes en el agua, se profundiza las investigaciones realizadas, principalmente aquellos derivados por la aplicación de productos agroquímicos cotidianos que causa residuos excesivos, lo cual, se convierte en un problema que carece de poca información, ya que, en los últimos años la preocupación en torno a estos productos se centra en los metabolitos, productos de degradación, que han sido en su mayor parte ignorados hasta la fecha y que se ha visto que pueden ser más tóxicos que los compuestos a partir de los cuales se generan. Por ello esta revisión bibliométrica se basa en artículos científicos de revistas como Science Direct, Scopus, Scielo y catálogo bibliográfico de la Universidad Industrial de Santander, con el fin de identificar múltiples compuestos químicos pertenecientes a diferentes grupos, tales como organoclorados, organofosforados, ditiocarbamatos, etc. que han estado presentes en diversos cultivos como flores, cebolla y café. El reconocimiento de estas sustancias ha sido posible gracias al uso de tecnologías analíticas avanzadas las cuales destacan por su alta sensibilidad y capacidad de identificar concentraciones muy bajas de contaminantes. La literatura estudiada resalta la importancia de implementar tecnologías efectivas para el tratamiento de aguas contaminadas con agroquímicos y sus metabolitos, así mismo, se sintetizó toda la información en mapas conceptuales y tablas con el fin de dar claridad a la clasificación de los plaguicidas.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: M. Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira.

### Abstract

**Title:** Bibliometric study of the effect of emerging contaminants from the agrochemical sector on humans and the environment.

**Authors:** Silvia Vanessa Rangel Mendoza and Gabriela Alejandra Rangel Quintero

**Keywords:** Agrochemicals, pesticides, environment, toxic substances, emerging contaminants.

**Description:** In this context, there is talk of emerging pollutants due to growing concern about toxic substances present in water. Research is being intensified, mainly into those derived from the application of everyday agrochemicals that cause excessive waste, which is becoming a problem about which little information is available. Since, in recent years, concern about these products has focused on metabolites, degradation products that have been largely ignored to date and have been found to be more toxic than the compounds from which they are generated. Therefore, this bibliometric review is based on scientific articles from journals such as Science Direct, Scopus, Scielo, and the bibliographic catalog of the Industrial University of Santander, with the aim of identifying multiple chemical compounds belonging to different groups, such as organochlorines, organophosphates, dithiocarbamates, etc., which have been present in various crops such as flowers, onions, and coffee. The detection of these substances has been made possible by the use of advanced analytical technologies, which are notable for their high sensitivity and ability to identify very low concentrations of contaminants. The literature studied highlights the importance of implementing effective technologies for the treatment of water contaminated with agrochemicals and their metabolites. Likewise, all the information was synthesized in conceptual maps and tables in order to clarify the classification of pesticides.

---

\* Degree work

\*\* Physicochemical Engineering Faculty. School of Chemical Engineering. Director: M. Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira.

## Introducción

El aumento acelerado demográfico ha implementado el desarrollo intensivo de la producción de alimentos, como el uso de semillas mejoradas, nuevas técnicas agrícolas y la aplicación de productos para proteger los cultivos. En países en desarrollo, como Colombia, se destacan las formulaciones de plaguicidas, que permiten controlar plagas, enfermedades, malezas y otros riesgos que afectan la productividad. Sin embargo, han sido utilizadas en la agricultura moderna muchas veces sin un control riguroso ni una adecuada capacitación sobre su manejo o en cultivos no autorizados, esta práctica ha representado un riesgo tanto para la salud humana como para el medio ambiente ya que la liberación de sustancias químicas persistentes y sus metabolitos se degradan en el ambiente, han sido identificadas como contaminantes emergentes. Aunque exista evidencia científica sobre la información relacionada con la evolución de estos compuestos derivados de agroquímicos, esta se encuentra dispersa dificultando la comprensión integral de su magnitud, tendencias y principales áreas de estudio.

Los ingredientes activos como glifosato, mancozeb, clorpirifos y otros plaguicidas organofosforados, organoclorados también se encuentran compuestos inorgánicos como metales pesados, entre los que se destaca el mercurio. Este elemento ha sido aprovechado directa o indirectamente en formulaciones agroquímicas por su alta persistencia ambiental, generando residuos que pueden permanecer en el suelo, cuerpos de agua y alimentos. La exposición crónica a estas sustancias ha sido asociada por un alto riesgo a la salud, incluyendo alteraciones neurológicas, endocrinas y renales.

En este contexto resulta fundamental reconocer los vacíos de información que persisten en relación con sus impactos ambientales y sanitarios. El presente trabajo tiene como propósito realizar un estudio bibliométrico que analice la evolución, tendencias y principales enfoques de las

investigaciones relacionadas con los contaminantes emergentes del sector agroquímicos, abarcando tanto como compuestos orgánicos como inorgánicos, con especial atención en aquellos de alta toxicidad.

De este modo, es de interés investigar la familia química a la que pertenece cada agroquímico, así como sus mecanismos de degradación en el ambiente, los cuales pueden dar lugar a la formación de metabolitos. Estos compuestos de transformación, al acumularse en determinadas concentraciones, pueden representar un riesgo significativo tanto para los ecosistemas como para la salud humana, ya sea a través de la ingestión de agua contaminada o del contacto directo con el producto durante su manejo y aplicación.

Finalmente, se adopta un enfoque orientado a las entidades, organismos y actores institucionales, tanto a nivel nacional como internacional, involucrados en la evaluación y gestión del riesgo toxicológico asociado al uso de sustancias químicas en la agricultura. Estas instancias han desarrollado marcos regulatorios, lineamientos técnicos, programas de vigilancia e iniciativas de investigación dirigidas a caracterizar la exposición humana y ambiental, identificar efectos adversos sobre la salud y los ecosistemas, y promover prácticas de manejo que reduzcan la toxicidad, la bioacumulación y la persistencia de los plaguicidas químicos de uso agrícola (PQUA) a lo largo de todo su ciclo de vida. Por ello, el objeto del presente trabajo es ¿Cómo se clasifican los plaguicidas, ¿cuál es su grado de persistencia y cuáles son los de mayor uso, y de qué manera estos influyen en el medio ambiente y en la salud humana?

## **1. Objetivos**

### **1.1. Objetivo General**

Estudiar con un enfoque bibliométrico el efecto de los contaminantes emergentes del sector agroquímicos en el ser humano y medio ambiente.

### **1.2. Objetivos Específicos**

- Identificar a partir de los documentos los contaminantes activos y moléculas catalogadas como contaminantes emergentes presentes en los productos agroquímicos.
- Elaborar un mapa conceptual de los contaminantes emergentes presentes en los agroquímicos.
- Analizar la normativa nacional vigente en la comercialización y uso de agroquímicos.

## 2. Estado del arte

Chen Define como Contaminante emergente CE cualquier sustancia química antropogénica o microorganismo natural o sintético presente, sin que existan regulaciones legales claras o normas definidas. La problemática asociada a estos compuestos radica en la falta de regulación y tecnologías avanzadas para eliminarlos, estos contaminantes permanecen en el aire, el suelo y las fuentes de agua, lo que repercute directa o indirectamente en la salud humana, como lo son productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCP), sustancias perfluoroalquílicas y polifluoroalquílicas (PFAS), microplásticos (MP), residuos de plaguicidas y otras fuentes de CE [9].

Existe la preocupación de que estos compuestos puedan afectar la vida acuática, por ello una de las entidades gubernamentales a nivel mundial es la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA,2008) encargada en desarrollar criterios que permitan evaluar y gestionar el riesgo potencial de algunos CE en el medio acuático [10]. De los CE que se encuentran actualmente en algunas aguas superficiales de EE. UU., las Sustancias químicas disruptoras endocrinas (EDC), incluyendo estrógenos sintéticos (p. ej., 17 $\alpha$ etinilestradiol, que también es un PCPP) y andrógenos (p. ej., trembolona, un medicamento veterinario), estrógenos naturales (p. ej., 17 $\beta$ -estradiol, testosterona), así como muchos otros (p. ej., pesticidas organoclorados, alquilfenoles) capaces de modular las funciones hormonales normales y la síntesis de esteroides en organismos acuáticos; han recibido la mayor atención debido a que estudios de campo en todo el mundo han demostrado que concentraciones muy bajas de algunos de estos compuestos pueden afectar significativamente a las poblaciones naturales de vertebrados acuáticos [11].

Los contaminantes emergentes se encuentran en muchos tipos de productos agroquímicos cotidianos, como pesticidas utilizados para proteger los cultivos de insectos, malezas, hongos y

otras plagas [12]. Este subgrupo es de particular preocupación para agencias como la Organización Mundial de la Salud y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (AESA), existe evidencia científica de que la exposición crónica a pesticidas puede conducir a varios problemas de salud, como cáncer, trastornos neurológicos, diabetes, trastornos respiratorios y síndromes reproductivos [13]. Los pesticidas son sustancias o mezclas de sustancias destinadas a prevenir, destruir, repeler o mitigar las plagas [13]. En los últimos años la preocupación en torno a estos productos se centra en los metabolitos, productos de degradación, que han sido en su mayor parte ignorados hasta la fecha y que se ha visto que pueden ser más tóxicos que los compuestos a partir de los cuales se generan. Los estudios han demostrado que los metabolitos de plaguicidas a menudo se detectan en aguas subterráneas en concentraciones más altas en comparación con los compuestos precursores [14].

Reduciendo la brecha de información en Colombia se habla de CE debido a la creciente preocupación por sustancias presentes en el agua, encontró residuos excesivos de plaguicidas en frutos de Passiflora en varias regiones de Colombia, lo que podría reflejar altas tasas de aplicación de plaguicidas en cultivos para los que no estaban registrados. Para abordar este problema, el ICA, en colaboración con la industria agroquímica, el INS y el INVIMA, podría evaluar las prácticas actuales de aplicación, los niveles de exposición y los residuos alimentarios de algunos de estos productos más peligrosos para evaluar mejor su riesgo real actual. Además, se requiere un programa nacional de capacitación y licencias para manipuladores y aplicadores de plaguicidas que permita un manejo racional de los mismos y reduzca la exposición y los riesgos personales y ambientales [15].

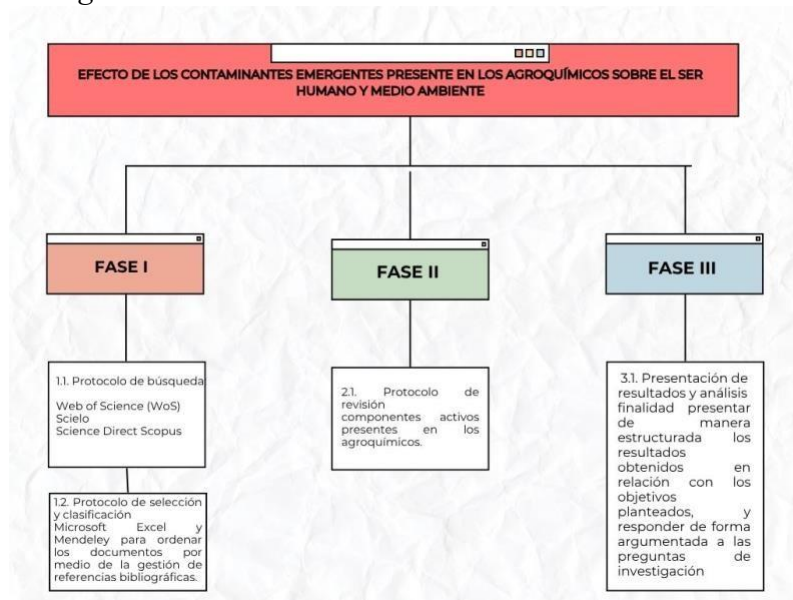
Cualquier sustancia o mezcla de sustancias naturales o sintéticas destinadas a prevenir, eliminar o reducir ciertas adversidades (plaga, enfermedad o maleza) que interfieren en la

producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de productos agropecuarios, alimentos humanos y animales, madera y productos de madera. Incluye a las sustancias que regulan el crecimiento de los cultivos, defolian, desecan, reducen la densidad de la fruta o evitan su caída prematura, y a aquellas que se usan antes o después de la cosecha para proteger al producto o al subproducto cosechado del deterioro durante su almacenamiento o transporte [16].

### 3. Descripción Metodológica

*Figura 1.*

*Metodología de investigación*



El proyecto se centra en una revisión bibliográfica guiada por los principios de la metodología PRISMA 2020 que aporta beneficios significativos a quienes participan en la elaboración y evaluación de revisiones sistemáticas, su implementación busca mejorar la claridad, precisión y transparencia en los informes, fortaleciendo la toma de decisiones fundamentadas en evidencia científica (Blanco Gómez et al., 2020), Con el objetivo de reducir posibles sesgos

durante la selección y el análisis de la literatura, se plantea una estrategia que permita organizar la información de manera clara y estructurada.

Este enfoque se desarrolla a través de tres fases esenciales, diseñadas para asegurar el cumplimiento de los objetivos específicos del estudio, con el propósito de realizar una aproximación sobre los CE y dar respuesta a la pregunta investigativa: ¿Cuál es el efecto de los contaminantes emergentes presente en los agroquímicos sobre el ser humano y medio ambiente?.

### **3.1. Fase I**

#### **3.1.1 Protocolo de búsqueda**

Partiendo del protocolo PRISMA se hace una identificación correcta de términos clave que permitan sintetizar en palabras el tema, tales como: contaminantes emergentes, fuentes hídricas, agroquímicos, plaguicidas, moléculas activas. Además, se utilizarán una serie de sinónimos que permiten ampliar la búsqueda de información en las bases de datos (Blanco Gómez et al., 2020). La investigación con las palabras clave se hará en inglés y español en la ventana temporal del 2008 al 2024 en medios digitales como Web of Science (WoS), bibliotecas electrónicas como Scielo, y las bases de datos cuyo acceso es proporcionado por la Universidad Industrial de Santander como Science Direct, Scopus y Springer; el proceso de recolección se enfocará en artículos de investigación, artículos de revisión e información científica.

#### **3.1.2 Protocolo de selección y clasificación**

Para iniciar el protocolo de selección, se considera la información de interés para el estudio con el objetivo de facilitar el análisis posterior (Blanco Gómez et al., 2020), se crea una matriz con la clasificación de documentos, para el cual se usará Microsoft Excel, con el fin de organizar la información de cada artículo: se introduce máximo diez palabras clave que describan el tema de investigación, seguido a esto se escribe hasta cinco sinónimos que correspondan a cada una de las palabras clave descritas anteriormente y por último se agrega hasta cinco palabras que desees

excluir, obteniendo una ecuación de búsqueda, que se utilizará en las herramientas como Mendeley para ordenar los documentos por medio de la gestión de referencias bibliográficas.

### **3.2. Fase II**

#### **3.2.1 Protocolo de revisión**

Durante esta fase, se procede a la revisión minuciosa de los documentos seleccionados, con el propósito de extraer los datos pertinentes que serán incorporados en la base de datos previamente estructurada. La información recopilada será organizada mediante el uso de tablas dinámicas, lo que permitirá una clasificación eficiente y una localización ágil de los registros. Finalmente, se realizará una síntesis de los contenidos, describiendo de manera detallada los parámetros establecidos para el proceso de revisión., por ejemplo, componentes activos presentes en los agroquímicos.

### **3.3.Fase III**

#### **3.3.1 Presentación de resultados y análisis**

En la fase final del proceso, se reporta el número total de estudios evaluados, especificando aquellos que fueron incluidos y excluidos, junto con la justificación correspondiente para estos últimos. Se describen las características generales de los estudios seleccionados y se lleva a cabo una revisión sistemática de los factores que podrían comprometer la validez interna, siguiendo los lineamientos de la metodología PRISMA (Blanco Gómez et al., 2020). Este análisis tiene como finalidad presentar de manera estructurada los resultados obtenidos en relación con los objetivos planteados, y responder de forma argumentada a las preguntas de investigación previamente formuladas, lo cual se sintetiza en las conclusiones, recomendaciones y aportes de la presente investigación.

## 4. Resultados

### 4.1. Identificación detallada de los compuestos activos y metabolitos catalogadas como contaminantes emergentes presentes en los productos agroquímicos.

Expertos han estimado que solamente una pequeña fracción del plaguicida aplicado alcanza el sustrato de interés. El exceso de plaguicidas se mueve a través del ambiente contaminando los suelos, el aire, el agua y la biota. Trazas de plaguicidas han sido medidas en la atmósfera, en aguas de lluvias, en aguas superficiales y subterráneas, aguas de consumo humano, en suelos y alimentos [17].

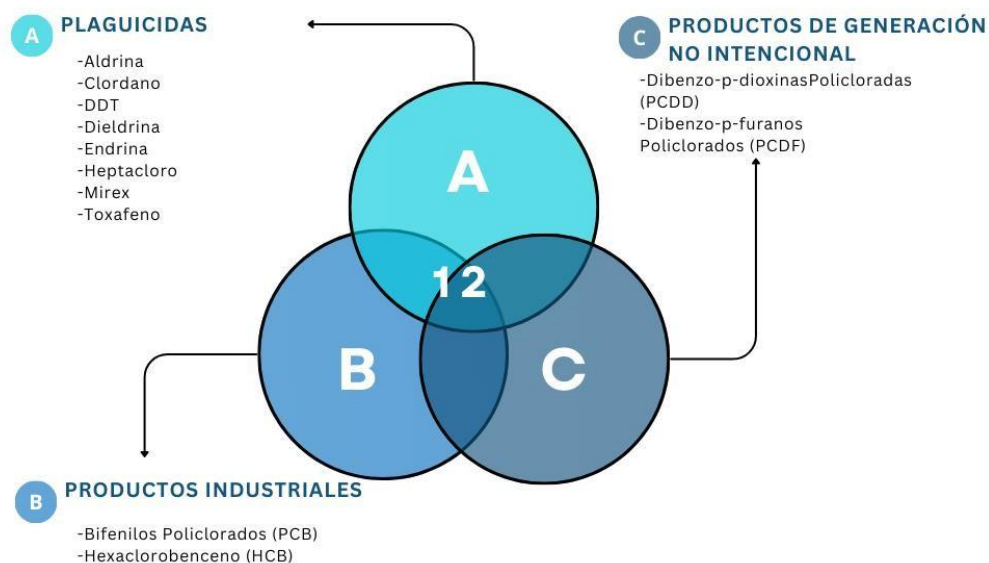
El proceso de dispersión de agroquímicos inicia con la aplicación de pesticidas (En la agricultura se utilizan herbicidas, insecticidas, fungicidas, nematocidas y rodenticidas) en las cosechas, donde, tras el control de plagas, los residuos excedentes se depositan en los suelos. A través de la infiltración y lixiviación, estos compuestos atraviesan la zona vadosa o aireada hasta alcanzar las aguas subterráneas, las cuales mantienen una interacción dinámica y constante con las aguas superficiales. Posteriormente, mediante las extracciones de agua para abastecimiento, el recurso es sometido a procesos de tratamiento; no obstante, si existen aguas sin tratar o un tratamiento inadecuado, los contaminantes persisten hasta integrarse al agua potable. Finalmente, tras ser ingeridos por el consumidor, los residuos son desechados como aguas residuales, retornando nuevamente a los cuerpos superficiales y perpetuando así el ciclo de contaminación ambiental.

En los últimos años la preocupación en torno a estos productos se centra en los metabolitos, productos de degradación, que han sido en su mayor parte ignorados hasta la fecha y que se ha visto que pueden ser más tóxicos que los compuestos a partir de los cuales se generan. Con el objetivo de salvaguardar la salud de las personas y preservar el medio ambiente, se estableció el

Convenio de Estocolmo en Suecia el 17 de mayo de 2004. Dicho acuerdo comenzó a aplicarse en Colombia el 20 de enero de 2009 y reúne los antecedentes y compromisos relacionados con los compuestos orgánicos persistentes (COPs).

Los COPs son contaminantes de alta toxicidad y persistencia ambiental, capaces de bioacumularse en la cadena alimenticia, y transportarse a través de grandes distancias. Allí se acordó prohibir o minimizar el uso de doce de las sustancias tóxicas más utilizadas en el mundo, [18] como se muestra en la Ilustración 2.

**Figura 2.** Las 12 sustancias tóxicas más usadas en el mundo, convenio Estocolmo



*Nota. Adaptado de Carrillo, J. X. C. ANÁLISIS Y DESTINO DE LOS NUEVOS CONTAMINANTES EMERGENTES EN EL AGUA.*

#### 4.1.1 Sulfitos

La composición del glifosato es Sal isopropilamina de N-(Fosfono metil) glycina. Este se presenta como una solución líquida, transparente y viscosa, de color ámbar. Posee un pH ligeramente ácido, con valores que oscilan entre 4,4 y 4,9, y una gravedad específica aproximada

de 1,17. Es prácticamente inodoro, aunque puede presentar un leve olor a amina. Su peso molecular es de 169,08 g/mol y tiene un punto de fusión cercano a los 200 °C.

El glifosato es un herbicida de amplio uso en el mundo que presenta una degradación produciendo ácido aminometilfosfónico (AMPA). El glifosato y su metabolito son altamente solubles en agua.[19] Por ello el AMPA y el glifosato se consideran contaminantes en diversos escenarios, en el suelo se puede dar el proceso de eutrofización que consiste la degradación del glifosato por parte de las cianobacterias utilizando como fuente de fósforo disminuyendo la biodiversidad, hoy en día la sociedad desconoce el riesgo que provoca utilizar estos herbicidas en gran escala, ya que dicha información se encuentra escasa. Por otro lado, La Organización Mundial de la Salud, el 20 de marzo del 2015 en Lyon, Francia, lo clasificó en el Grupo 2A, lo que significa que el glifosato es “un probable carcinógeno para los seres humanos” por la definición que este grupo tiene ante la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC). [20]

Existen estudios que evidencian que el glifosato puede producir linfoma de Hodgkin en los seres humanos, y provocar cáncer en animales de laboratorio. Por este motivo en Colombia, las aspersiones con el herbicida, usado para erradicar los cultivos ilícitos, fueron suspendidas por el Consejo Nacional de Estupefacientes (CNE). El glifosato se comercializa principalmente como concentrados solubles en agua de la sal isopropanolamina, que incluyen el principio activo y otros ingredientes inertes. Además, existe en distintas formulaciones según su uso, como grados para laboratorio y técnico, concentrados emulsionables, polvos solubles, formulaciones fumigantes, granulares, en peletas y encapsuladas. En Popayán, evaluaron los 10 plaguicidas más utilizados y encontraron unos medianamente tóxicos, a los que pertenecen los siguientes herbicidas con su respectiva toxicidad: Tordon 51,6%, Gramoxone 50,5% y Roundup 49,0% y unos altamente tóxicos, conformado por los fungicidas: Manzate 79, 3%, Curzate 69, 5% y Format 63,45%.[21]

La elaboración de herbicidas comerciales basados en Glifosato es un proceso técnico complejo que requiere la mezcla precisa de materias primas, solventes y surfactantes para garantizar su efectividad. En su presentación líquida más común, el producto contiene un 41% de ingrediente activo (sal isopropilamina de glifosato) y un 59% de componentes inertes, principalmente seboaminas etoxiladas. Es fundamental destacar que estos ingredientes inertes son catalogados como sustancias químicas peligrosas por diversas normativas, ya que poseen la capacidad de provocar efectos adversos en la salud humana, tales como náuseas, vómitos, diarrea e irritación gastrointestinal.

Actualmente existe un debate sobre si se debe prohibir el uso agrícola del glifosato lo que ayudaría a reducir la contaminación de los ríos y sus efectos negativos en la sociedad. Sin embargo, esa prohibición también traería dificultades para cumplir con el Objetivo de Desarrollo Sostenible, relacionado con la seguridad alimentaria. En ese escenario, los agricultores tendrían que recurrir a otros herbicidas o a métodos mecánicos para controlar las malezas, como el arado. El problema es que estas prácticas pueden provocar más erosión del suelo, afectar su calidad y disminuir los rendimientos de los cultivos.

#### **4.1.2 Organoclorados**

El DDT (diclorodifeniltricloroetano) Es un sólido blanco cristalino, sin olor ni sabor. El DDE (diclorodifenildicloroetileno) y el DDD (diclorodifenildicloroetano) son sustancias químicas similares al DDT que se pueden formar cuando el DDT se degrada [22].

El DDT es un insecticida organoclorado cuyo principal uso actual es el control del paludismo (malaria) a través del exterminio de los mosquitos vectores. En el pasado reciente también se empleaba en cultivos tan populares como el algodón [23]. Estas sustancias químicas se pueden evaporar al aire desde el agua y de la tierra húmeda y se pueden transportar entonces a lugares muy alejados de la fuente original. La lluvia y la nieve las pueden extraer del aire o la luz

solar las puede degradar. El DDT, el DDE y el DDD se adhieren firmemente a la tierra y no es probable que pasen a aguas subterráneas. Los microorganismos que hay en la tierra degradan el DDT lentamente (puede tardar de 2 a 15 años degradar la mitad del DDT). El DDT no se disuelve fácilmente en el agua y se encuentra mayormente en el sedimento del fondo de los cuerpos de agua. El DDT, el DDE y el DDD se pueden acumular en las plantas y los animales [22], debido a sus características de persistencia y biomagnificación, Los hallazgos del presente trabajo revelan la presencia de varios insecticidas organoclorados en suero sanguíneo, pero son particularmente altos para 4,4-DDT, 4,4- DDE, endosulfan, 2,4-DDT,  $\alpha$ -HCH, heptacloro, heptaclorepoxi,  $\alpha$ clordano. Esto llama la atención debido a que de acuerdo información del Programa de Promoción y Prevención de Enfermedades Transmitidas por Vectores, durante el tiempo que estuvo autorizado el uso de organoclorados en el país, únicamente se usaba DDT para actividades del programa y no otro tipo de hidrocarburo clorado [24]. Los resultados reportados en el presente estudio muestran que las concentraciones de los diferentes insecticidas encontrados son de gravedad, esta situación posiblemente se trate de existencia de usos no documentados o una exposición ambiental residual derivada de aplicaciones históricas prolongadas, La investigadora colombiana especializada en salud pública Marcela Varona reportó los niveles de heptacloro en erradicadores de cultivos ilícitos (0,009  $\mu\text{g/L}$ ), mientras que los niveles de heptacloro promedio en suero encontrado en este trabajo fue de 2,53  $\mu\text{g/L}$ . Estos hallazgos podrían sugerir el uso no documentado de estos plaguicidas como parte de las mezclas para combatir los vectores transmisores de malaria o bien la exposición ambiental a sustancias las cuales se emplearon en el país por más de 40 años [24]. El DDT y sus principales metabolitos se evidencia una exposición crónica no por su uso, sino por su persistencia de sus efectos ambientales y sanitarios representando un riesgo potencial para la salud pública, especialmente en poblaciones vulnerables, dado el carácter biocumulativo y tóxico de estos

compuestos. Richardson investigador de toxicología encontró que los trabajadores que estaban intensamente expuestos a DDT tenían niveles plasmáticos de epinefrina menores a los no expuestos. Además, halló una asociación positiva entre los niveles de DDT en suero e hipertensión arterial sistólica. Sandifer & cols encontraron que la exposición laboral a DDT estaba asociada al desarrollo de hipertensión arterial sistólica y diastólica. Morgan & cols (1980) en un grupo de 2.597 trabajadores, encontró que la presencia de DDT en sangre estaba asociado al desarrollo de arterioesclerosis, hipertensión arterial y posiblemente diabetes comparado con aquellos que no se les había detectado DDT o sus metabolitos. La Merrill & cols publicaron un trabajo en el que correlacionaron la exposición prenatal a DDT y el desarrollo de hipertensión arterial en 15.525 mujeres residentes en California. Los autores encontraron que la exposición prenatal (residencia de la madre en zonas donde se documentó el uso de DDT) estaba asociado al desarrollo de hipertensión arterial. En el presente trabajo se asoció la presencia de heptacloroepoxi a hipertensión arterial, aunque no fue estadísticamente significativo [24].

Todos los usos del DDT fueron prohibidos por la EPA en el año 1972, excepto en casos de emergencias de salud pública. El DDT se prohibió porque esta sustancia se estaba acumulando en el ambiente y posiblemente dañando a la vida silvestre. Además, algunas pruebas de cáncer en animales de laboratorio dieron resultados positivos.[25]

#### **4.1.3 Ditiocarbamatos**

El mancozeb es un fungicida de amplio espectro utilizado en la agricultura para proteger una variedad de cultivos contra enfermedades causadas por hongos. Pertenece a la familia de los tiocarbamatos y actúa inhibiendo la síntesis de esporas fúngicas, lo que previene la propagación de infecciones en las plantas. Se aplica comúnmente en frutas, vegetales, cereales y otros cultivos, Su solubilidad en agua es baja, lo que limita su movilidad en el ambiente [26]. Los insecticidas organoclorados fueron los primeros en usarse en grandes cantidades a nivel mundial, siendo un

ejemplo claro de persistencia y acumulación en los tejidos adiposos en los organismos vivos, sin embargo se restringió su uso y se incrementó como una alternativa la aplicación de los organofosforados, carbamatos y ditiocarbamatos que tienen una menor persistencia en el medio ambiente, menor acumulación en los tejidos, lo cual se identificó por medio de este artículo que los productos de degradación de Mancozeb, cuya estructura principal es doble anillo con manganeso y zinc enlazados son etilentiourea (ETU), etilenurea (EU) , sulfuro de etilendisotiocianato y CO<sub>2</sub>. En el medio ambiente la degradación de todos estos compuestos puede ser por fotólisis, hidrólisis o degradación biológica [27]. ETU metabolito que se forma al disociarse en el agua en presencia de oxígeno y que tiene alta movilidad en suelos debido a su elevada solubilidad en agua, es la responsable de su toxicidad a largo plazo en humanos y en el medio ambiente [28]. El envenenamiento agudo por Mancozeb es altamente inverosímil, con capacidad de provocar crisis nerviosa, por ejemplo, convulsiones por ingerir grandes cantidades. También es reportado por producir daño a riñones y tiroides. Estudios de la exposición a largo plazo a los niveles normales del ingrediente activo en formulaciones del Mancozeb no demuestran ningún efecto perceptible. También, Maneb y Mancozeb son reportados por provocar la enfermedad de Parkinson.

El plátano es un cultivo de altos ingresos económicos (Palma-López y Cisneros, 2000), en el cual se utiliza una alta cantidad de plaguicidas, especialmente fungicidas. La principal enfermedad de estos cultivos en Tabasco, es la “Sigatoka negra”. La Sigatoka negra ataca directamente las hojas del plátano, caracterizándose por la presencia de un gran número de rayas y manchas más notorias por debajo de las hojas, las cuales aceleran el proceso de secamiento y muerte de la superficie folia [27].

Se realizaron muestreos en dos períodos. La primera fue en temporada de sequía y la segunda en lluvias. El primer muestreo fue en la temporada de sequía, mayo 2006 para obtener información sobre la distribución espacial del ETU, Mn y Zn en drenes principales y drenes secundarios cubriendo una superficie aproximada de 800 ha en 6 fincas plataneras. En esta temporada se realizó un muestreo de sedimentos (0-10 cm de profundidad) en 6 drenes principales y 12 drenes secundarias con tres repeticiones, con un total de 54 muestras de las 6 fincas. Los puntos de muestreos fueron elegidos en base a su distribución en toda la zona platanera (B1, 82, 83, 84, 85 y 86) . En cada dren principal se tomaron 5 muestras compuestas en una 2. Materiales y métodos 1 0 distancia de 5 m de cada uno, con un total de 30 muestras. En cada dren secundario se tomaron 2 muestras compuestas en una distancia de 5 m de cada uno, con un total de 24 muestras. Todas las muestras de sedimento fueron tomadas a una profundidad de 0 - 10 cm, basado en los trabajos de Lyman y Lacoste (1975), quienes encontraron ETU en una profundidad de 7 cm. A principios de Octubre de 2006, en la temporada de lluvias se muestrearon dos drenes, un dren principal y un dren secundario del sitio B I, que fue el que presento el contenido de ETU mayor al límite de detección. De estos drenes se eligieron los mismos puntos que en el primer muestreo. Se eligieron los mismos puntos que en el muestreo anterior se tomaron 3 muestras compuestas en el dren principal al igual que en el dren secundario, con un total de 6 muestras. Únicamente se tomó una muestra compuesta del sedimento del dren secundario a una profundidad de 1 m. Además, se tomaron muestras compuestas de sedimento en drenes de dos potreros (P1 y P2) donde no se aplica Mancozeb en la zona de Teapa que no estuvieron alteradas por plantaciones de plátano para tener valores de referencia de los contenidos de Mn y Zn en los sedimentos de la zona [27].

La toma de muestras de agua se realizó solamente en octubre, temporada en la que presentaron agua los drenes de las fincas, ya que en la temporada de sequía no se encontró agua en los drenes. Se muestreo en los mismos drenes de BI y los mismos puntos como los sedimentos.

Se tomaron 3 muestras en el dren principal, y en el dren secundario y en el arroyo Sauz (aS) a una profundidad de 30 cm con frascos especiales, realizando tres repeticiones por punto. En total fueron 9 muestras compuestas. Las muestras para las pruebas de ETU se colocaron en frascos de vidrio con tapón de rosca y fueron preservadas a temperatura de refrigeración (4° C) hasta el momento de su llegada al laboratorio donde fueron colocadas a temperatura de congelación (-22° C) [27].

Permitir evaluar de manera adecuada la influencia de las condiciones climáticas sobre la distribución y el comportamiento ambiental del ETU, principal metabolito del mancozeb. Ambas temporadas son relevantes, dado que la degradación de mancozeb y la movilidad del ETU están fuertemente influenciadas por la humedad y los procesos de lixiviación. El muestreo en general evidencia que, el mancozeb presenta una degradación relativamente rápida, su metabolito ETU persiste en sedimentos y puede movilizarse hacia el agua superficial durante las temporadas de lluvias. Estas pruebas realizadas solo reafirman que es importante considerar el principio activo aplicado en las áreas y como es su degradación ya que pueden representar un riesgo ambiental y sanitario mayor y prolongado, considerando al ETU como un contaminante de preocupación emergente en sistemas agrícolas.

#### **4.1.4 Compuestos inorgánicos**

Algunos metales tóxicos usados en la fabricación de plaguicidas originan problemas especiales de contaminación ambiental por su persistencia. El mercurio y el arsénico son ejemplos demostrativos. El mercurio, presente en áreas agrícolas tratadas con plaguicidas mercuriales, llega a contaminar las aguas y es un hecho que todas las formas del metal que llegan al agua pueden convertirse en mercurio orgánico que se incorpora a las especies acuáticas. Consumirlas representa grave riesgo para el hombre, como sucedió en Minimata y Niigata, Japón, donde 168 personas sufrieron grave intoxicación con 52 defunciones, por el mercurio que desecharon al mar unas industrias. El arsénico ha sido ampliamente usado en diversos compuestos plaguicida como el

arsenato de plomo, el trióxido de arsénico, el arsenato de sodio y los ácidos de arsénico. Su uso extendido es responsable de que un gran sector de la población esté expuesto directa o indirectamente a este contaminante. Se calcula que en EUA la ingestión diaria por el consumo de agua que le contiene es de 10 a 20 microgramos por persona. Manzanas tratadas con arsenato de plomo pueden contener hasta 2 mg de residuos del tóxico. [29]

Las concentraciones elevadas de arsénico en el suelo pueden alcanzar valores de cientos de partes por millón, permaneciendo principalmente en los horizontes superficiales. Esta acumulación genera efectos fitotóxicos que limitan o inhiben el desarrollo de determinadas especies vegetales, reduciendo la aptitud del suelo para el cultivo. Adicionalmente, el arsénico puede ser absorbido y translocado a los tejidos de las plantas cultivadas, lo que implica un riesgo para la cadena alimentaria.

#### **4.1.5 Organofosforados**

Los organofosforados (POF) son inhibidores potentes de las colinesterasas y tienen efectos adversos sobre la salud humana. Se estiman alrededor de 500.000 casos de intoxicación aguda por plaguicidas, con tasas de mortalidad que alcanzan hasta el 1 % en algunos países; según ciertas series, el 75 % de las intoxicaciones por agroquímicos se atribuyen a los POF [30]. En Colombia no se conoce con precisión la magnitud real de las intoxicaciones agudas por plaguicidas, pues muchos casos se registran de forma genérica como “intoxicación”, lo que sugiere un importante subregistro.

Los POF son derivados del ácido fosfórico o sus homólogos (fosfónico, tiofosfórico, ditiofosfórico) y pueden considerarse como ésteres de alcoholes con el ácido correspondiente. Las propiedades físico-químicas de estos compuestos varían de acuerdo a su estructura química. En general son poco solubles en agua, escasamente en kerosene, éter de petróleo y solventes parafínicos; disolviéndose fácilmente en alcohol, acetona, benceno, tolueno,

xilol y aceite de pino [31]. Su volatilidad es muy variable y se pueden presentar como líquidos o sólidos, en forma de polvos, a partir de los cuales se expenden en emulsiones, polvos mojables o adheridos a cebos o cintas repelentes.

El malatión es un insecticida organofosforado catalogado toxicológicamente en la categoría III [32], siendo los organofosforados tóxicos activos, que al ser ingeridos o inhalados pasan rápidamente al torrente sanguíneo, y su acción a la inhibición de la acetilcolinesterasa, afectando el sistema nervioso en los humanos [33]. En general, son de más alta toxicidad aguda, ya que algunos son potencialmente inhibidores de la enzima colinesterasa [34]. El Nombre químico del malatión es dimetil fosforoditioatodel y su metabolito es el malaoxón.

La revista Colombiana de Ciencias Pecuarias en su investigación "Biodegradación del malatión utilizando microorganismos nativos de suelos agrícolas"[35] comparan los resultados de los suelos sin esterilizar (tratamientos) con los esterilizados (controles) se comprueba que el malatión desapareció no solamente por procesos de biodegradación, sino también por otros procesos como volatilización o hidrólisis. La degradación del malatión también depende de la flora microbiana y de las características del suelo, como presencia de nutrientes y de materia orgánica disponible en los suelos.

El suelo presenta dificultades para el análisis de plaguicidas debido a la complejidad de su extracción y a la variabilidad espacial de las concentraciones de malatión. En los controles no se observó una reducción clara del compuesto, mientras que en los ensayos de biodegradación sí se registró una caída sostenida en sus niveles, lo que indica que los microorganismos estuvieron degradando el malatión. De esta manera este agroquímico Malatión no se considera persistente debido a su descomposición más rápida en el ambiente, respecto a otros ya que es una alternativa menos toxica.

La rapidez con la que un compuesto se descompone en distintos ambientes no puede deducirse únicamente de su estructura química o de sus propiedades fisicoquímicas. Para determinarla se realizan ensayos de laboratorio bajo condiciones controladas, considerando los factores que más la influyen: pH, temperatura, iluminación y presencia de microorganismos; los datos obtenidos sirven luego para estimar la degradación en campo. Esta velocidad suele expresarse mediante la vida media ( $T_{1/2}$ ), que es el tiempo (días, semanas o años) necesario para que la concentración inicial se reduzca a la mitad. La ( $T_{1/2}$ ) refleja la reactividad del compuesto en cada matriz (aire, suelo, agua, plantas, animales) y está condicionada por variables ambientales como pH, temperatura, humedad y exposición al oxígeno y a la luz. Según los valores de vida media, los plaguicidas se clasifican como poco persistentes (días a semanas), moderadamente persistentes o muy persistentes (años), a continuación, se muestra la tabla.

*Tabla 1.*

*Clasificación de los plaguicidas según su vida media efectiva*

<b>Persistencia</b>	<b>Vida media</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>No persistente</b>	De días hasta 12 días	Malatión, diazinón, carbarilo, diametrina
<b>Moderadamente persistente</b>	Semanas	Paratión, lannate
<b>Persistente</b>	De 1 a 18 meses	DDT, aldrín, dieldrín
<b>Permanentes</b>	De varios meses	Productos a base de mercurio, plomo y arsénico

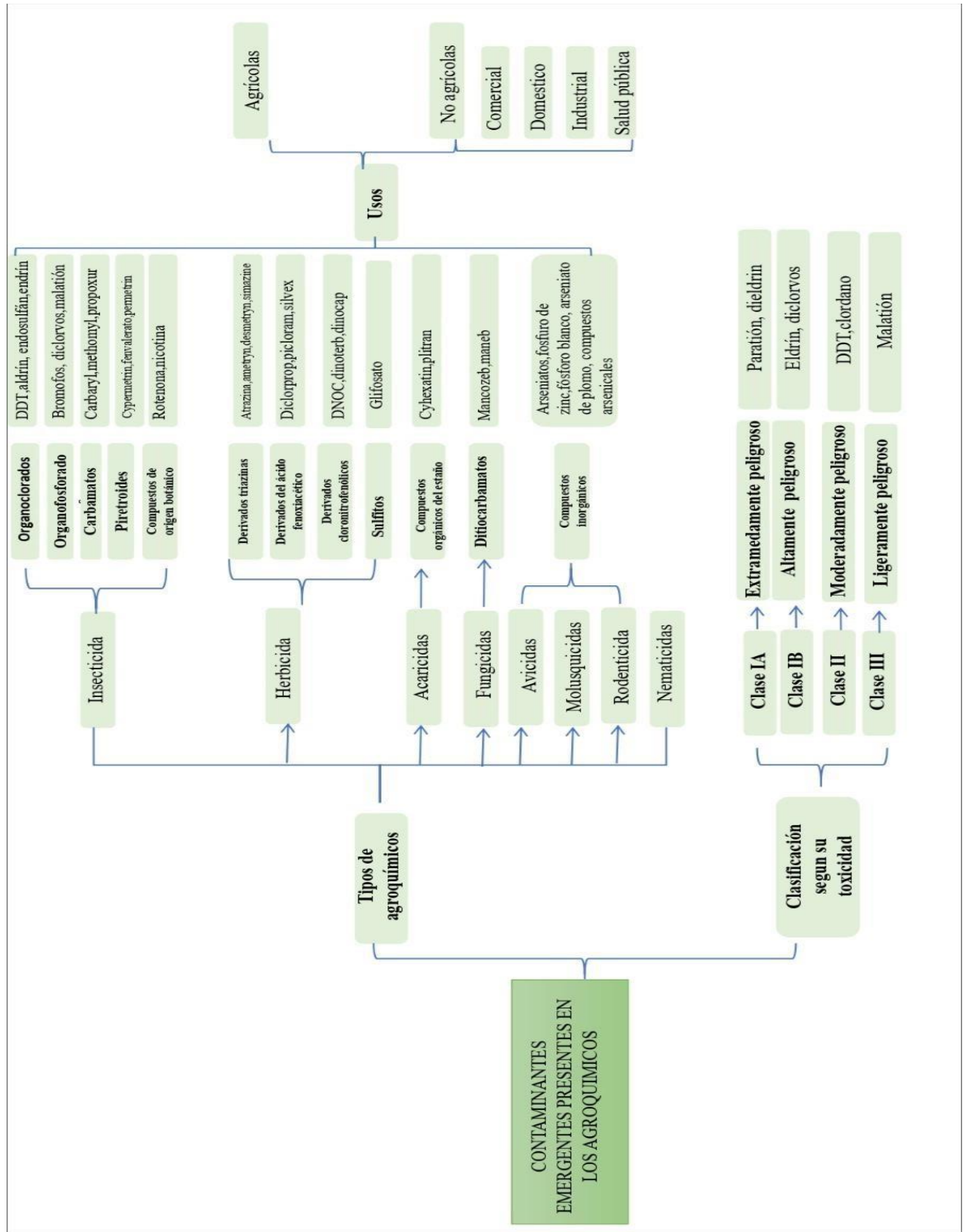
*Nota. Adaptado de Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012).*

#### **4.2. Contaminantes emergentes presentes en los agroquímicos**

El esquema presentado describe la clasificación de diversas familias de agroquímicos previamente abordadas, incluyendo compuestos organoclorados y compuestos inorgánicos.

Asimismo, se incorpora la clasificación establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1978, la cual se fundamenta en el grado de peligrosidad o toxicidad aguda de los plaguicidas, definida como la capacidad de estos compuestos para generar efectos adversos agudos en la salud tras una o múltiples exposiciones en un intervalo de tiempo relativamente corto. El esquema proporciona ejemplos representativos de cada categoría y pone en evidencia la diversidad de sustancias que pueden considerarse contaminantes emergentes en ámbitos agrícolas y no agrícolas.

*Tabla 2. Clasificación de sustancias emergentes de interés ambiental y toxicológico asociadas a los agroquímicos.*



#### **4.3. Normativa nacional vigente en la comercialización en la comercialización y uso de agroquímicos.**

En el caso colombiano corresponde al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) ser la entidad responsable de otorgar el registro y realizar el control de los agroquímicos, así como de recibir, tramitar y coordinar con las autoridades competentes las solicitudes de registro de los agroquímicos previstas en la “decisión andina” (Ley 822 de 2003) y la responsabilidad de velar por el cumplimiento de las decisiones de la CAN (Decreto 1071 de 2015) [36].

Según la Decisión 804 de 2015, la Comunidad Andina (CAN) estableció la regulación del registro y control de los plaguicidas químicos de uso agrícola (PQUA) en los países del Grupo Andino, considerando aspectos de salud, agronomía, economía, sociedad y medio ambiente. Esta normativa tiene como objetivos definir lineamientos y procedimientos armonizados para el registro y control de los PQUA, promover su uso y manejo adecuado conforme a las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), reducir los riesgos para la salud humana y el ambiente, y garantizar la eficacia biológica de los productos, facilitando a su vez su comercialización en la subregión.

Los PQUA, al clasificarse como sustancias peligrosas junto con sus residuos, pueden estar sujetos a las disposiciones contempladas en diversos convenios internacionales. En este sentido, la presente guía ofrece una visión general de aquellos acuerdos que ejercen mayor influencia en la gestión integral de los PQUA.

##### **Convenio de Róterdam**

El Convenio de Róterdam en el año 1998 liderado por los trabajos de negociación de los directores ejecutivos de la FAO y del PNUMA (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), aprobado en Colombia por la Ley 1159 de 2007, no prohíbe el uso de ningún producto químico, sin embargo, establece un procedimiento de CFP (Mecanismo de Consentimiento Fundamentado Previo ) para la importación y exportación de ciertos plaguicidas

y productos químicos peligrosos con el objeto de asegurar que los países importadores estén informados sobre los riesgos asociados con estos productos y tengan la capacidad de decidir si desean permitir o no su importación [37].

### **Convenio de Basilea**

El Convenio sobre el control del movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y su eliminación entró en vigor en 1992 y fue adoptado en Colombia mediante la Ley 253 de 1996. Sus principales objetivos son controlar los movimientos transfronterizos y lograr un manejo ambientalmente racional de Respel y otros residuos. Para proteger la salud humana y el ambiente de los efectos adversos que puedan derivarse de la generación, el transporte y el manejo de estos residuos [38].

### **Plaguicidas prohibidos en Colombia**

Además de los compromisos internacionales, en el ámbito nacional se han dictado diversas normas que prohíben la producción, comercialización y uso de ciertos plaguicidas. En donde se incluyen el captafol (Resolución 5053 de 1989 del ICA), el dinoseb y sus sales y ésteres (Resolución 930 de 1987 del ICA), o recientemente las prohibiciones de los plaguicidas a base de clorpirifos (Resolución 06365 de 2023 del ICA), en cumplimiento de la sentencia T-343 de 2022, así como la del fipronil (Resolución 740 de 2023 del ICA, modificada por la Resolución 9548 de 2023)

El fipronil, introducido al mercado en 1993, pertenece a un grupo relativamente reciente y reducido de plaguicidas conocidos como fenilpirazoles o fiproles, compuestos que en general presentan propiedades herbicidas. No obstante, el fipronil actúa como insecticida por contacto e ingestión y resulta muy eficaz contra insectos porque altera el sistema nervioso central, bloqueando los canales de cloruro regulados por el ácido  $\gamma$ -aminobutírico (GABA) y por el glutamato. Actualmente figura entre los plaguicidas más empleados a nivel mundial, en gran parte por su

elevada toxicidad hacia invertebrados y por la facilidad y versatilidad de sus aplicaciones. En su degradación en suelo aeróbico se generan metabolitos como sulfona y fipronil-amida; la desulfonilación ocurre por fotólisis y en ambientes acuáticos, tanto aeróbicos como anaeróbicos, aparece el sulfuro por degradación microbiana. Estos productos de degradación muestran una alta persistencia, con vidas medias que se han estimado entre 105 y 487 días [39].

Por otro lado, el análisis del ciclo de vida pone énfasis en que el productor debe hacerse cargo de la gestión adecuada del producto. Entre sus obligaciones están el desarrollo de formulaciones más seguras, la implementación de protocolos de seguridad durante la producción, el etiquetado informativo, la comunicación transparente de los riesgos y la adopción del principio de responsabilidad extendida del productor.

## 5. Conclusiones

Los resultados del estudio bibliométrico que se realizó nos permiten deducir que la gestión de los agroquímicos no puede limitarse únicamente a su eficacia agrícola, sino también aspectos toxicológicos, ambientales y por supuesto sociales. En Colombia ya se ha demostrado en diversas investigaciones que los agricultores manipulan estas sustancias sin ninguna precaución identificando un alto riesgo para la salud humana y la ausencia de conocimientos técnicos adecuados, la falta de uso de equipos de protección personal, complementado con la deficiente supervisión de las entidades regulatorias, en este caso el instituto colombiano agropecuario (ICA) se reconoce que tiene un papel fundamental. No obstante, esta situación resalta la necesidad de que la entidad haga un control más riguroso, con seguimientos y revisiones de registros, comercialización y uso de estos productos con el fin de disminuir el índice de exposición de los componentes de degradación que contienen los agroquímicos.

En conclusión, el manejo de los plaguicidas químicos de uso agrícola implica riesgos para

la salud y el ambiente en todas las etapas de su ciclo de vida, desde su producción hasta la disposición final de los residuos. Por esta razón, es fundamental garantizar un control integral que permita reducir estos riesgos y promover un uso más responsable. Este enfoque facilita la adopción de buenas prácticas, el uso eficiente de los recursos y la implementación de alternativas más seguras, lo que contribuye a disminuir la permanencia de sustancias peligrosas en el ambiente. En el caso del glifosato, especialmente cuando se utiliza en la erradicación de cultivos ilícitos, su aplicación ha generado preocupación por los posibles efectos sobre los ecosistemas, la salud de las personas y las comunidades expuestas. Cumplir con la normativa ambiental y sanitaria, gestionar adecuadamente los residuos y avanzar en la eliminación de sustancias altamente tóxicas son acciones clave para proteger la salud humana, los ecosistemas y la seguridad alimentaria. En este sentido, una gestión responsable de los plaguicidas resulta esencial para avanzar hacia un desarrollo agrícola más sostenible y consciente de sus impactos.

**Referencias Bibliográficas**

[1]. M. Salamanca, M. Pena, ~ A. Hernández, P. Pr´ adanos, L. Palacio, Forward osmosis application for the removal of emerging contaminants from municipal wastewater: a review, *Membr 13* (2023) 655, <https://doi.org/10.3390/MEMBRANES13070655>.

[2] R. Kumar, M. Qureshi, D.K. Vishwakarma, N. Al-Ansari, A. Kuriqi, A. Elbeltagi, A. Saraswat, A review on emerging water contaminants and the application of sustainable removal technologies, *Case Stud. Chem. Environ. Eng.* 6 (2022) 100219, <https://doi.org/10.1016/J.CSCEE.2022.100219>.

[3] V.K. Parida, D. Saidulu, A. Majumder, A. Srivastava, B. Gupta, A.K. Gupta, Emerging contaminants in wastewater: a critical review on occurrence, existing legislations, risk assessment, and sustainable treatment alternatives, *J. Environ. Chem. Eng.* 9 (2021) 105966, <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2021.105966>.

[4] Reyes Palomino S. E. y Cano Ccoa D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de investigación Altoandin.* 24(1). 53-64. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.328>.

[5] Nivia E. Los plaguicidas en Colombia. 2004. [acceso en 2020 mar Disponible en: <http://www.semillas.org.co/es/los-plaguicidas-en-colombia>.

[6] Instituto Agropecuario Colombiano. Estadísticas de comercialización de plaguicidas químicos de uso agrícola 2016. Bogotá, DC: ICA; 2017.

[7] Fernández D, Mancipe L, Fernández D. Intoxicación por organofosforados. *Revista Med.* 2010 [acceso en 2020 mayo 20]; 18(1):84-92. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/910/91019823013.pdf>

[8] Peres F, Moreira J, organizadores. É veneno ou é remédio?: agrotóxicos, saúde e ambiente. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz; 2003. [acceso em 2020 abr 20]. Disponible en: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X2005000100042%20-%2029k](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2005000100042%20-%2029k).

[9] Xuan, X., Chen, H., Li, H., Wei, C., Jiang, Y., Zeng, S., Zhang, C., Zhang, W., & Jin, Y. (2024). Research on emerging pollutants in wastewater: Bibliometric analysis. *Desalination and Water Treatment*, 320(100773), 100773. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100773>.

[10] Us Epa, O. W. (2015, agosto 18). Contaminants of emerging concern including pharmaceuticals and personal care products. US EPA. <https://www.epa.gov/wqc/contaminantsemerging-concern-including-pharmaceuticals-and-personal-care-products>

[11]. Valbuena, D., Cely-Santos, M., & Obregón, D. (2021). Agrochemical pesticide production, trade, and hazard: Narrowing the information gap in Colombia. *Journal of Environmental Management*, 286(112141), 112141. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112141>

[12] Lei, M., Zhang, L., Lei, J., Zong, L., Li, J., Wu, Z., & Wang, Z. (2015). Overview of emerging contaminants and associated human health effects. *BioMed research international*, 2015(1), 404796.

[13] Gil, MJ, Soto, AM, Usma, JI y Gutiérrez, OD (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia - Julio* , 7 (2), 52–73. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>

[14] GEERDINK, R.B.; NIESSEN, W.M.A. y BRINKMAN, U.A.T. Trace-level

determination of pesticides in water by means of liquid and gas chromatography. En: Journal of Chromatography A. 2002. Vol. 27, p. 65-93

[15] Bastidas, D. A., Guerrero, J. A., & Wyckhuys, K. (2013). Residuos de plaguicidas en cultivos de pasifloras en regiones de alta producción en Colombia. Revista Colombiana de Química, 42(2), 39-47.

[16] García, S. I. y Lazovski, J. (2011). Agrosavia.co. Recuperado el 6 de octubre de 2025, <https://www.agrosavia.co/media/11541/35707.pdf>

[17] María, D., Rompinelli, T. C., & Dra, D. (s/f). CONTAMINANTES EMERGENTES:

ORIGEN Y DESTINO EMERGING CONTAMINANTS: SOURCE AND DESTINATION  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA Y GESTIÓN DE LOS RECURSOS  
HÍDRICOS.

[18] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Integración Del Medio Ambiente Y El Desarrollo: 1972-2002. In Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2002 GEO3; 2002; pp 1–30.

[19] Wang, S.; Seiwert, B.; Kästner, M.; Miltner, A.; Schäffer, A.; Reemtsma, T.; Yang, Q.; Nowak, K. M. (Bio)degradation of Glyphosate in WaterSediment Microcosms – A Stable Isotope Co-Labeling Approach. Water Res. 2016, 99, 91–100.

[20] IARC. Agents Classified MONOGRAPHS. 2015, 1-116.

[21] Benitez Campo, N.; Vivas Zarate, D. H.; Rosendo Hernandez, E. D. Toxicidad de Los Principales Plaguicidas Utilizados En El Municipio de Popayán, Usando Bacillus Subtillis. Rev.

Fac. Cienc. Agrar. 2009, 7 (1), 15–22.

[22] ToxFAQsTM - DDT, DDE y DDD. (2025, febrero 21). Cdc.gov.

[https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts35.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts35.html)

[23] Díaz-Barriga, F. (s/f). Factores de Exposición y Toxicidad del DDT y de la Deltametrina en Humanos y en Vida Silvestre. Uaslp.mx. Recuperado el 7 de enero de 2026, de <https://ambiental.uaslp.mx/historico/docs/FDB-DDTEfectos.pdf>

[24] Vista de Una deuda del pasado: efectos de los organoclorados en trabajadores del programa de control de vectores - Colombia. (s/f). Edu.co. Recuperado el 7 de enero de 2026, de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasaluduis/article/view/4496/5303>

[25] (S/f). Cdc.gov. Recuperado el 9 de enero de 2026, de

[https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs35.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs35.pdf)

[26] Del fungicida mancozeb y su metabolito etilentiourea, E. I. T. R. las C. Q., toxicidad y evaluando los riesgos asociados. Se presentan datos sobre los efectos adversos observados, A. su, Crónicos, T. A. C., & de contaminación accidental., y. se D. L. V. M. A. P. en A. P. E. V. se P. C. M. de E. P. P. la S. P. en C. (s/f). Informe técnico fungicida mancozeb y su metabolito etilentiourea (ETU). Surcosdigital.com. Recuperado el 9 de enero de 2026, de <https://surcosdigital.com/wp-content/uploads/2024/09/MS-DPRSA-USA-1536-2024-INFORME-MANCOZEB-ETU.pdf>

[27] (S/f-b). Recuperado el 9 de enero de 2026, de [http://file:///C:/Users/MSuser/Downloads/100000042246\\_documento.pdf](http://file:///C:/Users/MSuser/Downloads/100000042246_documento.pdf)

[28] Alza Camacho, W. R., Chaparro Acuña, S. P., & García Colmenares, J. M. (2016). Estimación del riesgo de contaminación de fuentes hídricas de pesticidas (Mancozeb y Carbofuran) en Ventaquemada, Boyacá - Colombia. *Acta agronomica*, 65(4), 368–374.

<https://doi.org/10.15446/acag.v65n4.50325>

[29] Restrepo, M., & Guerrero, E. (1993). Los plaguicidas organofosforados: revisión de sus aspectos médicos. *Acta Médica Colombiana*, 18(3), 119–130.

[30] Davies, J. E.: Aspectos médicos del envenenamiento con pesticidas, diagnóstico y tratamiento. En: *Enfoque agromédico al manejo de pesticidas*, Proyecto UC/AID de manejo de plagas y protección ambiental relacionada, Berkeley, pp. 59-66,1976.

[31] Fernández, G. J.: Intoxicación por plaguicidas, fisiopatología, clínica, tratamiento. *Talleres gráficos de A. Monteverde & Cia. Montevideo*, pp. 211-283,1970.

[32] Córdoba, D. *Toxicología Bogotá, El Manual Moderno 2001*; 107-147

[33] Bavcon M, Trebse P, Zupancic-Kralj L. Investigations of the determination and transformations of diazinon and Malathion under environmental conditions using gas chromatography coupled with a flame ionisation detector, *Chemosphere 2003*; 50: 595-601.

[34] Córdoba, D. *Toxicología Bogotá, El Manual Moderno 2001*; 107-147

[35] View of Biodegradación del malatión utilizando microorganismos nativos de suelos agrícolas. Recuperado el 12 de enero de 2026, de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324385/20781554>

[36] Recuperado el 14 de enero de 2026, de <https://quimicos.minambiente.gov.co/wpcontent/uploads/2025/07/GUIA-GESTION-PQUA-EN-COLOMBIA-Final.pdf>

[37] Convention, R. (s/f). Rotterdam Convention - home page. Pic.int. Recuperado el 14 de enero de 2026, de <https://www.pic.int/>

[38] Inicio - Bienvenido al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -. (2021, abril

16).

[39] Recuperado el 14 de enero de 2026, de <https://quimicos.minambiente.gov.co/wpcontent/uploads/2025/07/GUIA-GESTION-PQUA-EN-COLOMBIA-Final.pdf>