

Research Article

# Effects of Pesticides on Aquatic Fauna: A Literature Review

## Efectos de los Plaguicidas Sobre la Fauna Acuática: Una Revisión Literaria

K. Arrova Gonzales<sup>1,2\*</sup>, J. Moreira Chiriap<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana, El Coca EC220001, Ecuador.

<sup>2</sup>Grupo de Investigación YASUNI-SDC, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, El Coca EC220001, Ecuador.

### ORCID

K. Arrova Gonzales: <https://orcid.org/0000-0003-2836-8627>

I INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC CONGRESS OF  
INNOVATION, SCIENCE AND  
TECHNOLOGY ALIVE  
AMAZON (I CTAV 2021)

Corresponding Author: K.  
Arrova Gonzales; email:  
karol.arrova@epoch.edu.ec

Published: 1 September 2022

Production and Hosting by  
Knowledge E

© Gonzales KA, Chiriap  
JM. This article is distributed  
under the terms of the  
Creative Commons  
Attribution License, which  
permits unrestricted use and  
redistribution provided that  
the original author and  
source are credited.

### Abstract

The excessive use of pesticides produced by agriculture, industry and anthropic activities generates negative effects on the environment and human beings. These chemical substances reach rivers and lakes through runoff or leaching and groundwater through infiltration. The objective of this study was to identify the effects caused by pesticides on aquatic fauna through a bibliographic review in order to provide recommendations for improvement and future surveys. The methodology used was based on a bibliographic review that subsequently allowed the information collected to be analyzed and presented in tables and arguments to propose recommendations for improvement. The main results indicate that in aquatic biota, pesticides reduce phytoplankton, cause problems in the functioning of aquatic species and in the worst case a decrease in the population. On the other hand, humans are also affected through the consumption of contaminated species. Finally, the study concludes by considering that the reduction and adequate management of pesticides can be carried out through the replacement of pesticides by the chemical substance produced by garlic, social awareness, regulatory policies that are applicable, monitoring and evaluation that allow obtaining information to subsequently generate alternatives for improvement against pesticide contamination.

**Keywords:** *ecotoxicology, aquatic ecosystem, pollution, aquatic species, pesticide.*

### Resumen

El uso desmedido de plaguicida producto de la agricultura, industria y actividades antrópicas generan efectos negativos sobre el ambiente y el ser humano. Estas sustancias químicas llegan a los ríos y lagos por la escorrentía o lixiviación y a las aguas subterráneas por infiltración. El objetivo de este estudio se centró en identificar los efectos causados por los plaguicidas sobre la fauna acuática mediante revisión bibliográfica para conferir recomendaciones de mejora y prospecciones futuras. La metodología utilizada se basó en una revisión bibliográfica que posteriormente permitió analizar la información recolectada y presentarla mediante tablas y argumentos para proponer recomendaciones de mejora. Los principales resultados indican que en la biota acuática los plaguicidas disminuyen el fitoplancton, producen problemas en el funcionamiento de las especies acuáticas y en el peor de los casos una disminución en la población. Por otro lado, el ser humano también se encuentra afectado mediante el consumo de las especies contaminadas. Finalmente, el estudio concluye considerando que la reducción y adecuada gestión de plaguicidas se puede llevar a cabo mediante reemplazo de plaguicidas por la sustancia química producida por el ajo, concientización social, políticas de regulación que sean aplicables, monitoreo y evaluación

 OPEN ACCESS



que permitan la obtención de información para posteriormente generar alternativas de mejora frente a la contaminación por plaguicidas.

**Palabras Clave:** ecotoxicología, ecosistema acuático, contaminación, especies acuáticas, plaguicida.

## 1. Introducción

El término plaguicida abarca todos los productos que se destinan a su uso, insecticidas, fungicidas, herbicidas, entre otros. El control de plagas en la agricultura se ha convertido en la primera necesidad de los agricultores. Por ejemplo, países de América latina reportaron un aumento en el uso de fertilizantes y plaguicidas con un crecimiento promedio de 27% y 10% de 2006 a 2015, respectivamente. Chile, Colombia y Costa Rica son los principales consumidores, incluyendo uso en campo, reformulación y otros [1,2]. Independientemente de los beneficios que brindan los plaguicidas, estas sustancias químicas no solo actúan sobre las plagas sino que también afectan a otros seres vivos, causan contaminación difusa provocada por la acumulación de sustancias químicas, que en el futuro llegan a convertirse en un grave problema ambiental [3,4].

El uso de aspersores para la distribución de plaguicidas abarca más posibilidades de acción. Los plaguicidas alcanzan las hojas, y un porcentaje cae al suelo que luego es lavado hacia el subsuelo por las precipitaciones, y por medio de la infiltración llegan a contaminar aguas subterráneas o por la escorrentía superficial recursos hídricos como ríos y lagos. Las sustancias químicas pueden transformarse en otras sustancias derivadas dependiendo de sus características fisicoquímicas, persistencia en el ambiente y otros factores ambientales. El comportamiento de los plaguicidas en el agua depende de la solubilidad del plaguicida, la temperatura del agua medida a 20 – 25 °C, presión de vapor, el coeficiente de partición n-octanol/agua (KW) y factor de bioconcentración [5].

El mal almacenamiento de los plaguicidas es otra fuente de contaminación, ya sea por los envases corroídos, el almacenamiento al aire libre generado por una mala gestión de las existencias y una compra excesiva innecesaria, que desata riesgos de derrame de plaguicidas en el suelo [6]. Así mismo, la propagación de los plaguicidas se puede llevar a cabo mediante el lavado directo de envases, contenedores u otras herramientas con las que se manipulan los plaguicidas sobre las fuentes de agua [7].

La contaminación por plaguicidas se rige por diferentes mecanismos [5]. Por ejemplo; degradación físico-química y biológica, sorción-desorción en partículas sólidas, escorrentía superficial, lixiviación del suelo, absorción de plantas, volatilización y deposición



atmosférica [8]. Generalmente inicia en ríos, lagos, fuentes pequeñas y puede extenderse hasta las zonas bajas distribuyéndose en los océanos. Durante el movimiento el plaguicida se disuelve, y va causando daños por el arrastre de partículas contaminantes y erosión del suelo [9].

El comportamiento de los plaguicidas en el ambiente está fuertemente ligado a sus propiedades fisicoquímicas como la solubilidad e hidrofobicidad, factores ambientales (salinidad, temperatura, eventos de precipitación), tipo de suelo

/ sedimento (contenido de carbono orgánico, actividad microbiana) y prácticas de manejo agrícola (tipo de cultivos, tasa de aplicación de plaguicidas) [10–12]. Así mismo, es importante resaltar que los compuestos polares permanecen en la fase acuosa y se filtran potencialmente en los acuíferos, mientras que los compuestos menos polares son persistentes y tienden a absorberse en los sedimentos y bioacumularse en los organismos vivos [8].

Los estudios han revelado que cuando la calidad acuática se ve afectada por contaminantes, cualquier variación fisiológica se revelará en los valores de uno o más parámetros hematológicos de los animales acuáticos [13,14]. Dichas

anomalías involucran alteración de procesos patológicos y bioquímicos, incluidos cambios en el metabolismo energético en las especies [15], deterioro de la neurotransmisión [16] y estrés oxidativo [17].

La exposición a factores estresantes generalmente induce cambios en la distribución normal de la energía de un organismo. En condiciones de estrés, causado, por ejemplo, por la exposición a un tóxico, la asignación de energía de los organismos puede alterarse para hacer frente al estrés inducido [18] causando una disminución en las reservas de energía. Por otro lado, el estrés oxidativo inducido por plaguicidas, a través de un aumento en la formación de especies reactivas de oxígeno (ERO), puede conducir cambios bioquímicos, celulares y fisiológicos en los organismos expuestos [19]. Asimismo, se ve afectada la composición de ácidos grasos en los organismos al potenciar la peroxidación de lípidos [20].

Con respecto a los peces, los residuos de plaguicidas llegan a los ecosistemas acuáticos y afectan indirectamente el hábitat y el funcionamiento del ecosistema [21–23]. Por otro lado, directamente, los plaguicidas pueden inhibir enzimas importantes [24], reducir el crecimiento [25], cambiar el comportamiento [26], aumentan la susceptibilidad a las enfermedades y, en última instancia, reducen las poblaciones [27,28]. Además, estos productos químicos persistentes se acumulan en los órganos de los peces y otros animales acuáticos, principalmente debido a su lipofilia [29]. Al ingerir estos animales, los humanos quedan expuestos a diferentes patologías o anomalías en el organismo [30].



Por lo tanto, el estudio tiene como objetivo identificar los efectos causados por los plaguicidas sobre la fauna acuática, mediante revisión bibliográfica. Además, el análisis de información recopilada permitió conferir recomendaciones de mejora y prospecciones futuras.

## 2. Metodología

La metodología se dividió en tres secciones que permitieron cumplir con los objetivos propuestos. La primera se fundamenta en la búsqueda de fuentes bibliográficas en base de datos de alto impacto como Scopus, y Web of Science, adicionalmente se utilizaron base de datos regionales como Redalyc y Scielo. El segundo apartado se centra en el análisis de la información seleccionada y presentación de esta mediante 5 secciones que contienen tablas y argumentos. Finalmente, la sexta sección de resultados comprende las recomendaciones de mejora mediante alternativas de empleo para plaguicidas.

### 2.1. Búsqueda de fuentes bibliográficas

El desarrollo de la primera sección se realizó mediante revisión sistemática de la literatura centrada en el análisis de diferentes documentos publicados en bases de datos científicas de alto impacto como Scopus y Web of Science. Para ello se utilizó palabras claves en idioma inglés como "pesticides", "toxic effects" "toxicology" y "pesticidas in water". Con respecto a las bases de datos regionales se ocupó las mismas palabras, pero en idioma español: "plaguicidas", "efectos tóxicos" "toxicología" y "plaguicidas en el agua".

Una vez obtenidos los resultados de la búsqueda con sus respectivos filtros, se analizaron los títulos, términos relacionados y resúmenes de cada publicación con el propósito de seleccionar la información relevante para la temática

de estudios. Se obtuvieron 20 documentos mediante análisis para cada temática de relevancia de acuerdo con los criterios de búsqueda de los cuales cinco corresponden a la sección de generalidades y clasificación, una sobre toxicidad de los plaguicidas, cinco acerca de las propiedades de los plaguicidas, dos sobre fuentes, transporte y mecanismos de acción y siete pertenecen a efectos sobre los ecosistemas acuáticos.

De la misma forma se realizó un análisis de literatura gris, misma que hace referencia a un conjunto de documentos de diversa índole, que no han pasado por procesos de revisión o edición y que normalmente no se difunden a través de publicaciones sino a través de canales limitados (no convencionales) [31]. Obteniendo así dos resultados



correspondientes a la guía metodológica para el Estudio de Impactos Ambientales (ESIA) en proyectos agrícolas y los requisitos de agua potable para estados y sistemas públicos de agua.

## 2.2. Análisis de la información

Posteriormente se realizó un análisis de la información recopilada y se dividió en 5 secciones los resultados. La primera sección comprende las propiedades y clasificación, la segunda sección se enfoca en la toxicidad de los plaguicidas, la tercera se centra en las propiedades de los plaguicidas, la cuarta representa las fuentes, transporte y mecanismos de acción, finalmente la quinta describe los efectos sobre los ecosistemas acuáticos. La información analizada se resume mediante argumentos y tabla.

## 2.3. Recomendaciones de mejora

Después de analizar los resultados de la primera y segunda sección de la metodología se procedió a plantear recomendaciones de mejora con el propósito de mitigar impactos y afectaciones que generan los plaguicidas a la biota acuática.

# 3. Resultados

## 3.1. Generalidades y clasificación

Los plaguicidas son sustancias destinadas a prevenir, destruir o atenuar plagas, las características de los plaguicidas son muy variadas por lo que se los puede encontrar distribuidos en varios grupos (Vease tabla 1) [32]. Los químicos utilizados en plagas a lo largo de los años han ido perdiendo efectividad ya que algunos plaguicidas no son selectivos y eliminan los depredadores naturales como a las plagas. Además, las plagas se muestran más resistentes a los nuevos compuestos, necesitando alrededor de cinco años para que puedan desarrollar resistencia a los plaguicidas [33].

Los herbicidas orgánicos son especialmente diseñados para el control de malas hierbas, actúan sobre las hojas interfiriendo en la fotosíntesis, al ser absorbidos por las plantas causan sobreestimulación lo que provoca el crecimiento acelerado de la planta y por el requerimiento excesivo de nutrientes mueren. Por el contrario, los esterilizantes del suelo eliminan los microorganismos útiles para el desarrollo de las plantas. Aunque son creados para combatir plagas, estas sustancias también son tóxicas para los humanos, al distribuirse por el suelo y el agua contaminando estos ecosistemas [34].

**Table 1**

*Características de los plaguicidas más utilizados [35,36].*

Tipo	Estructura química	Propiedades fisicoquímicas	Acción tóxica	Ejemplos
<b>Organoclorados</b>	Derivados clorados de hidrocarburos cíclicos (asociados a azufre y oxígeno)	Sólidos estables son los más persistentes su descomposición es por deshidrohalogenación o epoxidación, de solubilidad baja en agua, alta bioacumulación y aumento de concentración a través de la cadena trófica	Son neurotoxinas que alteran la excitabilidad de las membranas celulares a nivel de proteínas transportadoras de iones de K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> y Ca <sup>2+</sup>	Endrina, aldrina, DDT, dicofol, lindano, heptacloro, endosulfan
<b>Organofosforados</b>	Esteres orgánicos del ácido fosfórico	Por lo general son líquidos, volátiles, se descomponen con facilidad en el ambiente la degradación ocurre por acción del oxígeno y la hidrólisis, convirtiéndose en productos solubles en el agua de poca persistencia y poco acumulables	Son neurotóxicos, bloquean acción de la enzima colinesterasa, interrumpiendo la transmisión de impulso entre las células nerviosas	Clorpirifos, diclorvos, paratión, malatión, fention, azinfos metil, etoprofos, dimetoato, triclorfon, glifosato
<b>Carbamatos</b>	Derivados del ácido carbámico	La mayoría son sólidos, inestables y de poca persistencia ambiental son selectivos y se degradan por oxidación	Son neurotóxicos, inhiben la acetilcolinesterasa	Carbaril, aldicrab, carbofurano, metomilo, oxamilo, propoxur
<b>Piretroides</b>	Análogos sintéticos de insecticidas naturales (piretrinas) producidos por plantas, compuestos por esterres de un ácido y una base orgánica	Son sólidos de alta selectividad por lo que su toxicidad es baja en organismos no blancos, se metabolizan por hidrolisis, oxidación y conjugación. La persistencia aumenta cuando se unen a partículas en el sedimento	Son neurotoxinas, actúan sobre la capacidad de generación y conducción de impulso nervioso en las neuronas	Resmetrina, cipermetrina, fenvalerato fluvalinato, permetrina, allertrin



### 3.2. Toxicidad de los plaguicidas

La toxicidad de una sustancia significa su capacidad para producir efectos adversos. Los plaguicidas, que se utilizan para matar plagas, son al mismo tiempo muy tóxicos para una serie de plantas y animales, incluidos los seres humanos.

Un plaguicida altamente tóxico puede causar incluso la muerte de un individuo o puede hacer que una persona enferme.

La toxicidad está medida por el método avalado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en valores de Dosis Letal (DL50) definido como la cantidad mínima de las sustancias para causar la muerte al 50% de los organismos a través de varias exposiciones en un período corto de tiempo. Mientras más baja es la DL50, la toxicidad aumenta, a estos valores se expresan como toxicidad aguda (Tabla 1) [37]. Por el contrario, la toxicidad crónica, se manifiesta con efectos adversos en un organismo provocando acumulación, dañando órganos, aparición de tumores, alteraciones del sistema nervioso central y efectos citotóxicos. En la siguiente tabla podemos observar la clasificación.

**Table 2**

*Categoría toxicológica de los plaguicidas para los organismos acuáticos según la OMS [37].*

Categoría	Tipo toxicológico	Agudo concentración (ppm)
<b>Extremadamente tóxico</b>	I A	< 0,1
<b>Altamente tóxico</b>	I B	0,1 – 1
<b>Moderadamente tóxico</b>	II	1 – 10
<b>Ligeramente tóxico</b>	III	10 – 100
<b>Prácticamente no tóxico</b>	IV	> 100

### 3.3. Propiedades de los plaguicidas

Las propiedades de los plaguicidas interfieren en los mecanismos de acción. Por ejemplo, la volatilización es la propiedad del plaguicida de dispersarse en el aire, los plaguicidas con mayor presión de vapor se evaporan más fácilmente que aquellos con menor presión de vapor, siendo menor su solubilidad en agua. Otros factores de la volatilización son la temperatura y el estado físico [38]. La medida de la volatilidad es a través de la constante de Henry (KH) que indica el coeficiente de distribución del plaguicida entre la fase líquida (solución del suelo) y vapor [39].

Ciertos plaguicidas tienden a mantener sus características físicas y químicas en el ambiente durante un periodo de tiempo. Esta cualidad permite la interacción de los



plaguicidas en el ecosistema llegando a acumularse en los suelos y en la biota. Si la vida media y la persistencia de un pesticida es mayor que su frecuencia de aplicación, el pesticida tenderá a acumularse en el suelo y en la biota, entre estos están los organoclorados que son los más resistentes como el fenol benceno, y de otro extremo los organofosforados por su característica menos persistentes [40].

Por otro lado, la solubilidad del agua determina la concentración de la solución saturada en equilibrio con exceso de soluto. A mayor solubilidad de un plaguicida en el agua, mayor es la cantidad que puede ser transportada en una disolución. Por el contrario, si el plaguicida se encuentra en concentraciones menores a su nivel de saturación permanecerá en el agua. Por lo general tiene un rango de disolución entre 1 a 100.000 mg/L. Los plaguicidas muy solubles son fácilmente adsorbidos en el suelo y transportados por escorrentía o lixiviación. Como los pesticidas organoclorados por su carácter apolar son los menos solubles en el agua [39].

El Coeficiente de adsorción de carbono orgánico (Koc) es la cualidad de los compuestos orgánicos de ser retenidos en el suelo o sedimentos. El contenido en materia orgánica influye de forma predominante en la adsorción de carbotoatoos,

tiocarbamatos, acetamidas y fenilamidas; los valores están en un rango de 1 a 10.000.000 (10). Mientras más alto es el valor del rango, mayor la capacidad de fijación en la materia orgánica del suelo lo que limita su movimiento hacia la aguas superficiales o subterráneas [41].

La medida en que la sustancia se distribuirse en dos solventes no miscibles como el agua y las grasas es considerado Coeficiente de Partición Octanol / Agua (KOW), lo cual expresa el valor de polaridad de los plaguicidas, determina la capacidad de distribuirse en las grasas de los organismos y su tendencia a bioacumularse a través de la cadena alimenticia [42].

### 3.4. Fuentes, transporte y mecanismos de acción

Los plaguicidas pueden llegar al ser humano y la biota acuática cuando ingresan por diferentes mecanismos al agua, algunos pueden persistir por varios períodos. Dicho ingreso se puede realizar por aplicación directa al río, arroyo o estanque con el fin de controlar la proliferación de plantas y plagas indeseables. También por infiltración pueden llegar hasta las aguas subterráneas, así como por escurrimiento superficial o lavado de contaminantes provenientes de las zonas agrícolas a los ríos y arroyos. Además, la aplicación en el área de terreno, descarga de agua residuales industriales especialmente de plaguicidas y lavado de equipos que se usan en la agricultura como los tanques de fumigantes son otras de las fuentes principales de contaminación, e



incluso pueden provenir de las precipitaciones atmosféricas, entre otros [43]. Asimismo, los plaguicidas que son aplicados directamente en el suelo se movilizan hacia los sistemas acuáticos convirtiéndose en tóxicos para los organismos que habitan allí [32].

El transporte de los plaguicidas es definido por el movimiento de gases, líquidos y partículas sólidas, características físicas y químicas, condiciones geomorfológicas de los suelos y condiciones hidrogeológicas y meteorológicas de las zonas [44]. En algunos casos las moléculas de los plaguicidas se mueven por el gradiente de concentración es decir desde la zona más concentrada a la menos concentrada, el movimiento del fluido es alrededor de las partículas del suelo, este desplazamiento de las moléculas se conoce como difusión. Para la medida de la difusión hay que considerar parámetros como la porosidad, procesos de adsorción del suelo, propiedades del compuesto, entre otros [42].

Así mismo, la lixiviación está básicamente ligada a la dinámica del agua, estructura, pH del suelo y propiedades de los plaguicidas, estos tienden a desplazarse a través del perfil del suelo e incorporarse a las capas más profundas llegando hasta los acuíferos [43]. Por otro lado, la presión de vapor ejerce la volatilización de las moléculas del plaguicida, tomando en consideración la temperatura y la velocidad de difusión hacia la superficie. Este aspecto se mide como la tasa de pérdida del plaguicida por volatilización [42].

### 3.5. Efectos sobre los ecosistemas acuáticos

La repercusión ecológica de los plaguicidas puede ir desde pequeños trastornos hasta grandes daños ecológicos en los peces, aves, mamíferos, y sobre la salud humana. Por ejemplo; plaguicidas como el aldrín, endrín, DDT y lindano causan daños fisiológicos y bioquímicos, un lento crecimiento y diversas patologías en los camarones [45].

Algunos plaguicidas son extremadamente tóxicos para los peces en concentraciones muy bajas y para los invertebrados acuáticos en concentraciones aún más bajas. La toxicidad puede limitarse a un pequeño grupo de organismos y ser, por tanto, muy específica, o, en el extremo opuesto, afectar a casi todas las formas de vida vegetal y animal en el agua.

Por lo general, los plaguicidas difieren en cuanto a su toxicidad para los distintos organismos acuáticos. La toxicidad puede ser aguda y matar al organismo con relativa rapidez, o crónica y tener efectos graduales sobre la actividad, alimentación, reproducción y fisiología general [46].

Casi todos los sistemas acuáticos de agua dulce o marina contienen un gran número de microorganismos y pequeños animales que flotan cerca de la superficie del agua.



La naturaleza de este plancton, que es una de las principales fuentes de alimento para los peces, difiere mucho en los distintos sistemas. Su abundancia y variedad depende del contenido mineral y orgánico del agua, la oxigenación y la cantidad de contaminación orgánica e inorgánica. Los plaguicidas pueden matar al plancton, afectar al crecimiento de los individuos y las poblaciones e incluso a la fotosíntesis. Los animales y las plantas del plancton son extremadamente sensibles a los insecticidas organoclorados y a los herbicidas de fenilurea, como el monurón y el diurón, y, en menor medida, a los insecticidas organofosforados, como el clorfenvinfós. Cuando un plaguicida pulverizado en la superficie del agua mata al plancton, este tiende a caer rápidamente al fondo, por lo que se produce un aclaramiento espectacular del agua [47].

La acumulación de plaguicidas en los tejidos de la biota acuática por encima de cierto nivel genera alteraciones del sistema endocrino, parámetros bioquímicos y fisiológicos alteraciones con efectos a nivel histológico, morfológico, pérdida de fertilidad, degradación de semen, anomalías de las gónadas, caída de la tasa de eclosión y tasa de supervivencia de alevín [48,49]. Estudios sobre el efecto de los plaguicidas organoclorados en peces teleósteos señalan que una manifestación de la toxicidad se presenta como una alteración en la osmorregulación y transporte de sustancias en el intestino y branquias [50]. Algunos autores han reportado modificaciones en la actividad reflejada y motora en peces dorados a consecuencia de la exposición a dosis subletales de DDT. Asimismo, los plaguicidas son extremadamente tóxicos para los camarones y tiene un alto potencial para disminuir la reproducción y la viabilidad de la generación [51].

Los efectos producidos sobre la biota acuática dependerán principalmente de la especie expuesta y la concentración del toxico. Los plaguicidas reaccionarán de forma diferente para cada especie. En la tabla 3 se muestra un resumen de algunos ejemplos de plaguicidas con las principales especies afectadas.

### **3.6. Recomendaciones de mejora frente al empleo de plaguicidas**

El aspecto más importante de la prevención y el control de los plaguicidas es actualizar y concienciar a la población sobre la acción de los plaguicidas sobre la biota acuática. La concienciación puede generarse a través de intensas campañas publicitarias utilizando la prensa y los medios electrónicos, enfoques audiovisuales, folletos y vallas publicitarias, así como organizando programas públicos para difundir el mensaje de forma eficaz.

**Table 3**

*Efecto de los plaguicidas sobre algunas especies acuáticas [49].*

Nombre del plaguicida	Especie afectada
Aldrin	insectos; peces
Alfa y beta hexa-cloro ciclohexano	anfibios, peces, insectos, moluscos, fitoplancton, zooplancton
Clordano	farfantepenaeus duorarum; colinus virginianus
Éteres difenílicos pentabromados (BDE)	Pescados; camarones; hierba
Éteres difenílicos octabromados (BDE)	pescados y camarones
Dieldrin	insectos; ranas y peces; embrión-larva
DDT	camarones; <i>Oncorhynchus mykiss</i>
Dibenzodioxinas	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Dibenzofuranos	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
<b>Endrina</b>	peces, embriones de <i>cyprinodon variegatus</i> ; camarones
<b>Heptacloro</b>	<i>coturnix japonica</i> ; <i>Faisanes codornices</i> ; <i>Oncorhynchus mykiss</i> ; <i>micropterus salmoides</i>
<b>Hexaclorobenceno (HCB)</b>	pescados marino; peces de agua dulce, invertebrados marinos; invertebrados de agua dulce, <i>coturnix japonica</i> ; <i>ictalurus punctatus</i> ; <i>oncorhynchus kisutch</i>
<b>Hexabromobifenilos</b>	phoca vitulina, peces, fauna, fundulus heteroclitus
<b>Lindano</b>	ictalurus punctatus y carassius auratus

También se pueden utilizar métodos alternativos frente al control de plagas. Para repeler diversos insectos se pueden utilizar sustancias no tóxicas como especias de fuerte olor: pimienta, ajo, menta, hojas de laurel, clavo, aceite de cítricos, lavanda, romero, tabaco, granos de pimienta y aceite de cedro. Para plagas domésticas concretas, como las hormigas, se espolvorea pimienta roja en polvo, pimentón, menta seca o bórax en los lugares por los que entran las hormigas; para los escarabajos, se debe matar manualmente; para las babosas y los caracoles, se vierte media taza de café negro sobre las plagas. Para las malas hierbas, rocía vinagre sobre las hojas más grandes, es importante cubrir las hojas de manera uniforme. Se puede preparar un sencillo aerosol de ajo para repeler los insectos de las plantas del jardín mezclando media taza de ajo picado con 500 ml de agua. Se deja reposar esta mezcla durante una hora. Cuela el ajo, viértelo en una botella de spray y rocía las plantas. Estos métodos alternativos contribuirán en gran medida a controlar la contaminación por plaguicidas.

Además, se considera importante la aplicación y el planteamiento de nuevas políticas que regulen la generación y utilización de plaguicidas en la agricultura, así como la



disposición final de los residuos que contengan plaguicidas o derivados de los mismos. Asimismo, es sustancial generar controles y monitoreos para aquellas zonas en donde haya mayor consumo de este tipo de sustancias, de esta forma se podrá tener un registro de los niveles de concentración y los focos de afectación para posteriormente generar medidas de mitigación o regulación.

## 4. Discusión

El uso indiscriminado de plaguicidas en la actividad humana tiene un impacto negativo en la calidad del agua y el ambiente en general. La clasificación de estas sustancias se desarrolla en función de algunas de sus características principales, como son la toxicidad aguda (extremadamente peligrosos, altamente peligrosos, moderadamente peligrosos y ligeramente peligrosos), vida media (no persistentes, moderadamente persistentes, persistentes y permanentes), estructura química (organoclorados, organofosforados, carbonatados, tiocarbonatados, piretroides, derivados bipiridilos derivados del ácido fenoxiacético, derivados cloronitrofenólicos, derivados de triazinas, compuestos orgánicos del estaño, compuestos inorgánicos y compuestos de origen botánico) y su uso (agricultura,

salud pública, ganadería y cuidado de animales domésticos, tratamiento de estructuras, mantenimiento de áreas verdes, mantenimiento de reservas de agua, industria y hogar) [36]. Mientras que otros autores tiene una clasificación general en función de las plagas sobre las que se usan: insecticidas, fungicidas, herbicida y raticidas [52].

La toxicidad de los pesticidas se ha podido evidenciar en diferentes experimentos como, por ejemplo; pruebas de toxicidad a los insecticidas mezclando cipermetrina y endosulfán con las especies *C. decemmacuatus* y el anfípodo marino *Hyaella curvispina*, mostraron que la toxicidad cesó un mes después de la aplicación para ambas especies, aunque la cipermetrina no causó mortalidad para las especies en el caso del endosulfán persistió durante casi cuatro meses después de la primera aplicación. La mezcla de plaguicidas se encuentra comúnmente en los sistemas de agua dulce; pero el conocimiento de sus efectos sobre las especies acuáticas no blanco es escaso [53]. Por otro lado, la US EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) es utilizada como una herramienta que establece los criterios de toxicidad para la especies acuáticas [54].

Existen pocas investigaciones sobre los efectos de toda la fauna acuática, sin embargo, el estudio va desde el comportamiento y toxicidad de los plaguicidas sobre los sistemas acuáticos y especie que habitan estos ecosistemas hasta los efectos graves que aún no han sido documentados por completo, ya que la evaluación de estos se



remite a pruebas con animales de laboratorio. Sin embargo, la concentración en el agua y otros factores como las diferentes propiedades intrínsecas de los plaguicidas y la solubilidad determinan el daño que pueden ocasionar en los ecosistemas [55].

El ambiente es una fuente primordial de exposición a plaguicidas, a partir de la actividad agrícola. Aproximadamente el 47% del producto aplicado se deposita en suelos y aguas colindantes o se dispersa en la atmósfera [36]. Además, los plaguicidas en el follaje pueden ser acarreados o lavados hacia el suelo por la lluvia. Cuando estos llegan a la superficie del suelo pueden ser transportados por el agua al infiltrarse al subsuelo o pueden ser acarreados lateralmente por escorrentía superficial [5].

En experimentos realizados con peces utilizando piretroides como el permetrin la sensibilidad de peces (salmón atlántico) a estos insecticidas se manifestaron con la pérdida de la conducta, hiperactividad, pérdida de flotación, natación errática, finalmente la inmovilización y posteriormente la muerte, resultando ser muy tóxicos para los ecosistemas acuáticos, sin embargo los compuestos de piretroides son utilizados en la medicina veterinaria como acción contra las plagas de moscas, tábanos y garrapatas con un amplio uso antiparasitario contra el piojo de mar [56]. Otros estudios indicaron que al agregar compuestos de piretroides en el agua dulce las especies mostraron una recuperación en cuestión de meses, los peces que al inicio se vieron afectados en la alimentación por la muerte de invertebrados también se recuperaron. Al utilizar cipermetrina y esfenvalerato (ambos piretroides) las especies más sensibles fueron los camarones de agua dulce, los chanchitos de tierra, copépodos y las pulgas de agua. Por el contrario los menos sensibles fueron los peces, caracoles, oligoquetos (gusanos de fango) y rotíferos, mostrando que la fase de desarrollo fue la más tolerante respecto a otros insecticidas, con un efecto temporal a la exposición a los piretroides [57].

Las alternativas abarcan desde el remplazo por plaguicidas biológicos, la concientización hasta la formulación de nuevas políticas a nivel regional que puedan cubrir las necesidades de cada área geográfica. Sin embargo, puede haber limitantes como la falta de cooperación por la sociedad, así como la eficiencia del plaguicida biológico para aquellas plagas con un potencial de destrucción alto.

## 5. Conclusiones

Los resultados muestran que el uso desmedido de plaguicidas es un problema latente en todo el mundo y genera un efecto negativo sobre el ambiente. A pesar que son compuestos químicos que han aportado beneficios al ser humano a través de los tiempos, usados básicamente para el control de las plagas en la agricultura, y que en la actualidad aún son prioritarios para su utilización en áreas específicas. También,



dichas sustancias generan toxicidad en los ecosistemas, especialmente en los recursos hídricos y biota acuática. La toxicidad de los plaguicidas dependerá principalmente de la cantidad de plaguicida y la especie que se encuentra expuesta a esta sustancia. Los efectos pueden ser leves como patologías hasta más fuertes como la muerte. Por otro lado, las propiedades como la volatilización, solubilidad, Koc y Kow de los plaguicidas le confieren la capacidad de reacción, persistencia y actuación con el medio. Las principales fuentes de generación de los plaguicidas provienen de la agricultura, industria y actividades antrópicas, que pueden llegar a los ríos, lagos y océanos por escorrentía o lixiviación y a las aguas subterráneas por infiltración. Con respecto a los efectos sobre la biota acuática los plaguicidas afectan indirectamente el hábitat y el funcionamiento del ecosistema y directamente pueden inhibir enzimas importantes, reducir el crecimiento, cambiar el comportamiento, aumentan la susceptibilidad a las enfermedades y, en última instancia, reducen las poblaciones de especies. El impacto generado por toxicidad dependerá de la concentración y el tipo de especie afectada, puesto que un plaguicida puede reaccionar de diferentes formas para dos especies distintas. Además, la extensión de la contaminación puede ser de forma puntual al afectar a una especie determinada.

Las alternativas son varias, desde la utilización de productos naturales que reemplacen los plaguicidas químicos hasta la concientización social que permita una disminución en el consumo y el adecuado tratamiento de los residuos o derivados de plaguicidas. Adicionalmente es imprescindible generar políticas que puedan ser aplicadas, así como el monitoreo y evaluación de las zonas con mayor consumo de plaguicidas. Toda esta información recolectada permitirá comprender la complejidad del problema, fuentes y efectos para cada especie, permitiendo de esta forma el desarrollo de alternativas para mitigar el problema. especie o general al perjudicar a toda la fauna y flora que habitan en el agua.

## Agradecimientos

Un agradecimiento profundo a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a nuestro profesor Alex Gavilanes, por sus enseñanzas compartidas.

## Conflicto de intereses

Los autores no declaran ningún conflicto de intereses.



## References

- [1] Bombardi LM. Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia. FFLCH-USP; 2017.
- [2] Ramírez-Morales D, Pérez-Villanueva ME, Chin-Pampillo JS, Aguilar-Mora P, Arias-Mora V, Masís-Mora
- [3] M. Pesticide occurrence and water quality assessment from an agriculturally influenced Latin-American tropical region. *Chemosphere* [Internet]. 2021;262:127851. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520320464>
- [4] Schaaf AA. Valoración de impacto ambiental por pesticidas agrícolas. *Obs Medioambient.* 2015;18:87.
- [5] Anstalt SV. Food and agriculture organization of the United Nations. 2013; Stoorvogel JJ, Jaramillo R, Merino R, Kosten S. Plaguicidas en el medio ambiente. In: *Los Plaguicidas Impactos en producción, salud y medio ambiente en Carchi, Ecuador.* Centro Internacional de la Papa; 2003. p. 49–69.
- [6] Ongley ED. Los plaguicidas, en cuanto contaminantes del agua. *FAO Lucha contra la Contam agrícola los Recur hídricos Estud FAO, Riego y drenaje-55 Dep Desarro Sostenible Burlingt.* 1997;
- [7] FAO. Manual sobre el almacenamiento y el control de existencias de plaguicidas. 1996;35.
- [8] Barbieri MV, Peris A, Postigo C, Moya-Garcés A, Monllor-Alcaraz LS, Rambla-Alegre M, et al. Evaluation of the occurrence and fate of pesticides in a typical Mediterranean delta ecosystem (Ebro River Delta) and risk assessment for aquatic organisms. *Environ Pollut* [Internet]. 2020;115813. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749120365027>
- [9] Arrazcaeta LO. Contaminación De Las Aguas Por Plaguicidas Químicos. *Fitosanidad.* 2002;6(3):55–62.
- [10] de Souza RM, Seibert D, Quesada HB, de Jesus Bassetti F, Fagundes-Klen MR, Bergamasco R. Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: A review. *Process Saf Environ Prot.* 2020;135:22– 37.
- [11] Geissen V, Mol H, Klumpp E, Umlauf G, Nadal M, van der Ploeg M, et al. Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management. *Int soil water Conserv Res.* 2015;3(1):57–65.
- [12] Gutrich J, Donovan D, Finucane M, Focht W, Hitzhusen F, Manopimoke S, et al. Science in the public process of ecosystem management:



- lessons from Hawaii, Southeast Asia, Africa and the US Mainland. *J Environ Manage* [Internet]. 2005;76(3):197–209. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479705000769>
- [13] Akinrotimi OA, Ansa EJ, Owhonda KN, Onunkwo DN, Edun OM, Anyanwu PE, et al. Effects of transportation stress on haematological parameters of blackchin tilapia *Sarotherodon melanotheron*. 2007;
- [14] Adewumi B, Ogunwole GA, Akingunsola E, Falope OC, Eniade A. Effects of sub-lethal toxicity of chlorpyrifos and DDforce pesticides on haematological parameters of *Clarias gariepinus*. *Int Res J Public Environ Heal*. 2018;5(5):62–71.
- [15] Villarroel MJ, Sancho E, Andreu-Moliner E, Ferrando MD. Biochemical stress response in tetradifon exposed *Daphnia magna* and its relationship to individual growth and reproduction. *Sci Total Environ*. 2009;407(21):5537–42.
- [16] Chebbi SG, David M. Neurobehavioral responses of the freshwater teleost, *Cyprinus carpio* (Linnaeus.) under quinalphos intoxication. *Biotechnol Anim Husb*. 2009;25(3–4):241–9.
- [17] Kelly KA, Havrilla CM, Brady TC, Abramo KH, Levin ED. Oxidative stress in toxicology: established mammalian and emerging piscine model systems. *Environ Health Perspect*. 1998;106(7):375–84.
- [18] Jeon J, Kretschmann A, Escher BI, Hollender J. Characterization of acetylcholinesterase inhibition and energy allocation in *Daphnia magna* exposed to carbaryl. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2013;98:28–35.
- [19] Gonçalves AMM, Rocha CP, Marques JC, Gonçalves FJM. Fatty acids as suitable biomarkers to assess pesticide impacts in freshwater biological scales – A review. *Ecol Indic* [Internet]. 2021;122:107299. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20312413>
- [20] Galhano V, Gomes-Laranjo J, Peixoto F. Exposure of the cyanobacterium *Nostoc muscorum* from Portuguese rice fields to Molinate (Ordram®): Effects on the antioxidant system and fatty acid profile. *Aquat Toxicol*. 2011;101(2):367–76.
- [21] Gibbons D, Morrissey C, Mineau P. A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environ Sci Pollut Res*. 2015;22(1):103–18.
- [22] Maggi F, Tang FHM, la Cecilia D, McBratney A. PEST-CHEMGRIDS, global gridded maps of the top 20 crop-specific pesticide application rates from 2015 to 2025. *Sci data*. 2019;6(1):1–20.
- [23] Stanley J, Preetha G, Stanley. *Pesticide toxicity to non-target organisms*. Springer; 2016.



- [24] Mela M, Guiloski IC, Doria HB, Randi MAF, de Oliveira Ribeiro CA, Pereira L, et al. Effects of the herbicide atrazine in neotropical catfish (*Rhamdia quelen*). *Ecotoxicol Environ Saf.* 2013;93:13–21.
- [25] Narra MR, Rajender K, Reddy RR, Murty US, Begum G. Insecticides induced stress response and recuperation in fish: biomarkers in blood and tissues related to oxidative damage. *Chemosphere.* 2017;168:350–7.
- [26] Sandoval-Herrera N, Mena F, Espinoza M, Romero A. Neurotoxicity of organophosphate pesticides could reduce the ability of fish to escape predation under low doses of exposure. *Sci Rep.* 2019;9(1):1–11.
- [27] Dupuy C, Cabon J, Louboutin L, Le Floch S, Morin T, Danion M. Cellular, humoral and molecular responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to a herbicide and subsequently infected with infectious hematopoietic necrosis virus. *Aquat Toxicol.* 2019;215:105282.
- [28] Gormley KL, Teather KL, Guignon DL. Changes in salmonid communities associated with pesticide runoff events. *Ecotoxicology.* 2005;14(7):671–8.
- [29] Schäfer RB, van den Brink PJ, Liess M. Impacts of pesticides on freshwater ecosystems. *Ecol impacts toxic Chem.* 2011;2011:111–37.
- [30] Cuevas N, Martins M, Costa PM. Risk assessment of pesticides in estuaries: a review addressing the persistence of an old problem in complex environments. *Ecotoxicology.* 2018;27(7):1008–18.
- [31] Mestanza-Ramón C, Paz-Mena S, López-Paredes C, Jimenez-Gutierrez M, Herrera-Morales G, D’Orio G, et al. History, Current Situation and Challenges of Gold Mining in Ecuador’s Litoral Region. Vol. 10, Land . 2021.
- [32] Mahmood I, Imadi SR, Shazadi K, Gul A, Hakeem KR. Effects of pesticides on environment. In: *Plant, Soil and Microbes: Volume 1: Implications in Crop Science.* 2016.
- [33] Soto Gómez DC. Guía metodológica para el Estudio de Impactos Ambientales (ESIA) en proyectos agrícolas. 2019;
- [34] Badii M, Garza Almanza V, Landeros J. EFECTO DE LOS PLAGUICIDAS EN LA FAUNA SILVESTRE. 2006;(14):22–44.
- [35] Pérez A, Carlos J, Sanchez-Hernandez J. La amenaza de los plaguicidas sobre la fauna silvestre de las Islas Canarias. *El Indiferente.* 2003 Jan;42–7.
- [36] Ramírez JA, Lacasaña M. Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Arch Prev Riesgos Labor.* 2001;4(2):67–75.



- [37] Schaaf AA. Uso de pesticidas y toxicidad : relevamiento en la zona agrícola de San Vicente , Santa Fe , Argentina \* Pesticides use and toxicity : survey in the agricultural zone of San Vicente , Santa Fe , Argentina Resumen Introducción. 2013;4:323–31.
- [38] Sánchez Martín MJ, Sánchez Camazano M. Los plaguicidas. Adsorción y evolución en el suelo. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España); 1985.
- [39] Torri SI. DINÁMICA DE LOS PLAGUICIDAS EN LOS AGROECOSISTEMAS. researchgate. 2015;
- [40] Narvaez V JF, Palacio J, Molina F. Persistencia de plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad. Rev Gest y Ambient. 2012;
- [41] FAO. Capítulo 4 - Los plaguicidas , en cuanto contaminantes del agua. In: Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55). 1997.
- [42] Jáquez Matas SV. Comportamiento de plaguicidas persistentes en el medio ambiente. 2013; del Puerto Rodríguez AM, Suárez Tamayo S, Palacio Estrada DE. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. Rev Cubana Hig Epidemiol. 2014;52(3):372–87.
- [43] Sardiñas Peña O, Trujillo C, García Melián M, Fernández Novo M. Evaluación de riesgos para la salud por exposición a residuos peligrosos. Rev Cubana Hig Epidemiol. 2001;
- [44] Galindo-Reyes JG, Fossato VU, Villagrana-Lizarraga C, Dolci F. Pesticides in water, sediments, and shrimp from a coastal lagoon off the Gulf of California. Mar Pollut Bull. 1999;38(9):837–41.
- [45] Edwards CA. Nature and Origins of Pollution of Aquatic Systems by Pesticides BT - Pesticides in Aquatic Environments. In: Khan MAQ, editor. Boston, MA: Springer US; 1977. p. 11–38. Available from: [https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2868-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2868-1_2)
- [46] Nicholson HP. Occurrence and significance of pesticide residues in water. J Washingt Acad Sci. 1969;59(4/5):77–85.
- [47] Islam R, Kumar S, Karmoker J, Kamruzzaman M, Rahman MA, Biswas N, et al. Bioaccumulation and adverse effects of persistent organic pollutants (POPs) on ecosystems and human exposure: A review study on Bangladesh perspectives. Environ Technol Innov [Internet]. 2018;12:115–31. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186418301743>
- [48] Sharma BM, Bharat GK, Tayal S, Nizzetto L, Čupr P, Larssen T. Environment and human exposure to persistent organic pollutants (POPs) in India: A systematic review of recent and historical data. Environ Int. 2014;66:48–64.



- [49] Leadem TP, Campbell RD, Johnson DW. Osmoregulatory responses to DDT and varying salinities in *Salmo gairdneri*—I. Gill Na-K-ATPase. *Comp Biochem Physiol Part A Physiol.* 1974;49(1):197–205.
- [50] Gonzalez EM. Los pesticidas y los recursos costeros. Encuentro [Internet]. 1998 Jul 29;0(46 SE-Artículos). Available from: <https://www.lamjol.info/index.php/ENCUENTRO/article/view/3761>
- [51] Ferrer A. Intoxicación por plaguicidas. In: *Anales del sistema sanitario de Navarra.* SciELO Espana; 2003. p. 155–71.
- [52] Lepori ECV, Mitre GB, Nassetta M. Situación actual de la contaminación por plaguicidas en Argentina. *Rev Int Contam Ambient.* 2013;29:25–43.
- [53] Agency USEP. Drinking water requirements for states and public water systems. US EPA Washington, DC; 2017.
- [54] Rodríguez Aguilar BA, Martínez Rivera LM, Peregrina Lucano AA, Ortiz Arrona CI, Cárdenas Hernández OG. Análisis de residuos de plaguicidas en el agua superficial de la cuenca del río Ayuquila-Armería, México. *Rev Terra Latinoam.* 2019;37(2):151.
- [55] Rodríguez Gutiérrez JL, Rodríguez Gutiérrez JL. Distribución y efectos del piretroide ciflutrin sobre el sistema nervioso central. 2018;
- [56] Devine G, Eza D, Ogusuku E, Furlong M. Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Rev Peru Med Exp Salud Publica.* 2008;25(1):74–100.