



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Nombre del programa universitario de investigación de la Digi

Caracterización del uso de plaguicidas químicos agrícolas en la Cuenca del Río Los Esclavos, Santa Rosa, Guatemala y sus posibles impactos a la salud humana y al ambiente.

Nombre del proyecto de investigación

4.8.57.2.47

Número de partida presupuestaria

Centro Universitario de Santa Rosa -CUNSARO-

Unidad académica o centro no adscrito a unidad académica que avaló el proyecto

Karla Marisol Hernández Pocasangre

Febe Naydelin Pineda Franco

Dilsor Vicente Del Cid Esquivel

Nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por la Digi

Guatemala 22 de noviembre de 2025

lugar y fecha de presentación del informe final 31/enero/2025



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Contraportada

Autoridades de la Dirección General de Investigación

Dra. Alice Burgos Paniagua

Directora General de Investigación

M.Sc. Andrea Rodas

Coordinador(a) del Programa Universitario de Investigación

Equipo de investigación

Karla Marisol Hernández Pocasangre

Nombre del coordinador del proyecto

Febe Naydelin Pineda Franco

Dilsor Vicente Del Cid Esquivel

Nombre de los auxiliares de investigación I

El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria número: 4.8.57.2.47 en el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Índice general

1. Resumen.....	8
2. Introducción	10
3. Contexto de la investigación.....	11
3.1. Delimitación en tiempo	12
3.2. Delimitación espacial	12
4. Revisión de literatura	13
4.1. Plaguicidas agrícolas.....	13
4.2. Plaguicidas en el ambiente	14
4.3. Plaguicidas como contaminantes del agua	16
4.4. Plaguicidas como generados de problemas en la salud humana	18
4.5. Estudios de plaguicidas en Guatemala.....	18
4.5.1. Estudios sobre salud huma y salud ocupacional.....	18
4.5.2. Estudios sobre efectos en el ambiente	19
4.5.3. Estudios sobre comportamiento en importaciones	19
5. Planteamiento del problema.....	22
6. Objetivos.....	23
7. Hipótesis	23
8. Método	24
9. Tipo de investigación.....	29
9.1. Enfoque y alcance de la investigación.	30
9.2. Población, muestra y muestreo.....	30



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

9.3. Técnicas.....	31
9.4. Resumen de las variables o unidades de análisis	31
9.5. Procesamiento y análisis de la información.	34
9.5.1. Cultivos de importancia agrícola	34
9.5.2. Plagas insectiles de cultivos de importancia agrícola con manejo convencional	34
9.5.3. Plaguicidas agrícolas, dosis, temporalidad y forma de aplicación.....	34
9.5.4. Impactos negativos al ambiente y a la salud humana	35
9.5.5. Acciones que permiten mitigar los problemas ambientales y a la salud humana	35
10. Resultados y discusión.....	35
10.1. Principales cultivos de importancia agrícola y su extensión en la cuenca la cuenca.	35
10.1.1. Cultivos por departamento.....	40
10.1.2. Distribución de cultivos por extensión	46
10.2. Principales plagas que requieren el uso de plaguicidas agrícolas por cultivo.....	49
10.3. Plaguicidas empleados en la cuenca del Río Los Esclavos.....	59
10.3.1. Insecticidas empleados en la cuenca del río los Esclavos.....	60
10.3.2. Fungicidas empleados en la cuenca del Río los Esclavos.....	66
10.3.3. Herbicidas empleados en la cuenca del Río los Esclavos.....	72
10.4. Estimación de dosis, cantidades y formas de aplicación de insecticidas	76
10.5. Estimación de dosis, cantidades y formas de aplicación de fungicidas	80
10.6. Estimación de dosis, cantidades y formas de aplicación de herbicidas	84
10.6.1. Cultivos que implican mayor uso de plaguicidas	87
10.7. Descripción de los posibles impactos ambientales y a la salud humana de los plaguicidas agrícolas con relación a un manejo integrado de la cuenca	88
10.7.1. Impactos en la salud humano.....	89



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

10.7.2. Impactos en el medio ambiente.....	91
10.8. Propuesta de acciones que permitan reducir el impacto negativo de los plaguicidas agrícolas con relación a un manejo integrado de la cuenca	119
10.8.1. Recomendaciones planteadas.....	122
11. Conclusiones.....	126
12. Recomendaciones	127
13. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.	128
14. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND).....	131
15. Vinculación.....	132
16. Referencias.....	133
17. Apéndice	144
18. Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación.....	151
19. Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario	152
20. Aprobación de la Dirección General de Investigación	152



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Listado de estudios sobre plaguicidas en elaborados en Guatemala</i>	20
Tabla 2 <i>Métodos, técnicas e instrumentos a utilizados por objetivo específico</i>	24
Tabla 3 <i>Variables o unidades de análisis clasificadas por objetivo específico y tipo de medición, clasificación o cualificación</i>	32
Tabla 4. <i>Área ocupada por centros poblados y categorías asociadas en la Cuenca del Río Los Esclavos</i>	37
Tabla 5. <i>Superficie de áreas con recursos hídricos en la Cuenca del Río Los Esclavos</i>	38
Tabla 6 <i>Superficie de áreas boscosas, plantaciones forestales y árboles dispersos en la Cuenca del Río Los Esclavos.</i>	39
Tabla 7 <i>Superficie de pastos, vegetación arbustiva y áreas con vegetación escasa en la Cuenca del Río los Esclavos.</i>	40
Tabla 8 <i>Cultivos agrícolas del departamento de Guatemala en la Cuenca.</i>	41
Tabla 9 <i>Cultivos agrícolas del departamento de Jalapa en la Cuenca.</i>	42
Tabla 10 <i>Cultivos agrícolas del departamento de Jutiapa en la Cuenca.</i>	43
Tabla 11 <i>Cultivos agrícolas del departamento de Santa Rosa en la Cuenca.</i>	44
Tabla 12 <i>Resumen de cultivos según su tipo de importancia dentro de la cuenca del Río Los Esclavos.</i>	46
Tabla 13 <i>Distribución de cultivos agrícola en la cuenca.</i>	48
Tabla 14 <i>Tipos de plaguicidas según peligrosidad en la salud humana/animales y medio ambiente.</i>	50
Tabla 15 <i>Plagas clave insectiles de granos básicos en la etapa de campo ubicados en la cuenca.</i>	51
Tabla 16 <i>Plagas insectiles de importancia económica en cultivos frutales de la cuenca.</i>	52
Tabla 17 <i>Plagas insectiles de importancia económica en cultivos hortícolas de la cuenca.</i>	55
Tabla 18 <i>Plagas de importancia económica en cultivos diversos (otros cultivos)</i>	57
Tabla 19 <i>Insecticidas utilizados y comercializados en la Cuenca del Río los Esclavos.</i>	64
Tabla 20 <i>Fungicidas utilizados y comercializados en la Cuenca del Río los Esclavos.</i>	68



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 21 <i>Mecanismos de acción de los grupos químicos de fungicidas presentes en la cuenca del río Los Esclavos (según FRAC, 2024)</i>	71
Tabla 22 <i>Herbicidas utilizados y comercializados en la Cuenca del Río los Esclavos</i>	74
Tabla 23 <i>Mecanismos de acción de grupos químicos de herbicidas con un solo ingrediente activo presente en la cuenca del Río Los Esclavos</i>	76
Tabla 24 <i>Dosis y forma de aplicación por ingredientes activos de insecticidas</i>	77
Tabla 25 <i>Dosis y formas de aplicación por ingredientes activos de fungicidas</i>	80
Tabla 26 <i>Dosis por ingredientes activos de herbicidas</i>	84
Tabla 27 <i>Cultivos que implican un mayor uso de plaguicidas</i>	88
Tabla 28 <i>Efectos en la salud humana y riesgos ambientales de los insecticidas identificados en la cuenca</i>	93
Tabla 29 <i>Efectos en la salud humana y riesgos ambientales de los fungicidas identificados en la cuenca</i>	102
Tabla 30 <i>Efectos negativos a la salud humana y al ambiente por herbicidas</i>	112
Tabla 31 <i>Consejos para minimizar los riesgos por exposición a plaguicidas</i>	120
Tabla 32. <i>Propuestas de acciones para reducir el impacto negativo de los plaguicidas en la cuenca del río Los Esclavos</i>	123
Tabla 33 <i>Propuestas de divulgación de resultados relacionados con la presente investigación</i>	129

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Cuenca Rio Los Esclavos</i>	12
Figura 2 <i>Porcentaje de los tipos de plaguicidas empleados en la cuenca del Río los Esclavos</i> . .	60
Figura 3 <i>Ingredientes activos de insecticidas clasificados por grupos químicos</i>	61
Figura 4 <i>Ingredientes activos de fungicidas clasificados por grupos químicos</i>	67
Figura 5 <i>Ingredientes activos de herbicidas clasificados por grupos químicos</i>	73



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

1. Resumen

La presente investigación caracterizó el uso de plaguicidas químicos agrícolas en la cuenca del río Los Esclavos, donde el uso intensivo de plaguicidas ha sido señalado como uno de los factores que afectan de manera negativa el ambiente, los ecosistemas acuáticos y la salud humana. El estudio identificó los principales cultivos manejados de forma convencional dentro de la cuenca, así como las plagas insectiles que generaban mayor dependencia del plaguicidas. Para ellos, se recopiló información mediante análisis geoespacial, revisión bibliográfica y entrevistas aplicadas a agricultores, extensionistas, epidemiólogos del MAGA, personal de agroservicios, instituciones ambientales y centros de salud. Los resultados mostraron que los cultivos de mayor relevancia por su extensión y demanda de plaguicidas es el maíz, café, frijol, tomate, chile, caña de azúcar y sandía, distribuidos a lo largo de la cuenca. Se registraron las principales plagas por cultivo y se elaboró un listado de los ingredientes activos utilizados en la región, entre los que destacan insecticidas, fungicidas y herbicidas pertenecientes a diversos grupos químicos, algunos de ellos catalogados como altamente peligrosos o prohibidos en otros países. Asimismo, se estimaron las dosis, temporalidad y formas de aplicación utilizados por los productores, evidenciando variaciones entre las recomendaciones de los agroservicios, la dosis del panfleto y aquellas aplicadas en campo. La información recopilada permitió identificar prácticas que podrían incrementar los riesgos de contaminación del agua, afectación de los organismos acuáticos, exposición humana a riesgos crónicos y agudos. Los actores clave señalaron impactos ambientales como contaminación de fuentes de agua, mortandad de animales, disminución de polinizadores y degradación de suelos, mientras que en los centro de salud reportan casos de intoxicación aguda, afecciones dérmicas, respiratorias y posibles problemas crónicos asociados al uso de plaguicidas. Finalmente se, proponen acciones orientadas a reducir los impactos negativos de los plaguicidas dentro del marco del manejo integrado de cuencas, incluyendo procesos de capacitación, medidas de regulación, fortalecimiento institucional, divulgación y promoción de prácticas agrícolas más seguras y sostenibles.

Palabras clave: Plaguicidas, Toxicología, Ecotoxicología, Manejo integrado de cuenca.

Abstract



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

This research characterized the use of agricultural chemical pesticides in the Los Esclavos River basin, where intensive pesticide use has been identified as a factor negatively impacting the environment, aquatic ecosystems, and human health. The study identified the main conventionally managed crops within the basin, as well as the insect pests that generated the greatest dependence on pesticides. Information was gathered through geospatial analysis, a literature review, and interviews with farmers, extension agents, epidemiologists from the Ministry of Agriculture, Livestock and Food (MAGA), agricultural service personnel, environmental institutions, and health centers.

The results showed that the most significant crops, due to their acreage and pesticide demand, are corn, coffee, beans, tomatoes, chili peppers, sugarcane, and watermelon, distributed throughout the basin. The main pests were recorded for each crop, and a list of the active ingredients used in the region was compiled. These included insecticides, fungicides, and herbicides from various chemical groups, some of which are classified as highly hazardous or prohibited in other countries. The dosages, timing, and application methods used by producers were also estimated, revealing variations between the recommendations of agricultural service providers, the dosages in the information leaflet, and those applied in the field. The information gathered allowed for the identification of practices that could increase the risks of water contamination, harm to aquatic organisms, and human exposure to chronic and acute risks.

Key stakeholders pointed to environmental impacts such as contamination of water sources, animal mortality, a decrease in pollinators, and soil degradation, while health centers reported cases of acute poisoning, skin and respiratory conditions, and potential chronic problems associated with pesticide use. Finally, actions are proposed to reduce the negative impacts of pesticides within the framework of integrated watershed management, including training programs, regulatory measures, institutional strengthening, dissemination, and promotion of safer and more sustainable agricultural practices.

Keywords: Pesticides, Toxicology, Ecotoxicology, Integrated watershed management



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

2. Introducción

Esta investigación es continuación del estudio **AP8CU-2021**, titulado “*Propuesta de modelo para la gestión integrada del recurso hídrico de la Cuenca del Río Los Esclavos*”, finalizado durante el primer trimestre del 2022.

En la cuenca los Esclavos, el uso de plaguicidas es elevado. Predominando la agricultura convencional donde el uso de insecticidas, fungicidas y herbicidas se convirtió en una actividad común. Sin embargo, existe un desconocimiento respecto a las moléculas disponibles actualmente en el mercado, las plagas que generan el mayor dependencia de plaguicidas, así como sobre las dosis empleadas recomendada por los fabricantes, las formas de aplicación y los efectos de toxicidad aguda y crónica que dichos productos generan en la población.

Aunque existen estudios a nivel de cuencas en Guatemala, por ejemplo, investigaciones sobre la presencia de plaguicidas en el Lago de Atitlán (Cifuentes et al., 2020) o sobre contaminación de pesticidas en aguas de cultivos hidropónicos (Toj Juárez, 2024), no existe información que documente de manera específica el uso de plaguicidas en la cuenca del Río los Esclavos

Por ello, el objetivo principal de esta investigación fue: Caracterizar el uso de plaguicidas químicos agrícolas en la Cuenca del Río Los Esclavos, y sus posibles impactos a la salud humana y el ambiente. El recurso hídrico de la cuenca es vital, ya que sustenta el consumo humano como la producción agrícola. Según Soto Rosales (2018), se han detectado cinco parámetros no aptos para la calidad del agua, además de un sobreuso de la tierra del 38.41%, debido a la sobreexplotación del suelo en relación con su capacidad de uso. En el ambiente social e institucional, también se ha identificado la ausencia de compromiso por conocer y enfrentar las problemáticas que actualmente afectan a la cuenca.

La información exhaustiva que se ha generado con esta investigación resulta esencial, ya que hasta ahora porque es inexistente. Los hallazgos permitirán diseñar propuestas y acciones orientadas a reducir los impactos negativos en la salud humana y el ambiente. Asimismo, servirán de base para impulsar nuevas líneas de investigación en la cuenca y contribuir a la disminución de la contaminación del recurso hídrico.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

3. Contexto de la investigación

El área de estudio comprende la cuenca del Río Los Esclavos, cuya extensión territorial es de aproximadamente 230,625 ha y abarca cuatro departamentos: Santa Rosa (78.19%), Jutiapa (11.13%), Guatemala (6.52%) y Jalapa (4.15%), tal como puede observarse en la Figura 1. Para el año 2016, esta cuenca tenía una cobertura forestal del 11.8% y para el 2010, el principal uso de la tierra eran los sistemas agrícolas (45.37%), seguido de pastizales (23%), vegetación arbustiva baja (15.77%) y bosque (11.93%) (Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra [GIMBOT], 2014). El departamento de Santa Rosa comprende 12 municipios; Jutiapa, siete municipios; Guatemala, tres municipios; y Jalapa, también tres municipios, abarcado en total 664 poblados entre cabeceras municipales, aldeas y caseríos, que forman parte de la cuenca del Río los Esclavos.

La cuenca se ubica en la vertiente del Pacífico. El cauce principal es el Río Los Esclavos, pero presenta afluentes como el río San Antonio, río los Achiotes, río Las Cañas, río Las Margaritas, entre otros. La precipitación media anual es de 1,514 mm/año; la temperatura en la parte alta de la cuenca varía en promedio entre 13°C y 20°C; en la parte media, entre 20°C y 23°C; y en la parte baja, entre 26°C y 28°C. Existe una variación de altitudinal que influye en la temperatura: la parte alta de la cuenca se ubica a 2,400 msnm en el departamento de Jalapa, mientras que en la parte baja se localiza en el departamento de Santa Rosa a 0 msnm. En términos generales, la temperatura mínima oscila entre 13°C y 20°C, y la máxima entre los 20° y 36°C. (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático [ICC], 2012; Soto Rosales, 2018).

Aunque la presente investigación se realizó con información obtenida de productores agrícolas, agroservicios, instituciones gubernamentales como municipalidades, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Asociación Nacional del Café, centros de salud, entre otros, se reconoce que sus resultados son de beneficio para todas la población que habita dentro de la cuenca, enfatizando que constituye la fuente principal del recurso hídrico de la región, vital para la población, la agricultura y otras actividades económicas como la producción pecuaria y la generación de energía eléctrica.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

3.1. Delimitación en tiempo

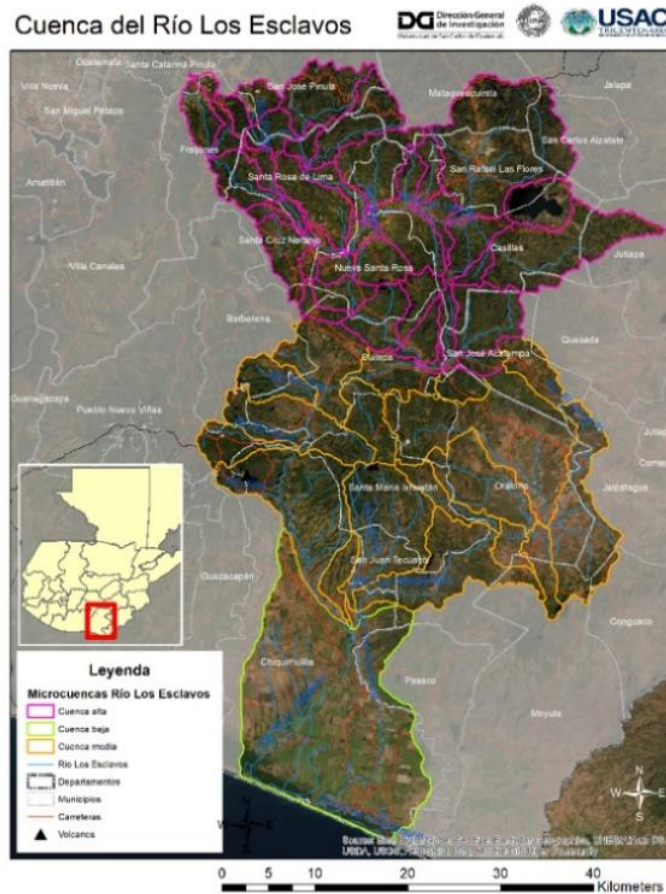
La propuesta se realizó en once meses de ejecución, iniciado de febrero de 2024 a diciembre del mismo año.

3.2. Delimitación espacial

La delimitación espacial del estudio se llevó a cabo en la cuenca del Río Los Esclavos, cuya extensión territorial es de aproximadamente 230,625 ha y abarca cuatro departamentos: Santa Rosa (78.19%), Jutiapa (11.13%), Guatemala (6.52%) y Jalapa (4.15%), tal como puede observarse en la Figura 1.

Figura 1.

Cuenca Río Los Esclavos





Informe final de Proyecto de Investigación 2024

4. Revisión de literatura

4.1. Plaguicidas agrícolas

La palabra plaguicida es un término muy amplio, por lo que, para especificarlo, pueden ser categorizado de distintas formas (Abubakar et al., 2020; Campanale et al., 2021; Cotto Guzmán, 2012; Rani et al., 2021):

1. Por su aplicación:

- Agrícolas: para proteger cultivos
- Salud pública: para erradicar vectores causantes de enfermedades
- Domésticos; para uso en el hogar.

2. Según el organismo meta:

- Insecticidas
- Herbicidas
- Fungicidas
- Rodenticidas

3. Por su fuente de origen:

- Orgánicos naturales
- Inorgánicos
- Sintéticos
- Biológicos

4. Por su naturaleza química:

- Organoclorados
- Organofosforados
- Carbamatos
- Piretroides
- Fenilamidas
- Fenoxialconatos
- Triazines
- Derivados del ácido benzoico
- Benzonitrilos



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Derivados de ftalimida

En cuanto a los plaguicidas químicos, cabe destacar los siguientes (Cotto Guzmán, 2012): los organofosfatos, que atacan el sistema nervioso de organismos diana y suelen ser insecticidas poco persistentes en el ambiente; los organoclorados, que presentan alta acumulación en tejidos y son persistentes en el ambiente; los carbamatos, que no se acumulan en tejidos, pero también afectan el sistema nervioso; y los piretroides, insecticidas de origen sintético que actúan principalmente sobre sistema nervioso.

En términos generales, los plaguicidas agrícolas son cualquier sustancia o mezcla, de origen orgánico e inorgánico que es utilizada para controlar, prevenir o destruir plagas que puedan dañar la producción o almacenamiento de cultivos (Zacharia, 2011).

Sin embargo, el uso excesivo e indiscriminado de plaguicidas ha llevado a que muchos de ellos sean clasificados como tóxicos, bioacumulativos, persistentes en el ambiente, con capacidad de alterar las propiedades fisicoquímicas de suelos y aguas, causando graves efectos en la salud humana, en otros organismos vivos y en ecosistemas completos (Asela et al., 2014; Campanale et al., 2021).

4.2. Plaguicidas en el ambiente

Los mecanismos por los cuales los plaguicidas alcanzan cuerpos de aguas son:

- a) Aplicación directamente en cuerpos acuáticos para tratar plagas, como el uso de insecticidas para el control de vectores o herbicidas para el control de malezas acuáticas (Asela et al., 2014).
- b) Movimiento y solubilidad: son propiedades fisicoquímicas que determinan la movilidad de un plaguicida. La solubilidad es la capacidad de disolverse fácilmente en el agua de lluvia o riego, lo que permite movilizarse con facilidad en los cuerpos de agua superficiales o subterráneos. Productos con alta solubilidad presentan mayor movilidad y riesgo de contaminación y aquellos con baja solubilidad tienden a permanecer en el suelo permitiendo persistir por largos periodos (Asela et al., 2014).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- c) Infiltración, percolación y lixiviación hacia acuíferos: La infiltración es el proceso por el cual el agua superficial penetra en el suelo, el plaguicida que es dirigido para plagas puede penetrar en tierras agrícolas al perfil del suelo. La percolación se genera al momento que existe un movimiento descendente en el agua facilitando el movimiento de partículas de las moléculas de los plaguicidas a aguas subterráneas (de Souza et al., 2020).
- d) Escurrimiento superficial, favorecida por lluvias intensas tras aplicaciones o por fugas de equipos de aplicación, generando que el agua no se infiltra en el suelo, pero puede fluir sobre aguas terrestres arrastrando los plaguicidas a cuerpos de aguas superficiales como ríos, lagos, arroyos y lagunas (de Souza et al., 2020).
- e) Aplicación aérea sobre los cultivos, permite que existe una dispersión por deriva debido al viento, generando aplicaciones no intencionales en áreas habitadas, cuerpos de aguas y cultivos no deseados provocando exposición humana, intoxicaciones agudas, contaminación del suelo y fuentes de agua (Syafrudin et al., 2021).
- f) Descarga de aguas residuales vinculadas a la producción de plaguicidas, provocada por grandes industrias que descargan a cuerpos de agua superficiales o subterráneas, agua que no son tratadas antes de su descarga causando contaminación, afectando vida acuática, bioacumulación de contaminantes en cadenas tróficas y acumulación de moléculas que generan persistencia en suelo, situaciones anteriores pueden generar riesgo en la salud humana por la exposición de aguas contaminadas que puede causar intoxicación crónica y aguda (Syafrudin et al., 2021).
- g) Descargas del lavado de equipos empleados en el proceso de aplicación de plaguicidas que pueden generar riesgo ambiental por la deposición en lugares inadecuados contaminando suelo y agua. Riesgo en la salud humana por exposición por la exposición directa por la manipulación de residuos principalmente si no existe protección (Rani et al., 2021).
- h) Inadecuada disposición y manejo de recipientes de plaguicidas, específicamente riesgo ambiental por la acumulación de residuos físicos como envases que pueden generar liberación de compuestos tóxicos que generan contaminación de suelos y agua. Y riesgo



Informe final de Proyecto de Investigación 2024
en la salud humana por la reutilización de envases para el almacenamiento de agua y
alimentos (Barneond, 1995).

4.3. Plaguicidas como contaminantes del agua

Los principales plaguicidas utilizados en la agricultura a nivel global son herbicidas, fungicidas e insecticidas. De estos, los que presentaron mayor concentración en agua dulce a nivel mundial durante el período del 2012 a 2019 fueron:

- a) Herbicidas: atrazina y metalocloro.
- b) Fungicidas: tebuconazol y carbendazín.
- c) Insecticidas: dimetoato y clorpirifós.

Cabe resaltar que la mezcla de plaguicidas se registra comúnmente en muestras de agua superficial a nivel global y puede tener efectos más significativos que los plaguicidas empleados de forma independiente, ya que pueden generar efectos aditivos y sinérgicos (de Souza et al., 2020).

La principal fuente de contaminación superficial y de biota es la escorrentía generada por suelos mal drenados, así como el uso excesivo de plaguicidas. A ello se suma la existencia de vertederos ilegales en cuerpos de agua en zonas con alta concentración de parcelas agrícolas, además de la falta de conocimiento sobre los efectos negativos que estos productos pueden causar en el recurso hídrico (Tribunal de Cuentas Europeo, 2015).

La importancia de la contaminación acuífera radica en la acumulación de moléculas químicas debido a la persistencia de algunos ingredientes activos. Estas concentraciones se transfieren a los niveles más altos de la cadena alimenticia, lo que provoca una difusión en el sistema ecológico, principalmente por la pérdida de depredadores, lo que ocasiona un retardo en el crecimiento y causa problemas reproductivos. (Romero Nájera, 2024)

Según la Base de Datos de Plaguicidas de Centroamérica, existen POPs (Contaminantes Orgánicos Persistentes), los cuales se caracterizan por su elevada persistencia, ocasionando contaminación ambiental y recorriendo grandes distancias a través del agua. De esta forma, se establecen en regiones donde nunca fueron aplicados y tienen la capacidad de acumularse en los



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

tejidos de animales de gran tamaño o en los seres humanos que consumen agua contaminada, ingresando así en la cadena trófica (Castro López & Castillo Rodríguez, 2024).

Rani (2021) indica que la contaminación del agua por plaguicidas afecta de forma importante la integridad de los cuerpos hídricos debido a que:

- a) Reduce los niveles de oxígeno disuelto.
- b) Influye en diversos niveles tróficos, desde algas hasta peces.
- c) Disminuye el número de peces.
- d) Disminuye las tasas de reproducción en peces.
- e) Provoca intoxicación aguda en humanos por uso del agua.

En cuanto a las aguas subterráneas, su contaminación por plaguicidas se ha convertido en un problema a nivel global. Se considera que el mayor riesgo de exposición humana a estos compuestos es el contacto o la ingesta de agua. Un ejemplo de ello es la detección de 46 plaguicidas en aguas subterráneas y 76 en aguas superficiales en Estados Unidos, según la Agencia de Protección del Ambiente (Rani et al., 2021).

Otro efecto negativo de los plaguicidas, especialmente por sus mezclas, es el declive de poblaciones de polinizadores y las consecuencias que esto genera en la agricultura y los ecosistemas en general (Botías & Sánchez-Bayo, 2018).

Dado que el agua forma parte de los servicios ecosistémicos, es indispensable que mantenga bajos índices bajos de contaminación por plaguicidas, recordando que es vital para la mayoría de procesos biológicos e industriales, así como para la agricultura y el ser humano (Rani et al., 2021). Garantizar un suministro limpio y libre de contaminantes permite disponer de agua potable viable para el consumo humano, la industria. Además, favorece procesos como la meteorización de suelos, la generación de micronutrientes, la descomposición de materia orgánica, y contribuye a la reducción de intoxicaciones crónicas y agudas al ser humano. También se genera un servicio cultural como el ecoturismo en lugares donde antes no era posible debido a la contaminación de las fuentes de agua (Castro López & Castillo Rodríguez, 2024).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

4.4. Plaguicidas como generados de problemas en la salud humana

La presencia de plaguicidas en el ambiente, especialmente en ecosistemas acuáticos, provoca efectos adversos en organismos no diana, incluyendo a los humanos. Entre los principales efectos a la salud se encuentran: cáncer, diabetes, desórdenes respiratorios, reproductivos y neurológicos, trastornos en el sistema inmunológico, disfunción endocrina, estrés oxidativo y alteraciones cromosómicas. (de Souza et al., 2020; et al., 2018; Rani et al., 2021; Silveira-Gramont et al., 2018; Syafrudin et al., 2021).

Cabe resaltar que la exposición prolongada a bajas concentraciones de plaguicidas genera riesgos a la salud humana de tipo no carcinogénicos (Syafrudin et al., 2021).

4.5. Estudios de plaguicidas en Guatemala

Los estudios sobre plaguicidas en Guatemala pueden dividirse en tres categorías:

1. Efectos a la salud humana y salud ocupacional.
2. Efectos al ambiente.
3. Comportamiento de importaciones.

4.5.1. Estudios sobre salud humana y salud ocupacional

Uno de los primeros estudios realizados en Guatemala fue el de Olszyna-Marzys et al. (1973), en el cual niveles de DDT en leche materna por encima de los límites admisibles diarios establecidos por la FAO/OMS, debido al uso indiscriminado de este plaguicida en cultivos de algodón, erradicación de malaria y usos domésticos.

Durante la década del 2010, varios estudios analizan la salud ocupacional y exposición a plaguicidas, encontrándose que:

- Existe relación entre los departamentos con mayor ocupación agropecuaria y las tasas más altas de morbilidad por intoxicación por plaguicidas (Sam Colop, 2013).
- La intoxicación aguda por plaguicidas ocurrió mayoritariamente en jóvenes de 17 y 19 años, en su mayoría hombres, vinculados a accidentes laborales (68%). El plaguicida más frecuente en estos casos fue el paraquat (Pla Acevedo et al., 2015).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Para los departamentos de Suchitepéquez, Retalhuleu y Escuintla, entre 2012 y 2016 se registraron 59 muertes por intoxicación con plaguicidas organofosforados en trabajadores del sector agrícola (Espinoza Guzmán, et al., 2018).
- El país carece de registros oficiales sobre exposición ocupacional a sustancias químicas peligrosas en puestos de trabajo (Guzmán Quilo et al., 2013).
- Por otro lado, Winkler (2018) analizó la relación entre el cultivo de caña de azúcar, el uso de agroquímicos tóxicos y los impactos a la salud en Centroamérica, con énfasis en Guatemala, asociando este cultivo con el aumento epidémico de la enfermedad renal no tradicional, así como la falta de normativa nacional para regular el uso de agroquímicos peligrosos.

4.5.2. Estudios sobre efectos en el ambiente

Los estudios ambientales se han enfocado en:

- En el manejo de envases de plaguicidas y su impacto en fuentes de agua y suelo (Barneond, 1995).
- La identificación de plaguicidas peligrosos utilizados en el país (Leal, 2014).
- La cuantificación de plaguicidas en ecosistemas costero-marinos (Herrera & Silva Gavarrete, 2014).

4.5.3. Estudios sobre comportamiento en importaciones

En cuanto a las importaciones, se ha documentado que:

- Guatemala es el mayor importador de plaguicidas de Centroamérica. Entre 2005 y 2009, la región importó 353 ingredientes activos, con un promedio anual de 39,000 toneladas, principalmente fungicidas (ditiocarbamatos y fenoxiácidos) y herbicidas (fosfonglicinas y bipiridilos). Del total de plaguicidas peligrosos importados, el 27% presentó toxicidad aguda alta a extrema, 35% mostró dos o más efectos tóxicos de moderados a severos, y el 47% presentó cuatro o más efectos crónicos (Bravo-Durán et al., 2015).
- En 2015 se importaron 16,119 toneladas de plaguicidas sólidos y 23.04 millones de litros de plaguicidas líquidos (INE, 2016).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Las importación de agroquímicos en Guatemala han aumentado entre 2005-2013, influenciadas por los paquetes tecnológicos de cultivo y por epidemias agrícolas, como el caso de la roya del café, que incremento la importación de fungicidas (Ajquejay Ajsivinac, 2015).

Finalmente, la Tabla 1 sintetiza la información específica sobre los estudios de investigaciones relacionadas con plaguicidas en Guatemala disponibles en internet.

Tabla 1

Listado de estudios sobre plaguicidas en elaborados en Guatemala

Título	Categoría	Año	Fuente Bibliográfica
Residuos de plaguicidas clorados en la leche humana en Guatemala.	Salud humana	1973	(Olszyna-Marzys et al., 1973)
Manejo de envases de plaguicidas: un estudio de caso en dos comunidades indígenas de Quetzaltenango.	Plaguicidas y ambiente	1995	(Barneond, 1995)
Intoxicación aguda por plaguicidas en Guatemala: Análisis de la vigilancia epidemiológica del 2008-2009.	Salud humana	2013	(Sam Colop, 2013)
Perfil de salud ocupacional Guatemala	Salud ocupacional	2013	(Guzmán Quilo et al., 2013)
Plaguicidas agrícolas peligrosos utilizados en Guatemala. III Parte.	Plaguicidas y ambiente	2014	(Leal, 2014)
Intoxicación aguda por plaguicidas en edades pediátricas Guatemala, 2011.	Salud humana	2015	(Pla Acevedo et al., 2015)
Estimación del número de trabajadores expuestos a agentes carcinogénicos y plaguicidas seleccionados en Guatemala.	Salud ocupacional	2015	(Guzmán-Quilo et al., 2015)



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 1 (Continuación)

Título	Categoría	Año	Fuente Bibliográfica
Comportamiento de las importaciones de fertilizantes, plaguicidas formulados e ingredientes activos grado técnico del 2005 al 2013 en Guatemala C.A. y su relación con los principales cultivos y servicios realizados en el Departamento de Registro de Insumos Agrícolas –DRIA- de la Dirección De Sanidad Vegetal, Del Viceministerio De Sanidad Agropecuaria Y Regulaciones –VISAR– del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA–Guatemala, C.A.	Comportamiento de importaciones	2015	(Ajquejay Ajsivinac, 2015)
Importación de plaguicidas y peligros en salud en América Central durante el periodo 2005-2009.	Comportamiento de importaciones	2015	(Bravo-Durán et al., 2015)
Compendio estadístico ambiental	Comportamiento de importaciones	2016	(INE), 2016)
Agrotóxicos en el cultivo de la caña de azúcar y sus impactos en la salud humana	Salud humana	2018	(Winkler, 2018)
Mortalidad por intoxicación con plaguicidas organofosforados en trabajadores agrícolas	Salud ocupacional	2018	(Espinoza Guzmán et al., 2018)
Perfil de indicadores salud ocupacional y ambiental (PISOA) Guatemala	Salud ocupacional	2018	(Hernández de Baldetti et. al., 2015)



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 1 (Continuación)

Título	Categoría	Año	Fuente Bibliográfica
Evaluación de la contaminación por pesticidas Organoclorados y Organofosforados en el agua que se utiliza para la producción de productos hidropónicos en Guatemala, Guatemala	Plaguicidas y producción agrícola	2024	(Toj Juárez, 2024)

5. Planteamiento del problema

Los plaguicidas son ampliamente utilizados en las tierras agrícolas en muchos países, siendo los ecosistemas acuáticos los sumideros finales de estos compuestos y de otros contaminantes agrícolas (Mateo-Sagasta, 2017; Bashir et al., 2020). La elevada presencia de plaguicidas en los ecosistemas acuáticos constituye un problema serio que ha llamado cada vez más la atención a nivel global, ya que tienden a acumularse en los tejidos de organismos acuáticos y en los sedimentos, convirtiéndose en un riesgo tanto para los ecosistemas como para la salud humana (Syafudin et al., 2021).

Si bien los plaguicidas permiten incrementar la producción agrícola, no pueden dejarse a un lado sus efectos negativos en la calidad del agua, los suelos y la salud humana. Entre los principales efectos sobre la salud se encuentra el cáncer, los desórdenes reproductivos, la diabetes mellitus y los trastornos neurológicos (Rani et al., 2021). En cuanto a los ecosistemas, se ha documentado un aumento en la mortalidad y en la disminución de poblaciones de organismos como polinizadores, aves, peces, anfibios y mamíferos (Hashimi, et. al., 2020).

Para comprender mejor el riesgo que representa la exposición a plaguicidas agrícolas para los ecosistemas y para la salud humana, es indispensable contar con información actualizada y de calidad sobre los principales cultivos de una región, las plagas que los afectan, los montos, dosis y métodos de aplicación de los plaguicidas, así como el potencial efecto contaminante de estos compuestos en el ambiente y a la salud humana (Silveira-Gramont et al., 2018).

La presente investigación busca precisamente contribuir a este objetivo, proporcionando un primer acercamiento a la problemática del uso de plaguicidas, específicamente insecticidas en



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

la cuenca del Río Los Esclavos, donde actualmente no se dispone de esta información. Asimismo, corresponde a los gobiernos establecer las medidas necesarias para abordar la problemática del uso de plaguicidas (Asela et. al., 2014). En este sentido, el presente trabajo aporta con la propuesta de recomendaciones de manejo para la gestión integral de la cuenca del Río Los Esclavos, en relación con el manejo de plaguicidas agrícolas.

6. Objetivos

General

Caracterizar el uso de plaguicidas agrícolas en la cuenca del Río Los Esclavos.

Específicos

1. Identificar los principales cultivos de importancia agrícola y áreas cultivadas que utilizan un manejo convencional para el control de plagas ubicados dentro de la cuenca.
2. Enumerar las principales plagas que afectan a los cultivos de importancia agrícola con manejo convencional dentro de la cuenca.
3. Determinar los plaguicidas agrícolas utilizados en los principales cultivos de importancia agrícola, dentro de la cuenca.
4. Estimar dosis y formas de aplicación de los plaguicidas agrícolas empleados en los cultivos de importancia agrícola dentro de la cuenca.
5. Describir los posibles impactos ambientales y a la salud humana de los plaguicidas agrícolas empleados.
6. Proponer acciones que permitan reducir el impacto negativo de los plaguicidas agrícolas en relación a un manejo integrado de la cuenca.

7. Hipótesis

No Aplica



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

8. Método

La caracterización del uso de plaguicidas en la cuenca se llevó a cabo a partir de información primaria que fue obtenida de actores primarios locales, así como de la revisión de literatura y del análisis de capas de información geográfica proporcionadas por instituciones como el MAGA y ANACAFÉ. La Tabla 2 presenta los métodos, técnicas e instrumentos utilizados durante la investigación, organizados y detallados según cada objetivo específico planteado en el estudio.

Tabla 2

Métodos, técnicas e instrumentos a utilizados por objetivo específico

Objetivos específicos	Métodos, técnicas, instrumentos
<p>1. Identificar los principales cultivos de importancia agrícola y áreas cultivadas que utilizan un manejo convencional para el control de plagas, malezas y enfermedades, ubicados dentro de la cuenca.</p>	<p>i. Se realizó un análisis geoespacial mediante sistemas de información geográfica (SIG) para identificar los principales cultivos de importancia agrícola, utilizando mapas de cobertura vegetal del MAGA (2022) y mapas de cobertura de café de ANACAFÉ (2024).</p> <p>ii. Se efectuó un análisis bibliográfico con énfasis en documentos el MAGA, ANACAFÉ, INAB, SEGEPLAN y FASAGUA cuya búsqueda principal se orientó a los cultivos predominantes en los municipios de la cuenca.</p> <p>iii. Se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas que permitieron verificar la información obtenida a partir de los mapas. Los actores claves incluyeron extensionistas y epidemiólogos del MAGA, así como encargados de las oficinas municipales de asuntos agrícolas en los distintos municipios que conforman la cuenca. El cuestionario aplicado constó de seis preguntas abiertas. (ver Apéndice 4). Estas entrevistas se realizaron por municipio.</p>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 2 (Continuación)

Objetivos específicos	Métodos, técnicas, instrumentos
	<p>con excepción de aquellos que representaban menos del 5% de cobertura en la cuenca. En total, se visitaron 21 municipios.</p> <p>iv. Se llevó a cabo una verificación de información en campo, principalmente resolver dudas surgidas del análisis de los mapas de cobertura vegetal y la información proporcionada por los actores clave. Para ello, se seleccionaron puntos específicos en los mapas y se realizaron visitas a los sitios, en algunos casos con el apoyo de los actores claves en el proceso de la validación</p> <p>v. Se desarrolló trabajo de gabinete en el que se analizó la información obtenida tanto de los mapas como de las entrevistas realizadas. Como resultado, se elaboraron los mapas de cobertura vegetal de la cuenca, listados de cultivos con su extensión, así como un listado que detalla el uso de la tierra para áreas sin presencia de cultivos agrícolas.</p>
<p>2. Enumerar las principales plagas que afectan a los cultivos de importancia agrícola con manejo convencional dentro de la cuenca.</p>	<p>i. Se realizó un análisis bibliográfico a partir de instituciones clave que desempeñan un papel fundamental en la sanidad vegetal en Guatemala y que cuentan con listados de plagas claves presentes en el país, tales como MAGA, FASAGUA, CENGICAÑA, ANACAFE, INAB y MOSCAMED. A partir de esta información, se identificaron las tres principales plagas insectiles primarias de los cultivos de importancia</p>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 2 (Continuación)

Objetivos específicos	Métodos, técnicas, instrumentos
	<p>agrícola, cuyo control principal se basa en la aplicación de insecticidas químicos.</p> <p>Se realizaron entrevistas semiestructurada que contenían 11 preguntas (ver Apéndice 4) dirigidas a agricultores, extensionistas y epidemiólogos del MAGA. Estas entrevistas permitieron enriquecer el listado generado en el proceso anterior también permitió rectificar la información obtenida, el cual se llevó a cabo en 21 municipios.</p> <p>ii. Se realizó trabajo de gabinete para analizar la información recopilada, a partir de la cual se elaboraron listados de las plagas claves en los cultivos de la cuenca.</p>
<p>3. Determinar los plaguicidas agrícolas utilizados en los principales cultivos de importancia agrícola, dentro de la cuenca.</p>	<p>i. Se realizó una recolecta de información de agropecuarias de mayor impacto en 21 municipios, donde se proporcionó un listado de plaguicidas agrícolas disponibles para la venta. En aquellos casos en los que no se entregó el listado, se recopilaron panfletos de los plaguicidas comercializados.</p> <p>ii. Se realizó trabajo de gabinete en el cual se elaboró un listado de ingredientes activos a partir de los plaguicidas obtenidos en el inciso anterior.</p> <p>iii. Se efectuó una revisión de literatura en las páginas de los comités mundiales de resistencia a plaguicidas: el <i>Insecticide Resistance Action Committee</i> (IRAC) (https://irac-online.org/), el <i>Fungicide Resistance Action Committee</i> (FRAC) (https://www.frac.info/) y el <i>Herbicide Resistance Action Committee</i> (HRAC)</p>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 2. (Continuación)

Objetivos específicos	Métodos, técnicas, instrumentos
<p>4. Estimar de dosis y formas de aplicación de los plaguicidas agrícolas empleados en los cultivos de importancia agrícola dentro de la cuenca.</p>	<p>(https://www.hracglobal.com/). De estas fuentes se obtuvo el grupo químico y el mecanismo de acción de cada uno de los plaguicidas enlistados en el inciso anterior.</p> <p>iv. Se realizaron entrevistas semiestructuradas a agricultores seleccionados con el propósito de verificar si existía algún plaguicida que no estuviera incluido en el listado generado a partir de la información de los agroservicios. La encuesta aplicada fue la misma utilizada en el objetivo 2.</p> <hr/> <p>i. Se realizaron entrevistas libres en los agroservicios con el objetivo de conocer las dosis recomendadas por ellos para cada uno de los ingredientes activos comercializados. La pregunta clave fue <i>¿Qué dosis recomienda para ...?</i></p> <p>ii. Se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas a agricultores seleccionados, extensionistas y epidemiólogos del MAGA, en las cuales se identificaron las dosis y formas de aplicación de los plaguicidas previamente registrados. Para este fin se utilizó la misma encuesta aplicada en el objetivo 2.</p> <p>iii. Se revisaron panfletos y páginas web de las casas comerciales con el propósito de identificar dosis y formas de aplicación recomendadas por los fabricantes.</p> <p>iv. Se desarrolló trabajo de gabinete en el que se generaron listados de dosis y formas de aplicación correspondientes</p>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 2. (Continuación)

Objetivos específicos	Métodos, técnicas, instrumentos
	al conjunto de ingredientes activos obtenidos en los incisos anteriores.
	<p>i. Se realizó un análisis bibliográfico de los registros sobre los impactos negativos ocasionados por los plaguicidas enlistados en el objetivo 3, específicamente en el ambiente y la salud humana. Para ello se utilizó el Manual de Plaguicidas de Centroamérica, del Instituto Regional de Estudios de Sustancias Tóxicas (IRET), de la Universidad Nacional de Costa Rica (http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/), con el propósito de conocer los impactos negativos reportados en la región.</p>
<p>5. Describir los posibles impactos ambientales y a la salud humana de los plaguicidas agrícolas empleados.</p>	<p>ii. Se llevaron a cabo entrevistas semiestructurada dirigidas a agricultores, extensionistas, epidemiólogos del MAGA y encargados de oficinas municipales de asuntos agrícolas, en las cuales se describieron y manifestaron los principales problemas generados por el uso de plaguicidas, tanto en el ambiente como en la salud humana. Para este fin, se utilizó una encuesta con siete preguntas abiertas. (ver Apéndice 4)</p> <p>iii. Se realizaron entrevistas semiestructuradas al personal de los puestos de salud, donde se identificaron problemas específicos relacionados con el uso de plaguicidas en la salud humana, particularmente en la región delimitada. También se utilizó una encuesta con siete preguntas abiertas. (ver Apéndice 4)</p>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 2 (Continuación)

Objetivos específicos	Métodos, técnicas, instrumentos
<p>6. Proponer acciones que permitan reducir el impacto negativo de los plaguicidas agrícolas en relación a un manejo integrado de la cuenca.</p>	<p>iv. Se efectuaron entrevistas libres al personal de instituciones ambientales y de agua activas en la región: INAB y Comisión Diocesana de Defensa de la Naturaleza. A través de ellas se obtuvo información sobre los problemas ambientales derivados del uso de los plaguicidas.</p>
	<p>v. Se desarrolló trabajo de gabinete en el que se elaboró un listado de los principales problemas identificados.</p>
	<p>i. Se realizo un análisis bibliográfico sobre las acciones implementadas Guatemala y en otros países para disminuir el impacto negativo de los plaguicidas.</p>
	<p>ii. Se llevó a cabo un análisis de la información obtenida en las entrevistas realizadas en los métodos del objetivo 5, lo cual permitió generar y proponer acciones para la reducción de impactos negativos.</p>

9. Tipo de investigación

Esta es una investigación cualitativa básica la cual describió e identifico los plaguicidas utilizados en la cuenca del Río Los Esclavos. Aunque se presentan algunos datos numéricos, estos únicamente describen áreas o dosis. La finalidad fue generar información útil para el desarrollo de investigaciones experimentales a futuro. Se trata de un estudio de base que podrá ser empleado en la formulación de estrategias para el uso racional de plaguicidas en la cuenca, con el objetivo de evitar desequilibrios en los ecosistemas acuáticos, la contaminación del agua y la disminución de los efectos negativos en la salud humana.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

9.1. Enfoque y alcance de la investigación.

La investigación tuvo un enfoque cualitativo e inductivo, lo que permitió comprender de manera más amplia la problemática del uso de plaguicidas dentro de la cuenca del Río Los Esclavos. Este enfoque servirá como base para futuros estudios cuantitativos sobre el uso específico de ciertos ingredientes activos en la cuenca.

9.2. Población, muestra y muestreo.

Se utilizó un muestreo dirigido por afinidad, también conocido como muestreo conveniencia. Antes de realizar las entrevistas semiestructuradas o diálogos con los actores clave, se explicó en qué consistía la investigación, cuáles eran sus objetivos y solicitó su autorización y consentimiento para participar en el estudio. Los actores claves fueron los siguientes:

- Agricultores: Se seleccionaron agricultores entre 35 y 60 años de edad que utilizaran control químico para el manejo de sus plagas, con al menos 5 años de experiencia en la producción de cultivos destinados principalmente a la venta y no a la subsistencia. Para las entrevistas se eligieron al menos dos agricultores por cultivo en cada municipio. La identificación de estos se realizó con el apoyo de extensionistas, encargados de oficinas municipales de asuntos agrícolas, epidemiólogos, quienes facilitaron la selección de productores que cumplieran con el perfil requerido.
- Extensionistas del MAGA: Cada municipio cuenta con extensionistas. Las entrevistas se realizaron específicamente a ellos; en los casos en los que había más de uno, se entrevistó al que estuviese presente en el momento de la visita.
- Epidemiólogos del MAGA: Cada departamento tiene asignado un epidemiólogo, considerado un actor clave en la investigación.
- Encargados de oficinas municipales de asuntos agrícolas: Cada municipalidad cuenta con una oficina de asuntos agrícolas o ambientales. Se entrevistó al encargado o el trabajador de turno como actor clave en cada municipio.
- Agroservicios: Para su selección, los extensionistas y encargados de las oficinas municipales recomendaron la tienda agropecuaria más grande y con mayor distribución en cada municipio, la cual fue tomada como referencia principal.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Personal de instituciones clave: Se estableció contacto con instituciones como INAB, ANACAFÉ, MOSCAMED, FASAGUA y la Comisión Diocesana de Defensa de la Naturaleza. Cada institución designó a una persona, quien fue entrevistada para obtener un acercamiento directo.
- Centros de Salud: Fueron visitados el 100% de los centros de salud de los municipios que conforman la cuenca.

9.3. Técnicas

Los instrumentos y técnicas empleadas se detallan en el inciso 8, donde se explica la metodología utilizada en función de cada objetivo y el procedimiento seguido para la obtención los resultados. Asimismo, en los anexos se presentan las entrevistas aplicadas como parte del desarrollo de la investigación.

9.4. Resumen de las variables o unidades de análisis

La Tabla 3 detalla las variables o unidades de análisis obtenidas durante la investigación. Asimismo, la tabla las clasifica según el objetivo específico al que corresponden y de acuerdo con su tipo de medición, clasificación o cualificación.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 3

Variables o unidades de análisis clasificadas por objetivo específico y tipo de medición, clasificación o cualificación

Objetivo Específico	Variable/unidad de análisis	Medición, Clasificación, cualificación.
1. Identificar los principales cultivos de importancia agrícola y áreas cultivadas que utilizan un manejo convencional para el control de plagas, malezas y enfermedades, ubicados dentro de la cuenca.	Cultivos de importancia agrícola con manejo convencional de plagas.	Se genero un listado de los principales cultivos, clasificados según su extensión territorial en la cuenca.
2. Enumerar las principales plagas y enfermedades que afectan a los cultivos de importancia agrícola con manejo convencional dentro de la cuenca	Plagas insectiles por cultivo.	Plagas clave agrupadas por cultivo e importancia según los agricultores.
3. Determinar los plaguicidas agrícolas utilizados en los principales cultivos de importancia agrícola, dentro de la cuenca.	Plaguicidas (ingredientes activos -i.a-) empleados en cultivos de importancia agrícola con manejo convencional de plagas.	Listado de plaguicidas (ingrediente activo) empleados en los cultivos, clasificados según: <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de plaguicida - Grupo químico.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 3 (Continuación)

Objetivo Específico	Variable/unidad de análisis	Medición, clasificación, cualificación.
4. Estimar dosis, cantidades y formas de aplicación de los plaguicidas agrícolas empleados en los cultivos de importancia agrícola dentro de la cuenca.	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de plaguicidas empleados. - Dosis de los plaguicidas empleados. - Temporalidad del uso de plaguicidas. - Formas de aplicación de los plaguicidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dosis recomendada por plaguicida. - Temporalidad: época del año en que se utiliza el plaguicida. - Formas de aplicación: <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación a semillas. • Tratamientos vía riego. • Aplicación por cebos. • Pulverización. • Fumigación. • Aplicación vía suelo. • Otras que surjan de las entrevistas.
5. Describir los posibles impactos ambientales y a la salud humana de los plaguicidas agrícolas empleados.	<ul style="list-style-type: none"> - Impactos a la salud humana. - Impactos a los ecosistemas acuáticos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Listados y descripción de impactos a la salud humana y al ambiente encontrados en el área de investigación.
6. Proponer acciones que permitan reducir el impacto negativo de los plaguicidas agrícolas en relación a un manejo integrado de la cuenca.	<p>Acciones para la reducción de impactos negativos.</p>	<p>Listado de acciones orientadas a reducir los impactos negativos en la cuenca del Río Los Esclavos con miras a un Manejo Integrado de la Cuenca.</p>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

9.5. Procesamiento y análisis de la información.

9.5.1. Cultivos de importancia agrícola

El análisis de la información sobre los cultivos en la cuenca se realizó mediante el procesamiento de capas oficiales del MAGA y ANACAFÉ, sobre cobertura vegetal, empleando el software de licencia abierta QGIS, para análisis de Sistemas de Información Geográfica (SIG). En los casos en que fue necesaria la verificación de sitios con duda, se emplearon imágenes satelitales de acceso gratuito y alta definición (Google Earth).

La información recopilada en la investigación documental fue sistematizada en una base de datos en Excel donde fue clasificada por municipio. Para la entrevista a actores clave se empleó la Encuesta No. 1 (ver Apéndice 4), específica para verificar y confirmar los datos del objetivo 1. Se realizaron 45 encuestas, las cuales fueron introducidas en formularios de Google Forms, generando una base de datos en Excel que fue de utilidad la elaborar las tablas presentadas en este informe.

9.5.2. Plagas insectiles de cultivos de importancia agrícola con manejo convencional

La información recopilada en la investigación documental fue sistematizada en una base de datos en Excel, donde la información fue clasificada en plagas principales por cultivos. Para la entrevista a actores clave se utilizó la encuesta No. 2 (ver Apéndice 4), con la cual se obtuvieron datos para los objetivos 2, 3 y 4. Se realizaron 100 entrevistas a agricultores y 24 a extensionistas y epidemiólogos. Estas fueron ingresadas en formularios de Google Forms, donde se generó una base de datos en Excel que fue de utilidad para elaborar las tablas presentadas en este informe.

9.5.3. Plaguicidas agrícolas, dosis, temporalidad y forma de aplicación

De la información obtenida en los agroservicios, los productos fueron ingresados en una base de datos en Excel que contenía ingrediente activo, dosis y forma de aplicación. De las 124 entrevistas realizadas, se utilizó la encuesta No. 2. Estas fueron ingresadas en formularios de Google Forms y posteriormente descargadas en Excel, donde se generaron tablas que fueron presentadas en este informe.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Para proponer acciones que permitieran disminuir los impactos negativos de los plaguicidas en la cuenca del río los Esclavos y orientarlas hacia un Manejo Integrado de Cuencas; se realizó un análisis global de toda la información obtenida, desarrollando un flujo lógico que permitió organizar los datos y generar acciones para la solución del problema.

9.5.4. Impactos negativos al ambiente y la salud humana

Para el análisis de impactos ambientales se realizaron 50 entrevistas utilizando la Encuesta No. 3 (ver Apéndice 4) dirigida a actores claves, y para los centros de salud se elaboraron 25 entrevistas con la Encuesta No. 4 (ver Apéndice 4). Estas fueron ingresadas de forma directa en una base de datos elaborada en Excel, de donde únicamente se extrajeron palabras clave, lo que permitió manipular la información con mayor facilidad.

9.5.5. Acciones que permiten mitigar los problemas ambientales y a la salud humana

De las Encuestas No. 3 y No. 4 se obtuvieron los datos correspondientes a la pregunta 6. Estos fueron ingresados en una base de datos en Excel, donde únicamente se colocaron palabras clave de las opiniones generadas por los actores clave, con la finalidad de identificar las acciones que ellos consideraban necesarias para la mitigación de los problemas. Dichas acciones fueron plasmadas en tablas en este informe.

10. Resultados y discusión

10.1. Principales cultivos de importancia agrícola y su extensión en la cuenca.

En la cuenca se identificaron los cultivos de importancia agrícola, entendidos como aquellos que generan alimentos, contribuyen a la sostenibilidad económica y producen biocombustibles, materia prima y otros productos o subproductos relevantes para la población (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2008). En esta



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

investigación se consideraron aquellos cultivos que, por su naturaleza, presentaban una mayor demanda en el uso de plaguicidas, incluyendo insecticidas, fungicidas y herbicidas.

Los cultivos identificados en la Cuenca del Río los Esclavos estaban distribuidos a lo largo de un gradiente altitudinal que va desde la parte alta, a los 2,400 msnm, hasta los 0 msnm en la parte baja. La cuenca tiene una extensión de 229,911.78 ha, según (MAGA, 2004), sin embargo, el mapa elaborado para este estudio reporta 230,590 ha (2,305.90 km²), lo que representó una diferencia de 678.22 ha.

Administrativamente, la cuenca abarcó territorios de cuatro departamentos, del total:

- Guatemala 6.52%, que incluía los municipios de Fraijanes, Santa Catarina Pinula y San José Pinula.
- Jalapa 4.15%, integrado por los municipios de Jalapa, Mataquescuintla y San Carlos Alzatate.
- Jutiapa 11.13%, comprendiendo los municipios de Conguaco, Jalpatagua, Jutiapa, Moyuta, Pasaco, Quesada y San José Acatempa.
- Santa Rosa 78.19%, incluía los municipios de Barberena, Casillas, Chiquimulilla, Cuilapa, Nueva Santa Rosa, Oratorio, Pueblo Nuevo Viñas, San Rafael Las Flores, Santa Cruz Naranjo, Santa María Ixhuatan, San Juan Tecuaco y Santa Rosa de Lima).

La Tabla 4 mostró que el 2.62% del total de la cuenca, equivalente a 6,064 ha, estuvo ocupado por centros poblados, los cuales incluían lotificaciones, zonas industriales, comercios, aeropuertos, explotaciones mineras y vertederos. Aunque el presente estudio se enfocó en la caracterización de la cobertura vegetal de la cuenca, fue importante reconocer que esta también presentó características sociales relevantes, entre ellas la presencia de centros poblados. Estos espacios desempeñaron un rol significativo en la dinámica ambiental de la cuenca, ya que influyeron directamente en la demanda de recursos naturales, el consumo de agua, la generación de desechos sólidos, la contaminación de cuerpos de agua y el incremento del riesgo asociado a actividades agrícolas, entre otros impactos (Rodríguez Martínez, 2004).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 4.

Área ocupada por centros poblados y categorías asociadas en la Cuenca del Río Los Esclavos

Uso del suelo	Área (km ²)	Área (ha)
Tejido urbano continuo	9.05	905
Tejido urbano discontinuo	37.43	3,743
Lotificaciones	0.17	17
Zonas industriales	7.83	783
Comercios y servicios	3.86	386
Aeropuertos	0.22	22
Zonas de extracción minera (canteras)	1.41	141
Escombreras, vertederos o rellenos sanitarios y plantas de tratamiento.	0.02	2
Instalaciones deportivas y recreativas	0.63	63
TOTAL	60.62	6,064

Nota. Datos procesados a partir de los mapas de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra a Escala 1:50,000 de la República de Guatemala, Año 2022, (DIGEGR,2022)

La Tabla 5 presentó el porcentaje de áreas con presencia de recursos hídricos en la cuenca, incluyendo playas, zonas inundadas, humedales con vegetación, ríos, lagos, lagunas y lagunetas. La identificación de estas áreas fue fundamental para una adecuada gestión ambiental, ya que permitió reconocer zonas vulnerables a la contaminación por plaguicidas, facilitó la planificación de monitoreos orientados a evaluar la persistencia de moléculas químicas y posibilitó la delimitación de zonas libres de contaminantes. Además, esta información resultó clave para el diseño e implementación de estrategias dirigidas a reducir impactos ambientales, especialmente sobre los cuerpos de agua, los cuales, además de constituir un recurso vital para la población, representan hábitats esenciales para múltiples especies (Rodríguez et al., 2013).

Del total de la cuenca, 3,250 ha correspondieron a áreas con recursos hídricos, lo que equivale aproximadamente al 0.14% de su extensión total.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 5.

Superficie de áreas con recursos hídricos en la Cuenca del Río Los Esclavos

Uso del suelo	Área (km ²)	Área (ha)
Playas, dunas o arenales	3.99	399
Zonas inundadas	2.31	231
Humedal con vegetación	2.21	221
Ríos	9.66	966
Lago, laguna o laguneta	14.33	1,433
TOTAL	32.5	3250

Nota. Datos procesados a partir de los mapas de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra a Escala 1:50,000 de la República de Guatemala, Año 2022, (DIGEGR,2022)

La Tabla 6 presenta la distribución de áreas de bosque, plantaciones forestales y árboles dispersos ubicados dentro de la cuenca, sumando un total de 20,485 ha, lo que corresponde al 8.83% de su superficie. Estas coberturas incluyeron bosque latifoliado, bosque de coníferas, bosque mixto, bosque de manglar, plantaciones forestales y áreas con árboles dispersos, todos fundamentales para la sostenibilidad ambiental y funcional de la cuenca. La presencia de estas áreas influye positivamente en la calidad de agua y la biodiversidad de fauna asociada. Entre sus funciones principales se encuentran la regulación del ciclo hidrológico, la reducción de escorrentía superficial, la facilitación de la infiltración del agua y la protección del suelo contra erosión. Además, contribuyen en la regulación climática local y generan beneficios económicos y sociales a la población. Estas áreas también desempeñan un papel clave en la protección de cuerpos de agua, actuado como barreras naturales frente a contaminantes como los plaguicidas químicos, al evitar que lleguen de forma directa a los sistemas hídricos (Llerena Pinto et al., 2007).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 6.

Superficie de áreas boscosas, plantaciones forestales y árboles dispersos en la Cuenca del Río Los Esclavos

Uso del Suelo	Área (km²)	Área (ha)
Bosque latifoliado	58.60	5,860
Bosque de coníferas	17.01	1,701
Bosque mixto	96.30	9,630
Bosque manglar	14.93	1,493
Plantaciones forestales	10.49	1,049
Árboles dispersos	7.52	752
TOTAL	204.85	20,485

Nota. Datos procesados a partir de los mapas de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra a Escala 1:50,000 de la República de Guatemala, Año 2022, (DIGEGR,2022)

La Tabla 7 presentó la cobertura de pastos, vegetación arbustiva y áreas con vegetación escasa presentes en la cuenca, la cual representa el 37.47% del área total, equivalente a 86,423 hectáreas. Estas coberturas desempeñan un papel importante en el control de erosión y de la escorrentía superficial, contribuyendo a limitar la pérdida de nutrientes del suelo y a reducir la sedimentación de moléculas de plaguicidas químicos. En algunos casos, su presencia puede ser indicativa de procesos de degradación ambiental, producto del sobrepastoreo, la deforestación o el uso intensivo del suelo con fines agrícolas. Estas zonas suelen ubicarse cerca de áreas cultivadas, por lo que pueden ser vulnerables al escurrimiento o deriva de plaguicidas aplicados en parcelas aledañas. Sin embargo, también presentan un alto potencial de fitorremediación, especialmente cuando funcionan franjas de amortiguamiento, ayudando a reducir el transporte de plaguicidas contaminantes hacia los cuerpos de agua (Rodríguez et al., 2013).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 7.

Superficie de pastos, vegetación arbustiva y áreas con vegetación escasa en la Cuenca del Río los Esclavos

Uso del suelo	Área (km ²)	Área (ha)
Pasto cultivado	7.30	730
Pasto natural	483.46	48,346
Vegetación arbustiva baja (matorral y/o guamil)	371.51	37,151
Espacio con vegetación escasa	1.92	192
Zonas quemada	0.04	4
TOTAL	864.23	86,423

Nota. Datos procesados a partir de los mapas de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra a Escala 1:50,000 de la República de Guatemala, Año 2022, (DIGEGR,2022)

Al realizar la sumatoria de las coberturas previamente descritas, se determinó que el 49.05% del área total de la cuenca corresponde a zonas no agrícolas, mientras que el 50.94% corresponde a áreas agrícolas. No obstante, esta cifra no implica que toda esa superficie esté destinada a la explotación comercial intensiva, ya que una parte de estos terrenos alberga cultivos orientados a la sostenibilidad familiar, como huertos domésticos y parcelas de granos básicos de subsistencia. Esta diferenciación resulta clave para comprender la distribución del uso de plaguicidas y los posibles focos de contaminación, ya que las prácticas agrícolas varían significativamente entre los sistemas de producción intensivos y los de subsistencia.

10.1.1. Cultivos por departamento

Para el departamento de Guatemala, la Tabla 8 presenta los cultivos agrícolas identificados dentro de la cuenca, es organizados por municipios. Está clasificación tiene como propósito ofrecer una visión más precisa sobre los cultivos predominantes en cada territorio municipal. Cabe señalar que el municipio de Santa Catarina Pinula no se encuentra representado en dicha tabla, ya que, dentro del área de la cuenca, únicamente aporta cobertura correspondiente a centro poblados, sin presencia de superficies agrícolas registradas.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los cultivos principales incluyen maíz y frijol, así como diversas hortalizas entre ellas brócoli, papa, tomate y chile pimiento; y frutales como café, durazno, y cítricos. Estos datos fueron obtenidos de los planes municipales de Segeplan, de los Mapas de Cobertura Vegetal del MAGA y las Capas SIG correspondientes al cultivo de café. El municipio de Fraijanes de destaca por su producción cafetalera de alta calidad, mientras que San José Pinula presenta un agricultura diversa que combina granos básicos, hortaliza y frutales, adaptándose así a las condiciones locales y necesidad de la población.

Tabla 8.

Cultivos agrícolas del departamento de Guatemala en la Cuenca

Municipio	Cultivos
Fraijanes	Maíz, frijol, café, aguacate, ornamentales, tomate, chile pimiento, pepino, fresa.
San José Pinula	Brócoli, aguacate, papa, café, tomate, güisquil, frijol, cítricos, durazno, manzana, ciruela, pera.

Nota. Elaborada a partir del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra de la República de Guatemala, escala 1:50:000 (DIGERGR,2022) y de la información recolectada mediante entrevistas a extensionistas, municipalidades y agricultores.

La Tabla 9 presenta de forma detallada los cultivos agrícolas por municipio dentro del departamento de Jalapa, en el área comprendida por la cuenca. Cabe señalar que el municipio de Jalapa no se incluye en dicha tabla, ya que su cobertura dentro de la cuenca está compuesta principalmente por plantaciones forestales y bosques sin actividad agrícola significativa.

Por su partes, los municipios de Mataquescuintla y San Carlos Alzatate mostraron una dinámica agrícola activa que constituyó un eje fundamental en su economía local. Mataquescuintla se destaca por su producción agrícola diversificada, siendo el café el cultivo más representativo, junto con otros productos como maíz, frijol, cebolla y aguacate. En San Carlos Alzatate, los principales cultivos incluyen café, maíz, frijol, caña de azúcar y durazno, los cuales se producen tanto para el consumo interno como para la comercialización.

Ambos municipios enfrentan retos asociados con la erosión del suelo, lo que hace indispensable la implementación de prácticas agrícolas sostenibles que permitan conservar la



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

fertilidad del suelo y mitigar los impactos ambientales derivados del uso intensivo del territorio. Asimismo, la contaminación también va enfocada al uso desmedido de moléculas químicas para el control de plagas. (SEGEPLAN, 2022)

Tabla 9.

Cultivos agrícolas del departamento de Jalapa en la Cuenca

Municipio	Cultivos
Mataquesuintla	Café, maíz, frijol, ayote, maicillo, caña de azúcar, durazno, fresa.
San Carlos Alzatate	Café, maíz, frijol, papa, brócoli, caña de azúcar, cebolla, aguacate, tomate, chile pimiento, coliflor, repollo, fresa, pera.

Nota. Elaborada a partir del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra de la República de Guatemala, escala 1:50:000 (DIGERGR,2022) y de la información recolectada mediante entrevistas a extensionistas, municipalidades y agricultores.

La Tabla 10 presenta los cultivos agrícolas localizados dentro de la cuenca, específicamente en los municipios del departamento de Jutiapa que posee representación territorial en ella. Los municipios de Quezada y Conguaco no se incluyen en el detalle de cultivos, ya que el área que ocupan dentro de la cuenca está destinada principalmente a actividades ganaderas y no registró superficies agrícolas significativas.

El departamento de Jutiapa constituye un pilar económico y social dentro de la cuenca, con una agricultura ampliamente diversificada que incluye cultivos como maíz, frijol, arroz, maicillo, tomate, chile pimiento, chile jalapeño, sandía, papaya, ajonjolí, mango, aguacate, café, jocote, coco, tabaco, caña de azúcar, entre otros, lo que evidencia un alto potencial productivo. Además, el departamento se caracteriza por una significativa actividad ganadera, ocupando el segundo lugar a nivel nacional como productor de leche (SEGEPLAN, 2024).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 10.

Cultivos agrícolas del departamento de Jutiapa en la Cuenca

Municipio	Cultivos
Jalpatagua	Maíz, maicillo, arroz, frijol, tomate, pepino, sandía, papaya, ajonjolí, café, mango, limón.
Jutiapa	Maíz, frijol, tomate, chile, sorgo, cítricos.
Moyuta	Café, frijol, maíz, maicillo, aguacate, mango, jocote, anona, papaya, coco, sandía, chile pimiento, ajonjolí, arroz, tabaco.
Pasaco	Frijol, maíz, maicillo, aguacate, mango, jocote, caña de azúcar, papaya, coco, sandía, arroz, chile jalapeño, plátano, café, tabaco.
San José Acatempa	Maíz, frijol, café, maicillo, papa, arroz, tomate, chile pimiento.

Nota. Elaborada a partir del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra de la República de Guatemala, escala 1:50:000 (DIGERGR,2022) y de la información recolectada mediante entrevistas a extensionistas, municipalidades y agricultores.

La Tabla 11 presenta de forma detalla los cultivos ubicados en el departamento de Santa Rosa, clasificados por municipio dentro del área cubierta por la cuenca. Este departamento representa la mayor extensión territorial dentro de la cuenca y se caracteriza por una notable diversidad de cultivos tradicionales y comerciales. Si bien Santa Rosa está compuesto por 14 municipios, solo 12 de ellos poseen territorio dentro de la cuenca, razón por la cual únicamente estos aparecen representados en la tabla..

El café es el cultivo más representativo, aportando aproximadamente el 15% de la producción nacional y consolidándose como un pilar de la economía agrícola local. Los granos básicos, especialmente maíz y frijol ocupan una parte significativa de la superficie cultivada. Asimismo, se cultivan diversas hortalizas, como tomate, chile pimiento y cebolla, junto con frutales como aguacate, mango, piña y banano. La caña de azúcar también es de importancia, tanto para consumo local como para la elaboración de panela. Además, existen áreas dedicadas a cultivos bajo invernadero, orientadas principalmente a la producción de tomate, chile pimiento y plantas ornamentales (ANACAFE, 2024; SEGEPLAN, 2024).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

La amplia variedad de productos agrícolas aporta de manera significativa al desarrollo económico local y nacional, reflejando el elevado potencial productivo del departamento dentro del contexto de la cuenca. Como resultado, el departamento de Santa Rosa desempeña un papel determinante en el uso de plaguicidas químicos, debido a la diversidad y extensión de sus sistemas de cultivo, lo que lo convierte en un territorio clave para el análisis de riesgos ambientales y para la implementación de estrategias de manejo sostenible.

Tabla 11.

Cultivos agrícolas del departamento de Santa Rosa en la Cuenca

Municipio	Cultivos
Barberena	Café, maíz, frijol, naranjo, banano, aguacate, limón, mandarina, piña, caña de azúcar, mango, mora.
Casillas	Café, maíz, frijol, caña de azúcar, jocote, tomate.
Chiquimulilla	Caña de azúcar, maicillo, sandía, melón, maíz, frijol, café, mango, papaya, cítricos, tabaco.
Cuilapa	Piña, café, maíz, frijol, caña de azúcar, cítricos, banano, plátano, tomate, chile pimiento.
Nueva Santa Rosa	Café, aguacate, ornamentales, tomate, chile pimiento, pepino, maíz, frijol, cítricos, mora.
Oratorio	Maíz, frijol, café, maicillo, caña de azúcar, mango, cítricos, ajonjolí, banano, arroz, piña, chile picante, loroco.
Pueblo Nuevo Viñas	Café, frijol, maíz, piña, aguacate, cítricos.
San Juan Tecuaco	Maíz, frijol, maicillo, café, arroz, ajonjolí, mango.
San Rafael Las Flores	Maíz, frijol, café, cebolla, chile picante, chile pimiento, aguacate, tomate, jocote, macadamia, papa, repollo.
Santa Cruz Naranjo	Café, ornamentales, maíz, frijol, tomate, pepino, chile pimiento, mango, banano, cítricos, aguacate, caña de azúcar, plátano.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 11. (Continuación)

Municipio	Cultivos
Santa María Ixhuatán	Café, maíz, frijol, banano, caña de azúcar, arroz, mango, maicillo, pacaya, ayote.
Santa Rosa de Lima	Café, maíz, frijol, tomate, piña, caña de azúcar, pepino, chile pimiento.

Nota. Elaborada a partir del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra de la República de Guatemala, escala 1:50:000 (DIGERGR,2022) y de la información recolectada mediante entrevistas a extensionistas, municipalidades y agricultores.

La Tabla 12 resume todos los cultivos identificados dentro de la cuenca, los cuales fueron clasificados por tipo: granos básicos, frutales, hortalizas y otros cultivos. Los granos básicos representan cultivos agrícolas esenciales para la alimentación humana, ya que contribuyen una de las fuentes principal de energía y nutrientes. Su relevancia radica en su papel en la seguridad alimentaria, al ser productos accesibles y ampliamente consumidos por la población.

Los frutales en su mayoría especies leñosas, aunque también existen formas herbáceas y arbustivas, tienen la capacidad de producir frutos comestibles que pueden consumirse frescos, procesados o industrializados. Además de valor nutricional, algunos cultivos como el café contribuyen a la sostenibilidad ambiental, debido a su capacidad de mejorar la estructura del suelo y favorecer a la biodiversidad.

Las hortalizas son plantas herbáceas comestibles que se caracterizan por su alto valor nutricional y por la versatilidad en su cultivo, ya que pueden producirse tanto en campo abierto como bajo estructuras de protección. Su producción puede realizarse en pequeñas extensiones, lo que las hace ideales para la implementación de huertos familiares orientados a fortalecer la sostenibilidad alimentaria de los hogares.

El grupo de otros cultivos incluyen especies industrial, como la caña de azúcar, el tabaco y las plantas ornamentales. Asimismo, incorpora cultivos de menor extensión, pero de relevancia económica y cultural dentro de la cuenca, tales como el ajonjolí y el loroco, los cuales no se incluyen en las clasificaciones anteriores, pero desempeñan un papel significativo en las dinámicas productivas locales.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 12.

Resumen de cultivos según su tipo de importancia dentro de la cuenca del Río Los Esclavos

Granos básicos	Frutales	Hortalizas	Otros
Maíz	Café	Tomate	Caña de azúcar
Frijol	Cítricos	Chile pimiento	Ornamentales
Sorgo	Aguacate	Pepino	Tabaco
Arroz	Melón	Chile jalapeño	Ajonjolí
	Sandía	Cebolla	Loroco
	Piña	Brócoli	
	Banano	Repollo	
	Mango	Coliflor	
	Mora	Papa	
	Fresa	Berenjena	
	Papaya	Güisquil	
	Coco	Ayote	
	Durazno	Yuca	
	Manzana		
	Jocote		
	Ciruella		
	Anona		
	Macadamia		

Nota. Elaborada a partir del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra de la República de Guatemala, escala 1:50:000 (DIGERGR,2022) y de la información recolectada mediante entrevistas a extensionistas, municipalidades y agricultores.

10.1.2. Distribución de cultivos por extensión

La Tabla 13 presenta los cultivos identificados en la cuenca, clasificados según la extensión territorial que ocupan dentro de ella. Se determinó que el cultivo de café es el predominante y de mayor importancia agrícola en la cuenca. Identificar los cultivos presentes en una cuenca permite comprender el uso actual del suelo y evaluar si es acorde a su capacidad de uso. Asimismo, facilita reconocer aquellos cultivos que requieren una mayor gestión del recurso hídrico o que demandan un uso más intensivo de plaguicidas. Esta información es clave para anticipar los posibles impactos



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

sobre los recursos naturales, ya que algunos cultivos generan mayor presión ambiental debido a su intensidad productiva y su extensión territorial dentro de la cuenca (SEGEPLAN, 2014).

De acuerdo con datos de ANACAFE, la cuenca se ubica dentro de la región IV, que comprende los departamentos de Santa Rosa, Jalapa y Jutiapa. Esta región posee la mayor superficie cultivada con café a nivel nacional, representando un 34.10% del total. El café se cultiva tanto en sistemas agroforestales con sombra como en cafetal sin sombra. También se registran asociaciones productivas, como café-banano (0.08%) y café-aguacate (0.01%) que, aunque representan una proporción reducida, forman parte del uso del suelo agrícola de la cuenca.

El grupo de granos básicos principalmente maíz y frijol, representa el 7.55% del área total de la cuenca. Estos cultivos cumplen diversas funciones: alimento para consumo familiar de subsistencia, producción para venta, y uso como alimento para animales o para ensilaje. Dentro de este grupo, se incluye también el sorgo conocido como maicillo, que ocupa aproximadamente el 0.33% del área total. Aunque el sorgo puede utilizarse en menor medida para consumo humano, su principal función es como forraje para el ganado. El arroz ocupa alrededor del 0.02%, concentrándose principalmente en el departamento de Jutiapa.

El cultivo de Caña de Azúcar representa el 4.62% del área total de la cuenca, equivale aproximadamente a 10,662 ha.. Este cultivo se distribuye principalmente en la parte media de la cuenca, donde destaca la producción de caña panelera, especialmente en los municipios de Oratorio, Cuilapa, Nueva Santa Rosa, Casillas y San Rafael Las Flores. En la parte baja de la cuenca se localizan plantaciones destinadas a ingenios azucareros, particularmente en Chiquimulilla y Pasaco.

En cuanto a las hortalizas, se identificaron cultivos como tomate, chile pimiento, pepino, papa, cebolla, chile jalapeño, brócoli, repollo, coliflor, güisquil ayote, berenjena y yuca, . El tomate representa un 0.11% del área cultivada, mientras que el conjunto del resto de hortalizas abarca el 1.23% del área total.

En la parte baja de la cuenca se observó un incremento reciente en la superficie cultivada de melón y sandía, en comparación con años anteriores. El melón ocupa un 0.37% del área total, mientras que la sandía representa el 0.31%.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Dentro del grupo de frutales, se determinó que la piña representa un 0.24%, los cítricos (naranja, limón y mandarina) un 0.18%, el mango un 0.15%, las moras y fresas un 0.06%, el aguacate un 0.12% y el coco un 0.05%.

El tabaco ocupa un 0.09% del área de la cuenca. Por otra parte, el grupo de otros cultivos permanentes arbóreos incluye especies como banano, anona, jocote, papaya, durazno, manzana, ciruela, pera y macadamia, que en conjunto alcanzan un 0.88% del área total. Finalmente, el grupo de otro cultivos comprende especie no clasificadas en las categorías anteriores, como ajonjolí, ayote y huertos familiares que, aunque se cultivan en menor escala, poseen importancia tanto productiva como social dentro de la cuenca.

La distribución espacial de los cultivos permite identificar zonas críticas donde debe priorizarse el monitoreo de plaguicidas y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles.

Tabla 13.

Distribución de cultivos agrícola en la cuenca

Cultivo	Nombre científico	Área en ha.
Café	<i>Coffea arabica</i>	78,651
Café y Banano	<i>Coffea arabica, Musa paradisiaca</i>	187.25
Café y Aguacate	<i>Coffea arabica, Persea americana</i>	18.46
Granos Básicos (Maíz y Frijol)	<i>Zea mays, Phaseolus vulgaris</i>	17,414
Caña de Azúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	10,662
Hortalizas		2,851.25
Otros cultivos permanentes arbóreos		2,028
Melón	<i>Cucumis melo</i>	849
Sorgo (Maicillo)	<i>Sorghum bicolor</i> L.	772.42
Sandia	<i>Citrullus lanatus</i>	712
Piña	<i>Ananas comosus</i>	559.13
Cítricos	<i>Citrus limon, Citrus sinensis</i>	419.29
Mango	<i>Mangifera indica</i>	344.15
Aguacate	<i>Persea americana</i>	267

Tabla 13. (continuación)



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Cultivo	Nombre científico	Área en ha.
Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	258.83
Tabaco	<i>Nicotiana tabacum</i>	209.62
Mora y fresa	<i>Fragaria ananassa, Rubus sp.</i>	141.84
Coco	<i>Cocos nucifera</i>	114.07
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	46.99
Otros cultivos		789

Nota. Elaborada a partir del Mapa de Cobertura Vegetal y Uso de la Tierra de la República de Guatemala, escala 1:50:000 (DIGERGR,2022) y ANACAFÉ.

10.2. Principales plagas que requieren el uso de plaguicidas agrícolas por cultivo.

Como segundo objetivo, se estableció enumerar las principales plagas que afectan a los cultivos de importancia agrícola bajo manejo convencional dentro de la cuenca. Es fundamental aclarar que el término plagas principales se utiliza como sinónimo de plagas claves o plagas primarias. Estas se consideran aquellas especies que tienen la capacidad de generar daños económicos significativos, ya sea por afectar directamente los rendimientos, disminuir la calidad del producto o reducir su valor comercial, lo que ha generado preocupación constante entre los productores.

Una plaga clave se caracteriza por su alta frecuencia de aparición, ya sea en momentos específicos del año o durante determinadas fases fenológicas del cultivo. Su impacto económico suele ser relevante, al punto que, en muchos casos, el costo de su control puede igualar o incluso superar las ganancias obtenidas en la cosecha. Este tipo de plagas presenta alta persistencia y dificultad de manejo, por lo que frecuentemente lleva a los productores a recurrir al uso intensivo de insecticidas. Como consecuencia, son comunes las aplicaciones continuas e incluso la sobredosificación, en un intento de mitigar su impacto.

En el objetivo 2 se consideraron únicamente las plagas insectiles, ya que el análisis se fundamenta en la Tabla 14, la cual presenta una comparativa de peligrosidad de los plaguicidas comúnmente utilizados. Los insecticidas empleados para el control de estas plagas presentan una mayor peligrosidad para la salud humana, animal y el medio ambiente, en comparación con fungicidas y herbicidas.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Las plagas insectiles constituyen el principal motivo del uso intensivo de insecticidas, los cuales se aplican con mayor frecuencia y en dosis elevadas. Esta práctica incrementa significativamente el riesgo de contaminación ambiental, especialmente de los cuerpos de agua.

Jáquez Matas et al. (s.f.) señalan que la toxicidad de los insecticidas en humanos y animales es muy alta, debido a que los insectos plaga y los seres humanos pertenecen al mismo Reino Animal, compartiendo similitudes fisiológicas que explican por qué muchos mecanismos de acción afectan a ambos grupos. Asimismo, numerosos insecticidas presentan alta persistencia ambiental y acuática, además de una marcada tendencia a bioacumularse en la cadena alimentaria, generando riesgos crónicos y constituyendo un problema prioritario para la salud pública (Insecticide Resistance Action Committee [IRAC], 2022).

Tabla 14.

Tipos de plaguicidas según peligrosidad en la salud humana/animales y medio ambiente

Tipo de plaguicida	TA	TC	Persistencia A/AG	Riesgo H/A
Insecticidas	Alta	Alta	Alta	Muy alta
Herbicidas	Moderada	Alta	Moderada	Alta
Fungicidas	Baja a moderada	Moderada	Baja a moderada	Moderada

Nota. Ta= Toxicidad aguda, TC= Toxicidad crónica, Persistencia A/AG= Persistencia en el ambiente y agua, Riesgos H/A= Riesgos para humanos y animales.

Es necesario señalar que los insecticidas están diseñados para causar daño al sistema nervioso, respiratorio y muscular de los organismos objetivo. Sin embargo, debido a su modo de acción, no son específicos para insectos, pudiendo afectar a otros organismos con fisiología similar, incluyendo humanos y animales, generando efectos tóxicos en especies no objetivo.

En la Tabla 15, 16, 17 y 18 se consideran únicamente plagas insectiles para esta investigación, con el fin de identificar cuáles requieren una mayor demanda de aplicaciones de insecticidas. No obstante, para el demás objetivos también se contemplaron fungicidas y herbicidas, aunque estos representan una menor alerta toxicológica.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

La Tabla 15 presentó las plagas insectiles clave que afectan a los principales cultivos de granos básicos dentro de la cuenca, específicamente maíz, frijol, sorgo (maicillo) y arroz. Estas plagas se caracterizan por causar daños económicos significativos debido a su alta frecuencia de aparición, persistencia y dificultad de manejo. Entre ellas destacan insectos de importancia agrícola como *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea spp.*, *Rhopalosiphum maidis*, *Dalbulus maidis*, *Empoasca spp.*, *Tagosodes orizicolus*, entre otros, los cuales requieren un uso intensivo de insecticidas para su control.

La identificación de estas plagas es fundamental, ya que constituyen el principal motivo de la aplicación frecuente de insecticidas, incrementando así el riesgo de contaminación ambiental, especialmente en cuerpos de agua. Además, muchos de los insecticidas utilizados para su manejo presentan alta toxicidad aguda y crónica, así como elevada persistencia ambiental y tendencia a la bioacumulación, lo que los convierte en una prioridad dentro del análisis de riesgo agrícola y ambiental en la cuenca.

Tabla 15.

Plagas clave insectiles de granos básicos en la etapa de campo ubicados en la cuenca

Cultivo	Plaga	Orden	Familia
Maíz	Gusano Cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Lepidoptera	Noctuidae
	Barrenados del tallo (<i>Diatraea spp.</i>)	Lepidoptera	Crambidae
	Pulgones (<i>Rhopalosiphum maidis</i>)	Hemiptera	Aphididae
	Mosca del Maíz (<i>Dalbulus maidis</i>)	Hemiptera	Cicadellidae
Frijol	Minador de la hoja (<i>Liriomyza spp.</i>)	Diptera	Agromyzidae
	Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>) (<i>Megalurothrips usitatus</i>)	Thysanoptera	Thripidae
	Chicharrita (<i>Empoasca spp.</i>)	Hemiptera	Cicadellidae
Sorgo (Maicillo)	Gusano cogollero (<i>Spodoptera Frugiperda</i>)	Lepidoptera	Noctuidae
	Pulgón amarillo (<i>Melanaphis sacchari</i>)	Hemiptera	Aphididae
	Barrenador del tallo (<i>Diatraea sp.</i>)	Lepidoptera	Crambidae
Arroz	Gusano cogollero (<i>Spodoptera Frugiperda</i>)	Lepidoptera	Noctuidae
	Sogata (<i>Tagosodes orizicolus</i>)	Hemiptera	Delphacidae
	Barrenador del tallo (<i>Diatraea sp.</i>)	Lepidoptera	Crambidae

Nota. Tabla elaborada con base a la revisión de literatura y entrevistas realizadas a agricultores y actores involucrados.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

La Tabla 16 presenta las plagas insectiles clave que afectan a los cultivos clasificados como frutales dentro de la cuenca. Debido a que la mayoría de los frutales son cultivos perennes, requieren un manejo fitosanitario continuo durante su ciclo fenológico, particularmente en las etapas de brotación, floración, cuajado y desarrollo del fruto, en las cuales suelen incrementarse las poblaciones de plagas.

Muchos de estos cultivos también poseen importancia industrial y de exportación, lo que incrementa la necesidad de mantener altos estándares de calidad, favoreciendo el uso frecuente de insecticidas. Las plagas listadas en la tabla incluyen insectos, ácaros y otros artrópodos de relevancia económica, cuyos daños directos e indirectos representan uno de los principales factores que inducen a los productores a aplicar insecticidas de manera intensiva, lo cual incrementa el riesgo de contaminación ambiental y afecta la sostenibilidad de los sistemas frutícolas.

Tabla 16.

Plagas insectiles de importancia económica en cultivos frutales de la cuenca

Cultivo	Plaga	Orden	Familia
Café	Broca del café (<i>Hypothenemus hampei</i>)	Coleoptera	Curculionidae
	Cochinillas radicales (<i>Dysmicoccus spp</i> ; <i>Geococcus spp.</i>)	Hemiptera	Pseudococcidae
	Minadores de la hoja (<i>Leucoptera coffeella</i>)	Lepidoptera	Lyonetiidae
Cítricos	Araña roja (<i>Panonychus citri</i>)	Trombidiformes	Tetranychidae
	Acaro blanco (<i>Polyphagotarsonemus latus</i>)	Trombidiformes	Tarsonemidae
	Mosca de la fruta (<i>Ceratitis capitata</i> y <i>Anastrepha ludens</i>)	Diptera	Tephritidae
	Trips (<i>Scirtothrips citri</i>)	Thysanoptera	Thripidae
	Pulgones (<i>Aphis citricola</i>)	Hemiptera	Aphididae
Aguacate	Barrenador del fruto (<i>Stenoma catenifer</i>)	Lepidoptera	Elachistidae
	Barrenador de la semilla (<i>Heilipus spp.</i>)	Coleoptera	Curculionidae
	Trips	Thysanoptera	Thripidae
	Araña roja (<i>Oligonychus sp.</i>)	Trombidiformes	Tetranychidae
	Agalla del aguacate (<i>Trioza anceps</i>)	Hemiptera	Trioziidae
	Mosca prieta del ovario del aguacate (<i>Bruggmanniella perseae</i>)	Diptera	Cecidomyiidae



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 16. (Continuación)

Cultivo	Plaga	Orden	Familia
Melón y sandía	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Hemiptera	Aleyrodidae
	Gusano soldado (<i>Spodoptera</i> spp.)	Lepidoptera	Noctuidae
	Gusano del melón (<i>Diaphania hyalinata</i>)	Lepidoptera	Pyralidae
	Gusano perforador del fruto (<i>Diaphania nitidalis</i>)	Lepidoptera	Pyralidae
	Minadores de la hoja (<i>Liriomyza</i> spp.)	Diptera	Agromyzidae
	Pulgón (<i>Aphis gossypii</i>)	Hemiptera	Aphididae
Piña	Cochinillas harinosas	Hemiptera	Pseudococcidae
	Gallina ciega (<i>Phyllophaga</i> spp.)	Coleoptera	Scarabaeidae
	Gusano barrenador (<i>Strymon basilides</i>)	Lepidoptera	Lycaenidae
Banano	Trips (<i>Frankliniella</i> sp.)	Thysanoptera	Thripidae
	Polilla del banano (<i>Antichloris viridis</i>)	Lepidoptera	Erebidae
	Picudo del banano (<i>Cosmopolites sordidus</i>)	Coleoptera	Curculionidae
	Defoliadores (<i>Acharia ophelians</i>)	Lepidoptera	Limacodidae
Mango	Mosca de la fruta (<i>Ceratitis capitata</i>)	Diptera	Tephritidae
	Trips	Thysanoptera	Thripidae
	Ácaros	Trombidiformes	
Mora	Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Thysanoptera	Thripidae
	Pulgón (<i>Aphis</i> spp.)	Hemiptera	Aphididae
	Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>)	Trombidiformes	Tetranychidae
	Mosca de la fruta (<i>A. ludens</i> y <i>C. capitata</i>)	Diptera	Tephritidae
	Cochinilla (<i>Planococcus</i> sp.)	Hemiptera	Pseudococcidae
	Gusanos cortadores (<i>Spodoptera</i> spp.)	Lepidoptera	Noctuidae
Fresa	Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>)	Trombidiformes	Tetranychidae
	Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Thysanoptera	Thripidae
	Pulgones (<i>Aphis</i> spp.)	Hemiptera	Aphididae
	Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Lepidoptera	Noctuidae
	Mosca de la fruta (<i>Anastrepha ludens</i> y <i>Ceratitis capitata</i>)	Diptera	Tephritidae
	Moluscos		
Papaya	Mosca de la fruta (<i>Anastrepha ludens</i> y <i>Ceratitis capitata</i>)	Diptera	Tephritidae
	Ácaro (<i>Polyphagotarsonemus latus</i>)	Trombidiformes	Tarsonemidae
	Trips (<i>Frankliniella</i> sp.)	Thysanoptera	Thripidae
	Pulgones (<i>Aphis</i> spp.)	Hemiptera	Aphididae
	Cochinilla (<i>Planococcus</i> sp.)	Hemiptera	Pseudococcidae



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 16. (continuación)

Cultivo	Plaga	Orden	Familia
Coco	Ácaro translúcido (<i>Aceria</i> sp.)	Trombidiformes	Eriophyidae
	Picudo del cocotero (<i>Rhynchophorus palmarum</i>)	Coleoptera	Curculionidae
Durazno	Trips (<i>Frankliniella</i> sp.)	Thysanoptera	Thripidae
	Mosca de la fruta (<i>Ceratitis capitata</i> y <i>Anastrepha</i> sp.)	Diptera	Tephritidae
	Escamas (<i>Pseudaulacapis pentagona</i>)	Hemiptera	Diaspididae
Manzana	Pulgón (<i>Eriosoma lanigerum</i>)	Hemiptera	Aphididae
	Gusano de la manzana (<i>Cydia pomonella</i>)	Lepidoptera	Tortricidae
	Ácaro rojo (<i>Panonychus</i> sp.)	Trombidiformes	Tetranychidae
	Escamas (<i>Diaspidiotus</i> sp.)	Hemiptera	Diaspididae
	Trips (<i>Frankliniella</i> sp.)	Thysanoptera	Thripidae
Jocotes	Mosca de la fruta (<i>Ceratitis capitata</i> y <i>Anastrepha</i> sp.)	Diptera	Tephritidae
	Trips (<i>Frankliniella</i> sp.)	Thysanoptera	Thripidae
	Escama algodonosa (<i>Planococcus</i> spp.)	Hemiptera	Pseudococcidae
	Pulgones (<i>Aphis</i> spp.)	Hemiptera	Aphididae
	Hormigas cortadoras (<i>Atta</i> spp.)	Hymenoptera	
Ciruela	Mosca de la fruta (<i>Anastrepha</i> spp. y <i>Ceratitis capitata</i>)	Diptera	Tephritidae
	Gusano de la manzana (<i>Cydia pomonella</i>)	Lepidoptera	Tortricidae

Nota. Tabla elaborada con base a la revisión de literatura y entrevistas realizadas a agricultores y actores involucrados.

La Tabla 17 presenta las plagas insectiles clave de los cultivos hortícolas presentes en la cuenca. Estas plagas son de gran importancia económica debido a que varias de ellas actúan como vectores de virus, complicando su control incluso bajo esquemas intensivos de manejo químico. Cuando las hortalizas se establecen en huertos familiares, suelen considerarse cultivos de subsistencia; sin embargo, existe también una alta demanda de hortalizas destinadas a la exportación, las cuales se producen en parcelas comerciales y en estructuras de protección como invernaderos y casas mallas. Este tipo de producción exige altos estándares de calidad, lo que incrementa la necesidad de monitoreo fitosanitario y, en muchos casos, el uso frecuente de insecticidas. Los principales mercados de exportación incluyen Estados Unidos, Canadá y países de Europa.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 17.

Plagas insectiles de importancia económica en cultivos hortícolas de la cuenca

Cultivo	Plaga	Orden	Familia
Tomate	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> , <i>Trialeurodes vaporarium</i>)	Hemiptera	Aleyrodidae
	Gusano de la fruta (<i>Helicoverpa</i> sp)	Lepidoptera	Noctuidae
	Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i> , <i>Thrips tabaci</i>)	Thysanoptera	Thripidae
	Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>)	Trombidiformes	Tetranychidae
	Minador de la hoja (<i>Liriomyza</i> sp.)	Diptera	Agromyzidae
Chile pimiento	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Hemiptera	Aleyrodidae
	Picudo del chile (<i>Anthonomus eugeni</i> Cano)		
	Larvas de lepidoptero (<i>Noctuidae</i> , <i>Sphingidae</i> , <i>Spodoptera</i> , <i>Helicoverpa</i>)	Lepidoptera	Noctuidae
	Minador de la hoja (<i>Liriomyza</i> sp)	Diptera	Agromyzidae
	Áfidos (<i>Aphis gossypii</i>)	Hemiptera	Aphididae
Chile jalapeño	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Hemiptera	Aleyrodidae
	Picudo del chile (<i>Anthonomus eugeni</i> Cano)		
	Pulgón verde (<i>Myzus persicae</i>)	Hemiptera	Aphididae
	Araña Roja (<i>Tetranychus urticae</i>)	Trombidiformes	Tetranychidae
	Acaro blanco (<i>Polyphagotarsonemus latus</i>)	Trombidiformes	Tarsonemidae
	Trips oriente (<i>Trips Palmi</i>)	Thysanoptera	Thripidae
	Minador de la hoja (<i>Liriomyza spp</i>)	Diptera	Agromyzidae
	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> , <i>Trialeurodes vaporarium</i>)	Hemiptera	Aleyrodidae
Pepino	Pulgones (<i>Aphis gossypii</i> , <i>Myzus persicae</i>)	Hemiptera	Aphididae
	Larvas (<i>Diaphania hyalinata</i> Linnaeus, <i>D nitidalis</i>)	Lepidoptera	Crambidae
	Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i> , <i>Trips tabaci</i>)	Thysanoptera	Thripidae
	Barrenador (<i>Melittia cucurbitae</i>)	Lepidoptera	Sesiidae
	Minador de la hoja (<i>Liriomyza sativae</i>)	Diptera	Agromyzidae



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 17 (continuación)

Cultivo	Plaga	Orden	Familia
Cebolla	Polilla (<i>Spodoptera</i> spp. y <i>Helicoverpa</i> spp.)	Lepidoptera	Noctuidae
	Gusano cogollero (<i>Spodoptera exigua</i>)	Lepidoptera	Noctuidae
	Minador de la hoja (<i>Liriomyza</i> spp.)	Diptera	Agromizydae
	Gallina ciega (<i>Phyllophaga</i> sp)	Coleoptera	Scarabaeidae
	Mosca de la cebolla (<i>Delia antiqua</i>)		
	Trips (<i>Thrips tabaci</i>)	Thysanoptera	Thripidae
	Pulgón (<i>Aphis gossypii</i>)	Hemiptera	Aphididae
Brócoli	Palomilla dorso de diamante (<i>Plutella xylostella</i>)	Lepidoptera	Plutellidae
	Oruga cortadora (<i>Agrotis ipsilon</i>)	Lepidoptera	Noctuidae
	Pulgones (<i>Aphis</i> spp, <i>Myzus</i> spp)	Hemiptera	Aphididae
Repollo	Gusano nochero (<i>Agrotis</i> sp, <i>Spodoptera latifascia</i>)	Lepidoptera	Noctuidae
	Gallina ciega (<i>Phyllophaga</i> sp, <i>Melolontha</i> sp)	Coleoptera	Scarabaeidae
	Palomilla del repollo (<i>Plutella xylostella</i>)	Lepidoptera	Plutellidae
	Gusano del repollo (<i>Ascia monuste</i> , <i>Leptophabia aripa</i> , <i>Trichoplusia ni</i>)	Lepidoptera	Pieridae
	Áfidos (<i>Brevicoryne brassicae</i> L, <i>Hyadaphis erysimi</i>)	Hemiptera	Aphididae
	Gusano medidor (<i>Mocis repanda</i>)	Lepidoptera	Erebidae
Coliflor	Palomilla dorso de diamante (<i>Plutella xylostella</i>)	Lepidoptera	Plutellidae
	Pulgones (<i>Brevicoryne brassicae</i>)	Hemiptera	Aphididae
	Gusanos grises (<i>Agrotis</i> spp)	Lepidoptera	Noctuidae
Papa	Chicharrita (<i>Empoasca</i> spp)	Hemiptera	Cicadellidae
	Mosca minadora (<i>Liriomyza huidobrensis</i>)	Diptera	Agromizydae
	Silido de la papa (<i>Bactericera cockerelli</i>)	Hemiptera	Triozidae
	Gallina ciega (<i>Phyllophaga</i> sp)	Coleoptera	Scarabaeidae
	Gusano alambre (<i>Agriotes</i> sp)	Coleoptera	Elateridae



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 17 (continuación)

Cultivo	Plaga	Orden	Familia
Ayote	Barrenador de frutos (<i>Diaphania nitidalis</i>)	Lepidoptera	Crambidae
	Gusano de Tierra (<i>Agrotis ipsilon</i>)	Lepidoptera	Noctuidae
	Mosca Blanc a (<i>Bemisia tabaci</i> , <i>Aleurotrachelus</i> <i>trachoides</i>)	Hemiptera	Aleyrodidae
	Mosca Minadora (<i>Liriomyza huidobrensis</i>)	Diptera	Agromyzidae

Nota. Tabla elaborada con base a la revisión de literatura y entrevistas realizadas a agricultores y actores involucrados.

La Tabla 18 presenta las plagas insectiles clave de los cultivos que no se incluyen en los tres grupos anteriores. Estos cultivos pueden clasificarse como industriales o extensivos, y poseen importancia económica para el país debido a su valor comercial y, en algunos casos, a su participación en la exportación. En el Municipio de Nueva Santa Rosa se encuentra un número significativo de empresas dedicadas a la producción de plantas ornamentales y esquejes de exportación, lo que incrementa la demanda de manejo fitosanitario.

En caña de azúcar, se cumple dos funciones relevantes dentro de la cuenca: la producción de azúcar y la elaboración de panela lo que resalta su importancia social y económica..

Tabla 18.

Plagas de importancia económica en cultivos diversos (otros cultivos)

Cultivo	Plaga	Orden	Familia
Caña de azúcar	Barrenador de la caña (<i>Diatraea</i> spp.)	Lepidoptera	Crambidae
	Chinche salivosa (<i>Aeneolamia</i> spp.)	Hemiptera	Cercopidae
	Pulgones (<i>Melanaphis sacchari</i>)	Hemiptera	Aphididae
	Chinche de encaje (<i>Leptodictya tabida</i>)	Hemiptera	Tingidae
Ornamentales	Mosca Blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Hemiptera	Aleyrodidae
	Pulgones	Hemiptera	Aphididae
	Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>)	Trombidiformes	Tetranychidae
	Minador de la hoja (<i>Liriomyza</i> spp.)	Diptera	Agromizidae
	Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Thysanoptera	Thripidae
	Cochinillas harinosa	Hemiptera	Pseudococcidae



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 18 (Continuación)

Cultivo	Plaga	Orden	Familia
Tabaco	Gusano del tabaco (<i>Manduca sexta</i>)	Lepidoptera	Sphingidae
	Pulgones (<i>Myzus persicae</i>)	Hemiptera	Aphididae
	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Hemiptera	Aleyrodidae
	Minador de la hoja (<i>Liriomyza</i> spp.)	Diptera	Agromyzidae
	Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Thysanoptera	Thripidae
Ajonjolí	Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>)	Lepidoptera	Noctuidae
	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Hemiptera	Aleyrodidae
	Pulgones (<i>Aphis</i> spp.)	Hemiptera	Aphididae
Loroco	Pulgones (<i>Aphis</i> spp.)	Hemiptera	Aphididae
Macadamia	Barrenador (<i>Hypothenemus</i> spp.)	Coleoptera	Curculionidae
	Ácaro translúcido (<i>Aceria</i> spp.)	Trombidiformes	Eriophyidae
	Chinches (<i>Leptoglossus</i> spp.)	Hemiptera	Coreidae
	Trips (<i>Frankliniella</i> spp.)	Thysanoptera	Thripidae

Nota. Tabla elaborada con base a la revisión de literatura y entrevistas realizadas a agricultores y actores involucrados.

Las Tablas 15, 16, 17 y 18 no representan un inventario exhaustivo de las plagas presentes en cada cultivo, más bien enumeran las plagas clave, es decir, aquellas que requieren una mayor cantidad de aplicaciones de insecticidas y que, por lo tanto, pueden generar impactos significativos en el ambiente, los cuerpos de agua y la salud humana.

La identificación de estas plagas se realizó mediante consultas con agricultores, extensionistas del MAGA, epidemiólogos del MAGA y personal técnico de instituciones gubernamentales y no gubernamentales que trabajan con cultivos específicos en la cuenca.

Además, se llevó a cabo una revisión bibliográfica utilizando fuentes especializadas provenientes de instituciones como MAGA, MOSCAMED, CENGICAÑA, ICTA, ANACAFÉ, FASAGUA y OIRSA, lo que permitió validar y complementar la información obtenida en campo.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

10.3. Plaguicidas empleados en la cuenca del Rio Los Esclavos

En el objetivo 3 se identificaron los principales ingredientes activos utilizados con mayor frecuencia en la cuenca. Conocer estas moléculas resulta fundamental por razones técnicas, ambientales y de salud pública. Desde el punto de vista ambiental, muchos de estos compuestos pueden generar impactos negativos debido a su potencial para contaminar cuerpos de agua, su alta persistencia en el ambiente y su capacidad de provocar intoxicaciones en organismos no objetivo esenciales para los ecosistemas, como abejas, aves, peces y otros invertebrados.

El conocimiento de los ingredientes activos permite diseñar estrategias de Manejo Integrado de Plagas (MIP), particularmente en la planificación de programas de aplicaciones que contemplen la rotación de ingredientes activos, lo cual contribuye a retrasar la aparición de resistencia. Asimismo, esta información garantiza el cumplimiento del uso de productos registrados y autorizados en el país (Madgwick et al., 2024).

La información presentada en este apartado fue recopilada en agroservicios ubicados dentro de la cuenca, complementada con entrevistas a actores clave del sector agrícola. Se identificaron los ingredientes activos presentes en el mercado local, y la información se enriqueció mediante la recolección de panfletos, los cuales permitieron obtener datos que no fue posible completamente en campo. Esta información constituye una herramienta esencial para la gestión sostenible de la cuenca.

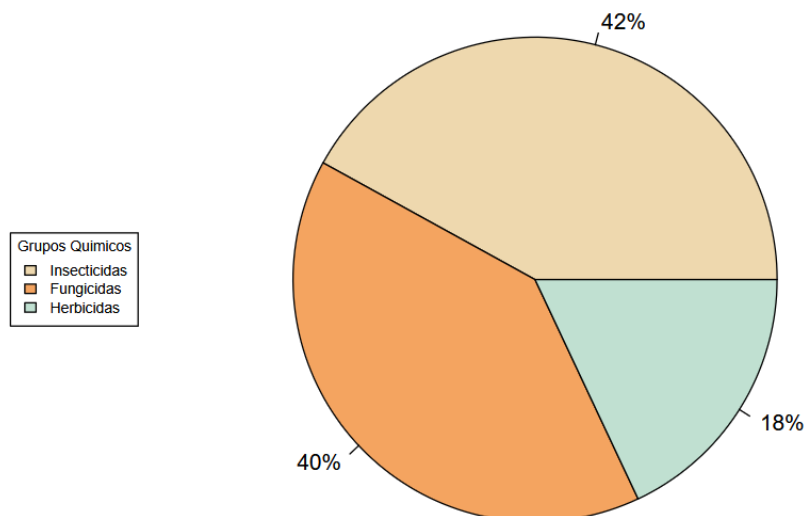
La Figura 2 muestra la distribución de los tipos de plaguicidas más utilizados en la cuenca, clasificados como insecticidas, fungicidas y herbicidas. Los insecticidas representan el grupo más predominante, con un 42%, equivalente a 47 ingredientes activos. Los fungicidas constituyen el 40% (45 ingredientes activos) y los herbicidas corresponden al 18% equivalente a 21 ingredientes activos.

Los plaguicidas identificados pueden adquirirse en los agroservicios de la cuenca. Cada municipio cuenta generalmente con uno o dos establecimientos de mayor tamaño, los cuales ofrecen una variedad amplia de productos, incluyendo aquellos documentados en esta investigación. En las aldeas, principalmente en las de mayor población operan pequeños agroservicios que disponen de una oferta más limitada, enfocada en productos de alta demanda y menor costo.

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 2.

Porcentaje de los tipos de plaguicidas empleados en la cuenca del Río los Esclavos



Nota. Figura elaborada con base en la base de datos de ingredientes activos identificados durante la investigación.

10.3.1. Insecticidas empleados en la cuenca del río los Esclavos

En la cuenca del río Los Esclavos se identificaron 47 ingredientes activos utilizados como insecticidas, empleados tanto por pequeños productores como por grandes unidades agrícolas e industriales. La distribución y comercialización de estos productos se realiza principalmente a través de los agroservicios locales, así como por vendedores y promotores técnicos de diversas casas comerciales.

La Figura 3 presenta la clasificación de los grupos químicos de los insecticidas identificados, agrupados según la estructura molecular de cada ingrediente activo y su mecanismo de acción. El mecanismo de acción describe la forma en que una molécula actúa en insecto, es decir, cómo provoca la muerte, qué procesos fisiológicos inhibe y de qué manera interfiere en su desarrollo.

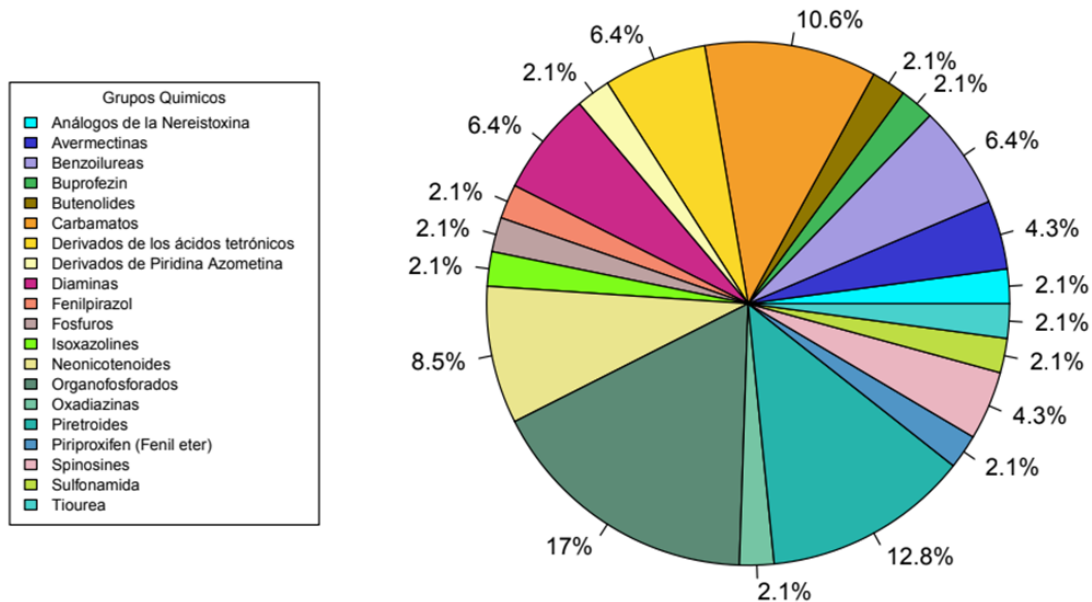
Los grupos químicos con mayor representación de ingredientes activos en la cuenca son los organofosforados (17%), seguidos por los piretroides (12.8%) y los carbamatos (10.6%). Estos grupos se consideran de alta peligrosidad, debido a que su mecanismo de acción afecta

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

directamente el sistema nervioso de los organismos expuestos, lo cual incrementa los riesgos para la salud humana, animal y ambiental.

Figura 3.

Ingredientes activos de insecticidas clasificados por grupos químicos



Nota. Elaborada con base en la base de datos de ingredientes activos identificados durante la investigación.

Los organofosforados y carbamatos actúan mediante la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa, presente tanto en insectos como en animales y seres humanos. Esta enzima permite la correcta transmisión de los impulsos nerviosos. Al inhibirse, se produce una acumulación excesiva de acetilcolina en la sinapsis, interrumpiendo la transmisión nerviosa y provocando parálisis y muerte del insecto. Estos mismos efectos pueden ocurrir en mamíferos, aves y peces. Los organofosforados suelen presentar alta persistencia ambiental, así como capacidad de bioacumularse en tejidos grasos. Debido a sus valores de DL50, muchos productos de este grupo poseen bandas toxicológicas rojas o amarillas, indicando un alto riesgo para humanos, animales y el ambiente. Por estas razones, varios ingredientes activos pertenecientes a este grupo están siendo retirados progresivamente del mercado (Ayala-Sulca et al., 2008).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los piretroides son moduladores del canal de sodio en las membranas neuronales, generando hiperexcitabilidad muscular, seguida de parálisis y muerte. Además de su uso agrícola, son ampliamente utilizados en ganadería (control de pulgas y garrapatas) y en plagas domésticas como cucarachas y mosquitos (Ayala-Sulca et al., 2008). En Guatemala, el Ministerio de Salud Pública utiliza moléculas de este grupo para el control de vectores de enfermedades como dengue y zika.

Los neonicotinoides representan el 8.5% de los ingredientes activos utilizados en la cuenca. Su mecanismo de acción consiste en imitar la nicotina, uniéndose a los receptores nicotínicos de acetilcolina, lo cual provoca hiperexcitación y, posteriormente, parálisis. Aunque presentan baja toxicidad en mamíferos, actualmente se encuentran bajo restricciones globales debido a su impacto negativo sobre polinizadores, especialmente abejas (Blacquièrre et al., 2012).

Los grupos benzoilureas, derivados de los ácidos tetránicos y diaminas representan el 6.4% de los ingredientes activos. Las benzoilureas y ácidos tetránicos actúan como inhibidores de la síntesis de quitina, afectando la muda y el crecimiento del insecto. Su toxicidad en mamíferos es baja, pero se han reportado casos de resistencia en plagas (Santos, 2015).

Las diaminas son moduladoras del receptor de rianodina, afectando el sistema nervioso; sin embargo, son más selectivas hacia los insectos y presentan menor riesgo para humanos (Espinoza Paredes & Pupuche Aldana, 2022).

El grupo de los Spinosines y las avermectinas representan cada uno el 4.3% de los ingredientes activos utilizados. Los spinosynes son moduladores alostéricos del receptor nicotínico, derivados de *Saccharopolyspora spinosa*, con alta selectividad y baja toxicidad para organismos no objetivo, lo que permite su uso en agricultura orgánica (Espinoza Paredes & Pupuche Aldana, 2022).

Las avermectinas, derivadas de bacterias del género *Streptomyces*, actúan como moduladores alostéricos del canal de cloro dependiente de glutamato, provocando parálisis. Se emplean tanto en agricultura como en uso veterinario. Presentan baja toxicidad en mamíferos, pero pueden generar resistencia (Rath et al., 2016).

Los fenilpirazoles, representados principalmente por fipronil, actúan como bloqueadores del canal de cloro regulado por GABA, interfiriendo con la transmisión nerviosa. Se emplean



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

ampliamente en agricultura y control doméstico, con baja toxicidad en mamíferos, aunque pueden afectar organismos acuáticos (Gómez – Beltrán et al., 2023).

El grupo butenolides, con el ingrediente activo flupyradifurone, posee un mecanismo similar al de los neonicotinoides, aunque con menor toxicidad para polinizadores, especialmente abejas (Inoue, 2025).

El grupo priproxifen con su ingrediente activo homónimo, es un modulador del receptor de la hormona juvenil actuando directamente en el crecimiento y desarrollo del insecto interfiriendo la metamorfosis e impidiendo que el insecto complete su desarrollo. Su toxicidad en mamíferos es baja (Delbeke et al., 1997).

Los derivados de piridina azometrina, representados por pimetrozina, actúan en el sistema nervioso del insecto como un modular del canal TRPV del órgano cordotonal, afectando funciones clave como equilibrio, alimentación y comportamientos, lo que provoca la muerte del insecto. (Marroquín et al., 1999).

El grupo de tioureas, representado por diafenthiuron, inhibe la ATP sintasa mitocondrial, interrumpiendo la respiración celular. Posee baja toxicidad en mamíferos, pero puede ser tóxico para insectos benéficos (Delbeke et al., 1997).

Las sulfonamida, como sulfluramida, alteran la respiración de los insectos mediante el desacoplamiento de la fosforilación oxidativa, lo cual las hace tóxicas para insectos benéficos (Rodrigues et al., 2025).

Los análogos de la nereistoxina, representados por thiocyclam, bloquean los receptores nicotínicos de acetilcolina, afectando severamente el sistema nervioso. Son insecticidas de origen biológico (Kasheverov et al., 2022).

El grupo buprofezina, con su ingrediente activo del mismo nombre, actúa inhibiendo la síntesis de quitina tipo 1, afectando la muda y el crecimiento; presenta baja toxicidad ambiental (Ullah et al., 2019).

Las oxadiazinas, como indoxacarb, bloquean los canales de sodio, produciendo parálisis y muerte. Son eficaces para diversas plagas agrícolas y domésticas (García Vidal, 2018).

Los fosfuros, como el fosfuro de aluminio, inhiben el transporte de electrones del complejo mitocondrial, afectando la respiración y causando muerte en todas las etapas de desarrollo.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Finalmente, las isoxazolinás, con el ingrediente activo isocycloseram, son moduladores alostéricos de los canales de cloro regulados por GABA, provocando parálisis y muerte (Blythe et al., 2022).

La Tabla 19 presenta los grupos químicos y los ingredientes activos identificados en la cuenca, clasificados según la normativa del IRAC (2022). Aunque a nivel existen muchos más que 47 ingredientes activos, únicamente se incluyen aquellos utilizados y comercializados dentro de la cuenca para los cultivos de importancia agrícola.

La clasificación IRAC representada por números y en algunos casos, letras. Permite identificar el mecanismo de acción de cada ingrediente activo y facilita la rotación de grupos químicos, reduciendo el riesgo de generar resistencia en las plagas. Esta clasificación se aplica exclusivamente a insecticidas y acaricidas, con el objetivo de mejorar la eficacia del control y prevenir la evolución de resistencia en poblaciones de plagas.

Tabla 19.

Insecticidas utilizados y comercializados en la Cuenca del Río los Esclavos

Clasificación IRAC	Grupo químico	Ingrediente activo
1 ^a	Carbamatos	Tiodicarb
		Carbaryl
		Carbosulfan
		Metomil
		Oxamil
1B	Organofosforados	Terbufos
		Clorpirifos
		Diazinon
		Dimetoato
		Malatión
		Pirimifos-metil
		Profenofos
2	Fenilpirazoles	Ethoprophos
		Fipronil



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 19. (Continuación)

Clasificación IRAC	Grupo químico	Ingrediente activo
3A	Piretroides	Bifenthrin
		Alfa-cipermetrina
		Cipermetrina
		Lambda-cyhalotrina
		Deltametrina
		Beta-cyfluthrin
4A	Neonicotenoides	Acetamiprid
		Clotianidin
		Imidacloprid
		Tiametoxam
4D	Butenolides	Flupiradifurona
5	Spinosines	Spinosad
		Spinetoram
6	Avermectinas	Abamectina
		Emamectina
7C	Piriproxifen (Fenil-eter)	Piriproxyfen
9B	Derivados de Piridina-azometina	Pimetrozina
12A	Tiourea	Diafentiuron
13	Sulfonamida	Sulfloramida
14	Análogos de la Nereistoxina	Thiocyclam
		Triflumuron
		Lufenuron
15	Benzoilureas	Teflubenzuron
		Buprofezin
16	Buprofezin	Buprofezin
		Spiromefisen
		Spirotetramate
23	Derivados de los ácidos tetrónicos	Spirodiclofen
		Indoxacarb
22A	Oxadiazinas	Indoxacarb
24A	Fosfuros	Fosfuro de aluminio



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 19. (Continuación)

Clasificación IRAC	Grupo químico	Ingrediente activo
28	Diaminas	Ciantraniliprole
		Clorantraniliprole
		Flubendiamida
30	Isoxazolines	Isocycloseram

Nota. Tabla elaborada con base en la base de datos de ingredientes identificados durante la investigación y clasificados según IRAC (Comité de Acción contra la Resistencia a Insecticidas).

La Tabla 19 presenta los ingredientes activos identificados en la cuenca del río Los Esclavos, clasificados según la normativa del IRAC (2022), la cual organiza los insecticidas y acaricidas con base en su mecanismo de acción. Esta información constituye una herramienta esencial para comprender la estructura del mercado local de plaguicidas, evaluar los riesgos asociados a su uso y orientar estrategias de Manejo Integrado de Plagas (MIP) que incluyan rotación de grupos químicos para prevenir el desarrollo de resistencia.

En la cuenca se utilizan 47 ingredientes activos distribuidos en 20 grupos IRAC, lo que refleja una alta diversidad química. La diversidad de ingredientes activos documentada evidencia una alta presión química dentro de la cuenca, necesaria para el manejo de plagas clave identificadas previamente. Sin embargo, también revela la urgencia de fortalecer las estrategias de uso racional de plaguicidas, incluyendo: rotación adecuada de grupos IRAC, reducción de aplicaciones calendarizadas, monitoreo de resistencia, promoción de alternativas agroecológicas, y capacitación técnica continua para productores y agroservicios.

La información contenida en la Tabla 19 se convierte así en un insumo fundamental para promover una gestión sostenible del manejo de plagas, reducir riesgos ambientales y proteger la salud pública en el contexto de la cuenca del río Los Esclavos.

10.3.2. Fungicidas empleados en la cuenca del Río los Esclavos

Al igual que en el caso de los insecticidas, la identificación de los ingredientes activos de fungicidas resulta fundamental para comprender su importancia en términos de salud, medio ambiente y calidad de agua. Si bien los fungicidas ocupan el tercer lugar en peligrosidad según la Tabla 14, esto no implica que carezcan de riesgo; por, al contrario, algunos ingredientes activos

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

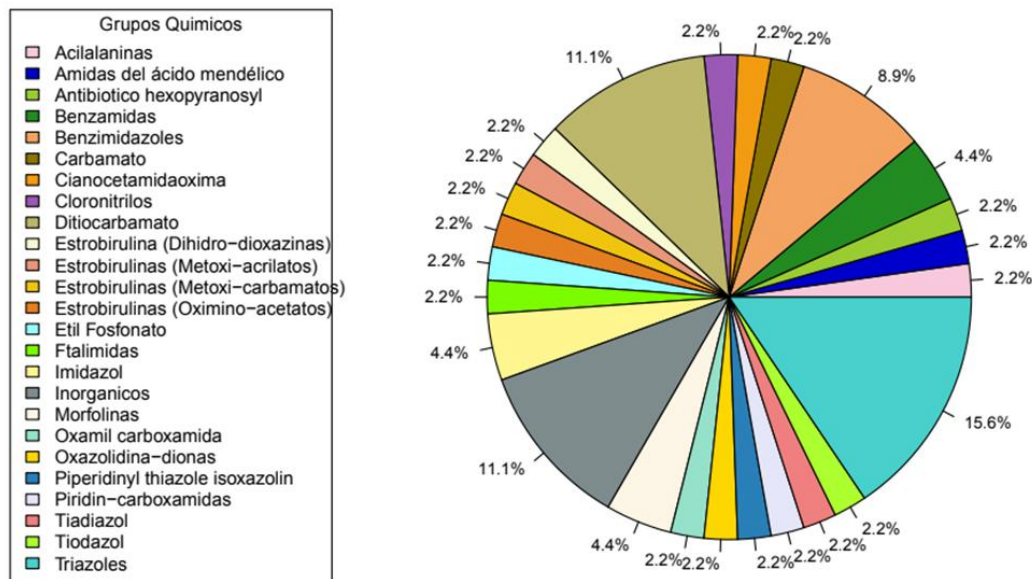
presentan toxicidad aguda o crónica, persistencia ambiental y potencial de afectar organismos no objetivo.

En la cuenca del río los Esclavos se identificaron 45 ingredientes activos con acción fungicida, empleados para el manejo de enfermedades fúngicas en diversos cultivos de importancia agrícola. Estos productos se comercializan principalmente en agroservicios locales y a través de distribuidores o promotores técnicos de diferentes casas comerciales.

La Figura 4 muestra que los grupos químicos con mayor número de ingredientes activos son los triazoles (15.6%), seguidos por los ditiocarbamatos (11.1%) y los fungicidas inorgánicos (11.1%). Esto evidencia una alta dependencia de compuestos de acción sistémica y protectante, común en cultivos como hortalizas, frutales y granos básicos, donde la presión de enfermedades es elevada debido a las condiciones climáticas de la cuenca.

Figura 4.

Ingredientes activos de fungicidas clasificados por grupos químicos



Nota. Figura elaborada con base en la base de datos de ingredientes activos identificados durante la investigación.

La Tabla 20 presenta los grupos químicos y los ingredientes activos de fungicidas identificados en la cuenca, clasificados según en el Fungicide Resistance Action Committee



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

(FRAC,2024). Aunque a nivel mundial existe un número significativamente mayor de ingredientes activos, únicamente se incluyen 45 que son los utilizados y comercializados dentro de la cuenca para los cultivos de interés agrícola.

La clasificación FRAC, representada por códigos numéricos y en algunos casos, letras mayúsculas, permite identificar el mecanismo de acción de cada fungicida y facilita la rotación adecuada de grupos químicos, evitando así la aplicación repetida del mismo modo de acción y reduciendo el riesgo de generar resistencia fungosa. Este comité clasifica exclusivamente fungicidas y fungicidas-insecticidas, con el propósito de mejorar la eficacia en el control de enfermedades y prevenir fallas en el manejo fitosanitario.

Tabla 20.

Fungicidas utilizados y comercializados en la Cuenca del Río los Esclavos

Grupo FRAC	Grupo químico	Ingrediente activo
1	Benzimidazoles	Benomyl
		Carbendazim
		Thiabendazole
		Tiofanato metil
3	Triazoles	Triadimefon
		Cyproconazol
		Tebuconazol
		Epoxiconazol
		Triadimenol
		Flutriafol
		Difenoconazole
3	Tiodazol	Etridiazole
4	Acilalaninas	Metalaxyl
5	Morfolinas	Dodemorf
		Tridemorf
7	Piridin-carboxamidas	Boscalid
	Oxathiin carboxamida	Carboxin



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 20. (Continuación)

Grupo FRAC	Grupo químico	Ingrediente activo
11	Estrobirulinas (Metoxi-acrilatos)	Azoxystrobin
	Estrobirulinas (Metoxi-carbamatos)	Pyraclostrobin
	Estrobirulinas (Oximino-acetatos)	Trifloxystrobin
	Estrobirulina (Dihidro-dioxazinas)	Fluoxastrobin
	Imidazol oxazolidina-dionas	Fenamidona Famoxadone
14	Tiadiazol	Etridiazole
22	Benzamidas	Fluopiram
24	Antibiotico hexopyranosyl	Kasugamicina
27	Cianocetamidaoxima	Cimoxanilo
28	Carbamato	Propamocarb
33	Etil Fosfonato	Fosetil aluminio
40	Amidas del ácido mendélico	Mandipropamida
43	Benzamidas	Fluopicolida
49	Piperidinyll thiazole isoxazolin	Oxathiapiprolin
M01	Imidazol	Procloraz
	Inorgánicos	Cobres
		Cobre metálico
		Oxicloruro de cobre
		Sulfato de cobre pentahidratado
M02	Inorgánicos	Azufres
M03	Ditiocarbamato	Mancozeb
		Metiram
		Metam sodio
		Propineb
M04	Ftalimidas	Thiram
		Captan
M05	Cloronitrilos	Clorotalonil

Nota. Tabla elaborada a partir de la base de datos de ingredientes activos identificados durante la investigación y clasificados según FRAC (Comité de Acción para la Resistencia a los Fungicidas).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los triazoles constituyen el grupo con mayor número de ingredientes activos utilizados en la cuenca. Estos fungicidas actúan como inhibidores de la síntesis de ergosterol en la membrana celular de los hongos, un proceso esencial para su crecimiento y reproducción. Debido a su especificidad bioquímica, no generan daño directo en las plantas y son ampliamente empleados en diversos cultivos de importancia agrícola (Maidana-Ojeda et al., 2025).

Los fungicidas inorgánicos, de origen mineral o metálico, destacan por su uso frecuente en agricultura orgánica. Aunque su mecanismo de acción no está completamente descrito, se sabe que funcionan como productos preventivos de acción por contacto, con actividad multisitio, lo que significa que pueden interferir simultáneamente en distintos procesos fisiológicos del patógeno. Esta misma característica se observa en los ditiocarbamatos, que también presentan un mecanismo de acción multisitio y se emplean como protectantes de amplio espectro. (United States Environmental Protection Agency, s.f.)

El grupo de los benzimidazoles, que representa el 8.88% de los ingredientes activos empleados en la cuenca, es ampliamente utilizado en medicina humana, veterinaria y agricultura. Su modo de acción consiste en inhibir la polimerización de la tubulina, afectando la mitosis fúngica, la división celular y la absorción de nutrientes, lo que lleva a la muerte del patógeno. No obstante, el uso intensivo y prolongado de este grupo ha favorecido la aparición de cepas resistentes, reduciendo significativamente la eficacia de sus moléculas (Prieto Fernández et al. 2014).

Las estrobilurinas, con un 8.88% de representación, constituyen otro grupo de alta relevancia en la cuenca. Según la clasificación FRAC, este grupo se subdivide en: metoxi-acrilatos (como azoxystrobin), metoxi-carbamatos (pyraclostrobin), oximino-acetatos (trifloxystrobin) y dihidro-dioxazinas (fluoxastrobin). Aunque poseen estructuras químicas diferentes, todos actúan como inhibidores externos de la quinona, bloqueando la respiración mitocondrial del hongo. Son fungicidas de amplio espectro y alta eficacia, pero con un riesgo elevado de generar resistencia si no se rotan adecuadamente (Gisi, 2002).

Las morfolinas, que representan el 4.4% de los ingredientes activos identificados, actúan inhibiendo la biosíntesis de esteroides en las membranas celulares de los hongos. Son



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

particularmente eficaces contra oídios y otras enfermedades que afectan la cutícula de los cultivos (Maidana-Ojeda et al., 2025).

La Tabla 21 presenta los mecanismos de acción de los grupos químicos de fungicidas identificados en la cuenca, los cuales permiten comprender cómo actúan sobre la fisiología de los hongos y qué procesos alteran para provocar la muerte del patógeno (FRAC, 2024). Su identificación es fundamental dentro del análisis técnico y ambiental, ya que estos mecanismos pueden asociarse con riesgos potenciales para los seres humanos, animales y ecosistemas. De acuerdo con la Tabla 14 de peligrosidad, los fungicidas presentan una toxicidad baja a moderada para la salud humana y el ambiente; sin embargo, su impacto depende del ingrediente activo, su persistencia y su frecuencia de uso.

Tabla 21.

Mecanismos de acción de los grupos químicos de fungicidas presentes en la cuenca del río Los Esclavos (según FRAC, 2024)

Grupo químico	Mecanismo de acción según FRAC
Tiodazol	Síntesis de lípidos y membranas /Peroxidación de lípidos.
Acilalaninas	Inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos (ARN).
Piridin-carboxamidas	Inhibición de la respiración mitocondrial / bloqueo del complejo II.
Imidazol	Inhibición de la biosíntesis de esteroides (DMI).
oxazolidina-dionas	Inhibición de la respiración mitocondrial / acción similar a QoI.
Tiadiazol	Inhibición del transporte de electrones en la cadena respiratoria.
Benzamidas	Inhibición de la mitosis / bloqueo de la β -tubulina.
Antibiotico hexopyranosyl	Inhibición de la síntesis de proteínas.
Cianocetamidaoxima	Mecanismo de acción no completamente elucidado.
Carbamato	Inhibición de la síntesis de lípidos y fosfolípidos de membrana.
Etil Fosfonato	Mecanismo no completamente conocido / acción sistémica indirecta (estimula defensas).
Mandelamida	Inhibición de la síntesis de lípidos / alteración de fosfolípidos de membrana.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 21. (Continuación)

Grupo químico	Mecanismo de acción según FRAC
Piperidinyl thiazole isoxazolinás	Alteración del transporte o síntesis de lípidos / disrupción de membranas.
Imidazol	Inhibición de la biosíntesis de esteroides (DMI).
Ftalimidás	Acción multisitio de contacto

Nota. Tabla elaborada y corregida a partir de FRAC (2024) y la base de datos de ingredientes activos recopilados en campos.

10.3.3. Herbicidas empleados en la cuenca del Río los Esclavos

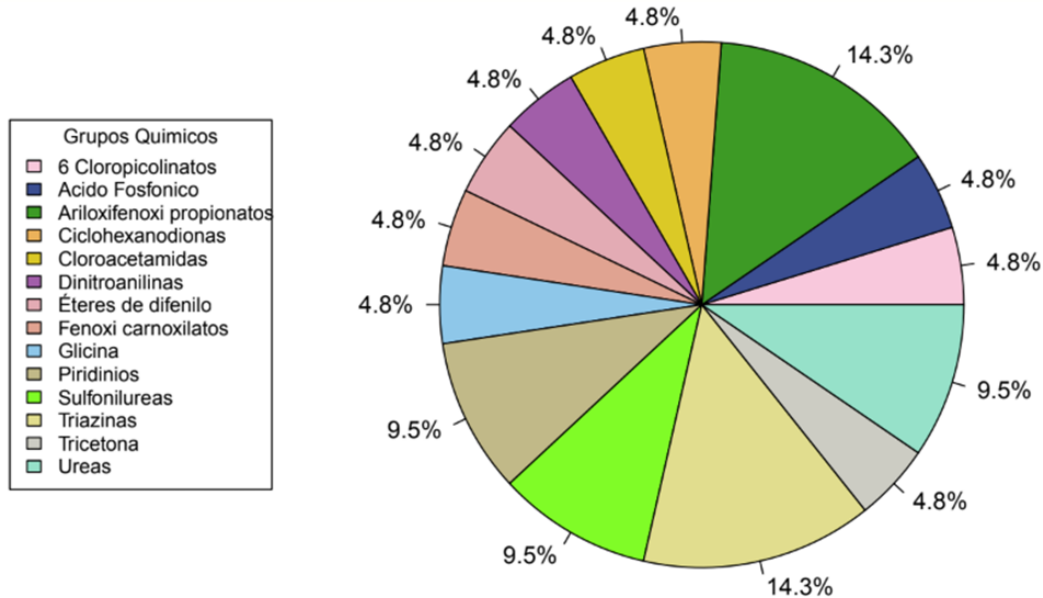
La Figura 5 muestra que, a nivel de cuenca, los herbicidas constituyen el grupo con menor número de ingredientes activos comercializados o utilizados, con un total de 21 moléculas identificadas. Sin embargo, a pesar de su menor diversidad química, representan uno de los plaguicidas más utilizados en términos de volumen aplicado, debido a su papel fundamental en el manejo de malezas. Su uso permite reducir la competencia por luz, agua y nutrientes, así como disminuir los costos asociados al control mecánico o manual de malezas.

Además de su función herbicida, algunos ingredientes activos pueden actuar como reguladores de crecimiento en cultivos específicos. No obstante, su aplicación también puede generar efectos negativos en el ambiente, especialmente en el recurso hídrico, debido a su potencial movilidad y persistencia. En la Tabla 14 de peligrosidad, los herbicidas ocupan el segundo lugar, lo que evidencia su relevancia en términos de riesgo toxicológico y ambiental (Marchi, et al. 2008).

Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Figura 5.

Ingredientes activos de herbicidas clasificados por grupos químicos



Nota. Figura elaborada con base en la base de datos de ingredientes activos identificados durante la investigación.

La Tabla 22 enlista los grupos químicos y los ingredientes activos herbicidas utilizados dentro de la cuenca. De acuerdo con el *Herbicide Resistance Action Committee* (HRAC, 2023), existen muchos más ingredientes activos a nivel mundial; sin embargo, para la cuenca y los cultivos de importancia agrícola solamente se identificaron 21 los que se detallan en dicha tabla. La clasificación HRAC se representa mediante números, lo que facilita la rotación de grupos químicos y contribuye a evitar el uso repetitivo de un mismo mecanismo de acción, reduciendo así la probabilidad de generar resistencia en malezas. Este comité clasifica los herbicidas con base en su mecanismo de acción y su efecto sobre los procesos fisiológicos de las plantas, lo cual es esencial para planificar programas de manejo integrado y estrategias de mitigación de resistencia.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 22.

Herbicidas utilizados y comercializados en la Cuenca del Río los Esclavos

Grupo Hrac	Grupo Químico	Ingrediente activo
1	Ariloxifenoxi-propionatos	Fluazifop
		Fenoxaprop-p-ethyl
		Haloxyfop-p-metil
2	Ciclohexanodionas	Cletodim
		Metsulfuron metilo
2	Sulfonilureas	Nicosulfuron
3	Dinitroanilinas	Pendimetalin
4	6-cloropicolinatos	Picloram
	Fenoxi – carboxilatos	2,4-D
5	Triazinas	Atrazina
		Ametrina
		Metribuzin
		Diuron
9	Ureas	Linuron
		Glicina
10	Ácido Fosfónico	Glufosinato de Amonio
14	Éteres de difenilo	Fomesafen
15	Cloroacetamidas	Metolaclor
22	Piridinios	Diquat
		Paraquat
27	Tricetona	Mesotriona

Nota. Elaborada con base en la base de datos de ingredientes identificados durante la investigación, clasificados según HRAC (Comité de Acción para la Resistencia a los Herbicidas).

Los ariloxifenoxi-propionatos y las triazinas, cada uno con tres ingredientes activos, representan un 14.3% del total identificado. Los ariloxifenoxi-propionatos (FOP) actúan como inhibidores de la acetil-CoA carboxilasa, siendo altamente efectivos contra gramíneas y con buena selectividad hacia cultivos agrícolas. No obstante, el uso continuo favorece el desarrollo de resistencia (Vázquez-García & Martínez-Ghersa, 2020).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Las triazinas inhiben el flujo de electrones en el fotosistema II dentro de los cloroplastos, bloqueando la fotosíntesis. Son herbicidas selectivos para malezas de hoja ancha y gramíneas anuales; sin embargo, presentan alta persistencia en el suelo y un riesgo elevado de contaminación ambiental (Marchi et al., 2008).

Las sulfonilureas (9.5%), con dos ingredientes activos, inhiben la enzima acetolactato sintasa (ALS). Su eficacia a bajas dosis es ventajosa, pero el uso continuo ha generado resistencias documentadas en numerosos países (Vázquez-García & Martínez-Ghersa, 2020).

Las ureas sustituidas (9.5%) también actúan como inhibidoras del fotosistema II y pueden comportarse como reguladores del crecimiento. Se caracterizan por su elevada eficacia y persistencia en el ambiente; al igual que otros grupos, el uso intensivo puede inducir resistencia en malezas (Marchi et al., 2008; Vidal et al., 2014).

Los piridinius (9.5%), como paraquat y diquat, desvían electrones del fotosistema I y actúan de forma no selectiva. Se caracterizan por su rapidez de acción y son empleados también para desecar cultivos (por ejemplo, papa). Su uso continuo incrementa el riesgo de resistencia (Vázquez-García & Martínez-Ghersa, 2020).

La Tabla 23 presenta los mecanismos de acción de los grupos químicos de herbicidas identificados en la cuenca. Estos mecanismos permiten comprender cómo interactúan los herbicidas con las malezas, afectando procesos fisiológicos esenciales que provocan su muerte o inhiben su desarrollo. Conocer estos mecanismos es fundamental para evaluar posibles efectos negativos en el ambiente y la salud humana, así como para diseñar estrategias de rotación que reduzcan el riesgo de resistencia en malezas. De acuerdo con la Tabla 14 de peligrosidad, los herbicidas constituyen el segundo grupo con mayor nivel de toxicidad, después de los insecticidas.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 23.

Mecanismos de acción de grupos químicos de herbicidas con un solo ingrediente activo presente en la cuenca del Río Los Esclavos

Grupo Químico	Mecanismo de acción
Ciclohexanodionas	Inhibición de la Acetil-CoA carboxilasa
Dinitroanilinas	Inhibición del ensamblaje de microtúbulos
6-cloropicolinatos	Imitadores de auxinas
Fenoxi - carboxilatos	Imitadores de auxinas
Glicina	Inhibición de la sintetasa de fosfato de enolpiruvil-shikimato (EPSPS).
Ácido Fosfónico	Inhibición de la glutamina sintetasa
Éteres de difenilo	Inhibición de la protoporfirinógeno oxidasa (PPO)
Cloroacetamidas	Inhibición de la síntesis de ácidos grasos de cadena larga (VLCFA)
Tricetona	Inhibición de la hidroxifenilpiruvato dioxigenasa (HPPD)

Nota. Elaborada con base a la información recopilada sobre ingredientes activos de uso en la cuenca y adaptada a partir de HRAC.

10.4. Estimación de dosis, cantidades y formas de aplicación de insecticidas

La Tabla 24 detalla las dosis y formas de aplicación que se utilizan con mayor frecuencia en los insecticidas. Una dosis mal estimada, por ejemplo, una sobredosis, puede causar contaminación en cuerpos de agua y en el suelo, además de generar efectos crónicos. Conocer las dosis empleadas tanto las reales como las recomendadas permite identificar si están siendo aplicadas en la cantidad exacta, así como evaluar la exposición humana y animal a la cual se encuentran sometidos. Por otro lado, cuando existe subdosificación, puede desarrollarse resistencia en las poblaciones de plagas (Abarca & Torres, 2020).

Las formas de aplicación también ayudan a identificar la vía frecuente de exposición de las moléculas, indicando que una molécula aplicación inadecuadas puede provocar efectos negativos.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 24.

Dosis y forma de aplicación por ingredientes activos de insecticidas

Grupo químico	Ingrediente activo	Dosis	Forma de aplicación
Carbamatos	Tiodicarb	100 - 200 mL/ha	Pulverización foliar, suelo y semillas
	Carbaryl	100 - 300 g/ha	Pulverización foliar y suelo
	Carbosulfan	100 - 200 g/ha	Pulverización foliar, suelo y semillas
	Metomil	100 - 300 mL/ha	Pulverización foliar, suelo y semillas
	Oxamil	100 - 300 mL/ha	Pulverización foliar, suelo y semillas
Organofosforados	Terbufos	0.25 - 1 L/ha	Suelo y semillas
	Clorpirifos	0.25 - 1 L/ha	Pulverización foliar, suelo y semillas
	Diazinon	0.2 - 1 L/ha	Pulverización foliar, suelo y semillas
	Dimetoato	0.2 - 1 L/ha	Pulverización foliar y suelo
	Malatión	0.2 - 1 kg/ha	Pulverización foliar y semillas
	Pirimifos metil	0.2 - 1 L/ha	Pulverización foliar y semillas
	Profenofos	0.3 - 1 L/ha	Pulverización foliar y semillas
Ethoprophos	0.5 - 2 L/ha	Suelo y riego	
Fenilpirazoles	Fipronil	50 a 200 L/ha	Pulverización foliar y fumigación
Piretroides	Bifentrin	10 a 50 mL/ha	Pulverización foliar y fumigación
	Alfa-cipermetrin	10 a 50 mL/ha	Pulverización foliar y fumigación
	Cipermetrina	10 - 100 mL/ha	Pulverización foliar y fumigación
	Lambda-cyhalotrina	5 a 30 mL/ha	Pulverización foliar y fumigación
	Deltametrina	10 - 50 mL/ha	Pulverización foliar y fumigación
	Beta-cyfluthrin	10 a 50 mL/ha	Pulverización foliar y fumigación



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 24. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Dosis de i.a.	Forma de aplicación
Neonicotenoides	Acetamiprid	20 a 200 mL/ha	Pulverización foliar y suelo
	Clotianidin	20 a 50 mL/ha	Pulverización foliar
	Imidacloprid	10 - 100 mL/ha	Pulverización foliar, suelo y semillas
	Tiametoxan	10 - 100 mL/ha	Pulverización foliar, suelo y semillas
Butenolides	Flupiradifurona	30 - 100 mL/ha	Pulverización foliar
Spinosines	Spinosad	50 - 200 mL/ha	Pulverización foliar y suelo
	Spinetoram	20 - 75 mL/ha	Pulverización foliar y suelo
Avermectinas	Abamectina	50-200 mL/ha	Pulverización foliar
	Emamectina	50-100 mL/ha	Pulverización foliar
Piriproxifen (Fenil eter)	Piriproxyfen	20 - 50 mL/ha	Pulverización foliar
Derivados de Piridina Azometina	Pimetrozina	50 - 150 mL/ha	Pulverización foliar
Tiourea	Diafentiuron	50-150 mL/ha	Pulverización foliar
Sulfonamida	Sulfruramida	1 - 2 kg/ha	Cebo o espolvoreado
Análogos de la Nereistoxina	Thiociclan	50-150 gr/ha	Pulverización foliar
Benzoilureas	Triflumuron	50-150 mL/ha	Pulverización foliar, suelo y riego
	Lufenuron	50-200 mL/ha	Pulverización foliar, suelo y riego
	Teflubenzuron	25-100 mL/ha	Pulverización foliar y suelo
Buprofezin	Buprofezin	50-100 mL/ha	Pulverización foliar, suelo y riego
Derivados de los ácidos tetrónicos	Spiromefisen	30 - 75 mL/ha	Pulverización foliar y suelo
	Spirotetramate	40 - 80 mL/ha	Pulverización foliar, suelo y riego
	Spirodiclofen	30 - 75 mL/ha	Pulverización foliar
Oxadiazinas	Indoxacarb	30 - 75 mL/ha	Pulverización foliar y riego
Fosfuros	Fosfuro de aluminio	3 - 6 tabletas /tonelada	Aplicación en granos



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 24. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Dosis de i.a.	Forma de aplicación
Diaminas	Ciantraniliprole	30 - 100 mL/ha	Pulverización foliar, suelo y riego
	Clorantraniliprole	20 - 100 mL/ha	Pulverización foliar, suelo y riego
	Flubendiamida	20 - 100 mL/ha	Pulverización foliar, suelo y riego
Isoxazolines	Isocicloseram	30 - 100 mL/ha	Pulverización foliar y suelo

Nota. Tabla elaborada a partir de panfletos de casas comerciales de plaguicidas y fichas técnicas.

i.a.= ingrediente activo

Los insecticidas están contemplados como plaguicidas altamente tóxicos para la salud humana y el medio ambiente. La utilización de las dosis correctas permite un manejo seguro de estos productos; sin embargo, se ha concluido que, principalmente, los pequeños agricultores utilizan dosis incorrectas (Bisset, 2002). Las formas de aplicaciones más comunes son las pulverizaciones foliares, las aplicaciones directas al suelo para el control de plagas del suelo, la aplicación vía riego para insecticidas sistémicos y los tratamientos para semillas. Las aplicaciones al suelo y las realizadas a través del riego pueden generar un impacto negativo mayor en cuerpos de agua y ecosistemas acuáticos.

Durante las entrevistas realizadas a los agricultores, ellos indicaron que las dosis que utilizan corresponden a las recomendadas por los agroservicios. Al revisar las dosis sugeridas por estos establecimientos, se observó que son muy similares entre productos, con recomendaciones que van desde 1 cc/L de agua hasta una o dos copas Bayer por bomba de mochila, sin considerar densidad poblacional de plagas, ni fenología del cultivo, muchos menos una calibración que permita identificar la cantidad de agua por área.

No existe un estudio específico que indique con exactitud la temporalidad de aplicación de los insecticidas. Esta depende del ciclo fenológico del cultivo, la ubicación geográfica, la resistencia de la plaga y las condiciones climáticas, tales como temperatura y humedad. A mayor temperatura, los ciclos de vida de las plagas se acortan, lo que generan un incremento poblaciones en menos tiempo; por el contrario, a menor temperatura, los ciclos se alargan y la población disminuye. En el caso de los ácaros, la humedad actúa de la siguiente manera: a menor humedad ocurre un aumento poblacional, mientras que a mayor humedad la población disminuye. Por lo



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

anterior, se considera que en los meses secos los insecticidas pueden ser utilizados con mayor frecuencia. Las plagas pueden estar presentes en todo momento, desde la siembra hasta la cosecha, por lo que es necesario aplicar insecticidas cuando la población de plagas alcance el umbral de acción (Carrillo-Rayas & Blanco-Labra, 2009).

Las estructuras de protección, como casas mayas, túneles o invernaderos, funcionan como barreras que pueden retrasar la necesidad de aplicar insecticidas. Productos como los carbamatos, que se aplican al suelo o se utilizan como tratamientos de semilla, tienden a incrementar al inicio de la época lluviosa, cuando los agricultores comienzan a preparar el suelo para la siembra de maíz y frijol (Arévalo Guerra & Bonilla, 2019; Carrillo-Rayas & Blanco-Labra, 2009).

10.5. Estimación de dosis, cantidades y formas de aplicación de fungicidas

La Tabla 25 detalla las dosis y las formas de aplicación que se utilizan con mayor frecuencia en los fungicidas. El uso inadecuado de las dosis puede generar efectos no deseados en el control de enfermedades: las dosis altas pueden provocar escorrentías y contaminación ambiental, mientras que las dosis bajas pueden favorecer el desarrollo de resistencia a fungicidas. Asimismo, las formas de aplicación permiten identificar las vías más comunes de exposición a las moléculas, lo cual evidencia que una aplicación incorrecta puede generar efectos negativos tanto en el ambiente como en la salud humana.

Tabla 25.

Dosis y formas de aplicación por ingredientes activos de fungicidas

Grupo químico	Ingrediente activo	Dosis de i.a.	Forma de aplicación
	Benomyl	200 - 500 mL/ha	Pulverización foliar
	Carbendazim	112 - 250 mL/ha	Pulverización foliar
Benzimidazoles	Thiabendazole	100 a 150 mL/100 L de agua	Suelo y riego
	Tiofanato metyl	100 - 300 g/ha	Pulverización foliar y riego



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 25. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Dosis de i.a.	Forma de aplicación
Tiodazol	Etridiazole	100 a 200 g /100 L de agua	Pulverización foliar y riego
Acilalaninas	Metalaxyl	108 -288 mL/ha	Pulverización foliar
	Triadimefon	100 a 250 mL/ha	Pulverización foliar y riego
	Cyproconazol	30 - 40 mL/ha	Pulverización foliar
	Tebuconazol	50 - 200 ml/ha	Pulverización foliar y riego
Triazoles	Epoxiconazol	50 - 75 mL/ha	Pulverización foliar
	Triadimenol	100 a 200 mL/ha	Pulverización foliar y riego
	Flutriafol	50 a 100 mL/ha	Pulverización foliar y riego
	Difenoconazole	30-100 g/ha	Pulverización foliar
Morfolinas	Dodemorf	200 - 400 mL /100 L de agua	Pulverización foliar y riego
	Tridemorf	200 a 400 L/ha	Pulverización foliar y suelo
Piridin-carboxamidas	Boscalid	50 a 200 L/ha	Suelo
Oxamil carboxamida	Carboxin	100 a 200 mL/100 kg de semilla	Tratamiento para semilla
Estrobirulinas (Metoxi-acrilatos)	Azoxystrobin	60 - 80 mL/ha	Pulverización foliar
Estrobirulinas (Metoxi-carbamatos)	Pyraclostrobin	50 - 100 g/ha	Pulverización foliar
Estrobirulinas (Oximino-acetatos)	Trifloxystrobin	75 a 200 mL/ha	Pulverización foliar y riego



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 25. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Dosis de i.a.	Forma de aplicación
Estrobirulina (Dihidro-dioxazinas)	Fluoxastrobin	75 a 200 mL/ha	Pulverización foliar y riego
Imidazol oxazolidina-dionas	Fenamidona	200 - 400 mL/ha	Pulverización foliar
	Famoxadone	150 - 300 mL/ha	Pulverización foliar
Tiadiazol	Etridiazol	0.5 - 2 kg/ha	Suelo y riego
Benzamidas	Fluopiram	125 - 500 mL/ha	Suelo y semillas
Antibiotico hexopyranosyl	Kasugamicina	50 a 200 g/ha	Tratamiento para semilla
Cianocetamida-oxima	Cimoxanilo	100 a 200 g/ha	Pulverización foliar
Carbamato	Propamocarb	0.7 - 2 kg/ha	suelo y tratamiento para semilla
Etil Fosfonato	Fosetil aluminio	2 - 4 kg/ha	Suelo y tronco directo
Amidas del ácido mendélico	Mandipropamida	100 - 125 mL/ha	Pulverización foliar
Benzamidas	Fluopicolida	50 - 100 g/ha	Riego
Piperidinyl thiazole isoxazolin	Oxathiapiprolin	66 - 132 mL/ha	Suelo
Imidazol	Procloraz	168 - 195 mL/ha	Pulverización foliar
Inorgánicos	Cobres	400 - 600 g/ha	Pulverización foliar
	Cobre metalico	400 - 800 g/ha	Pulverización foliar
	Oxicloruro de cobre	336 - 670 g/ha	Pulverización foliar
	Sulfato de cobre pentahidratado	4 - 6 kg/ha	Pulverización foliar



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 25. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Dosis de i.a.	Forma de aplicación
	Azufres	160 - 1200 mL/ha	Pulverización foliar
	Mancozeb	0.8 - 3.2 L/ha	Pulverización foliar
	Metiram	1 - 1.8 kg/ha	Pulverización foliar
Ditiocarbamato	Metam sodio	126 - 336 mL/ha	Suelo
	Propineb	0.8 a 1.3 L/ha	Pulverización foliar
	Thiram	1.6 - 3.2 kg/ha	Suelo, riego
	Ziram	1.1 - 2.3 L/ha	Pulverización foliar
Ftalimidas	Captan	0.5 - 1.2 kg/ha	Pulverización foliar
Cloronitrilos	Clorotalonil	1.2 - 1.4 L/ha	Pulverización foliar

Nota. Tabla elaborada a partir de panfletos de casas comerciales de plaguicidas y fichas técnicas.

i.a.= ingrediente activo

Al realizar una comparación entre las dosis proporcionadas por los productores o los agroservicios, se observa una diferencia importante, ya que las dosis suelen expresarse en términos de bombas de mochila, sin considerar la cantidad de agua que realmente utiliza el productor. En pequeños agricultores, esto se traduce en aplicaciones incorrectas, lo que con frecuencia genera sobredosisificación o subdosificación. Por lo contrario, los productores medianos y grandes que han recibido capacitación técnica tienden a considerar la calibración del equipo para mejorar la aplicación, hacen un uso adecuado de los implementos y analizan los panfletos, lo que les permite utilizar los plaguicidas de manera correcta. Vásquez Téllez (2017) identifica la necesidad de capacitación técnica para los agroservicios, con el fin de incrementar sus ventas; sin embargo, no se identifica una capacitación agrícola especializada. Por lo tanto, un mayor conocimiento sobre la importancia de aplicar dosis adecuadas podría reducir los impactos negativos de las moléculas utilizadas..

Los fungicidas se consideradas productos de baja a moderada toxicidad; no obstante, su aplicación directa al suelo puede, en algunos casos, causar efectos negativos en los



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

microorganismos del suelo. Asimismo, cuando los fungicidas se aplican vía riego, pueden generar efectos negativos en los ecosistemas acuáticos.

La temporalidad de aplicación de fungicidas depende del cultivo, su estacionalidad y ciclo fenológico. Sin embargo, es conocido que las enfermedades fúngicas tienden a incrementarse durante los meses de mayor humedad, es decir, en períodos con mayor precipitación pluvial. En el caso de Guatemala, esto se presenta a partir del mes de abril para la utilización de fungicidas preventivos, y entre los meses de mayo y octubre para el tratamiento y erradicación de enfermedades. Es recomendable realizar monitoreos constantes de las enfermedades presente en el cultivo, evaluar de forma continua las condiciones climáticas e identificar los umbrales epidemiológicos para determinar el momento adecuado de aplicación (Arévalo Guerra & Bonilla, 2019).

10.6. Estimación de dosis, cantidades y formas de aplicación de herbicidas

La Tabla 26 enlista las dosis de los ingredientes activos de herbicidas identificados en la presente investigación. Las dosis fueron obtenidas directamente de las casas comerciales que fabrican los productos, sin embargo, durante las entrevistas realizadas a los agricultores, estos mencionaron que no utilizan las dosis recomendadas. En la práctica, al momento de realizar la compra en los agroservicios, emplean únicamente las dosis sugeridas por los vendedores.

Tabla 26.

Dosis por ingredientes activos de herbicidas

Grupo Químico	Ingrediente activo	Dosis de i.a.
	Fluazifop	0.12 - 0.75 L/ha
Ariloxifenoxi-propionatos	Fenoxaprop-p-ethyl	30 – 40 mL/ha
	Haloxifop-p-metil	30 - 100 mL/ha
Ciclohexanodionas	Cletodim	96 - 400 mL/ha
Sulfonilureas	Metsulfuron metilo	4.2 - 9 kg./Ha
	Nicosulfuron	40 - 50 mL/ha
Dinitroanilinas	Pendimetalin	0.8 - 1.6 L/ha



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 26. (Continuación)

Grupo Químico	Ingrediente activo	Dosis de i.a.
6-cloropicolinatos	Picloram	75 - 150 mL/ha.
Fenoxi - carboxilatos	2,4-D	1 - 1.6 L/Ha
Triazinas	Atrazina	1.2 - 2.7 kg/ha
	Ametrina	1 - 1.5 L/ha
	Metribuzin	0.45 - 1.5 L/ha
Ureas	Diuron	1.6 - 2.4 L/ha
	Linuron	0.75 - 1.5 L/ ha
Glicina	Glyphosato	0.5 - 1.4 L/ha
Cloroacetamidas	Metolaclor	0.7 - 1.9 L/ha
Ácido Fosfónico	Glufosinato de Amonio	250 - 300 mL/Ha
Éteres de difenilo	Fomesafen	130 - 160 mL/ha
Piridinius	Diquat	300 - 600 mL/ha
	Paraquat	300 - 600 mL/Ha
Tricetona	Mesotriona	1.1 - 1.4 L/ha

Nota. Tabla elaborada a partir de panfletos de casas comerciales de plaguicidas y fichas técnicas.

Ia= ingrediente activo

Las dosis pueden variar, por ejemplo, desde 1 cc/L de agua, 100 cc por bomba de mochila o cuatro copas Bayer por bomba. Estas corresponden a dosis genéricas que no concuerdan con las descritas en las tablas anteriores, principalmente porque no se realiza una calibración previa que permita identificar la cantidad exacta de agua a utilizar por área. Tampoco se considera la etapa fenológica del cultivo y, en algunos casos, el diagnóstico de la maleza no es correcto. En consecuencia, el agricultor puede estar sobredosificando o subdosificando, generando impactos negativos en la salud humana y en el medio ambiente.

Para hacer aplicación de herbicidas dependerá del tipo de malezas, las características del suelo y el cultivo. La aplicación se realiza cuando se identifica que las malezas compiten directamente con el cultivo; por lo tanto, anterior depende del criterio y experiencia del productor



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

o del técnico que brinde la recomendación. En el cultivo de caña de azúcar, las aplicaciones suelen realizarse al inicio del ciclo vegetativo, entre los meses de noviembre y abril.

La forma de aplicación es principalmente por pulverización foliar, buscando el contacto o directo con la maleza a eliminar. Sin embargo, existen herbicidas preemergentes o residuales que pueden aplicarse directamente al suelo, como el pendimetalin, metribuzin y diuron.

La mayoría de estudios se han enfocado en identificar riesgos que tienen los plaguicidas en la salud humana y en el ambiente; no obstante, son pocos los que analizan las actitudes, conocimientos y prácticas reales realizadas por los agricultores en campo.

Arcia-Pineda y Bravo-Vallejos (2022) analizan los conocimientos, actitudes y prácticas sobre el uso de plaguicidas en Honduras y señalan la influencia del nivel de escolaridad, con énfasis en que el 63% de los agricultores posee escolaridad incompleta. Asimismo, el bajo nivel socioeconómico limita el acceso a recursos y conocimientos adecuados. Los autores concluyen que el bajo nivel de conocimientos y actitudes negativas se asocia al mal uso de plaguicidas, lo que incrementa el riesgo de exposición ocupacional.

Arévalo, Bacca y Soto (2014) diagnosticaron el uso y manejo de plaguicidas en fincas productoras, relacionándolo con factores socioeconómicos, prácticas de manejo y riesgos asociados. Concluyen que la problemática del mal uso de los plaguicidas se debe a la falta de asistencia técnica orientada al uso adecuado de estos insumos. Aunque las casas comerciales brindan recomendaciones, su prioridad es la venta, no la formación sobre prácticas seguras. La intervención de líderes comunitarios puede fortalecer los procesos de aprendizajes y contrarrestar creencias incorrectas arraigadas.

Cerrón Rodríguez (2024) señala la importancia fundamental de las capacitaciones, pero destaca que muchos técnicos olvidan la necesidad de adaptar adecuadamente la información de las características socioculturales del grupo de agricultores. Aunque exista información técnica sobre el uso correcto de plaguicidas, es indispensable trabajar en los procesos de enseñanza aprendizaje.

Escobar (1999) indica que el conocimiento y las actitudes de los agricultores frente a las normas de seguridad en el manejo de plaguicidas son fundamentales. Concluye que la baja escolaridad, el analfabetismo y las actitudes desfavorables influyen en el uso incorrecto de dosis, y que la intervención educativa constituye una estrategia clave para fortalecer capacidades y contrarrestar debilidades.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Hernández Cervantes et al. (2021) evaluaron el nivel de conocimiento, prácticas y actitudes de los agricultores sobre el uso de plaguicidas y concluyen que la falta de conocimientos genera un mal manejo, como se observa en las diferencias entre las dosis recomendadas y utilizadas. Señalan la necesidad de facilitar la transferencia de conocimientos sobre el uso seguro de estos productos.

Sinchire Castillo, Cayambe y Heredia-R (2023) realizaron un análisis situacional sobre el uso de plaguicidas en unidades agrícolas y evidenciaron la existencia de prácticas inadecuadas, como dosis incorrectas y derrames, por lo que recomiendan hacer diagnósticos constantes y capacitaciones orientadas a la concientización y manejo adecuado.

Badii y Varela (2008) analizan casos enfocados en el conocimiento, percepción y prácticas de los agricultores respecto a la aplicación de plaguicidas. Concluyen que los factores que influyen en el incumplimiento de recomendaciones técnicas incluyen los años de experiencia (que refuerzan prácticas erróneas), el bajo nivel de escolaridad y la edad de los agricultores, predominantemente entre los 41 y 50 años. Aunque los agricultores reconocen los daños que pueden causar estas moléculas, el nivel de protección y conocimiento continúa siendo deficiente. Los autores proponen fortalecer la sensibilización, capacitación y educación para mejorar la comprensión y las prácticas de manejo.

10.6.1. Cultivos que implican mayor uso de plaguicidas

Dentro de la cuenca, por su naturaleza y tipo de producción, existen cultivos que presentan un mayor uso de plaguicidas, como se muestra en la Tabla 27. Esta tabla no concluye que únicamente estos cultivos utilizan plaguicidas; más bien, resalta aquellos que, debido a sus características agronómicas, presentan mayor propensión al uso de estos productos. Esto se debe a la alta probabilidad de ser afectados por plagas, enfermedades o malezas, lo cual genera un riesgo latente y posible desequilibrio económico para los productores.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 27.

Cultivos que implican un mayor uso de plaguicidas

Insecticidas	Fungicidas	Herbicidas
Tomate	Café	Maíz
Chile pimiento	Tomate	Caña de azúcar
Otras hortalizas	Pepino	Sorgo
Maíz	Otras hortalizas	Arroz
Frijol	Ornamentales	Frutales
Caña de azúcar	Banano	Frijol
Ornamentales	Fresa	Piña
Melón	Mora	Hortalizas
Sandía	Melón	
Tabaco	Sandía	
Café		
Piña		
Otros frutales		

Nota. Elaborada con base en información recolectada durante la investigación. Los cultivos se presentan en orden de prioridad.

El objetivo 4 planteaba identificar la cantidad en volumen de plaguicidas utilizados; sin embargo, para cumplir con este propósito sería necesario conocer la frecuencia de uso, los tipos de mezclas empleadas, la distribución espacial de malezas predominantes por sector de la cuenca, el tipo de productor, la capacidad económica de compra, entre otros aspectos que no fueron considerados en la presente investigación. Es importante recordar que está es una investigación de carácter cualitativo, cuyo propósito principal es identificar aspectos clave que permitan comprender la situación actual del uso de plaguicidas en la cuenca y el riesgo latente que estos pueden generar en la salud humana y en el ambiente.

10.7. Descripción de los posibles impactos ambientales y a la salud humana de los plaguicidas agrícolas con relación a un manejo integrado de la cuenca

Diversos estudios científicos han demostrado que los plaguicidas juegan un papel crucial en la salud humana y representan un riesgo significativo de generar impactos negativos en el



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

ambiente. Entre los principales efectos se encuentran la disminución de polinizadores, la reducción de insectos benéficos, la intoxicación de organismos acuáticos y la contaminación de cuerpos de agua. El presente apartado describe los impactos negativos asociados a los ingredientes activos identificados dentro de la cuenca, abarcando toxicidad aguda y crónica en seres humanos, persistencia y movilidad en suelo y agua, así como toxicidad para organismos acuáticos.

Generalmente, los estudios sobre plaguicidas se dividen en dos enfoques principalmente:

- a) Aquellos que analizan los impactos en la salud humana, usualmente desarrollados por profesionales de la medicina, y
- b) Los que abordan los impactos ambientales, elaborados desde las ambientales y agrícolas.

10.7.1. Impactos en la salud humano

Los estudios relacionados con la salud humana se basan en las intoxicaciones que los plaguicidas pueden generar, clasificados en intoxicaciones agudas e intoxicaciones crónicas.

La intoxicación aguda se caracteriza por una reacción rápida y severa asociadas al uso inadecuado de las moléculas, ya sea por inhalación, ingestión o contacto dérmico. Las exposiciones pueden ser accidentales o provocadas por malas prácticas de manejo.

La exposición accidental incluye: derrames de mezcla, ruptura de empaques, fugas del equipo de aplicación. El mal manejo incluye: falta de equipo de protección personal, uso de dosis incorrectas, aplicaciones innecesarias y equipo sin mantenimiento, entre otras.

Los efectos casi inmediatos y requieren atención médica urgente. Entre los síntomas agudos más frecuentes se encuentran:

- Náusea, mareos y vómitos.
- Dolor de cabeza.
- Debilidad.
- Dificultad respiratoria.
- Convulsiones.
- Irritación ocular y dérmica.
- En casos graves: parálisis muscular y muerte.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Los insecticidas organofosforados y organoclorados se asocian a un mayor número de impactos en la salud debido a su mecanismo de acción sobre el sistema nervioso, el cual tiene similitud entre insectos y seres humanos (Ponce et al., 2006; Mostafalou & Abdollahi, 2013).

Los plaguicidas con etiqueta roja, según la OMS, presentan alta toxicidad aguda debido a su baja DL 50, lo que significa que pequeñas cantidades pueden causar la muerte del 50% de una población de prueba. Organofosforados como clorpirifós y dimetoato inhiben la acetilcolinesterasa, lo que los hace altamente peligrosos para humanos. Los carbamatos presentan efectos similares. Aunque los piretroides son considerados menos tóxicos, su mal manejo también constituye un riesgo. Los neonicotinoides, como imidacloprid y tiametoxan, presentan baja toxicidad para humanos, pero son altamente tóxicos para abejas.

La intoxicación crónica ocurre por exposición repetida a pequeñas dosis durante semanas, meses o años. Puede generar enfermedades silenciosas, tales como (Del Puerto Rodríguez & Suárez Tamayo, 2014):

- Daño neurológico.
- Alteraciones cognitivas.
- Daño renal y hepático.
- Cáncer.
- Disrupción endocrina.
- Afección en tiroides.
- Alergias
- Afecciones respiratorias.

En los centros de salud de la cuenca del río Los Esclavos, el personal reporta que los casos más comunes son las afecciones agudas como vómitos, irritación ocular e irritación dérmica. Los agricultores, en muchos casos, no pueden identificar la causa de sus síntomas, por lo que se requiere realizar entrevistas e indagaciones para determinar el origen de la intoxicación. Los casos graves deben ser trasladados a hospitales regionales debido a la falta de recursos para atender emergencias mayores. En esta área los hospitales nacionales El Regional de Cuilapa y El Regional de Jutiapa.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos señala que varios fungicidas pueden causar intoxicación aguda y efectos crónicos como cáncer, neurotoxicidad, afectación del sistema endocrino, reproductivo e inmunológico. Entre los fungicidas más preocupantes se encuentra: clorotalonil, mancozeb, captan, tebuconazol, carbendazin y ziram

En el caso de los herbicidas, algunos representan riesgos para la salud debido a su potencial carcinogénico, neurotóxico y disruptor endocrino. Los más peligrosos incluyen, glifosato, paraquat, 2-4 D y atrazina (Aguilar-González et al., 2021).

Por ejemplo; Ordoñez-Beltrán et al. (2019) demostraron la relación entre el uso prolongado de plaguicidas y la presencia de cáncer de estómago, leucemia, linfomas, mama, colon y testículos en poblaciones expuestas a plaguicidas.

10.7.2. Impactos en el medio ambiente

Los resultados de las entrevistas evidencian que los impactos ambientales más observados en la región incluyen:

- Disminución de polinizadores.
- Contaminación de cuerpos de agua.
- Muerte de mamíferos.
- Contaminación por envases vacíos.
- Disminución de insectos benéficos.
- Mortandad de peces.

Estos hallazgos coinciden con estudios previos, los cuales señalan que la residualidad de los plaguicidas genera acumulación en organismos de la cadena alimenticia, alteraciones en ecosistemas y envenenamiento de fauna silvestre, infertilidad o hasta muerte de los mismos (Castillo et al., 2000).

Del Puerto Rodríguez et al. (2014) describen que el endosulfan prohibido en Guatemala, fue uno de los ingredientes activos más contaminantes a nivel ambiental. Actualmente, los Neonicotinoides representan una amenaza significativa por su impacto en abejas, especialmente debido a la desorientación y mortalidad que causan en ellas.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

A nivel institucional, se observa una marcada desinformación por parte de autoridades municipales, es un tema que no es de interés a excepción del Municipio de San José Acatepa, que ha implementado estrategias en conjunto con dos cooperativas de café, incluyendo plantas de tratamiento de aguas residuales. No obstante, la contaminación por envases vacíos sigue siendo un problema crítico, particularmente a las orillas de la carretera CA-8.

En el caso de los fungicidas, ingredientes activos como clorotalonil, mancozeb, captan, propiconazol y azoxistrobin con altamente tóxicos para abejas, peces y anfibios, y se han sido detectados en aguas superficiales y subterráneas. Clorotalonil está restringido en la Unión Europea debido a sus impactos ambientales, mientras que mancozeb está prohibido en Estados Unidos por su contenido de metales pesados que afecta fauna acuáticas y organismos vivos del suelo. (González-Castro et al., 2022).

Los herbicidas también han demostrado ser altamente persistentes y tóxicos para organismos no objetivo. Según Rodríguez et al. (2018) las atrazinas son un contaminante frecuente en aguas superficiales y subterráneas, mientras que el glifosato genera alteraciones en la microbiota del suelo, toxicidad en peces anfibios, además de efectos potenciales en polinizadores, aunque su venta es autorizada en muchos países, existe una alta creciente en la restricción por sus efectos negativos (Gandhi et. al., 2021). Por otra parte, Rodríguez et al. (2018) indica que el paraquat es altamente tóxico para mamíferos, aves y peces por su alta persistencia en el suelo, su uso está prohibido en más de 40 países (PNUD Argentina, 2023).

La Tabla 28 resume los registros y clasificaciones toxicológicas de los ingrediente activos presentes en la región, con énfasis en toxicidad aguda, crónica, persistencia y toxicidad en organismos acuáticos. También se identifica toxicidad en peces, crustáceos, algas, organismos acuáticos y anfibios. Donde los insecticidas destacan como los que presentan mayor impacto negativo en el ambiente debido a su mecanismo de acción y persistencia.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 28.

Efectos en la salud humana y riesgos ambientales de los insecticidas identificados en la cuenca

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
	Tiodicarb	II	Capacidad irritativa ocular moderada y dérmica leve. Probable carcinógeno humano.	Solubilidad en agua baja, persistencia en el suelo mediana a no persistente con alta a ligera movilidad en el suelo. Es rápidamente degradado. Toxicidad aguda: peces: alta, crustáceos: extrema, aves: ligera, abejas: alta, lombrices: mediana, algas: alta. Muy tóxico para organismos acuáticos, extremadamente tóxico para anfibios.
	Carbaryl	II	Moderada irritación ocular y dérmica leve causando dermatitis por contacto. A largo plazo puede presentar neurotoxicidad, malformaciones esqueléticas, mutagenicidad, disrupción endocrina, efectos reproductivos como aumento de espermatozoides anormales, lesiones pulmonares, hepatotóxico y nefrotóxico, depresión en el sistema inmune y anemia aplásica.	Solubilidad en agua baja a mediana, persistencia en el suelo ligera a no persistente con mediana movilidad en el suelo. Potencial de lixiviación y se degrada rápidamente en agua. Se ha detectado en aguas superficiales de regiones agrícolas de EEUU. Se encuentra entre los 10 insecticidas problema que superan la norma para agua potable en Holanda. Toxicidad aguda: peces: alta, crustáceos: extrema, anfibios: alta a mediana, aves: ligera, abejas: alta, lombrices de tierra: alta, algas: alta, plantas helechos acuáticos: mediana. Está incluido en la lista del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) de plaguicidas disruptores endocrinos y con efectos reproductivos. En Costa Rica se ha identificado en aguas superficiales de canales, quebradas y ríos cerca de cultivos de piña.
Carbamatos	Carbosulfan	II	Ocasiona leve capacidad irritativa ocular, dérmica moderada con capacidad alérgica. A largo plazo puede causar neurotoxicidad, nefrotóxico e inmunodepresor.	Solubilidad en agua baja, persistencia en suelo mediana a no persistente e inmóvil en el suelo. Bajo potencial de lixiviación. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: alta, abejas: alta a mediana, lombrices: alta, algas: mediana.
	Metomil	I	Capacidad irritativa ocular moderada y dérmica positiva. A largo plazo: disrupción endocrina, aumento de espermatozoides anormales, genotoxicidad positiva, aductos de ADN positivo. Conocido por ser un insecticida peligroso por la cantidad grave de intoxicaciones y muertes.	Solubilidad en agua alta, persistencia del suelo ligera a no persistente, con movilidad del suelo extrema a alta. El suelo presenta potencia para contaminar las aguas subterráneas. Se encuentra entre los 10 insecticidas problemas que superan la norma para agua potable en Holanda. Toxicidad aguda: peces: extrema a alta, crustáceos: extrema, aves: alta, abejas: alta, lombrices de tierra: mediana, algas: mediana. Incluido en el listado del fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). Restringido federalmente en los EEUU. Prohibido en 42 países.
	Oxamil	I	Capacidad ocular irritativa moderada y dérmica leve. A largo plazo presenta neurotoxicidad, aberraciones cromosómicas. Muy tóxico por inhalación y por ingestión.	Solubilidad en agua alta, no persistente en el suelo y extrema movilidad. Se ha detectado en las aguas subterráneas de los EEUU y en Holanda. Se encuentra entre los 10 insecticidas problema que superan la norma para agua de Holanda. Toxicidad aguda: peces: alta, crustáceos: extrema, aves: extrema, abejas: extrema a alta, lombrices de tierra: mediana, algas: alta. Puede causar efectos adversos a largo plazo.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 28. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Organofosforados	Terbufos	I	Leve irritación ocular y dérmica positiva. A largo plazo presenta neurotoxicidad, aberraciones cromosómicas, pérdidas de memoria, irritabilidad, tiempo de reacción retardada y ansiedad. Muy tóxico en contacto con la piel y por ingestión.	Solubilidad en agua baja, persistencia en el suelo ligera a no persistente con movilidad en el suelo mediana. Se ha detectado en aguas superficiales. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: mediana, abejas: mediana, lombrices de tierra: alta. Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático. Es un de los ingredientes activos más detectados en el agua superficial y sedimentos cerca de plantaciones de banano en Costa Rica. En Guatemala, detectado en muestras de agua superficial. Restringido en los EEUU, prohibido en 35 países a nivel mundial.
	Clorpirifos	II	Moderada capacidad irritativa ocular y positiva capacidad irritativa dermal. A largo plazo, neurotoxicidad disrupción endocrina, genotoxicidad positiva, Parkinson positivo, síndromes tipo influenza, debilidad, anorexia y malestar general, desorientación, pérdida de memoria, irritabilidad, insomnio, dificultad para hablar y depresión severa. Es conocido por causar la mayoría de intoxicaciones.	Solubilidad en agua baja, persistencia extrema a no persistente y movilidad ligera. Es absorbido por el suelo y no se lixivia fácilmente, se degrada con lentitud. Se ha detectado con frecuencia en agua superficiales de las regiones agrícolas y urbanas en EEUU, se encuentra entre los 10 insecticidas problema que superan la norma ecotoxicológica de agua (MTR) en Holanda. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, anfibios: extrema a alta, aves: alta y mediana, insectos: extrema a alta, lombrices de tierra: mediana, algas: alta. Muy tóxico para organismo acuáticos. Tiene efectos negativos en la reproducción de las aves. En Guatemala, detectado en muestras de agua de pozos para consumo humano y de agua superficial de ríos en diversas regiones. Plaguicidas altamente peligroso y restringido en los EEUU.
	Diazinon	II	Leve irritación dérmica y ocular leve. Capacidad alergénica positiva. A largo plazo neurotoxicidad, malformaciones esqueléticas, mutagenicidad positiva, disrupción endocrina, aberraciones cromosómicas, nocivo por ingestión.	Moderada solubilidad en agua, ligera a no persistente en el suelo con mediana movilidad en el suelo. Tiene riesgos de contaminación de aguas subterráneas. Toxicidad aguda: extrema a alta, crustáceos: extrema, anfibios: extrema mediana, aves: extrema a alta, abejas: extrema, lombrices de tierra; alta, algas; alta. Puede causar efectos negativos en el ambiente acuático a largo plazo. En Guatemala se ha detectado en aguas superficiales en las cuencas del Motagua y Amatitlán. Restringido en EEUU.
	Dimetoato	II	Positiva capacidad irritativa ocular. A largo plazo puede generar neurotoxicidad, polidactilia, malformaciones esqueléticas y urogenitales. Mutagenicidad positiva, disrupción endocrina, fetotóxico, genotoxicidad positiva, positivo para Parkinson, pérdida de memoria, concentración, desorientación, depresiones, irritabilidad y confusión. Nocivo con la piel y la ingestión.	Alta solubilidad en agua, persistencia del suelo ligera a no persistente con movilidad en el suelo extrema a alta. Alto potencial de lixiviación y se encuentra entre los 10 insecticidas problemas que supera la norma para agua potable en Holanda. Toxicidad aguda: peces: mediana, crustáceos: alta, aves: alta, abejas: alta, lombrices: mediana, algas: mediana. Tóxico para anfibio, incluido en el listado del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) de plaguicidas reportados como disruptores endocrinos y efectos reproductivos. Guatemala: detecto en muestras de agua superficiales. En Guatemala es detectado con frecuencia en aguas superficiales. No permitido en la Unión Europea y en 33 países a nivel mundial.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 28. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Organofosforados	Malation	III	Capacidad irritativa ocular moderada y dérmica leve. A largo plazo puede generar: Mutagenicidad positiva. Genotoxicidad positiva. Parkinson positivo. Puede alterar el sistema inmunológico, hígado, glándulas suprarrenales, células sanguíneas, órganos de los sentidos, neuropatía periférica y cambios conductuales. Se tiene conocimiento que está relacionado con el déficit de aprendizaje verbal e inmediato y el desempeño visor para personas expuestas.	Solubilidad en agua moderada, no persiste en el suelo, es poco persistente en la mayoría de condiciones ambientales. Se encuentra entre los 10 insecticidas problema que superar la norma ecotoxicológica (MTR) y de agua potable en Holanda. Toxicidad aguda: Peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: mediana, abejas: alta, lombrices de tierra: mediana, algas: mediana. Extremadamente tóxico para anfibios Incluido en el listado del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) como plaguicida disruptor endocrino y con efectos reproductivos.
	Pirimifos metil	III	Leve irritabilidad ocular, capacidad alergénica leve. A largo plazo presenta neurotoxicidad, Nocivo por ingestión.	Baja solubilidad en agua, persistencia en el suelo mediana a no persistente con ligera movilidad (MTR) de Holanda y de agua potable. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: alta a mediana; abejas: alta, lombrices de tierra: mediana, algas: alta. Puede causar efectos adversos a largo plazo.
	Profenofos	II	Capacidad de irritar ojos moderada, irritación de piel leve. A largo plazo: neurotoxicidad, nocivo por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel. Presenta efecto corrosivo en los ojos.	Solubilidad en agua baja, no persistente en el suelo con movilidad ligera. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: mediana, abejas: extrema, lombrices de tierra: mediana, alga: alta. Restringido en EEUU y 31 países a nivel mundial.
	Ethoprophos	I	Tiene la capacidad de irritar ojos y piel. A largo plazo: neurotoxicidad, puede ocasionar dermatosis. Tóxico por ingestión, inhalación y contacto con la piel. Conocido por causar la mayoría de las intoxicaciones y muertes.	Alta solubilidad en agua, ligera persistencia en el suelo y extrema movilidad a mediana. Existe riesgo de contaminación de las aguas subterráneas de los EEUU y Holanda. Toxicidad aguda: peces: extrema a mediana, crustáceos: extrema, aves: alta a mediana, insectos: mediana, lombrices de tierra: mediana. Muy tóxico para ecosistemas acuáticos. Restringido en los EEUU.
Felipirazoles	Fipronil	II	Capacidad irritativa ocular y dérmica. A largo plazo es un posible carcinógeno, presentar disrupción endocrina, genera dermatitis, nefropatía crónica. Tóxico por inhalación, por ingestión y contacto con la piel. En casos de prolongada exposición graves riesgos a la salud.	Solubilidad en agua baja, movilidad en suelo mediana a ligera y persistencia extrema. Se encuentra entre los 10 insecticidas problema que superan la norma ecotoxicológica de agua (MTR) en Holanda. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema a alta, aves: alta, abejas: extrema, lombrices de tierra: baja, algas: extrema, plantas helecho acuático: alta. Incluido en la lista del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) de plaguicidas reportados como disruptores endocrinos y efectos reproductivos. Considerado un plaguicida altamente peligroso, restringido en los EEUU y prohibido en 36 países a nivel mundial.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 28. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Piretroides	Alfa-cipermetrina	II	Capacidad ocular irritativa leve, a largo plazo puede prestar neurotoxicidad. Tóxico por ingestión, irrita las vías respiratorias.	Solubilidad baja en agua, persistencia alta a mediana en suelo e inmóvil. Bajo potencial de lixiviación, no es volátil y tiene alto potencial de bioacumulación. Toxicidad aguda: Peces: extrema, Aves: ligera, abejas: extrema, lombrices de tierra: mediana, algas: alta. Muy tóxico para organismos acuáticos y con efectos adversos a largo plazo.
	Cipermetrina	II	Capacidad ocular irritativa leve y dérmica es leve. Exposición a largo plazo: Posible carcinógeno humano, aberraciones cromosómicas positivas, cambios patológicos en hígado, suprarrenales, pulmón y piel. Tóxico por ingestión, irrita vías respiratorias.	Baja solubilidad en agua, alta a media persistencia en suelo, inmóvil en el suelo. Bajo potencial de lixiviación. Se encuentra entre los 10 insecticidas problemas que superan la norma ecotoxicológica de agua (MTR) en Holanda. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: ligera, abejas: extrema, lombrices de tierra: mediana, algas: alta. En Costa Rica se detectó en canales de drenaje y ríos cercanos a parcelas de arroz y regiones hortícolas. Guatemala se ha reportado en agua de consumo humano y superficial de las cuencas Motagua y Amatitlán.
	Lambda-cyhalotrina	II	Capacidad de irritar ojos de piel. A largo plazo podría causar neurotoxicidad, disruptor endocrino, efectos crónicos de ataxia, tumor de mama. Nocivo en contacto con la piel, tóxico por ingestión y muy tóxico por inhalación.	Baja solubilidad en agua, inmóvil en suelo y persistencia alta a ligera. Se degrada rápidamente en el agua en sistemas acuáticos. Se encuentra entre los 10 insecticidas problema que superan la norma ecotoxicológica de agua (MTR) en Holanda. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: ligera, abejas: alta, lombrices de tierra: baja, algas: alta. Puede presentar riesgo para los organismos del suelo. Incluido entre la lista del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) de plaguicidas reportados como disruptores endocrinos y con efectos reproductivos. Restringido en los EEUU.
	Deltametrina	II	Irritabilidad en ojos y piel, a largo plazo puede presentar neurotoxicidad, disrupción endocrina, aberraciones cromosómicas, hipotensión, daño prenatal y estados de shock. Tóxico por inhalación e ingestión	Solubilidad baja en agua, inmóvil y mediano persistente en suelo. Presenta degradación microbiana en el suelo. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, anfibios: extrema, aves: ligera. Incluido entre la lista del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) de plaguicidas reportados como disruptores endocrinos y con efectos reproductivos. Restringido en los EEUU. Toxicidad aguda: abejas: extrema, lombrices de tierra: baja, algas: alta. Presenta alta absorción al sedimento. Considerado un plaguicida altamente peligroso.
	Beta-cyfluthrin	II	Presenta irritabilidad en ojos y piel. A largo plazo inflamación renal y neuropatía reversible del nervio ciático. Muy tóxico por inhalación e ingestión.	Inmóvil en suelo, persistencia mediana a no persistente, baja solubilidad en agua. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: ligera, abejas: extrema, lombrices de tierra: baja, algas, alta a mediana. Es de alto riesgo para organismos acuáticos por su absorción al sedimento.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 28. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Neonicotinoides	Acetamiprid	III	Irritación ocular y dérmica positiva. Nocivo por ingestión.	Solubilidad en agua es alta, con movilidad alta a mediana y no es persistente en suelo. Presenta alto potencial de lixiviación. Toxicidad aguda: peces: ligera, crustáceos: mediana, lombrices de tierra: alta, algas: mediana y plantas helechos: alta. Puede provocar efectos negativos en el ambiente acuático.
	Clotianidin	II	Capacidad irritativa ocular y a largo plazo puede presentar neurotoxicidad, efectos negativos en fetos, disminución de células blancas y proteínas en animales.	Solubilidad en agua moderada, persistencia en el suelo extrema y movilidad mediana. Presenta alto potencial de lixiviación. Toxicidad aguda: peces: ligera, crustáceos mediana a ligera, aves: mediana a ligera, abejas: extrema, lombrices de tierra: alta a mediana, algas: ligera a mediana, helechos: ligera.
	Imidacloprid	II	Efectos por intoxicación aguda. A largo plazo no presenta mutagenicidad e incrementa colesterol en la sangre, afectación de la glándula tiroides. Nocivo por ingestión.	Solubilidad alta, persistencia en suelo extrema a alta y movilidad mediana. Se encuentra entre los 10 insecticidas problemas que superan la norma ecotoxicológica de agua (MTR) y de agua en Holanda. Toxicidad aguda: peces: ligera, crustáceos: mediana, aves: alta a ligera, abejas: extrema, lombrices de tierra: alta, algas: mediana a ligera. Efectos sumamente tóxicos en abejas. Restringido en los EEUU.
	Tiametoxan	IV	Capacidad irritativa ocular. A largo plazo daño en la tiroides y amiloidosis. Nocivo por ingestión, puede causar síntomas de intoxicación aguda.	Solubilidad en agua es alta, persistencia en suelo extrema a mediana y movilidad alta. Se encuentra entre los 10 insecticidas problema que superan la norma para agua potable en Holanda. Toxicidad aguda: Peces: ligera, crustáceos: ligera, aves: mediana, abejas: extrema, lombrices de tierra: baja, algas: ligera y helechos: mediana. Muy tóxico para organismos acuáticos con efectos a largo plazo.
Spinosines	Spinetoram	IV	Consumo en altas cantidad puede causar intoxicación aguda leve.	Baja persistencia en suelo, no presenta riesgo de bioacumulación.
	Spinosad	IV	Capacidad de irritación ocular positiva, A largo plazo puede causar disminución de la supervivencia postnatal y bajo peso al nacer.	Solubilidad en agua moderada, persistencia en el suelo ligera a no persistente e inmóvil. Se encuentra entre los 10 insecticidas problema que superan la norma para agua potable en Holanda. Toxicidad aguda: peces: mediana, crustáceos: mediana, aves: ligera, abejas: extrema, lombrices de tierra: mediana a baja, algas: extrema a ligera, helechos: mediana.
Avermectinas	Abamectina	II	Irritación ocular y dérmica moderada. A largo plazo puede causar paladar hendido, disrupción endocrina, aberraciones cromosómicas. Muy tóxico por inhalación y por ingestión. Posibles riesgos durante el embarazo por efectos adversos en el feto.	Solubilidad en agua baja, persistencia en el suelo mediana a no persistente con inmovilidad en suelo. Baja tendencia a lixiviarse o a contaminar aguas subterráneas. Se encuentra entre los 10 insecticidas problema que superan la norma ecotoxicológica para agua (MTR) y de agua potable en Holanda. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: mediana, abejas: extrema, lombrices de tierra: mediana, algas: alta, helechos: alta. Muy tóxico para organismos acuáticos, efectos a largo plazo en el ambiente. Considerado como un plaguicida altamente peligroso. Restringido en los EEUU.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 28. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Avermectinas	Emamectina	I	Capacidad irritativa de ojos y piel. A largo plazo es neurotóxico nivel 1, está asociado a disminución en la fecundidad, provoca temblores y extensión en las extremidades posteriores. Tóxico por ingestión.	Solubilidad baja en agua, persistencia extrema a ligera en el suelo y movilidad extrema. Toxicidad aguda: Peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: alta, abejas: extrema, lombrices de tierra: baja, algas: extrema. Muy tóxico para organismos acuáticos, para abejas y es provoca desequilibrios en ecosistemas acuáticos. Restringido para EEUU.
Piriproxifen (Fenil eter)	Piriproxyfen	III	Consumo en altas cantidad puede causar intoxicación aguda leve.	Solubilidad en agua baja, inmóvil en el suelo y ligero a no persistente. Bajo potencial de lixiviación. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: mediana a ligera, abejas: ligera, lombrices de tierra: baja, algas: extrema, helechos acuáticos: alta. Puede causar efectos adversos a largo plazo en ecosistemas acuáticos.
Derivados de Piridina Azometina	Pimetrozina	III	Capacidad irritativa ocular y dérmica. A largo plazo bajo peso al nacer, incremento en los niveles de colesterol en sangre, afectación de la glándula tiroides y aumento de tumoraciones hepáticas.	Solubilidad moderada en agua, movilidad mediana a baja en suelo y persistencia alta. Toxicidad aguda: peces: ligera, crustáceos: mediana, aves: ligera, abejas: ligera, lombrices de tierra: mediana a baja, algas: mediana, helechos acuáticos: ligera. Nocivo para organismos acuáticos y efectos adversos en ecosistemas acuáticos.
Tiourea	Diafentiuron	II	Tóxico por inhalación, riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por contacto en piel e ingestión, causando síntomas de intoxicación aguda.	Solubilidad baja, no persistente ni movable en suelo. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: mediana, abejas: mediana. Muy tóxico para algunos organismos.
Análogos de la Nereistoxina	Thiociclan	II	Capacidad irritativa ocular y dérmica. Provoca alergias. A largo plazo puede causar sensibilización en la piel. Nocivo por ingestión.	Solubilidad en agua alta, no es persistente en el suelo, sin embargo, es presenta extrema movilización. Por su baja persistencia no es una amenaza para lixiviación en aguas subterráneas. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: alta, aves: extrema a mediana, abejas: mediana, lombrices de tierra: mediana, algas: alta.
Sulfonamida	Sulfruramida	III	Irritación dérmica a largo plazo puede causar efectos irreversibles a la reproducción y posible esterilidad. Toxicidad aguda: hormigueo en el cuerpo, descarga nasal y vómitos.	Solubilidad en agua baja e inmóvil en el suelo. Esta atenuado por la absorción fuerte al suelo y a las partículas en el agua. Toxicidad aguda: extrema a alta, crustáceos: extrema, aves: alta y ligera. Prohibido en 30 países a nivel mundial por que pertenece al listado en el Convenio de Estocolmo como un plaguicida Contaminante Orgánico Persistente (POP's)
Benzoilureas	Triflumuron	IV	Genera toxicidad aguda en exposición a grandes cantidades. A largo plazo tiene capacidad de aumentar los reticulocitos y de la metehemoglobina.	Solubilidad en agua, persistencia mediana a baja en suelo, movilidad en suelo, ligera a inmóvil. Se degradan rápidamente en la interfase agua sedimento. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos, extrema: aves: mediana, abejas: ligera, lombrices de tierra: baja, algas: mediana.
	Lufenuron	II	Tiene capacidad alergénica. A largos plazos puede generar disrupción endocrina en categoría I. Nocivo por ingestión En exposición prolongada presenta sensibilidad en la piel.	Solubilidad baja en agua, alta persistencia en suelo e inmóvil. Persistencia en agua sedimento, con capacidad alta de bioacumulación. Toxicidad aguda: peces: mediana, crustáceos: extrema, aves: ligera, abejas: ligera, lombrices de tierra: mediana, algas: alta. Muy tóxico para organismos acuáticos y daños adversos en el sistema acuático.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 28. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Benzoilureas	Teflubenzuron	IV	Toxicidad aguda en exposición a grandes cantidades. A largo plazo presenta alteración en el metabolismo de las proteínas, daño en vías respiratorias, pérdida de peso e hígado graso. Posibles efectos carcinógenos.	Baja solubilidad en agua, extrema persistencia en el suelo e inmóvil. Degradación microbiana en el suelo. Toxicidad aguda: peces: extrema a ligera, crustáceos: extrema, aves: ligera, abejas: mediana a ligera, lombrices de tierra: baja, algas: extrema.
Buprofezin	Buprofezin	III	Alteraciones del humor, ligera incoordinación muscular, abdomen distendido, irritación de ojos y piel.	Solubilidad en agua baja, extrema persistencia en el suelo con movilidad ligera. Es estable en el agua y tiene bajo potencial de lixiviación. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, anfibios: liera, aves: ligera, abejas: ligera, lombrices de tierra: baja, algas: alta, helechos: alta. Muy tóxico para ambientes acuáticos que puede generar desequilibrio en el ambiente.
Derivados de los ácidos tetrónicos	Spiromefisen	III	Posibilidad de sensibilidad cuando está en contacto con la piel.	Solubilidad en agua baja, persistencia en el suelo mediana e inmóvil. Presenta gran potencial de lixiviación. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: ligera, abejas: ligera, lombrices de tierra: baja, algas: extrema, helechos: alta. Puede presentar efectos adversos a largo plazo en el ecosistema acuático.
	Spirotetramate	III	Irritabilidad ocular y dérmica. A largo plazo disrupción endocrina, efectos reproductivos por toxicidad testicular. Efectos crónicos en la glándula tiroides. Causante de dermatitis.	Solubilidad en agua baja, persistencia en el suelo nula. Ligera bioacumulación. Toxicidad aguda: aves: ligera, abejas: ligera, lombrices: baja.
	Spirodiclofen	III	A largo plazo puede ser causante de efectos reproductivos. Sensibilización en la piel.	Solubilidad en agua baja, no persistente e inmóvil en suelo. Bioacumulación ligera. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: ligera, abejas: ligera, lombrices de tierra: baja, algas: extrema.
Oxadiazinas	Indoxacarb	II	Irritabilidad ocular y dérmica con capacidad alérgica. A largo plazo disminución del peso fetal. Aumento de plaquetas, reticulocitos, hiperplasia de médula ósea, anemia, necrosis de tejidos e inflamación.	Baja solubilidad en agua, inmóvil y ligera persistencia en suelo. Se encuentra entre los 10 insecticidas problema que superan la norma ecotoxicológica de agua (MTR) en Holanda. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: mediana aligera, abejas: alta a mediana, lombrices de tierra: baja, algas: alta, helechos: extrema.
Fosfuros	Fosfuro de aluminio	I	Provoca náuseas, vómito, diarrea, cefalea, vértigo, hipotensión arterial, edema pulmonar agudo, capacidad alérgica. A largo plazo mortalidad materna, disminución de eritrocitos, hemoglobina, incremento en el conteo de plaquetas. Tóxico por inhalación por los gases que genera. Extremadamente tóxico en mamíferos, común por causar intoxicaciones.	Solubilidad en agua moderada, no persistente en suelo. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: alta, abejas: alta, lombrices de tierra: mediana, algas: extrema. Restringido en los EEUU
Diaminas	Ciantraniliprole	IV	Intoxicación en humano y mamíferos baja. Causa irritación ocular y dérmica.	Persistente en agua, baja movilidad en el suelo. No presenta bioacumulación en organismos vivos. Toxicidad aguda: peces: mediana, abejas: alta, aves: baja. Presenta moderado impacto ambiental.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 28. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Diaminas	Clorantraniliprole	III	Baja toxicidad en humanos y mamíferos, Causa irritación ocular y dérmica, en algunos casos la intoxicación por ingestión o inhalación en grandes cantidades puede provocar náuseas, vómitos y mareos.	Moderadamente tóxicos para organismos acuáticos, toxicidad baja para abejas. Alta estabilidad en el suelo y agua, movilidad baja en suelo. No genera bioacumulación en organismos vivos.
	Flubendiamida	IV	Irritación ocular y dérmica. Ingestión o inhalación en grandes cantidades provoca náuseas, vómitos y mareos. Baja toxicidad en humanos y mamíferos.	Estable en agua y suelo, molécula con fácil degradación natural, baja movilidad en el suelo, moderada bioacumulación en organismos acuáticos. Toxicidad aguda: Peces: alta, abejas: baja, aves: baja. Presenta alto impacto ambiental.
	Isocloseram	III	Insuficientes estudios que demuestren daños en humanos. Causa irritación en piel y ojos.	Persistencia en el suelo alta con riesgo de bioacumulación en organismos. Por su movilización en suelos puede llegar por escorrentía y afectar organismos acuáticos.

Nota. Adaptado del *Manual de Plaguicidas de Centroamérica* del Instituto Regional de Estudios de Sustancias Tóxicas (IRET), de la Universidad Regional de Costa Rica (2024) y de la base de Datos de Propiedades de Plaguicidas de la Unidad de Investigación de Agricultura y Medio Ambiente (AERU) de la University of Hertfordshire (2024).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

La Tabla 28 evidencia que los insecticidas utilizados en la cuenca constituyen una fuente crítica de riesgo para la salud humana y los ecosistemas terrestres y acuáticos, debido a su elevada toxicidad aguda su persistencia ambiental y su capacidad de movilizarse en el suelo. Los grupos químicos más preocupantes son los organofosforados, carbamatos, piretroides y neonicotinoides, los cuales presentan efectos neurotóxicos severos, disrupción endocrina, mutagenicidad y toxicidad reproductiva, mientras que en el ambiente generan impactos extremos en peces, crustáceos, anfibios, polinizadores y organismos del suelo. La presencia de ingredientes activos como metomil, clorpirifos, fipronil, abamectina, imidacloprid y bifentrina, muchos de ellos prohibidos o restringidos en más de 20 países, confirma la magnitud del riesgo para la cuenca, especialmente considerando su potencial de lixiviación hacia aguas subterráneas, su alta persistencia en sedimentos y su capacidad de bioacumulación. En conjunto, la interacción entre toxicidad elevada, persistencia y uso frecuente en sistemas agrícolas intensivos convierte a estos insecticidas en factores determinantes del desequilibrio ecológico y de la posible afectación a la salud humana de las poblaciones locales. Lo que evidencia la necesidad urgente de implementar estrategias de manejo integrado, reducción de riesgos y monitoreo ambiental continuo.

Dentro de este listado de insecticidas identificados en la Tabla 28, varios ingredientes activos se encuentran prohibidos o fuertemente restringidos en Guatemala debido a su alta toxicidad y persistencia. Entre ellos destacan metomil, endosulfán, fipronil, carbofurán, ethoprofos y profenofos. Estos compuestos están incluidos en listados internacionales como plaguicidas altamente peligrosos (POP's) o en convenios globales como Estocolmo, debido a sus efectos severos sobre la salud humana y los ecosistemas acuáticos (PNUD Argentina, 2023; IRET, 2024). La presencia de varios de estos ingredientes activos en la cuenca evidencia un riesgo elevado y la necesidad de fortalecer las regulaciones y la vigilancia ambiental.

La Tabla 29 hace énfasis en los ingredientes activos que funcionan como fungicidas, detallando de manera específica los registros en la región de Centroamérica. En ella se describe la toxicidad aguda y crónica, así como los impactos ambientales, especialmente la persistencia, ya que esta característica permite identificar la movilidad en agua y el riesgo de acumulación. Asimismo, se incluye toxicidad en peces, crustáceos, algas, organismos acuáticos y anfibios. En conjunto, la información muestra que varios fungicidas pueden generar impactos relevantes, aunque suelen considerarse menos peligrosos que los insecticidas.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 29.

Efectos en la salud humana y riesgos ambientales de los fungicidas identificados en la cuenca

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Benzimidazoles	Benomilo	IV	Disruptor endocrino. Efectos sobre la reproducción y desarrollo. Causa problemas de irritación del tracto respiratorio y es irritante de la piel. Posibles daños de sensibilizador de la piel y posiblemente carcinógeno. Puede causar defectos oculares en recién nacidos, enoftalmia. Puede causar dermatitis de contacto y puede ser un sensibilizador de la piel, problemas endocrinos: aumento de la producción de estrógeno y de la actividad de la aromatasas. EPA de EE. UU: posible carcinógeno humano.	Persistencia en suelo de extrema a no persistente, Toxicidad en agua desconocida, Toxicidad aguda: peces extremas, Crustáceos extrema, Anfibios mediana, Algas alta, Aves mediana a ligera, Abejas mediana y lombrices de tierra alta.
	Carbendazim	IV	"Disruptor endocrino. Efectos sobre la reproducción y desarrollo. Puede causar defectos genéticos. Evidencia de inducción de enzimas hepáticas. Posible tóxico hepático. Aumento de la producción de estrógeno y de la actividad de la aromatasas."	Persistencia en suelo: extrema a ligera, Persistencia en agua: menos persistente. Toxicidad aguda: peces extremas, crustáceos extrema, anfibios alta a mediana, algas altas a ligera, aves ligeras, abejas medianas, lombrices altas.
	Thiabendazole	U	Posible tóxico para la tiroides, el hígado, el bazo y los riñones. Acción tóxica y síntomas: síndrome tóxico por benzimidazol. Toxicidad tópica: capacidad irritativa: ocular positivo (leve); dérmica negativa; capacidad alérgica: negativa. Toxicidad crónica y a largo plazo: neurotoxicidad: requiere más estudio; teratogenicidad: negativa; mutagenicidad: negativa; carcinogenicidad: nd (IARC); probable (a altas dosis) y no probable (a bajas dosis) (EPA);	Solubilidad en agua: baja a mediana. Persistencia en el suelo: extrema. Movilidad en el suelo: inmóvil. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: ligera; insectos (abejas): mediana; lombrices de tierra: mediana a baja; algas: alta, plantas: helecho acuático. R50 muy tóxico para organismos acuáticos. Puede causar efectos a largo plazo en el ambiente acuático, es altamente tóxico para anfibios,
	Tiofanato metyl	III	Potencial mutagénico; puede causar defectos genéticos EPA de EE. UU.: es probable que sea carcinógeno humano. Posible tóxico para el hígado, los riñones y la tiroides.	Solubilidad en agua: baja. Persistencia en el suelo: ligera a no persistente. Movilidad en el suelo: alta a inmóvil. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera. Toxicidad aguda: peces: alta, crustáceos: alta a mediana, aves: ligera, insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: mediana, algas: alta a mediana, helecho acuático: alta. R50 muy tóxico para organismos acuáticos, R53 puede causar efectos a largo plazo en el ambiente acuático.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 29. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Triazoles	Triadimefon	III	Irrita la piel. Irritación ocular. Puede causar dermatitis de contacto (leve). Acción tóxica y síntomas: síndrome tóxico por triazol. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positivo (leve); dérmica positiva (leve); capacidad alergénica: positiva. Toxicidad crónica y a largo plazo: neurotoxicidad: positiva; teratogenicidad: no es clara; mutagenicidad: negativa; carcinogenicidad: nd (IARC); C. Posible carcinógeno humano (EPA); disrupción endocrina: categoría 1; otros efectos reproductivos: nd; genotoxicidad: nd; Parkinson: nd; otros efectos crónicos: en animales incremento de adenomas en la tiroides y en las células hepáticas.	Solubilidad en agua: moderada. Persistencia en el suelo: ligera a no persistente. Movilidad en el suelo: mediana. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera. Toxicidad aguda: peces: alta, CL50 (96h) trucha arco iris 4,08 mg/L; crustáceos: alta a ligera, CE50 (48h) dafnidos 7,16 mg/L, 11,3 mg/L; aves: ligera; insectos (abejas): mediana a ligera; lombrices de tierra: mediana; algas: alta, CE50 (72h) Scenedesmus subspicatus 1,71 mg/L;
	Cyproconazol	III	"Disruptor endocrino. Efectos sobre la reproducción y desarrollo. Irritante al tracto respiratorio. Posible toxico para el hígado. Problemas endocrinos: inhibición de la actividad de la aromatasa, disminución de la producción de estrógenos."	Solubilidad en agua: moderada. Persistencia en el suelo: extrema a mediana. Movilidad en el suelo: mediana a ligera. Persistencia en agua sedimento: más persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: mediana a ligera. Toxicidad aguda: peces: mediana, CL50 (96h) trucha arco iris 19 mg/L; crustáceos: mediana, CE50 (48h) dafnidos >22 mg/L; anfibios: nd; aves: mediana; insectos (abejas): alta a mediana; lombrices de tierra: mediana; algas: extrema, CE50 (72h) Scenedesmus subspicatus 0,099 mg/L; plantas: helecho acuático: extrema
	Tebuconazol	III	Disruptor endocrino. Irritante ocular. Afecta al hígado y al sistema sanguíneo. Acción tóxica y síntomas: síndrome tóxico por triazol. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positiva (leve); dérmica negativa; capacidad alergénica: nd. Toxicidad crónica y a largo plazo: neurotoxicidad: nd; teratogenicidad: positiva; mutagenicidad: negativa; carcinogenicidad: nd (IARC); C. Posible carcinógeno humano (EPA); disrupción endocrina: categoría 2;	Solubilidad en agua: baja. Persistencia en el suelo: extrema a mediana. Movilidad en el suelo: ligera. Persistencia en agua sedimento: más persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: mediana a ligera. Toxicidad aguda: peces: alta, CL50 (96h) trucha arco iris 4,4 mg/L; crustáceos: alta, CE50 (48h) dafnidos 2,79 mg/L; aves: ligera; insectos (abejas): mediana a ligera; lombrices de tierra: baja; algas: alta, CE50 (72h) Scenedesmus subspicatus 1,96 mg/L, Selenastrum capricornutum 3,80 mg/L; plantas: helecho acuático: alta.
	Epoxiconazol	III	Disruptor endocrino. Efectos sobre la reproducción y desarrollo. Posible tóxico para el hígado. Problemas endocrinos: inhibición de la actividad de la aromatasa, disminución de la producción de estrógeno.	Solubilidad en agua: baja. Persistencia en el suelo: extrema a mediana. Movilidad en el suelo: ligera a inmóvil. Persistencia en agua sedimento: más persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera. Toxicidad aguda: peces: alta, CL50 (96h) trucha arco iris 3,14 mg/L; crustáceos: alta, CE50 (48h) dafnidos 8,7 mg/L; aves: ligera; insectos (abejas): mediana a ligera; lombrices de tierra: baja; algas: alta, CE50 (72h) Pseudokirchneriella subcapitata 1,19 mg/L; plantas: helecho acuático: extrema.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 29. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Triazoles	Triadimenol	III	<p>Disruptor endocrino. Efectos sobre la reproducción y desarrollo. Irritante del tracto respiratorio. Irritante ocular. Puede causar dermatitis.</p> <p>Tóxico para el hígado. Estrogénico. Problemas endocrinos: efecto estrogénico. Acción tóxica y síntomas: síndrome tóxico por triazol. irrita el tracto respiratorio. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positiva (moderada); dérmica positiva (ligera); capacidad alergénica: positiva.</p>	<p>Solubilidad en agua: baja. Persistencia en el suelo: extrema a mediana. Movilidad en el suelo: mediana a ligera. Persistencia en agua sedimento: más persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera.</p> <p>Toxicidad aguda: peces: mediana, CL50 (96h) trucha arco iris 21,3 mg/L; crustáceos: mediana, CE50 (48h) dáfidos 51 mg/L; aves: mediana; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: mediana; algas: alta, CE50 (72h) Scenedesmus subspicatus 3,7 mg/L; plantas: helecho acuático: nd.</p>
	Flutriafol	III	<p>Disrupción endocrina nivel dos, degeneración grasa del hígado. Acción tóxica y síntomas: síndrome tóxico por triazol. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positiva (leve); dérmica negativa; capacidad alergénica: negativa.</p>	<p>Solubilidad en agua: moderada. Persistencia en el suelo: extrema. Movilidad en el suelo: mediana. Persistencia en agua sedimento: más persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera.</p> <p>Toxicidad aguda: peces: mediana, CL50 (96h) trucha arco iris 61 mg/L; crustáceos: mediana, CE50 (48h) dáfidos 67 mg/L; aves: ligera; insectos (abejas): mediana; lombrices de tierra: baja; algas: mediana, CE50 (72h) Raphidocelis subcapitata 12 mg/L; plantas: helecho acuático: nd.</p>
	Difenoconazole	III	<p>Irritante de la piel. Irritante ocular. Tóxico para el hígado, el corazón, la tiroides y los riñones. Acción tóxica y síntomas: síndrome tóxico por triazol. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positiva; dérmica positiva; capacidad alergénica: negativa.</p>	<p>Solubilidad en agua: baja. Persistencia en el suelo: extrema a mediana. Movilidad en el suelo: inmóvil. Persistencia en agua sedimento: más persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: mediana.</p> <p>Toxicidad aguda: peces: extrema a alta, CL50 (96h) trucha arco iris 0,81 mg/L y 1,1 mg/L; crustáceos: extrema, CE50 (48h) dáfidos 0,77 mg/L; anfibios: nd; aves: ligera; insectos (abejas): ligera, (quironómidos): nd; lombrices de tierra: mediana; algas: extrema a alta, CE50 (72h) Scenedesmus subspicatus 0,032-1,2 mg/L; plantas: helecho acuático: mediana.</p>
Tiodazol	Etridiazole	III	<p>Posible tóxico hepático. Datos CLP: carcinógeno sospechoso; EPA de EE. UU.: probable carcinógeno humano. Es moderadamente tóxico para los seres humanos por vía oral y existen preocupaciones con respecto a la toxicidad crónica del etridiazol, en particular con respecto a los efectos sobre la reproducción y el desarrollo y la posibilidad de que sea un disruptor endocrino.</p>	<p>solubilidad en agua: moderada. Persistencia en el suelo: mediana a no persistente. Movilidad en el suelo: mediana. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: ligera. Bioacumulación: mediana.</p> <p>Toxicidad aguda: peces: alta, CL50 (96h) trucha arco iris 1,21 mg/L; crustáceos: alta, CE50 (48h) dáfidos 3,1 mg/L; aves: mediana; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: mediana a baja; algas: alta, CE50 (72h) Pseudokirchneriella subcapitata 0,3 mg/L; plantas: helecho acuático: alta.</p>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 29. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Acialaninas	Metalaxyl	III	Tóxico para el hígado. Un inductor débil del citocromo P450. Acción tóxica y síntomas: síndrome tóxico por anilida. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positiva (leve); dérmica positiva (leve); capacidad alergénica: negativa. ecotoxicidad: positiva (aberraciones cromosómicas); Parkinson: nd; otros efectos crónicos: hepatotóxico, aumento de los niveles séricos de fosfatasa alcalina.	Solubilidad en agua: alta. Persistencia en el suelo: alta a no persistente. Movilidad en el suelo: extrema a mediana. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera. Toxicidad aguda: peces: ligera, CL50 (96h) trucha arco iris >100 mg/L; crustáceos: mediana, CE50 (48h) dáfidos >28 mg/L; aves: mediana; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: baja; algas: mediana, CE50 (120h) Scenedesmus subspicatus 33 mg/L; plantas: helecho acuático: mediana.
Morfolinas	Dodemorf	III	Irritante de la piel. Sensibilizador de la piel. Irritante ocular. Algún potencial como sensibilizante de la piel.	solubilidad en agua: moderada. Persistencia en el suelo: extrema a ligera. Movilidad en el suelo: inmóvil. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: ligera. Bioacumulación: ligera. Toxicidad aguda: peces: alta, CL50 (96h) poecilido 2,2 mg/L; crustáceos: alta, CE50 (48h) dáfidos 3,34 mg/L; aves: nd; insectos (abejas): mediana; lombrices de tierra: mediana; algas: mediana, CE50 (72h) especie desconocida 17,9 mg/L; plantas: helecho acuático: nd.
	Tridemorf	III	"Efectos sobre la reproducción y desarrollo. Irritante de la piel y ocular. Moderadamente tóxico. Puede causar dermatitis o conjuntivitis."	Solubilidad en agua: baja. Persistencia en el suelo: mediana a no persistente. Movilidad en el suelo: inmóvil. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: moderada. Bioacumulación: mediana. Toxicidad aguda: peces: alta, CL50 (96h) trucha 3,4 mg/L; crustáceos: alta, CE50 (48h) dáfidos 1,3 mg/L; aves: mediana; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: mediana; algas: alta, CE50 (96h) especie desconocida 0,28 mg/L; plantas: helecho acuático: nd.
Piridin-carboxamidas	Boscalid	III	Acción tóxica y síntomas: síndrome tóxico por anilida. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positiva (leve); dérmica positiva (leve); capacidad alergénica: nd. Toxicidad crónica y a largo plazo: neurotoxicidad: nd; teratogenicidad: negativa; mutagenicidad: negativa; carcinogenicidad: nd (IARC); sugestivo (EPA); disrupción endocrina: nd; otros efectos reproductivos: abortos en conejos; genotoxicidad: nd; Parkinson: nd; otros efectos crónicos: toxicidad hepática y adenoma folicular de la glándula tiroides en animales. Frases de riesgo UE: nd.	Solubilidad en agua: baja. Persistencia en el suelo: extrema a ligera. Movilidad en el suelo: ligera. Persistencia en agua sedimento: nd. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: mediana. Toxicidad aguda: peces: alta, CL50 (96h) trucha arco iris 2,7 mg/L; crustáceos: alta, CE50 (48h) dáfidos 5,33 mg/L; anfibios: nd; aves: ligera; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: baja; algas: alta, CE50 (72h) Pseudokirchneriella subcapitata 3,75 mg/L; plantas: helecho acuático: nd.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 29. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Oxamil carboxamida	Carboxin	IV	Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positiva (moderada); dérmica positiva (leve); capacidad alergénica: positiva (leve). Toxicidad crónica y a largo plazo: neurotoxicidad: nd; teratogenicidad: negativa; mutagenicidad: positiva (débil); carcinogenicidad: nd (IARC); no probable (EPA); disrupción endocrina: nd; otros efectos reproductivos: nd; genotoxicidad: nd; Parkinson: nd; otros efectos crónicos: en ratas se ha reportado acumulación en el hígado. Frases de riesgo UE: R40: Posibles efectos carcinógenos. R43: Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.	Solubilidad en agua: moderada. Persistencia en el suelo: no persistente. Movilidad en el suelo: alta. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera. Toxicidad aguda: peces: alta, CL50 (96h) trucha arco iris 2,3 mg/L; crustáceos: mediana, CE50 (48h) dáfidos >57 mg/L; anfibios: nd; aves: ligera; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: mediana; algas: alta, CE50 (72h) Pseudokirchneriella subcapitata 0,48 mg/L; plantas: helecho acuático: alta.
Estrobirulinas (Metoxi-acrilatos)	Azoxystrobin	IV	Acción tóxica y síntomas: información limitada sobre los efectos en la salud humana. Produce irritación de la piel y posible sensibilización. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positiva (leve); dérmica positiva (leve); capacidad alergénica: negativa. Toxicidad crónica y a largo plazo: neurotoxicidad: negativa; teratogenicidad: negativa; mutagenicidad: positiva (leve); carcinogenicidad: nd (IARC); probablemente no carcinógeno (EPA); disrupción endocrina: nd; otros efectos reproductivos: nd; genotoxicidad: nd; Parkinson: nd; otros efectos crónicos: nd. Frases de riesgo UE: R23: Tóxico por inhalación.	Solubilidad en agua: baja. Persistencia en el suelo: extrema a ligera. Movilidad en el suelo: mediana. Persistencia en agua sedimento: más persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera. Toxicidad aguda: peces: extrema, CL50 (96h) trucha arco iris 0,47 mg/L; crustáceos: extrema, CE50 (48h) dáfidos 0,080 mg/L; anfibios: nd; aves: ligera; insectos (abejas): mediana a ligera; lombrices de tierra: mediana; algas: alta, CE50 (120h) Selenastrum capricornutum 0,12 mg/L; plantas: helecho acuático: alta.
Estrobirulinas (Metoxi-carbamatos)	Pyraclostrobin	Nd	Acción tóxica y síntomas: nd. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular negativa; dérmica positiva; capacidad alergénica: negativa. Toxicidad crónica y a largo plazo: neurotoxicidad: nd; teratogenicidad: no es claro; mutagenicidad: negativa; carcinogenicidad: nd (IARC); datos inadecuados (EPA); disrupción endocrina: nd; otros efectos reproductivos: nd; genotoxicidad: nd; Parkinson: nd; otros efectos crónicos: nd. Frases de riesgo UE: nd.	Solubilidad en agua: baja. Persistencia en el suelo: alta a no persistente. Movilidad en el suelo: inmóvil. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: mediana. Toxicidad aguda: peces: extrema, CL50 (96h) trucha arco iris 0,006 mg/L; crustáceos: extrema, CE50 (48h) dáfidos 0,016 mg/L; aves: ligera; insectos (abejas): mediana a ligera; lombrices de tierra: mediana; algas: alta, CE50 (72h) Pseudokirchneriella subcapitata 0,843 mg/L; plantas: helecho acuático: alta.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 29. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Estrobirulinas (Oximino-acetatos)	Trifloxystrobin	III	Acción tóxica y síntomas: la formulación al 50% produce mediana irritación de la piel, reacciones alérgicas por el contacto repetido. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positiva (moderada); dérmica positiva (moderada); capacidad alérgica: positiva (severa). Toxicidad crónica y a largo plazo: neurotoxicidad: nd; teratogenicidad: negativa; mutagenicidad: no es clara; carcinogenicidad: nd (IARC); no probable (EPA); disrupción endocrina: nd; otros efectos reproductivos: nd; genotoxicidad: nd; Parkinson: nd; otros efectos crónicos: hipertrofia de los hepatocitos y atrofia pancreática, hepatotoxicidad. Frases de riesgo UE: R43: Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.	Solubilidad en agua: baja. Persistencia en el suelo: no persistente. Movilidad en el suelo: ligera a inmóvil. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: mediana. Toxicidad aguda: peces: extrema, CL50 (96h) trucha arco iris 0,015 mg/L; crustáceos: extrema, CE50 (48h) dáfidos 0,011 mg/L; aves: ligera; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: baja; algas: extrema, CE50 (72h) Scenedesmus subspicatus 0,0053 mg/L; plantas: helecho acuático: alta. Muy tóxico para organismos acuáticos. R53: Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático. La toxicidad de la trifloxistrobina ácida es mediana para dáfidos y lombrices de tierra y baja para peces y algas.
Estrobirulina (Dihidro-dioxazinas)	Fluoxastrobin	III	Posible tóxico para el hígado y los riñones. Toxicidad crónica y a largo plazo: neurotoxicidad: negativa; teratogenicidad: negativa; mutagenicidad: negativa; carcinogenicidad: nd (IARC); nd (EPA); disrupción endocrina: categoría 3; otros efectos reproductivos: negativo; genotoxicidad: nd; Parkinson: nd; otros efectos crónicos: colestasis y aumento de los niveles séricos de fosfatasa alcalina, cálculos uretrales y renales, lesiones de la mucosa de la vejiga y la uretra, vacuolización de la zona fasciculada de la glándula suprarrenal, disminución de la T3.	Tiene una baja solubilidad en agua y una baja volatilidad. Puede ser moderadamente persistente en sistemas de suelo y estable en sistemas de agua y sedimento. La toxicidad para la mayoría de las especies de la biodiversidad tiende a ser baja a moderada. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos extrema, algas extrema, helechos alta, aves ligera, insectos ligera, lombrices baja.
Imidazol	Fenamidona		Posibles efectos sobre el desarrollo y reproducción, posible neurotóxico, no se considera carcinógeno. Tóxico para el bazo, el hígado y los glóbulos rojos, puede provocar daños oculares a largo plazo por su exposición repetida.	Toxicidad baja en mamíferos y aves. Moderadamente tóxico para lombrices de tierra y abejas. Alta toxicidad para peces de agua dulce templada, alta toxicidad para invertebrados acuáticos de agua templada, alta toxicidad para organismos que habitan sedimentos y alta toxicidad para plantas acuáticas y algas.
Oxazolidina-dionas	Famoxadone	U	Tóxico para el bazo, el hígado y los glóbulos rojos. Puede provocar daños oculares a largo plazo por exposición repetida acción tóxica y síntomas: síndrome tóxico por dicarboximidias. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positiva (moderada); dérmica positiva (moderada); capacidad alérgica: negativa.	Es altamente tóxico para los peces y los invertebrados acuáticos y moderadamente tóxico para otros organismos acuáticos, lombrices de tierra y abejas. Ligera a no persistente en el suelo, menos persistente en agua.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 29. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Tiadiazol	Etridiazol	III	Es moderadamente tóxico para los seres humanos por vía oral y existen preocupaciones con respecto a la toxicidad crónica del etridiazol, en particular con respecto a los efectos sobre la reproducción y el desarrollo y la posibilidad de que sea un disruptor endocrino. Posible tóxico hepático Datos CLP: carcinógeno sospechoso; EPA de EE. UU.: probable carcinógeno humano	Es moderadamente soluble en agua y miscible con muchos disolventes orgánicos. Se considera una sustancia volátil; normalmente no es persistente en los sistemas del suelo, pero puede ser más persistente en el agua según las condiciones locales. Existe un bajo riesgo de que la sustancia se filtre a las aguas subterráneas. El etridiazol es moderadamente tóxico para la mayoría de los organismos acuáticos, pero faltan datos sobre las especies terrestres
Antibiotico hexopyranosyl	Kasugamicina	IV	Por ingestión produce lesión en la boca y la lengua. Acción tóxica y síntomas: no produce toxicidad aguda en la forma de uso habitual. Por ingestión produce lesión en la boca y la lengua. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular negativo; dérmica negativa; capacidad alérgica: negativa. otros efectos reproductivos: aborto, bajo peso al nacer; genotoxicidad: positiva (aberraciones cromosómicas); Parkinson: nd; otros efectos crónicos: nefrotóxico.	Toxicidad mediana en peces, crustáceos, abejas. Toxicidad ligera en aves. Solubilidad en agua: alta. Persistencia en el suelo: nd. Movilidad en el suelo: nd. Persistencia en agua sedimento: nd. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera.
Cianocetamidaoxima	Cimoxanilo	III	Irritación mediana en ojos, dolor de cabeza, atollamiento, nerviosismo, visión borrosa, debilidad, náuseas, calambres, diarrea, molestias en el pecho, sudoración, miosis, lagrimeo, salivación, vomito, cianosis, papiledema, debilidad muscular. Casos severos: convulsiones, coma, pérdida de reflejos y pérdida del control de esfínteres, arritmias cardíacas, bloqueo cardíaco, paro cardíaco, capacidad irritaba positiva moderada, toxicidad dérmica positiva, capacidad alérgica positiva.	No persistente en suelo, menos persistente en agua. Toxicidad aguda: peces mediana, crustáceos mediana, anfibios nd, aves ligera, insectos abejas mediana, lombrices de tierra alta, algas alta, plantas helechos acuáticos alta. R50 muy toxico para organismos acuáticos. R53 puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático, uno de sus metabolitos es medianamente toxico para peces y crustáceos.
Carbamato	Propamocarb	IV	Disruptor endocrino. Irrita la piel. Posible sensibilizador débil de la piel. Problemas endocrinos: aumento débil de la actividad de la aromatasa y de la producción de estrógeno."	Toxicidad ligera para peces, crustáceos, algas. Mediana para abejas, lombrices de tierra. Persistencia en suelo de extrema a ligera, menor persistencia en agua.
Etil Fosfonato	Fosetil aluminio	IA	Irritante del tracto respiratorio. Irritante ocular. Puede causar náuseas, vómitos y diarrea si se ingiere. Puede causar tos, taquipnea y sibilancia si se inhala.	No persistente en suelo, menos persistente en agua. Tiene una toxicidad baja a moderada para la mayoría de las especies terrestres y acuáticas. Tiene una baja toxicidad para los mamíferos.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 29. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Amidas del ácido mendílico	Mandipropamida	Nd	Tóxico para el hígado. Acción tóxica y síntomas: nd. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positiva (leve); dérmica negativa; capacidad alergénica: positiva.	Persistencia en el suelo alta a no persistente, en agua menos persistente. Toxicidad aguda alta para peces, crustáceos y helechos. Toxicidad aguda mediana para algas, aves y lombrices. Toxicidad aguda ligera para abejas.
Benzamidas	Fluopicolida	II	No se han identificado riesgos significativos para la salud humana. Posible tóxico para el hígado, riñones y bazo. Acción tóxica y síntomas: irritación ocular, irritación de la piel y sensibilización cutánea. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positivo (moderada); dérmica positiva (leve); capacidad alergénica: negativa.	Persistencia en el suelo de extrema a mediana, más persistente en el agua. Es moderadamente tóxico para la mayor parte de la biodiversidad, pero el riesgo para las abejas es menor. Toxicidad aguda: peces extremas, crustáceos alta, helechos alta, aves y abejas ligera, lombrices de tierra mediana.
Piperidinyl thiazole isoxazolin	Oxathiapiprolin	Nd	Posible tóxico para el hígado y la vesícula biliar.	Bajamente tóxico para mamíferos, aves, abejas y lombrices de tierra.
Imidazol	Procloraz	III	Disruptor endocrino, causa efectos sobre la reproducción y desarrollo. Posible carcinógeno. Posible neurotóxico. Posible tóxico para el hígado. EPA de EE. UU lo cataloga como posible carcinógeno humano. Problemas endocrinos: activación del receptor celular pregnon X.	Extrema a no persistente en el suelo, más persistente en el suelo. Moderadamente tóxico para mamíferos, aves, lombrices de tierra. Baja toxicidad en abejas. Moderadamente tóxico para peces de agua dulce, invertebrados acuáticos de agua dulce templada, crustáceos acuáticos, organismos que habitan sedimentos y plantas acuáticas. Alta toxicidad en algas.
Inorgánicos	Cobres (óxido)	II	Posible intoxicación por metales pesados Tóxico para riñones, pulmones y hígado Nocivo si se ingiere	Muy tóxico para organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
	Oxicloruro de cobre	III	Posible intoxicación por metales pesados.	Tiene una baja solubilidad en agua y una baja volatilidad. Como metal pesado, el cobre en sí no se degrada en el medio ambiente. Es moderadamente tóxico para los mamíferos y la mayor parte de la biodiversidad. Toxicidad aguda: peces extremas a mediana, crustáceos extrema, algas altas, aves medianas, abejas mediana, lombrices de tierra mediana.
	Sulfato de cobre pentahidratado	II	Posible intoxicación por metales pesados Puede provocar náuseas. Potencial mutagénico en dosis altas. Acción tóxica y síntomas: síndrome tóxico por compuestos cúpricos. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular nd; dérmica nd; capacidad alergénica: nd.	Toxicidad aguda: peces: alta a mediana, CL50 (96h) trucha arco iris 43,8 mg/L; carpa 2,2 mg/L; crustáceos: extrema a alta, CE50 (48h) dáfnidos 0,29 mg/L, 3,5 mg/L (24h); aves: mediana; insectos (abejas): mediana; lombrices de tierra: mediana; algas: alta, CE50 (72h). Solubilidad en agua: baja. Persistencia en el suelo: extrema. Movilidad en el suelo: nd. Persistencia en agua sedimento: nd. Volatilidad: nd. Bioacumulación: ligera.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 29. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Inorgánicos	Azufres	U	acción tóxica y síntomas: irritación de la piel y el tracto respiratorio. Toxicidad tóxica: capacidad irritativa: ocular positiva; dérmica positiva; capacidad alergénica: nd. genotoxicidad: positiva (aberraciones cromosómicas); Parkinson: nd; otros efectos crónicos: asma, trastornos oculares, bronquitis, sinusitis	Persistencia en el suelo: alta a no persistente. Toxicidad aguda: peces extrema a mediana, crustáceos extrema a ligera, anfibios ligera, algas extrema, aves ligera, abejas mediana, lombrices de tierra mediana.
	Mancozeb	U	Bociogénico, evidencia limitada en humanos sobre cáncer de mama y linfoma no hodgkins.	No persistente en suelo, más persistente en agua. Muy toxico para organismos acuáticos, alta a extremadamente toxico para anfibios, el ETU es ligeramente toxico para peces y medianamente para crustáceos, los ditiocarbamatos pueden causar efectos embriológicos y tetragenicos en peces.
	Metiram	U	Efectos crónicos y efectos similares a los producidos por mancozeb. Causa problemas fototóxicos, es sensibilizador de la piel y responsable de aberraciones genómicas. EPA de EE.UU lo cataloga como probable carcinógeno humano. Posible toxico para la tiroides.	Persistencia en suelo de ligera a no persistente, menos persistente en agua. Ligeramente toxico para peces y moderadamente toxico para crustáceos. DIDT es considerado muy toxico para organismos acuáticos.
Ditiocarbamato	Metam sodio	II	Efectos sobre la reproducción y desarrollo, irritante de la piel, sensibilizador de la piel e irritante ocular. Posible toxico para el hígado y el tracto urinario.	No persistente en suelo, menos persistente en agua. Moderadamente toxico para mamíferos, moderadamente toxico para aves, moderadamente toxico para Apis melífera, es moderadamente toxico para peces de agua dulce e invertebrados acuáticos de agua dulce, moderadamente toxico para algas y moderadamente toxico en mamíferos.
	Propineb	U	Posible disruptor endocrino, posible carcinógeno, no es neurotóxico, posibles efectos en la reproducción y desarrollo, no causa problemas de irritación ocular y se considera posible irritador del tracto respiratorio e irritación en la piel. Distribución principalmente a través de la glándula tiroides, es potencialmente toxico para la tiroides, puede dañar los pulmones o causar problemas musculares, EPA de EE.UU lo considera como un probable ca	No persistente en suelo, menos persistente en agua. Presenta una baja toxicología en mamíferos, aves, abejas y moderadamente toxico en lombrices de tierra. Es moderadamente toxico para peces de agua templada, invertebrados acuáticos y algas.
	Thiram	III	Las dosis altas pueden causar hiperactividad, ataxia, disnea y convulsiones. Carcinógeno del grupo 3 de la IARC: no clasificable; EPA de EE.UU.: no es probable que sea un carcinógeno humano; datos de CLP: sin clasificación. Posible tóxico para el hígado.	Persistencia en suelo alta a no persistente, menos persistencia en agua. Toxicidad aguda: peces extremas, crustáceos extrema, algas extremas, helechos alta, aves ligera, abejas ligera, lombrices mediana.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 29. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Ftalamidas	Captan	U	"Disruptor endocrino. Irritación de la piel, irritación ocular, puede causar dermatitis de contacto, Problemas endocrinos: inhibición de la acción del estrógeno."	No persistente en suelo, menos persistente en agua. Tiene una baja toxicidad para los mamíferos, Tiene una ecotoxicidad baja a moderada para la mayoría de las especies acuáticas y terrestres.
Cloronitrilos	Clorotalonil	U	"Disruptor endocrino, causa efectos sobre la reproducción y desarrollo. Irrita el tracto respiratorio. Irritación de la piel. Sensibilizador de la piel. Irritante ocular. Puede causar dermatitis de contacto. Problemas endocrinos: activación de la proliferación de células sensibles a los andrógenos."	Persistencia en suelo alta a no persistente, menos persistente en agua. "Tiene una baja toxicidad para los mamíferos, pero existe cierta preocupación con respecto a su potencial de bioacumulación. El clorotalonil es moderadamente tóxico para las aves, las abejas y las lombrices de tierra, pero se considera que es más tóxico para los organismos acuáticos."
Benzamidas	Fluopiram	III	Posible tóxico para el hígado, la tiroides y la sangre.	Toxicidad: mamíferos baja a moderada, aves bajas a alta, lombrices de tierra de bajo a moderada, abejas bajas, peces moderada, invertebrados acuáticos bajo.

Nota. Adaptado del Manual de Plaguicidas de Centroamérica del Instituto Regional de Estudios de Sustancias Tóxicas (IRET) de la Universidad Regional de Costa Rica (2024) y de la Base de datos de propiedades de plaguicidas de la Unidad de Investigación de Agricultura y Medio Ambiente (AERU) de la University of Hertfordshire (2024).

La Tabla 29 evidencia que los fungicidas utilizados en la cuenca presentan riesgos importantes para la salud humana y el ambiente, aunque en menor magnitud que los insecticidas. Se observan ingredientes activos como efectos disruptores endocrinos, toxicidad hepática, renal y reproductiva, así como potencial carcinogénico, especialmente dentro de los grupos benzimidazoles y triazoles, incrementando la vulnerabilidad de las poblaciones agrícolas expuestas de forma continua a este tipo de plaguicidas. Desde el punto de vista ambiental, varios fungicidas muestran alta persistencia en el suelo, afectando microorganismos del suelo y alterando procesos esenciales. Su movilidad en el suelo favorece a la lixiviación hacia aguas superficiales y subterráneas, donde estos fungicidas exhiben toxicidad extrema para peces, crustáceos, algas y anfibios, lo que evidencia un riesgo relevante para ecosistemas acuáticos. Además, algunos de estos ingredientes activos están prohibidos en Guatemala, como clorotalonil, mancozeb y tiofanato metil (MAGA, 2023), los cual evidencia que una parte de los fungicidas identificados en campo corresponde a moléculas con restricciones internacionales por sus efectos severos en salud y ambiente. En conjunto, los resultados reflejan que la combinación de toxicidad,



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

persistencia y uso intensivo convierte a los fungicidas en elementos críticos dentro del manejo integrado de la cuenca, reforzando la necesidad de fortalecer la regulación, el monitoreo ambiental y prácticas de manejo seguro de plaguicidas.

La Tabla 30 enfatiza los ingredientes activos utilizados como herbicidas, detallando que funcionan como herbicidas, detallando de manera específica los registros en la región de Centroamérica. LA información considera la toxicidad aguda y crónica, así como diversos impactos ambientales, particularmente persistencia, dando que esta característica permite inferir su movilidad en el agua y su permanencia en los diferentes comportamientos ambientales. Asimismo, se describe la toxicidad en peces, crustáceos, algas, organismos acuáticos y anfibios. Siendo los insecticidas los compuestos que presentan los efectos ambientales más significativos, aunque varios herbicidas también muestran riesgos elevados para la salud humana y los ecosistemas.

Tabla 30.

Efectos negativos a la salud humana y al ambiente por herbicidas

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Ariloxifenoxi-propionatos Ciclohexanodionas	Fluazifop	IV	Presenta una clasificación O. Obsoleto, síndrome tóxico por ariloxi-fenoxipropionico, presenta irritación ocular positiva (leve) y dérmica positiva (leve). Disminución del conteo de plaquetas hasta un 50 %, disminución del conteo de leucocitos y aumento de la fosfatasa alcalina, degeneración grasa de la glándula suprarrenal, hidronefrosis, nefrocalcinosis, nefropatía crónica, colelitiasis. Frases de riesgo UE: R61: Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.	Solubilidad en agua baja, una presencia en el suelo ligera, una movilidad en el suelo extrema a media, es un producto no volátil presentando una bioacumulación alta. El producto de mayor degradación de fluazifop-butyl es el ácido propiónico (2 4 5 trifluoro metil 2 piridiloxifenoxi), el cual es de ligera a medianamente móvil en el suelo y puede contaminar las aguas subterráneas. Presenta una toxicología aguda en peces: extrema a alta, crustáceos: ligera, aves: ligera, insectos (abejas): mediana, muy tóxico para organismos acuáticos.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 30. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
	Fenoxaprop-p-ethyl	III	Síndrome tóxico por aril-oxi-fenoxipropionico. Presenta irritación ocular positiva; dérmica positiva.	Solubilidad en agua: baja a alta. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Bioacumulación: mediana. Toxicidad aguda: peces: extrema, crustáceos: alta, aves: ligera, insectos (abejas): ligera, lombrices de tierra: mediana a baja; algas: alta, Tóxico para organismos acuáticos. Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático, un derivado de esta sustancia es el fenoxaprop-p-etil , el cual está restringido en el ámbito federal de los EUA
Ariloxifenoxi-propionatos Ciclohexanodionas	Haloxifop-p-metil	IV	Probable carcinógeno humano (EPA), síndrome tóxico por aril-oxi-fenoxipropionico, presenta irritación ocular positiva (leve); dérmica negativa. anomalías urogenitales en la descendencia. Nocivo por ingestión. Riesgo de lesiones oculares graves.	Solubilidad en agua: moderada. Persistencia en el suelo: no persistente. Movilidad en el suelo: extrema a alta. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera. tiene bajo potencial de lixiviación. El haloxifop-p-metil es un derivado de este compuesto que tiene baja solubilidad en agua, bajo potencial de lixiviación, es poco móvil y no persistente en el suelo. Toxicidad aguda: peces: mediana, crustáceos: ligera, aves: mediana; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: mediana; algas: mediana, helecho acuático: alta. Tóxico para organismos acuáticos. Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático. Extremadamente tóxico para peces.
	Cletodim	II	Síndrome tóxico por ciclohexanodiona, irritación ocular positiva (moderada); dérmica positiva (moderada). Presencia de anemia, Nocivo por ingestión.	Solubilidad en agua: alta. Persistencia en el suelo: no persistente. Movilidad en el suelo: extrema. Persistencia en agua sedimento: menos persistente, Bioacumulación: ligera. En el agua se degrada por fotólisis y es estable a la hidrólisis. Son móviles en el suelo y el último puede tener una persistencia mediana en el suelo. Presenta una toxicidad aguda en peces: mediana, crustáceos: ligera, aves: mediana a ligera, insectos (abejas): mediana a ligera, lombrices de tierra: mediana, algas: mediana, helechos acuáticos: alta. El cletodim sulfóxido tiene toxicidad baja para algas y mediana para lombrices de tierra
Sulfonilureas	Nicosulfuron	III	Síndrome tóxico por derivados de la urea. Presenta irritación ocular positiva (moderada) y en tacto respiratorio.	Solubilidad en agua: alta a moderada. Persistencia en el suelo: alta a ligera. Movilidad en el suelo: extrema. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera. es soluble en el agua. Uno de los productos de degradación (piredine sulfonamide) es altamente móvil. Se encuentra entre los 10 herbicida problema que superan la norma para agua potable en Holanda (2008). Presenta toxicidad en peces: mediana a ligera, crustáceos: mediana a ligera, aves: ligera, insectos (abejas): mediana, helechos acuáticos: extrema. Muy tóxico para organismos acuáticos. Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 30. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Dinitroanilinas	Pendimetalin	III	Síndrome tóxico por dinitroanilina. Irritante del sistema respiratorio. Posible carcinógeno humano (EPA), toxicidad hepática, aumento de la fosfatasa alcalina y tiroidea, R43: Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel. Conocido por tener contaminantes que causan sintomatología	Una extrema a alta persistencia en el suelo, cuenta con una alta bioacumulación, Es acumulado en suelos, las aplicaciones secas de aguas superficiales pueden provocar su contaminación. Peces: extrema, crustáceos: extrema, aves: mediana; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: baja; algas: extrema, helecho acuático: extrema. Muy tóxico para organismos acuáticos. Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático. Inhibe la eclosión de huevos. Incluido en la lista del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) de plaguicidas reportados como disruptores endocrinos y/o con efectos reproductivos.
6-cloropicolinatos	Picloram	III	Síndrome tóxico por ácido picolínico, capacidad irritativa: ocular positiva (moderada); dérmica positiva (leve), disrupción endocrina: categoría 2, hepatóxico y nefrotóxico, miopatías, anemias e hiperplasia de la médula ósea en altas dosis de exposición. conocido por: contener hexaclorobenceno como contaminante. Costa Rica: tener antecedentes de exposición de los padres a este plaguicida en un estudio de leucemia infantil.	Solubilidad en agua: moderada. Persistencia en el suelo: extrema a ligera. Movilidad en el suelo: extrema a alta. Persistencia en agua sedimento: más persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera. ha sido encontrado en las aguas subterráneas en los Estados Unidos. Es degradado lentamente por los microorganismos del suelo y rápidamente por la fotólisis. El mayor productor de degradación es el dióxido de carbono. Toxicidad aguda: peces: alta, crustáceos: mediana, aves: ligera; insectos (abejas): mediana a ligera; lombrices de tierra: baja; algas: mediana, helecho acuático: ligera. Tóxico para organismos acuáticos. Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático. Incluido en la lista del Fondo Mundial para la Naturaleza de plaguicidas reportados como disruptores endocrinos y/o con efectos reproductivos.
Fenoxi - carboxilatos	2,4-D	II	Síndrome tóxico por clorofenólicos, capacidad alérgica positiva, Teratogenicidad positiva (Paladar hendido, malformaciones esqueléticas), disminuye el número de esperma y su movilidad, aumenta el porcentaje de espermatozoides anormales en trabajadores expuestos, genotoxicidad positiva, Parkinson positivo, bronquitis, peribronquitis, neumoescclerosis, nefrotóxico y hepatotóxico, irrita vías respiratorias. Conocido por causar intoxicaciones en Costa Rica, Nicaragua y Panamá.	Encontrados en los 10 herbicida problema que superan la norma para aguas en Holanda- Es volátil, muy soluble en agua, móvil en el suelo y tiene potencial de bioacumulación. Toxicidad aguda: peses alta a ligera, crustáceos: alta, anfibios: mediana a ligera; aves: mediana a ligera; insectos (abejas): mediana a ligera; lombrices de tierra: mediana; algas: mediana, plantas: helecho acuático: extrema a alta. Incluido en la lista del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) de plaguicidas reportados como disruptores endocrinos y/o con efectos reproductivos, toxico para mamíferos, altamente tóxicos para lombrices de tierra.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 30. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Triazinas	Atrazina	III	Ligeramente toxico, síndrome toxico por triazinas, capacidad irritativa ocular positiva, dérmica positiva (leve), capacidad alérgica positiva. Disrupción endocrina: posibilidad sensibilización en contacto con la piel. Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.	Alta a mediana persistencia en el suelo, extrema a alta movilidad, más persistente en aguas sedimentado, bioacumulación ligera, estable en el suelo y en los ambientes acuáticos. Capacidad de lixiviación a aguas subterráneas. Toxicidad aguda: peces: alta, crustáceos: alta, anfibios: alta a mediana; aves: ligera; insectos (abejas): mediana a ligera; lombrices de tierra: mediana; algas: extrema, plantas: helecho acuático: extrema. Muy tóxico para organismos acuáticos. Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático. incluido en la lista del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) de plaguicidas reportados como disruptores endocrinos y/o con efectos reproductivos, es medianamente tóxico para algas
	Ametrina	III	Síndrome toxico por triazinas, capacidad irritativa ocular positiva, dérmica positiva, provoca dermatitis de contacto.	Presenta una solubilidad en agua moderada, mediana movilidad en suelos. Se pierde principalmente por degradación microbiana, encontrado en aguas subterráneas, Por su moderada solubilidad en agua y persistencia se mueve vertical y lateralmente en el suelo, sin poder lixivarse. Peces: alta, crustáceos: mediana, anfibios: alta; aves: ligera; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: mediana; algas: extrema, plantas: helecho acuático: extrema. En costa Rica detectado en las aguas superficiales, en concentraciones que representan un riesgo crónico para los organismos acuáticos. También se ha determinado en aguas superficiales del sistema de drenajes provenientes del cultivo de arroz y caña; Se ha encontrado en muestras de agua superficial, luego de eventos de mortalidad de fauna acuática.
	Metribuzin	II	síndrome tóxico por triazina, neurotoxicidad: positiva, disrupción endocrina: categoría 2, genotoxicidad: positiva, nefrotóxico, tóxico para la glándula tiroidea, Nocivo por ingestión.	Solubilidad en agua: alta. Persistencia en el suelo: mediana a no persistente. Movilidad en el suelo: extrema a mediana. Persistencia en agua sedimentado: menos persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera. es altamente soluble en el agua y tiene poca tendencia de adsorberse en el suelo. La degradación microbiana es el mayor mecanismo de pérdidas. Se ha detectado en las aguas superficiales y subterráneas de los Estados Unidos y en las aguas superficiales en Suecia. La EPA en el pasado lo ha clasificado como una de las sustancias de mayor potencial para lixiviación y contaminación de las aguas subterráneas. No debe utilizarse cuando la tabla del agua está muy cercana de la superficie o si el suelo es permeable. Se encuentra entre los 10 herbicida problema que superan la norma ecotoxicología para agua en Holanda (2003-2008). Toxicidad aguda: peces: mediana, crustáceos: alta a mediana, aves: mediana; insectos (abejas): mediana; lombrices de tierra: mediana; algas: extrema, helecho acuático: extrema.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 30. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Ureas	Diuron	III	Síndrome tóxico por derivados de urea, capacidad irritativa ocular positiva, dérmica positiva, capacidad alérgica positiva. Teratogenicidad positiva (anormalidades esqueléticas), metahemoglobinemia, riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión.	Extrema a mediana persistencia en el suelo, mediana a ligera movilidad en el suelo, bioacumulación ligera. Potencial para contaminar aguas subterráneas, y aguas superficiales de regiones agrícolas, es encontrado entre los 10 herbicidas problema que superan la norma para agua potable en Holanda. Duración de su actividad en el suelo de 4-8 meses, dependiendo del tipo de suelo y la humedad. Ha sido detectado en aguas subterráneas de los Estados Unidos.
	Linuron	III	Síndrome tóxico derivado de la urea, capacidad irritativa ocular positiva, dérmica positiva, teratogenicidad positiva (anormalidades esqueléticas), Posible carcinógeno humano (EAP), atrofia testicular, genotoxicidad positiva (aberraciones cromosómicas), tumores pulmonares y de hígado. R22: Nocivo por ingestión. R40: Posibles efectos carcinógenos. 48/22: Nocivo, riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión. R61: Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto. R62: Posible riesgo de perjudicar la fertilidad. En Centroamérica conocido por encontrarse en muestras de hortalizas de la zona hortícola de Costa Rica.	Presenta una solubilidad en agua moderada, extrema a ligera persistencia en el suelo, ligera movilidad en el suelo, su persistencia en aguas sedimentos es menor, con una ligera bioacumulación. Se logra acumular en suelos, utilizado cerca de las aguas superficiales puede causar contaminación. Se encuentra entre los 10 herbicidas problema que superan la norma ecotoxicología para agua (MTR) en Holanda y la de agua potable. peces: alta, aves: mediana a ligera; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: baja; algas: extrema, plantas: helecho acuático: extrema. Muy tóxico para organismos acuáticos. Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático. Incluido en la lista del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) de plaguicidas reportados como disruptores endocrinos y/o con efectos reproductivos. Detectado en muestras de aguas superficiales en zona hortícola de Costa Rica.
Glicina	Glyphosato	IV	Síndrome tóxico por fosfonatos, capacidad irritativa ocular positiva, dérmica positiva. Carcinogenicidad probable (IARC), Parkinson positivo, adenoma de túbulos renales, Riesgo de lesiones oculares graves. Puede contener un compuesto nitrogenado carcinogénico como contaminante.	Alta solubilidad en agua, presenta una bioacumulación ligera, es soluble y químicamente estable en el agua.. Poco potencial para contaminar aguas subterráneas, Puede entrar al agua superficial y sub superficial por uso indirecto o directo en el ambiente acuático o por escorrentía. Se encuentra entre los 10 herbicidas problema que superan la norma de agua potable en Holanda. No se degrada en el interior de ninguna planta, por lo que puede producir intoxicaciones sistémicas por acumulación en aplicaciones frecuentes a la misma planta. El principal metabolito es el ácido amino-metilsulfónico (AMPA), que por su alta solubilidad puede contaminar las aguas superficiales. Peces: alta a mediana, CL50 (96h) trucha arco iris 8,2 mg/L a 86 mg/L; crustáceos: mediana, CE50 (48h) dafnidos 11 mg/L; aves: ligera; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: mediana; algas: alta a mediana, CE50 (72h); plantas: helecho acuático: alta a mediana. R50: Muy tóxico para organismos acuáticos. R53: Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 30. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Ácido Fosfónico	Glufosinato de Amonio	III	Síndrome tóxico por inhibidores de la colinesterasa, capacidad irritativa ocular positiva, dérmica positiva. Nocivo por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel, Nocivo, riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por inhalación e ingestión, Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.	Presenta una ligera a no persistencia en el suelo, una extrema a ligera movilidad en el suelo, menos persistente en agua sedimento, presenta una ligera bioacumulación, Este producto es encontrado naturalmente en el suelo, ya que es producido por hongos del suelo. Es altamente soluble en el agua. El producto de degradación es extremadamente móvil en el suelo. Peces: ligera, crustáceos: ligera, aves: ligera; insectos (abejas): ligera; lombrices de tierra: baja; algas: mediana, plantas: helecho acuático: alta. Incluido en la lista del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) de plaguicidas reportados como disruptores endocrinos y/o con efectos reproductivos.
Éteres de difenilo	Fomesafen	III	Se reconoce que es un irritante para la piel, al tacto respiratorio, ocular, no se han identificado otros problemas de salud significativos	Potencial de filtración a las aguas subterráneas, alta lixiviabilidad, persistente en suelos y sistemas acuáticos, moderadamente toxico para mamíferos. No es tóxico para las aves ni los peces, pero se considera moderadamente tóxico para los crustáceos acuáticos, las abejas y las lombrices de tierra.
Cloroacetamidas	Metolaclor	III	Síndrome tóxico por cloroacetoanilida, presenta irritación ocular positiva (leve); dérmica positiva (leve); capacidad alergénica: positiva. Posible carcinógeno humano (EPA); Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.	Solubilidad en agua: alta a ligera. Persistencia en el suelo: ligera. Movilidad en el suelo: alta a mediana. Persistencia en agua sedimento: más persistente. Bioacumulación: mediana a ligera. Tiene alto potencial de lixiviación. Se ha detectado en aguas subterráneas y superficiales de varios países de Europa y en aguas superficiales y subterráneas de regiones agrícolas. Se encuentra entre los 10 herbicida problema que superan la norma ecotoxicología para agua en Holanda (2005-2008) y la de agua potable (2007-2008). Presenta una toxicidad aguda en peces: alta, crustáceos: mediana, aves: ligera, insectos(abejas): ligera, lombrices de tierra: mediana, algas: alta a mediana, helechos acuáticos: extrema. Muy tóxico para organismos acuáticos. Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático. De mediana a ligeramente tóxico para anfibios.
Piridinios	Diquat	II	síndrome tóxico por biperidilo, presenta irritaciones ocular positiva y dérmica positiva, genotoxicidad: positiva (aberraciones cromosómicas), puede causar daño temporal de uñas e irritación crónica ocular con formación de cataratas. Nocivo por ingestión, muy tóxico por inhalación, tóxico, riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada por ingestión. Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias, posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.	Solubilidad en agua alta, no presente en suelos, siendo inmóvil. Es menos persistente en aguas sedimento, presentando una bioacumulación ligera. Es adsorbido fuertemente a las partículas minerales del suelo. La sustancia es muy soluble en el agua. Debido a su rápida degradación en el agua y a su fuerte absorción a los sedimentos raramente es encontrado en el agua potable. Presentando una toxicidad aguda en peces: mediana, crustáceos: alta, aves: mediana, insectos (abejas): mediana, lombrices: mediana, algas: extrema, helechos acuáticos: extrema. Muy tóxico para organismos acuáticos, Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 30. (Continuación)

Grupo químico	Ingrediente activo	Clasificación toxicológica	Impactos negativos en la salud humana	Impactos negativos en el ambiente
Piridinios	Paraquat	II	Irrita el tracto respiratorio, capacidad irritativa dérmica positiva, capacidad irritativa ocular positiva, capacidad alérgica positiva, teratogenicidad positiva (anormalidades esquelética), mutagenicidad positiva, aberraciones cromosómicas, Parkinson positivo. Lesiones en piel, uñas, córnea, pulmón, glándulas suprarrenales y aparato digestivo, úlceras en la piel, daño permanente de la córnea y ceguera. En Centroamérica conocido por causar el mayor porcentaje de intoxicaciones y muertes, por causar lesiones dermales y oculares ocupacionales.	Solubilidad en agua alta, presencia extrema en los suelos, presencia en aguas sedimento estable y bioacumulación ligera. Capacidad de quedar absorbido en el subsuelo y sedimento por muchos años sin degradación, acumulación en organismos acuáticos del suelos. Peces: mediana; crustáceos: alta, aves: mediana; insectos (abejas): mediana; lombrices de tierra: baja; algas: extrema; plantas: helecho acuático: extrema. Se determinó la presencia de altos niveles de dicho compuesto en suelo cafetaleros. Muy tóxico para organismos acuáticos. Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático, De alta a ligeramente tóxico para anfibios.
Tricetona	Mesotriona	IV	La toxicidad observada es mayormente atribuible a la hipertirosinemia inducida por el compuesto madre. Los órganos blanco son los ojos, el hígado y los riñones, irritaciones ocular positiva (leve); dérmica positiva (leve). Mutagenicidad: positiva, osificación retardada o reducida en fetos a dosis por debajo de aquellas en las que se notaron efectos tóxicos en la madre en estudios subclínicos y crónicos se detectaron lesiones oculares, efectos en el hígado y los riñones y/o disminución en el peso corporal.	Solubilidad en agua: alta. Persistencia en el suelo: mediana a no persistente. Movilidad en el suelo: extrema a mediana. Persistencia en agua sedimento: menos persistente. Volatilidad: no volátil. Bioacumulación: ligera. no es persistente en el suelo. Presenta una toxicología aguda en peces: ligera, aves: ligera, insectos(abeja): mediana, lombrices de tierra: mediana, algas: alta, helechos acuáticos: extrema. Muy tóxico para organismos acuáticos. Puede causar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático.

Nota. Adaptado del Manual de Plaguicidas de Centroamérica del Instituto Regional de Estudios de Sustancias Tóxicas (IRET), de la Universidad Regional de Costa Rica (2024) y de la Base de datos de propiedades de plaguicidas de la Unidad de Investigación de Agricultura y Medio Ambiente (AERU) de la University of Hertfordshire (2024).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

La Tabla 30 revela que los herbicidas aplicados en la cuenca implican una grave amenaza tanto para la salud humana como para los ecosistemas acuáticos y terrestres, al presentar efectos tóxicos agudos como irritación ocular y dérmica, alteraciones hematológicas y daño hepático renal, y efectos crónicos como disrupción endocrina, teratogenicidad y riesgo carcinogénico. En el ambiente, su elevada persistencia en el suelo, movilidad y capacidad de lixiviación favorecen su ingreso a aguas superficiales y subterráneas, provocando toxicidad severa en peces, crustáceos, algas, anfibios y organismos del suelo. De particular preocupación es que algunos herbicidas incluidos en la tabla como linuron, atrazina y paraquat están entre los productos prohibidos y fuertemente restringidos en Guatemala según los listados del MAGA.

10.8. Propuesta de acciones que permitan reducir el impacto negativo de los plaguicidas agrícolas con relación a un manejo integrado de la cuenca

Para la reducción del impacto negativo en la cuenca es fundamental abordar el problema de manera holística e integral, considerando los resultados obtenidos en los objetivos anteriores. En este sentido, Peñate (2023) recomienda las siguientes acciones orientadas a un uso racional y responsable de los plaguicidas:

- Diagnosticar y asesorar sobre el uso racional de plaguicidas.
- Minimizar el uso de plaguicidas mediante la integración de medidas estructurales en los sistemas productivos tales como control biológico, medidas de exclusión, establecimiento de plantas banco y uso de variedades resistentes.
- Garantizar el uso técnico de los productos (equipo adecuado, boquillas apropiadas y calibraciones correctas).
- Fomentar la capacitación continua del personal encargado del manejo de plaguicidas.
- Mantener una actualización constante sobre nuevas tecnologías e información relevante.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Asimismo, la Dirección de Epidemiología y Gestión del Riesgo, del Ministerio de Salud pública y Asistencia Social (MSPAS) presentó la Situación Epidemiológica de Intoxicaciones por plaguicidas 2024, indicando un incremento del 16.1% de intoxicaciones a nivel nacional en comparación con el año 2023. Como respuesta se proponen las siguientes medidas:

- Fortalecer en los hospitales la capacidad para el manejo clínico de pacientes intoxicados por plaguicidas.
- Promover el uso adecuado de equipo de protección personal durante la aplicación de plaguicidas.
- Reforzar las acciones de comunicación para el desarrollo (CPD) en el ambiente local.
- Asegurar el llenado correcto y completo de las fichas epidemiológica a cada caso.

A nivel internacional, el National Pesticide Information Center (2023) también sugiere una serie de buenas prácticas para minimizar los riesgos asociados al uso de plaguicidas, las cuales se sintetizan en la Tabla 31.

Tabla 31.

Consejos para minimizar los riesgos por exposición a plaguicidas

Acciones	Observaciones
Adoptar un enfoque de Manejo Integrado de Plagas (MIP) en el cual se incorporen estrategias culturales, mecánicas, físicas y biológicas.	Enfatiza la prevención, el saneamiento y la exclusión, emplea el uso de plaguicidas como última opción.
Elegir ingredientes activo de baja Toxicidad o bien con bandas toxicológicas color azul y verde, disminuyendo el uso de etiquetas rojas.	
Elija productos con formulaciones que hagan menos probable una exposición.	



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 31. (Continuación)

Acciones	Observaciones
Leer el panfleto del producto.	La etiqueta indicara, cantidad mínima de equipo de protección.
Considere el uso de equipo de protección adicionales	
Asegúrese que la etiqueta liste el lugar específico de uso	Usar plaguicidas en lugares no listados es ilegal y no es seguro.
Utilizar la cantidad adecuada de plaguicida indicada en el panfleto. Dosis recomendadas por las casas comerciales.	Aplicar plaguicidas en exceso puede conducir a niveles más altos de exposición.
No permita niños, mascotas o personas sensibles en el área de tratamiento.	
Considere quedar fuera del área tratada después de una aplicación	El tiempo se indica en el panfleto
Productos líquidos, considere evitar zonas tratadas.	El área haya sido ventilada y secada completamente.
Considerar mantener a los niños y mascotas, fuera de áreas tratadas con plaguicidas granulares	El área será apta hasta que el plaguicida se degrade.
Verifique que el equipo cumpla con su funcionamiento al 100%	No utilizar si existen fugas.
Si sobran mezcla depositarlo en camas biológicas	
Realice el triple lavado del equipo siempre con equipo de protección.	
El manejo de los envases vacíos es esencial para evitar contaminantes	En Guatemala existe la empresa Agrequima apoya en el descarte de envases.

Nota: Adaptado de National Pesticide Information Center (2023).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

10.8.1. Recomendaciones planteadas

Durante el proceso de investigación, incluyendo visitas de campo, entrevista a agricultores, personal municipal, integrantes de las Unidades de Gestión Ambiental Municipal (UGAM), personal de salud y personal del Ministerio de Agricultura, ganadería y Alimentación (MAGA), se identificó un desconocimiento generalizado sobre la gestión integral de plaguicidas por parte de la mayoría de actores locales. Aunque los epidemiólogos poseen mayor preparación técnica, únicamente se cuenta con uno por departamento, lo cual limita el abordaje adecuado de intoxicaciones y riesgos asociados.

En primer lugar, el personal municipal a cargo de la UGAM presenta debilidades en temas técnicos relacionados con la gestión ambiental de los plaguicidas. A esto se suma la ausencia de programas de capacitación ambiental dirigidos a agricultores, lo cual agrava las problemáticas existentes. La falta de conocimiento técnico conduce a decisiones inadecuadas, afectando tanto la salud humana como el ambiente. **(56, 57 y 58)** Los actores entrevistados coinciden en que la falta de conocimiento del agricultor es el principal problema, por lo que es necesario diseñar herramientas de transferencia efectiva de conocimiento que permiten fortalecer el uso racional y seguro de plaguicidas.

Por otra parte, el personal del área de salud presenta dificultades para la identificar casos de toxicidad aguda por plaguicidas, principalmente debido a la falta de capacitación especializada y a la ausencia de equipo adecuado para su diagnóstico. Esto puede provocar diagnósticos tardíos y, por ende, consecuencias adversas en la salud humana a corto y largo plazo. Además, muchos agricultores desconocen que los síntomas que experimentan están asociados a la exposición a plaguicidas, lo que dificulta el abordaje clínico oportuno.

Se identificó también una debilidad importante: la falta de alianzas institucionales entre autoridades ambientales, autoridades de salud y productores. Esto impide el diseño de planes integrales orientados a reducir los impactos ambientales y a la salud humana derivado del uso de plaguicidas. Si embargo, algunos agricultores vinculados a cooperativas o instituciones sí reciben capacitación constante debido a que deben cumplir estándares de certificación relacionados con el ambiente, el bienestar del trabajador y la inocuidad del consumidor.

Para reducir de manera sostenible el impacto negativo de los plaguicidas dentro de la cuenca del río Los esclavos, es necesario incorporar las recomendaciones planteadas dentro del



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

marco del Manejo Integrado de Cuencas (MIC), el cual promueve la gestión coordinada del agua, suelo, biodiversidad y actividades productivas. Este enfoque permite que las acciones propuestas como el uso racional de plaguicidas, la capacitación técnica, el fortalecimiento institucional y la protección del recurso hídrico, se articulen de manera integral, considerando la conectividad entre las actividades agrícolas en la parte alta, media y baja de la cuenca, así como sus efectos acumulativos sobre la calidad del agua, la salud humana y los ecosistemas acuáticos y terrestres. La Tabla 32 desarrolla la aplicación de un MIC generando propuestas de acciones para reducir el impacto negativo de los plaguicidas en la cuenca del río Los Esclavos, esto garantiza que las decisiones se tomen con visión de territorio, participación comunitaria, gobernanza, fortalecimiento y criterios ecosistémicos.

Tabla 32.

Propuestas de acciones para reducir el impacto negativo de los plaguicidas en la cuenca del río Los Esclavos

Categoría	Acciones propuestas	Objetivo
Gestión técnica del uso de plaguicidas	<ul style="list-style-type: none"> - Diagnosticar el uso actual de plaguicidas mediante evaluaciones técnicas en campo. - Promover el uso racional de plaguicidas con base en dosis correctas, calibración de equipos y lectura del panfleto. - Fomentar la selección de ingredientes activos de baja toxicidad (azul y verde). 	Reducir la exposición humana, mejorar eficacia de los plaguicidas y disminuir contaminación.
Manejo Integrado de plagas (MIP)	<ul style="list-style-type: none"> - Incorporar medidas culturales, mecánicas, biológicas y físicas. - Minimizar la dependencia de agroquímicos. - Incentivar variedades resistentes, plantas banco y manejo de sombra. 	Disminuir el impacto ambiental y promover sistemas agrícolas resilientes.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 32. (Continuación)

Categoría	Acciones propuestas	Objetivo
Salud humana y epidemiológica	<ul style="list-style-type: none"> - Fortalecer el manejo clínico de intoxicaciones por plaguicidas en servicios de salud. - Mejorar la vigilancia epidemiológica y el registro correcto de casos. - Incrementar la disponibilidad de equipo de diagnóstico y protección para personal de salud. 	Reducir morbilidad y mortalidad asociada a intoxicaciones.
Fortalecimiento institucional	<ul style="list-style-type: none"> - Capacitar al personal de las Unidades de Gestión Ambiental Municipal (UGAM). - Establecer alianzas operativas entre MAGA-MSPAS-municipalidades-productores. - Crear planes integrales de gestión de plaguicidas a nivel de cuenca. 	Aumentar la gobernanza ambiental y la capacidad institucional.
Educación y comunicación ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Implementar programas de capacitación continua para agricultores. - Fortalecer campañas de comunicación para el desarrollo (CPD). - Capacitar sobre riesgos, primeros auxilios, lectura de panfletos y BPA. 	Reducir riesgos por desconocimiento y mejorar el uso responsable.
Protección del recurso hídrico	<ul style="list-style-type: none"> - Promover barreras vivas, franjas de amortiguamiento y manejo de escorrentías. - Regular aplicaciones en zonas cercanas a ríos, pozos y nacimientos. - Implementar monitoreos de residuos en agua superficial y subterránea. 	Prevenir contaminación y proteger ecosistemas acuáticos.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 32. (Continuación)

Categoría	Acciones propuestas	Objetivo
Manejo seguro de residuos y envases	<ul style="list-style-type: none">- Implementar triple lavado, recolección y entrega en puntos autorizados.- Utilizar camas biológicas para manejo de sobrantes.- Coordinar con Agrequima para disposición final.	Evitar contaminación de suelo, agua y fauna.
Supervisión y certificaciones	<ul style="list-style-type: none">- Incentivar a productores a adoptar certificaciones ambientales y BPA.- Supervisar cumplimiento de normativas en empresas agrícolas.	Garantizar prácticas sostenibles y mercados más seguros.

Nota. Tabla elaboradas con base en Peñate (2023), Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social – Dirección de Epidemiología (2024) y National Pesticide Information Center (2023).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

11. Conclusiones

1. Se determino que existen 18 cultivos de importancia económica dentro de la cuenca del río Los Esclavos, siendo el café (*Coffea arabica*) el cultivo predominante con un 34.10% del territorio agrícola. Los granos básicos maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) representan el 7.55% y mantienen relevancia para la seguridad alimentaria. La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) ocupa 4.62% concentrándose en la parte media y baja de la cuenca. Además, se identificaron cultivos como banano, aguacate, sorgo, tomate, melón, sandía, piña, cítricos, mango, mora, coco y tabaco, que conjunto conforman el grupo de cultivos económicamente relevantes.
2. Se identificaron las principales plagas insectiles que afectan a los cultivos mencionados, predominando los órdenes Lepidoptera, Hemiptera, Coleoptera, Diptera, Thysanoptera, Trombidioformes y Hymenoptera. Estos grupos concentran las plagas clave responsables del daño directo en los sistemas de producción agrícola de la cuenca.
3. Respecto al uso de plaguicidas, se determinó que los insecticidas representan el 42% de los ingredientes activos empleados (47 i.a.), los fungicidas el 40% (45 i.a.) y los herbicidas el 20% (21 i.a.). Esto demuestra un fuerte dependencia del control químico, principalmente para manejo de insectos y enfermedades.
4. Las dosis recomendadas por casas comerciales difieren de las utilizadas por agroservicios y productores, evidenciando desconocimiento técnico sobre calibración y dosificación. Las aplicaciones se realizan principalmente por pulverización, seguidas por aplicaciones al suelo o vía riego. La temporalidad no sigue un calendario fijo, sino que depende del tipo de plaga, fenología del cultivo y condiciones climáticas.
5. Los impactos negativos en la salud se relacionan con toxicidad aguda y crónica, siendo los insecticidas los principales responsables, junto con fungicidas como clorotalonil y herbicidas como glifosato. A nivel ambiental, se identificó contaminación del agua, toxicidad aguda para peces, anfibios, abejas y algas, además de persistencia y movilidad en suelo y agua. Los grupos químicos más peligrosos fueron los organofosforados, carbamatos y neonicotinoides;



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

en fungicidas clorotalonil, mancozeb, captan, propiconazol y azoxistrobin; y en herbicidas, atrazinas, glifosato y paraquat.

6. Se plantearon acciones, recomendaciones y medidas que contribuyen a mitigar los impactos del uso de plaguicidas dentro de la cuenca; sin embargo, se evidenció desconocimiento por parte de actores clave, especialmente en oficinas municipales (UGAM). Es necesario fortalecer la capacitación continua, mejorar la articulación entre agricultores, personal de salud y autoridades en la cuenca, principalmente reducir los impactos en la salud humana y el ambientales, e implementar estrategias de educación y manejo integrado que permitan reducir el riesgo para la salud humana y el ambiente.

12. Recomendaciones

1. Establecer programas de fortalecimiento técnico sobre el uso racional de plaguicidas, enfatizando la importancia de la utilización adecuada de dosis, realización de calibración de equipo de aplicación, interpretación de panfletos y uso de ingredientes activos de menor riesgo toxicológico.
2. Implementar programas de educación ambiental dirigidos a productores, personal municipal de oficinas ambientales, actores claves comunitarios y personal de salud, orientando a mejorar la comprensión de los riesgos a la salud humana, el agua y el ambiente derivados del uso inadecuado de los plaguicidas.
3. Promover la utilización de un Manejo Integrado de Plagas (MIP) en los sistemas agrícolas de la cuenca, incorporando prácticas culturales, físicas, mecánicas y biológicas que reduzcan la dependencia del control químico, programa que puede estar a cargo del MAGA.
4. Fortalecer la vigilancia epidemiológica y la capacidad diagnóstica en los Puestos y Centros de Salud, brindando herramientas para identificar intoxicaciones agudas y crónicas por plaguicidas.
5. Establecer mecanismos de coordinación interinstitucionales entre MAGA, MSPAS, municipalidades, productores y organizadores locales, con la finalidad de desarrollar planes integrales de gestión de plaguicidas en la cuenca.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

6. Implementar medidas de protección del recurso hídrico, acciones como implementar barreras vivas, manejo adecuado de escorrentía y regulación estricta de aplicaciones cercas de ríos, pozos y nacimientos, evitando así la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
7. Promover sistemas de monitoreo ambiental permanente que incluya un análisis de residuos de plaguicidas en agua, suelo y sedimentos, con el objetivo de identificar tendencias de contaminación.
8. Fortalecer el manejo adecuado de envases vacíos y residuos de plaguicidas, promoviendo el triple lavado, el uso de camas biológicas sobrantes y la disposición final en centros autorizados, en coordinación con programas como los de Agrequisa.
9. Impulsar certificaciones ambientales y de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en productores y empresas dentro de la cuenca, con el fin de garantizar prácticas más seguras para el ambiente, los trabajadores y los consumidores.
10. Desarrollar programas de sensibilización sobre los riesgos asociados a la exposición de plaguicidas, principalmente para mujeres, niños y trabajadores del agro, promoviendo las medidas de protección personal y prácticas seguras en el hogar y campo.

13. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.

La tabla 33 presenta las actividades propuestas para la divulgación de los resultados. Para esta investigación se plantearon cuatro acciones principales, las cuales se describen en los párrafos siguientes.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Tabla 33.

Propuestas de divulgación de resultados relacionados con la presente investigación

	Sí	No
Presentación TV		X
Entrevistas radiales		X
Podcast		X
Entrevista DIGI		X
Recursos audiovisuales		X
Congresos científicos nacionales o internacionales	X	
Talleres	X	
Publicación de libro		X
Publicación de artículo científico		X
Divulgación por redes sociales institucionales		X
Presentación pública		X
Presentación autoridades USAC		X
Presentación a beneficiarios directos		X
Entrega de resultados	X	
Docencia en grado	X	
Docencia postgrado		X
Póster científico		X
Trifoliales		X
Conferencias		X
Otro (describa)		

Parte de los resultados de la investigación fueron presentados durante la Semana de la Agrociencia en el Centro Universitario del Norte (CUNOR). Aunque el estudio no se realizó en dicha región, la divulgación de los hallazgos es relevante para promover la comprensión de la importancia que tienen los que tienen los plaguicidas en la agricultura y los impactos negativos



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

que pueden generar en la salud humana y el ambiente. Asimismo, esta actividad permitió resaltar la utilidad de los panfletos que contienen los productos comerciales y del Manejo Integrado de Plagas como herramienta esencial para fomentar el uso adecuado y responsable de plaguicidas, así como para fortalecer el conocimiento sobre dosis, formas de aplicación y toxicología de los ingredientes activos utilizados en la producción agrícola.

Se realizaron talleres sobre plagas y uso correcto de los plaguicidas con el propósito de divulgar parte de los resultados de la investigación. El objetivo principal fue evidenciar la importancia de la información recopilada, especialmente en lo referente a los ingredientes activos que están prohibidos para su venta, pero que, a pesar de ello, continúan siendo utilizados en la práctica agrícola. Para el próximo año se tiene previsto desarrollar talleres más especializados para lo cual se establecerá contacto con la Asociación del Gremio Químico Agrícola (Agreguima). La finalidad será profundizar en la importancia del manejo seguro de los plaguicidas y fortalecer las capacidades de los productores locales. En estas actividades se invitará específicamente a productores de la región, con el fin de promover buenas prácticas agrícolas y reducir los riesgos asociados al uso inadecuado de plaguicidas.

Se realizó la presentación de los resultados de este proyecto durante la entrega de resultado de los proyectos DIGI 2024. En dicha actividad se mostraron y detallaron los hallazgos obtenidos en esta investigación, destacando la necesidad de continuar con la divulgación de la información generada. Esto se debe a que persiste un riesgo latente asociado al uso de plaguicidas, especialmente aquellos que están prohibidos en numerosos países, pero que aún se comercializan y utilizan en Guatemala.

Como parte de la divulgación se estableció la docencia de grado en el CUNSARO, donde se incorporan los resultados de esta investigación en los cursos relacionados con manejo de plagas y gestión ambiental. La integración de estos hallazgos en actividades académicas, tales como clases magistrales, estudios de caso, prácticas de laboratorio y salidas de campo, permite que los estudiantes comprendan la relevancia del uso responsable de plaguicidas y los riesgos asociados a los ingredientes activos. Se trata de fortalecer el aprendizaje, promover el análisis crítico y fomentar la adopción de prácticas agrícolas más seguras y sostenibles.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

14. Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)

Los resultados de esta investigación contribuyen de manera directa a varias metas de las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND), especialmente aquellas relacionadas con la protección de la salud humana, la sostenibilidad agrícola y la gestión ambientalmente racional de sustancias químicas.

La identificación de ingredientes activos prohibidos o de alta toxicidad, así como la evidencia de uso continuo en la región, aporta información esencial para avanzar en la Meta 12.4, orientadas al manejo responsable de productos químicos y la reducción de su impacto en el ambiente. Asimismo, la promoción del Manejo Integrado de Plagas, el uso adecuado de plaguicidas y la formación de productores y estudiantes fortalece el cumplimiento de la Meta 2.4, que busca garantizar sistemas agrícolas sostenibles. También se aporta una contribución significativa en lo relativo a la Meta 3.9, que busca reducir enfermedades y muertes causadas por sustancias químicas peligrosas. Se contribuye a la Meta 6.3 que busca mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

15. Vinculación

Se mantuvo una vinculación directa con diversas instituciones claves en la gestión ambiental y agrícola del territorio, entre ellas las oficinas departamentales del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), los Centros de Salud, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgo (DIGEGER). También se estableció coordinación con la Asociación Nacional del Café (ANACAFÉ) y las Municipalidades. Asimismo, se sostuvo una relación estrecha con organizaciones de la sociedad civil, como lo es la Comisión Diocesana de Defensa de la Naturaleza y con el Parlamento Xinka, la cual posee una influencia significativa en las comunidades de la cuenca y actualmente trabajan activamente en la temática del agua y la protección de los recursos naturales.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

16. Referencias

- Abubakar, Y., Tijjani, H., Egbuna, C., Adetunji, C. O., Kala, S., Kryeziu, T. L., ... Patrick-Iwuanyanwu, K. C. (2020). Chapter 3 - Pesticides, history, and classification. En C. Egbuna & B. Sawicka (Eds.), *Natural remedies for pest, disease and weed control* (pp. 29–42). Academic Press.
- Aguilar-González, X., Ronquillo-Cedillo, I. Ávila-Nájera, DM, Rodríguez-Hernández, C., Pedraza-Mandujano, J., & Martínez-Jiménez, DL (2021). Riegos a la salud por el uso de herbicidas *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 10(23), 23-33. Universidad Católica de El Salvador.
- Ajquejay Ajsivinac, S. E. (2015). *Comportamiento de las importaciones de fertilizantes, plaguicidas formulados e ingredientes activos grado técnico del 2005 al 2013 en Guatemala C.A. y su relación con los principales cultivos y servicios realizados en el Departamento de Registro de Insumos Agrícolas – DRIA – de la Dirección de Sanidad Vegetal, VISAR, del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación – MAGA – Guatemala, C.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio USAC.
- Arcia-Pineda, L. Y., & Bravo-Vallejos, N. D. (2022). Conocimientos, actitudes, y prácticas en una zona rural de Copán Ruinas, Honduras, año 2019. *Medicas UIS*, 35(2), 200. <https://doi.org/10.18273/revmed.v35n2-2022005>
- Árevalo C., A., Bacca, T., & Soto G., A. (2014). Diagnóstico del uso y manejo de plaguicidas en fincas productoras de cebollas junca *Allium fistulosum* en el municipio de Pasto. *Revista Luna Azul*, 38, 132-145. https://www.scielo.org.co/scielo.php?script=aci_arttext&pid=S1909-24742014000100008
- Arévalo Guerra, M.A., & Bonilla, O. (2019). *Proyecto para la identificación de plagas y enfermedades e implementación de programas de manejo integrado de plagas para el cultivo de agucate Hass (Persea americana Mill.) en los departamentos de Quetzaltenango, San Marcos y Huehuetenango, altiplano occidental de Guatemala*



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

(Informe final). Instituto Interamericano Agropecuario (CIA).

<https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/18%20AGUACATE/Plagascuarentenarias-AGROEXPERTOS-MAr%C3%A9valo/PROYECTO%20PARA%20LA%20IDENTIFICACI%C3%93N%20DE%20PLAGAS%20Y%20ENFERMEDADES.pdf>

Asela, M., Tamayo, S. S., & Estrada, D. E. P. (2014) Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387.

Asociación Nacional del Café. (2024). *Memoria de labores 2024*. ANACAFÉ. Recuperado de <https://www.anacafe.org/uploads/file/34527e51f4714908952a90c89ce0e551/Memoria-Labores-Anacafe-2024.pdf>

Ayala Sulca, R., Vásquez-Vera, H., Palacios I.F., & León-Ponte, M. (2008). Intoxicación aguda por plaguicidas en trabajadores agrícolas peruanos: Estudios de vigilancia nacional, 2006-2007. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25(1), 7177. <https://doi.org/10.1590/S1726-46342008000010005>

Badii, M. H., & Varela, S. (2008). Insecticidas organofosforados: efectos sobre la salud y el ambiente. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 5(28), 5-17. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2881125>

Barneond, F. (1995). *Manejo de envases de plaguicidas: Un estudio de caso en dos comunidades indígenas de Quetzaltenango, Guatemala* [Informe técnico]. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH), Guácimo, Costa Rica.

Bashir, I., Lone, F. A., Bhat, R. A., Mir, S. A., Dar, Z. A., & Dar, S. A. (2020). Concerns and threats of contamination on aquatic ecosystems. En K. R. Hakeem, R. A. Bhat, & H. Qadri (Eds.), *Bioremediation and biotechnology: Sustainable approaches to pollution degradation* (pp. 1-26). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35691-0_1

Bisset, J. A. (2002). Uso correcto de insecticidas: control de la resistencia. *Revista de Protección Vegetal*, 18(3), 200-207. https://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0375-07602002000300005&script=sci_arttext



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Blacquiere, T., Smaghe, G., Van Gestel, C. A., & Mommaerts, V. (2012). Neonicotinoids in bees: A review on concentrations, side-effects and risk assessment. *Ecotoxicology*, 21(4), 973–992.
- Blythe, J., Earley, F. G. P., Piekarska-Hack, K., Firth, L., Bristow, J., Hirst, E. A., Goodchild, J. A., Hillesheim, E., & Crossthwaite, A. J. (2022). The mode of action of isocycloseram: A novel isoxazoline insecticide. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 187, 105217. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105217>
- Botías, C., & Sánchez-Bayo, F. (2018). Pesticide exposure and bees: A global analysis of neonicotinoid impacts. *Environmental Research*, 164, 431–440. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.041>
- Bravo-Durán, V., Monge, P., & Partanen, T. (2015). Importación de plaguicidas y peligros en salud en América Central durante el periodo 2005-2009. *Revista de Salud, Trabajo y Ambiente*, 15, 1–19. <https://www.redalyc.org/pdf/4759/475947236006.pdf>
- Campanale, C., Massarelli, C., Losacco, D., Bisaccia, D., Triozzi, M., & Uricchio, V. F. (2021). The monitoring of pesticides in water matrices and the analytical criticalities: A review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 144, 116423. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116423>
- Carrillo-Rayas, M. T. (2009). Potencial y algunos de los mecanismos de acción de los hongos entomopatógenos para el control de insectos plaga. *Acta Universitaria*, 19(2), 40-49. <https://www.redalyc.org/pdf/416/41611810005.pdf>
- Castillo, L. E., Ruepert, C., & Solís, E. (2000). Plaguicidas en ambientes acuáticos de zonas bananeras en Costa Rica: Impacto ambiental y en salud. *Revista de Biología Tropical*, 48(1), 23–34.
- Castro López, C. R., & Castillo Rodríguez, L. M. (2024). Contaminantes orgánicos persistentes: Impactos y medidas de control. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 35(1), 135–148. <https://doi.org/10.15381/rivep.v35i1.24104>
- Cerrón Rodríguez, A. L. (2024). *Uso y manejo responsable de plaguicidas en la agroindustria y el pequeño agricultor* [Trabajo académico, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Agronomía]. Universidad Nacional Agraria La Molina.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Cifuentes, J. I., Castañeda, L., & Arévalo, R. (2020). *Análisis de la presencia de plaguicidas e hidrocarburos en el Lago de Atitlán*. Universidad de San Carlos de Guatemala. https://www.researchgate.net/publication/342760614_Analisis_de_la_Presencia_de_Plaguicidas_e_Hidrocarburos_en_el_Lago_de_Atitan
- Cotto Guzmán, E. J. (2012). *Evaluación del impacto del uso ganadero y del cultivo de granos básicos en el suelo y agua en la subcuenca Mopán-Chiquibul, Petén, Guatemala*. [Tesis de maestría]. CATIE Repositorio. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8021/191.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Del Puerto Rodríguez, A. M., & Suárez Tamayo, S. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372–387. https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010
- Delbeke, F., Vercruyse, P., Tirry, L., & Degheele, D. (1997). Toxicity of diflubenzuron, pyriproxyfen, imidacloprid and diafenthiuron to the predatory bug *Orius laevigatus* (Het.: Anthocoridae). *BioControl*, 42(4), 349–358. <https://doi.org/10.1007/BF02769828>
- Dirección de Epidemiología y Gestión del Riesgo. (2024). *Situación epidemiológica de intoxicaciones*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. <https://epidemiologia.mspas.gob.gt/informacion/vigilancia-epidemiologica/salas-situacionales>
- Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgo. (2022). *Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra de la República de Guatemala, escala 1:50,000* [Mapa]. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA).
- Escobar G., M. H. (1999). *Conocimientos y actitudes de los agricultores frente al uso de normas de seguridad para el manejo de plaguicidas en el Corregimiento de Tres Quebradas, Distrito de Los Santos, 1998* [Tesis de maestría en Salud Pública, Universidad de Panamá, Facultad de Medicina].
- Espinoza Guzmán, F. M., García Dávila, M. T., Torres Álvarez, F. J., Loaiza Chajón, W. F., & Ramírez Hernández, K. G. (2018). *Mortalidad por intoxicación con plaguicidas organofosforados en trabajadores agrícolas: Estudio descriptivo y retrospectivo realizado en hospitales nacionales y en el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social de los*



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez [Informe técnico]. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Espinoza Paredes, L. E., & Pupuche Aldana, M. (2022). *Efecto del Thiodicarb, Spinosad y Chlorantraniliprole en la mortalidad e infectividad de nematodos entomopatógenos...* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10496>
- Federación de Asociaciones Agrícolas de Guatemala (FASAGUA). (s. f.). *Inicio*. <https://fasagua.com>
- Fungicide Resistance Action Committee. (2024). *FRAC Code List® 2024* [PDF]. <https://www.frac.info/media/kufnaceb/frac-code-list-2024.pdf>
- Gandhi, K., Khan, S., Patrikar, M., Markad, A., Kumar, N., Choudhari, A., & Sagar, P. (2021). Exposure risk and environmental impacts of glyphosate: Highlights on the toxicity of herbicide co-formulants. *Environmental Challenges*, 4, 100149. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100149>
- Rodríguez Rodríguez, M. C. (2019). *Efectos de los plaguicidas en el medio ambiente* [Trabajo académico, Universidad Politécnica de Cartagena]. Universidad Politécnica de Cartagena. <https://doi.org/10.31428/10317/7789>.
- GIMBOT. (2014). *Mapa de bosques y uso de la tierra 2012. Mapa de cambios en uso de la tierra 2001–2010* [Mapa]. Grupo Interinstitucional de Monitoreo de Bosques y Uso de la Tierra.
- Gisi, U., Sierotzki, H., Cook, A., & McCaffery, A. (2002). Mechanisms influencing the evolution of resistance to Qo inhibitor fungicides. *Pest Management Science*, 58(9), 859–867. <https://doi.org/10.1002/ps.520>
- Gómez-Beltrán, D. A., Montes, J. E., Pérez, & Villar, D. (2023). Impacto ecológico del insecticida fipronil: Valoración de riesgos en humanos. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 70(1), 65–84. <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v70n1.100631>
- González-Castro, M. I., Ramírez-Fraire, R. O., & Rivas-García, F. (2022). Neurotoxicidad de plaguicidas. Breve actualización. *Journal of Negative and No Positive Results*, 7(4), 376–384. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.4824>
- Guzmán Quilo, C., Hernández de Baldetti, M., & Castillo Mauricio, M. G. (2013). *Perfil de salud ocupacional Guatemala*. IRET-UNA / Programa SALTRA.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Hashimi, M. H., Hashimi, R., & Ryan, Q. (2020). Toxic effects of pesticides on humans, plants, animals, pollinators and beneficial organisms. *Asian Pacific Research Journal (APRJ)*, 5(4), 37–47.
- Herbicide Resistance Action Committee. (2023). *HRAC mode of action classification 2023*. HRAC. <https://hracglobal.com>
- Hernández Cervantes, E., Adams Schroeder, R. H., Gómez Cruz, R., Domínguez Rodríguez, V. I., Ramos Hernández, E., & Baltierra Trejo, E. (2021). Análisis situacional por el uso de plaguicidas en unidad agrícola de cultivo de plátano. *Contactos Iztacala*, (122). <https://contactos.izt.uam.mx/index.php/contactos/article/view/151>
- Hernández de Baldetti, A., Guzmán Quilo, N., & González Álvarez, M. (2015). *Perfil de indicadores de salud ocupacional y ambiental (PISOA): Guatemala*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social; Organización Panamericana de la Salud (OPS).
- Herrera, A. H., & Silva Gavarrete, R. (2014). *Identificación y cuantificación de huellas de plaguicidas persistentes en el sistema de humedales y zona este marino costera del Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique, durante el año hídrico mayo 2013–abril 2014 y sus efectos socioeconómicos* [Informe de investigación]. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Instituto Nacional de Estadística. (2016). *Compendio Estadístico Ambiental de Guatemala 2016*. INE.
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. (2012). *Estudio hidrológico de la cuenca del río Los Esclavos*. ICC.
- Instituto Regional de Estudios de Sustancias Tóxicas (IRET). (2025). *Manual de plaguicidas de Centroamérica: Caracterización de las sustancias plaguicidas usadas en la región*. Universidad Nacional (Costa Rica). <https://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr>
- Inoue, L. V. B. (2025). *Efeitos do inseticida flupiradifurona e dos fungicidas piraclostrobina e fluxaproxade no comportamento e morfofisiologia de Melipona scutellaris* [Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Campus de Rio Claro]. <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/8cb37577-84f8-4271-ab2b-14016f23198a/content>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Insecticide Resistance Action Committee. (2024). *Sitio web del Insecticide Resistance Action Committee (IRAC)*. <https://irac-online.org/>
- Jáquez Matas, S. V., González Valdez, L. S., Irigoyen Campuzano, R., & Ortega Martínez, V. (s. f.). *Comportamiento de plaguicidas persistentes en el medio ambiente*. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Durango, IPN.
- Kasheverov, I., Kudryavtsev, D., Shelukhina, I., Nikolaev, G., Utkin, Y., & Tsetlin, V. (2022). Ligandos de origen marino de receptores nicotínicos: Compuestos de bajo peso molecular, péptidos y proteínas para investigación fundamental y aplicaciones prácticas. *Biomolecules*, *12*(2), 189. <https://doi.org/10.3390/biom12020189>
- Leal Monterroso, L. A. (2014). Plaguicidas agrícolas peligrosos que se utilizan en aplicaciones de campo en Guatemala. *Revista Análisis de la Realidad Nacional*, *(10)*, 72–91.
- Llerena Pinto, C. A., Hermoza Espezúa, R. M., & Llerena Bermúdez, L. M. (2007). Plantaciones forestales, agua y gestión de cuencas. *Debate Agrario*, *42*, 79–110. https://www.researchgate.net/publication/291979716_Plantaciones_forestales_agua_y_gestion_de_cuencas
- Madgwick, P. G., Tunstall, T., & Kanitz, R. (2024). Evolutionary rescue in resistance to pesticides. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *291*(2025), 20240805. <https://doi.org/10.1098/rspb.2024.0805>
- Maidana-Ojeda, M., Cáceres-González, J. F., Chamorro, N., Medina-Aquino, M. E., Gómez-Vega, O. J., & Enciso-Maldonado, G. A. (2025). Evaluación de la eficacia de fungicidas en el control de la mancha negra en yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) causada por *Calonectria* spp. *Revista sobre Estudios e Investigaciones del Saber Académico*, *(19)*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10142601>
- Marchi, G., Marchi, E. C. S., & Guimarães, T. G. (2008). *Herbicidas: mecanismos de ação e uso* (Documentos No. 227). Embrapa Cerrados.
- Mateo-Sagasta, J., Zadeh, S. M., Turrall, H., & Burke, J. (2017). *Water pollution from agriculture: A global review. Executive summary*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); International Water Management Institute (IWMI).



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2004). *Atlas temático de las cuencas hidrográficas de la República de Guatemala*. Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo (UPGGR).
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2022). *Sitio oficial MAGA Guatemala*. <https://www.maga.gob.gt>
- MOSCAMED Guatemala. (2023). *Sitio oficial de MOSCAMED Guatemala*. <https://moscamed-guatemala.org.gt/>
- Mostafalou, S., & Abdollahi, M. (2013). Pesticides and human chronic diseases: Evidences, mechanisms, and perspectives. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 268(2), 157–177.
- National Pesticide Information Center. (2013). *Minimizando los riesgos de los pesticidas*. <https://npic.orst.edu/health/minexp.es.html>
- Olszyna-Marzys, A. E., Arroyave, G., Scrimshaw, N. S., & Guzmán, M. A. (1973). Residuos de plaguicidas clorados en la leche humana en Guatemala. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 23(3), 349–360.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2008). *Biocombustibles: Perspectivas, riesgos y oportunidades*. FAO. <https://www.fao.org/4/i0100s/i0100s.pdf>
- Ordoñez-Beltrán, V., Frías-Moreno, M. N., Parra-Acosta, H., & Martínez-Tapia, M. E. (2019). Estudio sobre el uso de plaguicidas y su posible relación con daños a la salud en comunidades agrícolas mexicanas. *Revista de Toxicología en Línea*, 36(2), 148–153. <https://www.redalyc.org/journal/919/91967023011/91967023011.pdf>
- Peñate, L. (2023, marzo 21). *Reflexiones sobre la situación actual de Guatemala sobre el uso de plaguicidas y recomendaciones generales para su gestión y uso* [Conferencia virtual]. Cámara de Comercio y Turismo Guatemala–Israel.
- Pla Acevedo, J. E., Ruiz, N., Pascual, R., & García, M. (2015). Intoxicación aguda por plaguicidas en edades pediátricas, Guatemala, 2011. *Revista Médica Interna de Guatemala*, 19(1), 18–25.
- Ponce, G., Cantú, P. C., Flores, A., Badii, M., Zapata, R., López, B., & Fernández, I. (2006). Modo de acción de los insecticidas. *Revista de Salud Pública y Nutrición*, 7(4). <https://www.medigraphic.com/pdfs/revsalpubnut/spn-2006/spn064i.pdf>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Prieto Fernández, J. G., García Llamazares, J. L., Redondo Cardeña, P. Á., Larrodé Pellicer, O., Merino Peláez, G., & Álvarez de Felipe, A. I. (1998). Mecanismos de acción de los benzimidazoles. *Medicina Veterinaria*, 15(12), 642–651.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – Argentina (PNUD). (2023). *Paraquat: Efectos sobre la biota e impactos en la salud humana* (Proyecto PNUD ARG/17/010, Informe técnico-científico). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2024-01/paraquat_.pdf
- Rani, L., Thapa, K., Kanojia, N., Sharma, N., Singh, S., Grewal, A. S., ... Kaushal, J. (2021). An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of Cleaner Production*, 283, 124657. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124657>
- Rath, S., Schroder, C. H. K., Silva, C. R., Ferreira, F. O., Dionizio, A. C., & Dal Bosco, S. M. (2016). Avermectinas no agronegócio brasileiro: Uma solução ou um problema? *Veterinária e Zootecnia*, 23(1), 8–21.
- Rodríguez Martínez, O. (2004). *Diagnóstico ambiental de la cuenca del río Samalá* [Tesis de maestría, Universidad del Valle de Guatemala]. <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/3797>
- Rodríguez, C. A., Martínez, M. E., & Pérez, J. L. (2013). Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación en el río Seco. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29(3), 135–145. <https://doi.org/10.20937/RICA.2013.29.03.01>
- Rodríguez, Y., Medina, J., & López, E. (2018). Contaminación de aguas subterráneas y superficiales por plaguicidas: El caso de la atrazina. *Revista Ciencia, Tecnología y Salud*, 5(1), 45–55.
- Romero Nájera, I. (2024, julio–agosto). Dime qué comes y te diré qué bioacumulas. *Revista Digital Universitaria*, 25(4). <https://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2024.25.4.7>
- Rodrigues, A. R., Gotto, A. J. de O., Santos, B. de O. S., Cardoso, J. C. M., Silva, N. C., & Espinosa, P. L. R. (2025). Physicochemical and toxicological characteristics of sulfluramide and its environmental implications. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 19(2), 40–51. <https://doi.org/10.5132/eec.2024.02.05>



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Sam Colop, J. M. (2013). Intoxicación aguda por plaguicidas en Guatemala: Análisis de la vigilancia epidemiológica del 2008–2009. *Revista Chilena de Salud Pública*, 17(3), 235–243.
- Santos, D., (2015). *Actualización técnica soja – Serie Extensión Técnica N° 76*. Estación Experimental Agropecuaria Paraná, INTA. https://www.researchgate.net/profile/Diego-Santos-10/publication/312557929_Actualizacion_Tecnica_Soja_Diciembre_2015_Serie_Extensi_on_Tecnica_num_76_INTA_Estacion_Experimental_Agropecuaria_Parana_ISSN_0325-8874_111_pp/links/58820c5ea6fdcc6b790eaca3/Actualizacion-Tecnica-Soja-Diciembre-2015-Serie-Extension-Tecnica-num-76-INTA-Estacion-Experimental-Agropecuaria-Parana_ISSN_0325-8874_111_pp.pdf
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2022). *Plan de Desarrollo Municipal 2105*. SEGEPLAN. https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/08/PDM_2105.pdf
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2024a). *Plan de Desarrollo Departamental de Jutiapa*. SEGEPLAN. https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2024/02/22_PDD_JUTIAPA.pdf
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. (2024b). *Plan de Desarrollo Departamental de Santa Rosa*. SEGEPLAN. https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2024/02/06_PDD_SANTA_ROSA.pdf
- Sinchire Castillo, R. N., Cayambe, J., & Heredia-R, M. (2023). Farmer’s knowledge, perception and practices of pesticide application: A case study of rice growers in Ecuador. *Revista Tecnológica – ESPOL*, 35(1), 88–103. <https://doi.org/10.37815/rte.v35n1.1013>
- Soto Rosales, M. C. (2018). *Caracterización de la cuenca hidrográfica del río Los Esclavos, Guatemala* [Tesis de licenciatura, Universidad Rafael Landívar].
- Syafrudin, M., Kristanti, R. A., Yuniarto, A., Hadibarata, T., Rhee, J., Al-Onazi, W. A., ... Al-Mohaimed, A. M. (2021). Pesticides in drinking water—a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 468.
- Toj Juárez, A. A. (2024). *Evaluación de la contaminación por pesticidas organoclorados y organofosforados en el agua que se utiliza para consumo humano en el municipio de San*



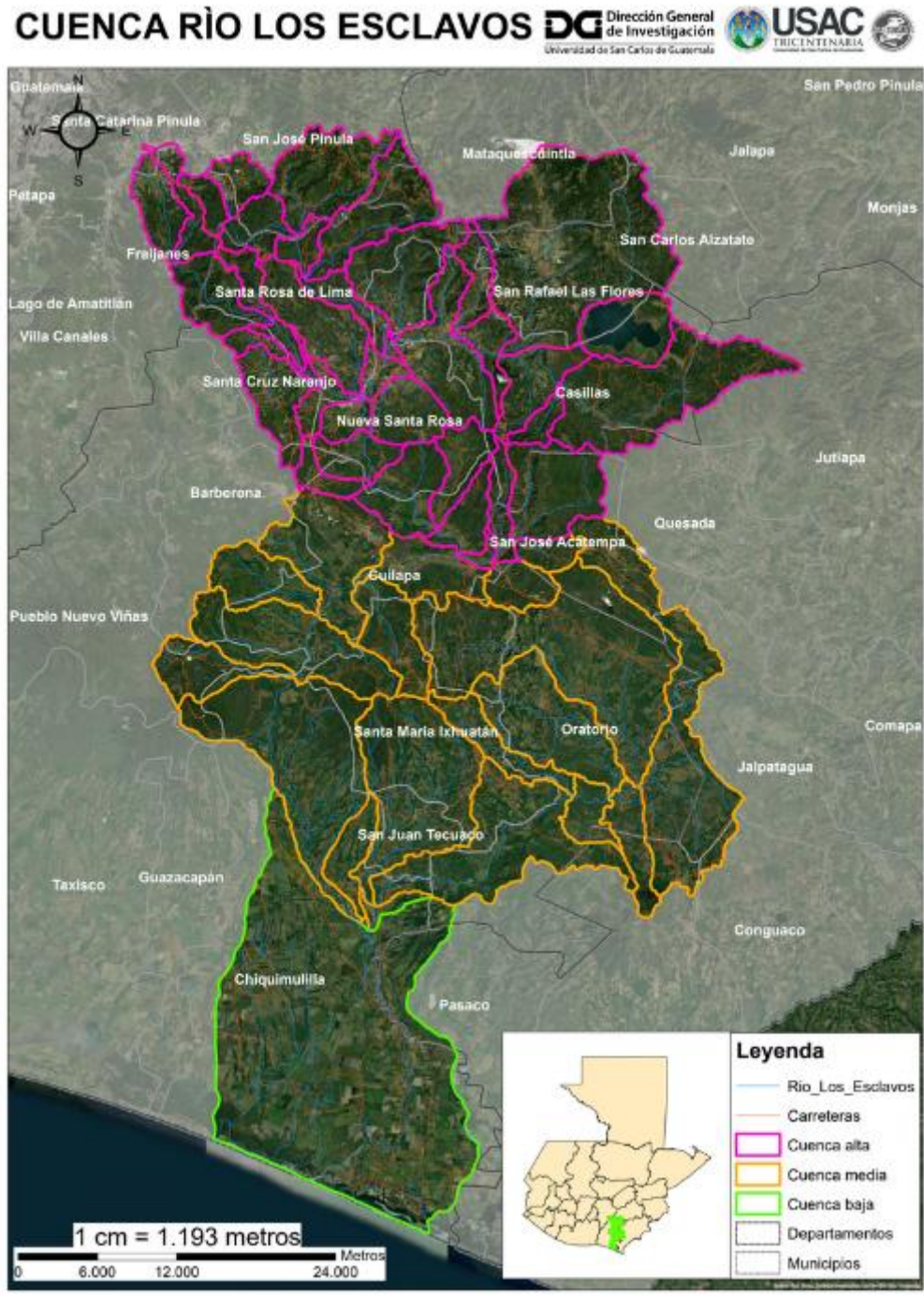
Informe final de Proyecto de Investigación 2024

- Marcos, Guatemala [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala].
<https://repositorio.usac.edu>
- Tribunal de Cuentas Europeo. (2015). *Calidad del agua en la cuenca hidrográfica del Danubio: Se ha avanzado en la aplicación de la Directiva Marco sobre el Agua, pero queda camino por recorrer* (Informe especial n.º 23). Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
https://www.eca.europa.eu/lists/ecadocuments/sr15_23/sr_danube_progress_es.pdf
- U.S. Environmental Protection Agency. (s. f.). *Chapter 16: Fungicides*. En *Risk-Management Methods for Agricultural Pesticides* (6.^a ed.).
https://www.epa.gov/sites/.../rmpp_6thed_ch16_fungicides.pdf
- Ullah, F., Gul, H., Yousaf, H. K., Xiu, W., Qian, D., Gao, X., & Song, D. (2019). Impact of sublethal concentrations of buprofezin on biological traits and chitin synthase 1 (CHS1) gene expression profile in the melon aphid, *Aphis gossypii*. *Scientific Reports*, 9(1), 12291.
- Unidad de Investigación de Agricultura y Medio Ambiente (AERU). (2024). *Base de datos de propiedades de pesticidas*. University of Hertfordshire.
<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>
- Vásquez Téllez, M. J. (2017). *Necesidades de capacitación de la fuerza de ventas en los agroservicios del municipio de Asunción Mita, Jutiapa* [Tesis de licenciatura, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Sede Regional de Jutiapa]. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2017/01/01/Vasquez-Milton.pdf>
- Vázquez-García, J. G., & Martínez-Ghersa, M. A. (2020). Resistencia a herbicidas inhibidores de ACCasa en malezas de importancia agrícola: Bases fisiológicas y manejo. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 1–18. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.37825>
- Vidal, R. A., Merotto, A., Schaedler, C. E., Pinto Lamego, F., Portugal, J., Menendes, J., & De Prado, R. (2014). *Mecanismos de acción de los herbicidas*. Repositório IPBeja.
<https://repositorio.ipbeja.pt/entities/publication/468be3f0-2d5e-4ebe-b7d5-d698ce2d21d7>
- Winkler, K. (2018). *Agrotóxicos en el cultivo de la caña de azúcar y sus impactos en la salud humana*. IDEAR-CONGCOOP.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024
17. Apéndice

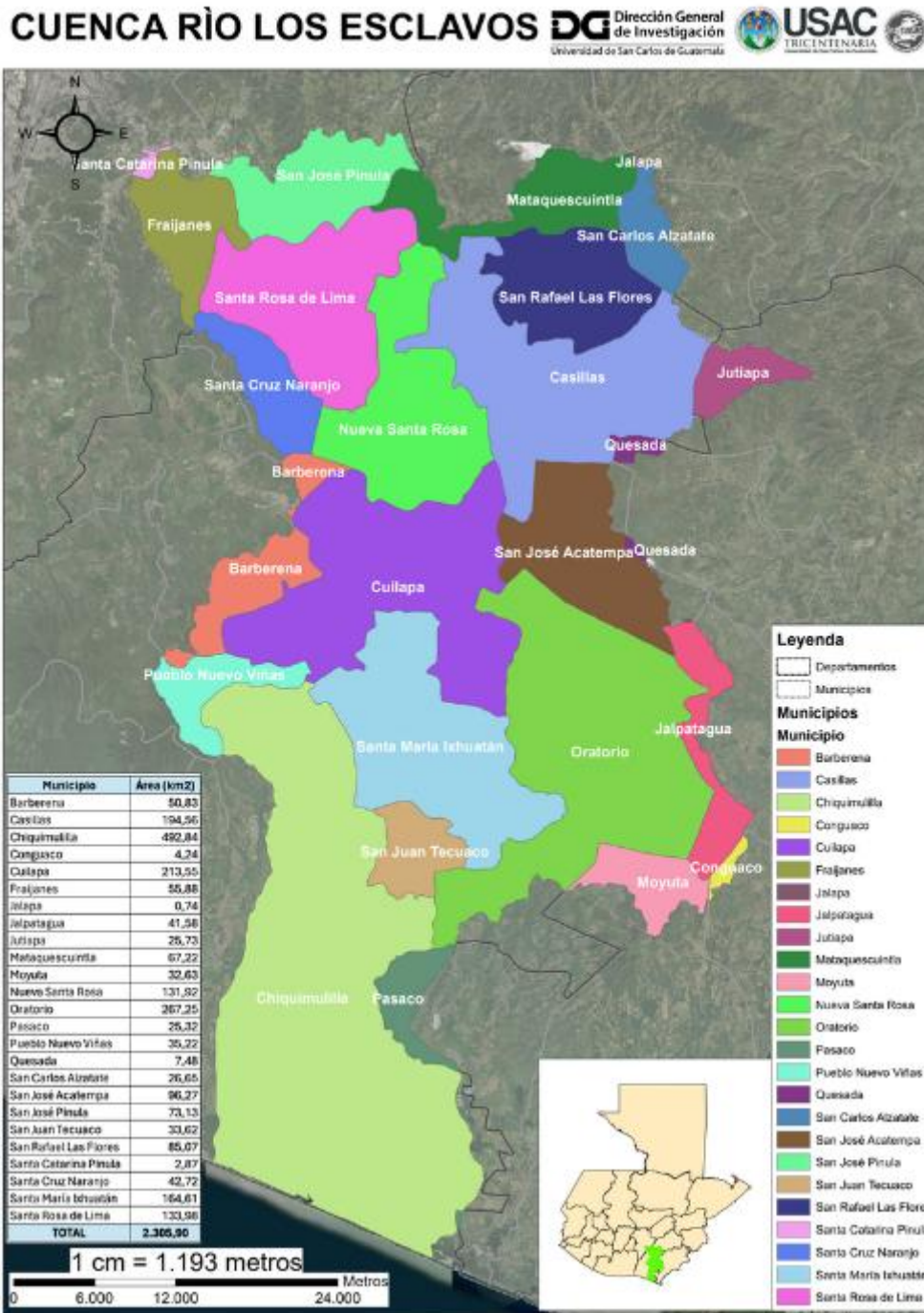
Apéndice 1. Mapa Cuenca Río Los Esclavos y su distribución





Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Apéndice 2. Lugares poblados dentro de la cuenca





Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Apéndice 4. Encuesta No. 1 utilizada para la caracterización de cultivos a nivel municipal

Encuesta No. 1. Entrevista semiestructurada

Caracterización de cultivos a nivel municipal

1. Puesto: _____
2. Institución (*Para agricultores omitir esta pregunta*): _____
*Para Agricultores omitir esta pregunta.
3. Municipio: _____
4. ¿Cuáles son los principales cultivos del municipio?

5. ¿Considera que del listado presentado existe algún cultivo que no está presente en el municipio o deba eliminarse de la lista?

6. En este espacio agregar información relevante para la investigación.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Apéndice 5. Encuesta No. 2 utilizada para la identificación de plagas, uso de plaguicidas y prácticas de manejo

Encuesta No. 2. Entrevista semiestructurada

Identificación de plagas, uso de plaguicidas y prácticas de manejo

1. Puesto: _____
2. Institución (*Para agricultores omitir esta pregunta*): _____
*Para Agricultores omitir esta pregunta.
3. Municipio: _____
4. Cultivo evaluado: _____
5. ¿Cuáles son las tres principales plagas insectiles cuyo control requiere mayor cantidad de insecticida?

6. Con base en el listado presentado ¿Considera que existe alguna plaga que no esté presente o es necesario agregar otra? (*Para agricultores omitir esta pregunta*)

7. ¿Qué productos utiliza con mayor frecuencia para el control de plagas, enfermedades y malezas?
Insecticidas: _____
Fungicidas: _____
Herbicidas: _____
8. Enliste las formas de aplicación que utiliza para cada producto
Insecticidas: _____
Fungicidas: _____
Herbicidas: _____
9. ¿Cuál es la dosis que aplica para cada uno de los productos?



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

10. ¿Quién le recomendó la dosis o de dónde obtiene la información?

11. En este espacio agregar información relevante para la investigación.

Apéndice 6. Encuesta No. 3 utilizada para identificar impactos ambientales y de salud por uso de plaguicidas

Encuesta No. 3. Entrevista semiestructurada a personal agrícola

Impactos ambientales y de salud por uso de plaguicidas

1. Puesto: _____

2. Institución : _____

*Para Agricultores omitir esta pregunta.

3. Municipio: _____

4. Desde su experiencia ¿Cuáles han sido los principales impactos negativos del uso de plaguicidas en el ambiente dentro del municipio?

5. Desde su experiencia ¿Cuáles han sido los impactos negativos en la salud humana asociados al uso de plaguicidas en el municipio?

6. Como actor clave ¿Qué acciones considera necesarias para mitigar estos impactos?

7. En este espacio agregar información relevante para la investigación.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

Apéndice 7. Encuesta No. 4 utilizada para identificar impactos en la salud por uso de plaguicidas

Encuesta No. 4. Entrevista semiestructurada a personal de salud

Valoración de impactos a la salud en agricultores

1. Municipio: _____
2. ¿Cuáles han sido los principales problemas de salud por los cuales los agricultores han acudido al centro de salud?

3. ¿Cuáles son los principales problemas agudos y cómo los identifica?

4. ¿Cuáles son los principales problemas crónicos y cómo los identifica?

5. ¿Cuáles han sido los casos más graves que han recibido relacionados por el uso plaguicidas?

6. Como actor clave ¿Qué acciones considera necesarias para disminuir estos impactos en la salud?

7. En este espacio agregar información relevante para la investigación.



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

18. Declaración del coordinador (a) del proyecto de investigación

El coordinador (a) de proyecto de investigación con base en el Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación, artículos 13 y 20, dejo constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordino ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Karla Marisol Hernández Pocasangre	
Fecha: 27/11/2025	



Informe final de Proyecto de Investigación 2024

19. Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 13 y 19 del Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: director del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Vo.Bo. José Luis Aguirre Pumay	
Fecha: 21/11/2025	

20. Aprobación de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Andrea Eunice Rodas Coordinadora PUIRNA	Firma
Fecha: 21/11/2025	

/Digi2024