



*Proyecto Hacia la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH)
transfronterizos de la Cuenca del Río Sixaola compartida por Costa Rica y
Panamá*

Proyecto Conectando Comunidades y Ecosistemas – Cuenca Binacional del Río
Sixaola

INFORME TECNICO DE RESULTADOS

**ANALISIS DEL MONITOREO DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS
EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA BINACIONAL DEL
RIO SIXAOLA (2019 A 2024)**

El presente documento reúne los avances obtenidos a diciembre del 2024, por medio de estudios técnicos realizados por AGQLabs (2019 y 2024), Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET-UNA, 2022, 2023 y 2024) y el análisis e interpretación técnica de los estudios realizados por el doctor Elidier Vargas Castro.

Tabla de contenido

ANTECEDENTES	4
METODOLOGÍA.....	5
PRIMEROS HALLAZGOS.	5
UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	10
RESULTADOS DEL MONITOREO.	11
RESULTADOS DEL PRIMER MONITOREO (2022-2023).	11
SEGUNDA FASE DEL PROYECTO: 2023-2024.....	17
RESULTADOS DEL MONITOREO DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN SUBCUENCA PANAMÁ.....	17
ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN LAS AGUAS SUPERFICIALES	19
SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS DEL MONITOREO DE PLAGUICIDAS EN LA SUBCUENCA PANAMA	29
PELIGROSIDAD DE LOS PLAGUICIDAS DETECTADOS EN NIVELES DE PREOCUPACION EN LA SUBCUENCA PANAMA DE LA CBRS.....	30
SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS DEL MONITOREO DE PLAGUICIDAS EN SUBCUENCA COSTA RICA	45
MONITOREO DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN LAS FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN PANAMA.....	51
PELIGROSIDAD DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS DETECTADAS EN LAS FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LA ZONA MONITOREADA EN TERRITORIO PANAMEÑO DE LA CBRS.52	
PELIGROSIDAD DE LOS PLAGUICIDAS DETECTADOS EN MARGEN COSTARRICENSE DE LA CBRS..	55
CULTIVOS QUE PODRÍAN ESTAR INVOLUCRADOS EN USO DE PLAGUICIDAS ENCONTRADOS.....	71
2,4-D. Uso autorizado según los registros oficiales.	71
Ametrina. Uso autorizado según los registros oficiales.	75
Azoxistrobina. Uso autorizado según los registros oficiales.	76
Boscalid. Uso autorizado según los registros oficiales.	78
Carbendazim. Uso autorizado según los registros oficiales	78
Clorotalonil. Uso autorizado según los registros oficiales.....	80
Clotianidina. Uso autorizado según los registros oficiales.	82
Diazinon. Uso autorizado según los registros oficiales	83
Difenoconazol. Uso autorizado según los registros oficiales.....	84
Diuron. Uso autorizado según los registros oficiales.	85
Epoconazol. Uso autorizado según los registros oficiales.....	87
Fenpropidin. Uso autorizado según los registros oficiales.....	87
Fenpropimorf. Uso autorizado según los registros oficiales.	88

Fluopiram. Uso autorizado según los registros oficiales.	88
Fluxaproxad. Uso autorizado según los registros oficiales.	89
Glifosato. Uso autorizado según los registros oficiales.	89
Metsulfuron metil. Uso autorizado según los registros oficiales.	92
Miclobutanil. Uso autorizado según los registros oficiales.	93
Oxamilo. Uso autorizado según los registros oficiales.	93
Pirimetanil. Uso autorizado según los registros oficiales.	94
Spiroxamina. Uso autorizado según los registros oficiales.	95
Tebuconazol. Uso autorizado según los registros oficiales.	95
Terbufos. Uso autorizado según los registros oficiales.	96
Terbutrina. Uso autorizado según los registros oficiales.	98
Tiametoxam. Uso autorizado según los registros oficiales.	99
Tiabendazol. Uso autorizado según los registros oficiales.	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101

ANÁLISIS DEL MONITOREO DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA BINACIONAL DEL RÍO SIXAOLA (2019 A 2024)

Dr. Elídier Vargas Castro, Ing. Agrónomo

ANTECEDENTES

Costa Rica y Panamá, como países vecinos geográfica y culturalmente, tienen mucho en común: son dos países ubicados en una de las zonas con la mayor biodiversidad del mundo; un clima tropical, caliente y lluvioso la mayor parte del año, especialmente en la zona caribeña, con una abundante vegetación, con una altísima precipitación pluvial que abastece sus cuerpos de agua superficiales. En síntesis, con un clima que también propicia la agricultura en la mayor parte de su territorio.

Así también, ambos países comparten un historial muy similar en el desarrollo agrícola, con cultivos tropicales que producen durante todo el año, destinados en buena parte a la exportación, como es el caso del cultivo del banano y el plátano en la vertiente del Caribe. Este desarrollo agrícola se ha ido dando de una manera tal vez un tanto “espontánea”, muchas veces sin contar con el adecuado respaldo técnico científico, lo que también ha propiciado un uso a veces exagerado de agroquímicos, incluyendo fertilizantes y plaguicidas. Estos agroquímicos tienen también un alto potencial de contaminar los numerosos cuerpos de agua, con el consecuente impacto para organismos silvestres que no necesariamente son objeto de control con los plaguicidas usados.

Existen múltiples publicaciones, especialmente en los últimos años, que señalan a Costa Rica como uno de los países que más utilizan plaguicidas en la agricultura, sino el que más plaguicida usa, según las estadísticas de la FAO. En el caso de Panamá, el uso de plaguicidas en la agricultura, al parecer, no es tan intenso como en Costa Rica; pero ya hay preocupación de los especialistas y autoridades panameñas sobre el impacto que la ampliación de la frontera agrícola pueda tener sobre la calidad de las aguas que se necesitan para abastecer la población, así como el ambiente.

Por la preocupación sobre el efecto que las actividades agrícolas que se desarrollan en la zona de la cuenca del río Sixaola puedan tener sobre los cuerpos de agua es que surge el proyecto “**Hacia la Gestión Integrada del Recurso Hídrico transfronterizo de la Cuenca del Río Sixaola compartida por Costa Rica y Panamá**”, el cual tiene como uno de sus componentes el monitoreo de residuos de plaguicidas en diversos cuerpos de agua de la cuenca, tanto del lado de Panamá como del lado de Costa Rica.

El presente documento consiste en un análisis de los resultados del monitoreo de los residuos de plaguicidas en la citada cuenca. Hemos tratado de identificar cuáles plaguicidas se encuentran presentes en esos cuerpos de agua, cuáles son las características de peligrosidad que tienen los plaguicidas detectados, cuál puede ser el origen de esos plaguicidas y en qué actividades se están utilizando esos agroinsumos, con la finalidad de tratar de orientar hacia la búsqueda de alternativas y soluciones para minimizar el impacto ambiental por el uso de esas sustancias tóxicas en la agricultura de la zona.

METODOLOGÍA

En el proceso de elaboración de este estudio partimos, en primer lugar, con la recolección de los datos disponibles, es decir, tener disponibles los reportes de monitoreo de plaguicidas en aguas superficiales realizados durante la etapa “de línea base” de este mismo proyecto, así como los resultados de la primer campaña de monitoreo.

Un elemento muy importante para poder interpretar los resultados de los hallazgos de residuos de plaguicidas es tener disponibles **normas de calidad de agua superficial**, donde se establezcan los valores críticos de los plaguicidas encontrados, de tal forma que se pueda saber si los hallazgos son o no de preocupación.

La tercera etapa del estudio consistió en sistematizar toda la información disponible, tanto los resultados del monitoreo entregados por los laboratorios durante la fase de línea base como durante las diferentes campañas realizadas tanto para las aguas en territorio panameño como en las aguas dentro de territorio costarricense; así también, se sistematizaron los resultados de las normas de calidad de agua disponibles, contra las cuales se hará la evaluación de los resultados del monitoreo local. Todo esto se compiló en una base de datos elaborada sobre una plataforma de hoja electrónica, en la cual se relacionaron los datos de las distintas fuentes, a la vez que se compararon los resultados del monitoreo con los valores de referencia de las normas; se crearon fórmulas que, automáticamente, generan mensajes de alerta cuando el hallazgo de un residuo supera los valores de referencia.

Esta estructura de base de datos permite ser reutilizada en futuros monitoreos, con solo agregar los nuevos resultados encontrados y, si fuese necesario, actualizar las normas de calidad de agua disponibles. De esta manera se puede dar continuidad al proceso de evaluación de riesgo por residuos de plaguicidas de uso agrícola en la Cuenca Binacional del Río Sixaola (CBRS).

PRIMEROS HALLAZGOS.

La primera labor que realizamos en este análisis fue identificar la normativa nacional e internacional existente sobre los residuos de plaguicidas en aguas superficiales, así como las capacidades técnicas de los laboratorios involucrados, lo que nos permitió sacar tres conclusiones preliminares.

1. La normativa de los países (Costa Rica y Panamá) sobre residuos de plaguicidas en aguas superficiales no está actualizada en relación con la realidad del uso de plaguicidas en la agricultura y los posibles residuos a monitorear.

Al investigar la normativa que rige en Costa Rica y Panamá para valorar el riesgo ambiental que podría darse en relación con la concentración de plaguicidas que se detecten en cada una de las campañas de monitoreo observamos lo siguiente.

En Costa Rica el control de la calidad de las aguas superficiales se rige por lo que indica el Decreto Ejecutivo No. 33903-MINAE-S, del 17/09/2007. Este reglamento es sumamente omiso en relación con el tema de residuos de plaguicidas, especialmente los de uso agrícola.

En el capítulo II (Clasificación y monitoreo de los cuerpos de agua superficiales), en el cuadro 1, se establecen los parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales para las clases establecidas en dicho reglamento. En relación con los plaguicidas químicos sintéticos, la única mención que tiene el reglamento es referente al contenido de **compuestos organoclorados y organofosforados**, de los cuales se establece un límite total de 10 µg/l para cada uno de esos grupos de plaguicidas, en las aguas clase 4 y 5, y ninguna tolerancia en las clases 1 a 3.

En nuestra opinión, tal norma es insuficiente, considerando el amplio menú de plaguicidas que se utilizan en Costa Rica, ya que, según las publicaciones de la FAO, Costa Rica es el país con el mayor uso de plaguicidas por hectárea en el mundo. Según los datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería, en Costa Rica hay registradas más de 200 moléculas de distintos plaguicidas, muchas de los cuales no pertenecen a los citados grupos químicos (compuestos organoclorados y organofosforados). Además, según datos publicados en Costa Rica por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y por el Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas de la Universidad Nacional - IRET (Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en Costa Rica: Plan de Acción sobre PAPs. F Ramírez, 2023), más de 135 de las moléculas de plaguicidas que se utilizan en Costa Rica pueden ser consideradas como altamente peligrosas, tanto por sus efectos para la salud humana como para el ambiente.

Por lo tanto, para el caso de los residuos de plaguicidas que se detecten en las aguas superficiales de la CBRS consideramos conveniente recurrir a normativa que pueda existir en otros países, relacionada con los plaguicidas que se encuentren, con la finalidad de entender qué tanto riesgo para el ambiente puede existir por la presencia de residuos de plaguicidas en estas aguas.

En relación con **el uso de plaguicidas en la agricultura en Panamá**, observamos que este es un tema de preocupación para los expertos y autoridades del país, por los efectos que estos puedan tener sobre el ambiente, especialmente en un país megadiverso, según señalan en los siguientes términos: *“Otro problema de nuestro esquema productivo es la transformación extensiva de los ecosistemas naturales en agroecosistemas simplificados. Recordemos que Panamá está localizada en la región con más alta biodiversidad del planeta (ANAM/CBD, 2014), lo que implica la existencia de metabolismos naturales complejos e intensos pero, a la vez, frágiles. Esta transformación impulsa inevitablemente el crecimiento de especies oportunistas e indeseables, las cuales sólo pueden controlarse empleando plaguicidas o herbicidas que, sin una aplicación adecuada, derivan en causantes de altos niveles de contaminación en los cuerpos naturales de aguas, con organoclorados, fosforoclorados, etcétera.”* (La Calidad del Agua en las Américas. Panamá¹, 2019)

A pesar de la preocupación manifiesta por el tema del desarrollo agrícola intensivo en el uso de plaguicidas o herbicidas, no observamos que en Panamá haya una normativa específica para el control de calidad de aguas superficiales en relación con el contenido de residuos de

¹ La Calidad del Agua en las Américas. Panamá. 2019 (https://cihh.utp.ac.pa/sites/default/files/documentos/2022/pdf/calidad-de-agua-en-las-americas_2019_panama.pdf)

plaguicidas de uso agrícola que puedan afectar el ambiente y la salud humana. El desarrollo de tal normativa es una importante oportunidad de mejora, tomando en cuenta las ya mencionadas preocupaciones de los expertos de Panamá.

Con base a datos publicados por el MIDA de Panamá con corte al 14/06/2023 (<https://mida.gob.pa/sanidad-vegetal-2/>), en Panamá se estima que hay registrados más de **2400 plaguicidas químicos sintéticos** comerciales de distinta clase (insecticidas, fungicidas, bactericidas, herbicidas, nematicidas, etc). Estos plaguicidas corresponden a aproximadamente **416 moléculas** (ingredientes activos) de distinto tipo. Según nuestro análisis, algunas de estas moléculas pueden ser consideradas como de alta peligrosidad para el ambiente o la salud humana, de acuerdo con los **nuevos parámetros de peligrosidad recomendados por la OMS (Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019** ²). Recordemos que los plaguicidas no se clasifican solamente por sus efectos agudos para los seres humanos, como era antiguamente. La OMS y FAO recomiendan tomar en cuenta 8 criterios para clasificar los plaguicidas, según su peligrosidad. Esta es una razón más que justifica el desarrollo e implementación de normativa para la protección de los cuerpos de agua superficiales del efecto de los plaguicidas de uso en la agricultura.

Definición de Plaguicidas altamente peligrosos

La Reunión Conjunta FAO/OMS para la Gestión de Plaguicidas recomendó¹⁰ que los plaguicidas altamente peligrosos deben ser definidos por tener una o más de las siguientes características:

- **Criterio 1:** Las formulaciones de plaguicidas que cumplen con los criterios de las clases Ia o Ib de la *Clasificación Recomendada por la OMS para Plaguicidas según su Peligro*; o
- **Criterio 2:** Los ingredientes activos de plaguicidas y sus formulaciones que cumplen con los criterios de carcinogenicidad para las Categorías 1A y 1B del *Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA)*; o
- **Criterio 3:** Los ingredientes activos de plaguicidas y sus formulaciones que cumplen con los criterios de mutagenicidad para las Categorías 1A y 1B del *Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA)*; o
- **Criterio 4:** Los ingredientes activos de plaguicidas y sus formulaciones que cumplen con los criterios de toxicidad reproductiva para las Categorías 1A y 1B del *Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA)*; o
- **Criterio 5:** Los ingredientes activos de plaguicidas enumerados en el *Convenio de Estocolmo* en sus anexos A y B, y aquellos que cumplen con todos los criterios establecidos en el párrafo 1 del anexo D del Convenio; o
- **Criterio 6:** Los ingredientes activos y las formulaciones de plaguicidas enumerados en el *Convenio de Rotterdam* en su Anexo III; o
- **Criterio 7:** Los plaguicidas enumerados en el *Protocolo de Montreal*; o
- **Criterio 8:** Los ingredientes activos y las formulaciones de plaguicidas que han mostrado una alta incidencia de daños graves o irreversibles para la salud humana o el medio ambiente.

² Clasificación recomendada por la OMS de los plaguicidas por el peligro que presentan y directrices para la clasificación 2019 (<https://www.who.int/es/publications/i/item/9789240005662>)

2. La normativa de países “del primer mundo” no necesariamente tiene valores de referencia para residuos en aguas superficiales de los plaguicidas que se utilizan en Costa Rica y en Panamá.

A raíz de la falta de normativa para regular los residuos de los plaguicidas de uso agrícola tanto en Costa Rica como en Panamá, hemos recurrido a revisar la normativa que existe en otros países con más experiencia en este tema. Entre los países en que hemos encontrado normativa más actualizada tenemos los Estados Unidos de América (tanto normativa federal como normativa estatal), la Unión Europea y Canadá.

Hemos centrado el interés en encontrar valores de referencia para la protección ambiental y de la salud humana por la presencia de residuos de plaguicidas en aguas superficiales; pero se requiere que esa normativa esté relacionada, principalmente, con los plaguicidas que se están utilizando en la producción agrícola tanto en Panamá como en Costa Rica.

Después de una exhaustiva búsqueda vemos que no siempre hay normativa específica para los plaguicidas de nuestro interés. Una de las razones podría ser el hecho de que muchos de estos plaguicidas ya no se utilizan en esos países; la otra razón también podría estar relacionada con el hecho de que hay importantes diferencias en el uso de plaguicidas en los países templados, en comparación con países tropicales como Costa Rica y Panamá.

Gracias a esta búsqueda, hemos encontrado la metodología que utiliza oficialmente la Unión Europea³ para calcular lo que ellos denominan “Concentraciones Regulatorias Aceptables” (RAC, por sus siglas en inglés de Regulatory Acceptable Concentrations). Con la aplicación apropiada de esta metodología podríamos calcular las RAC para los plaguicidas que se utilizan en Costa Rica y Panamá. Además, encontramos que los investigadores del IRET, en conjunto con las autoridades de la Dirección de Agua (DA) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAIE) de Costa Rica vienen trabajando en el desarrollo de normativa para la protección ambiental en aguas superficiales, en la cual ya se está considerando una normativa similar a la existente en la Unión Europea.

Cabe resaltar que para el cálculo del RAC, la metodología contempla el uso de los factores de peligrosidad de los plaguicidas para organismos acuáticos, establecidos con la aplicación de las metodologías de la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE) u otras similares. Estas metodologías ya están contempladas desde el año 2007 en la normativa para el registro de plaguicidas de uso agrícola en Costa Rica (Decreto Ejecutivo 33495 y los demás emitidos posteriormente para el registro de plaguicidas de uso agrícola, incluyendo el DE 43838⁴ firmado en diciembre 2022, que rige en la actualidad).

³ Guidance on tiered risk assessment for edge-of-field surface Waters
(<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2013.3290>)

⁴ Decreto Ejecutivo 43838-MAG-S-MINAIE. RTCR 509:2022 Insumos Agrícolas, Plaguicidas Sintéticos Formulados, Ingrediente Activo Grado Técnico, Coadyuvantes, Vehículos Físicos y Sustancias Afines de Uso Agrícola. Registro
(https://d1qqtien6gys07.cloudfront.net/wp-content/uploads/2023/07/decreto_43838_mag-s-minae.pdf)

Todos estos insumos se están considerando para evaluar el posible riesgo ambiental frente al que se estaría por la presencia de residuos de plaguicidas en la CBRS.

3. Se requieren mejoras en los laboratorios para detectar niveles de concentración más bajos de plaguicidas en aguas superficiales que pueden ser dañinos para el ambiente, a pesar de sus bajas concentraciones.

Según se indica en los reportes de los laboratorios involucrados en los procesos de monitoreo de residuos, estos tienen capacidades dispares de detección de residuos de plaguicidas y metabolitos de ellos, algunos de los cuales son relevantes por su peligrosidad y por su potencial capacidad de contaminación de las aguas.

En el reporte emitido en el año 2019 por AGQ Labs and Tech Costa Rica S.A se observa que dicho laboratorio monitoreó en la CBRS un total de 119 moléculas de plaguicidas de uso agrícola; en el año 2022 el laboratorio del IRET incluye 87 moléculas de plaguicidas en su paquete de monitoreo y el laboratorio del MIDA estudió un total de 50 moléculas. Así también, se observan diferencias en los límites de detección (LD), límites de cuantificación (LC) o límites de reporte (LR). Para el caso de los laboratorios involucrados, tenemos los siguientes parámetros.

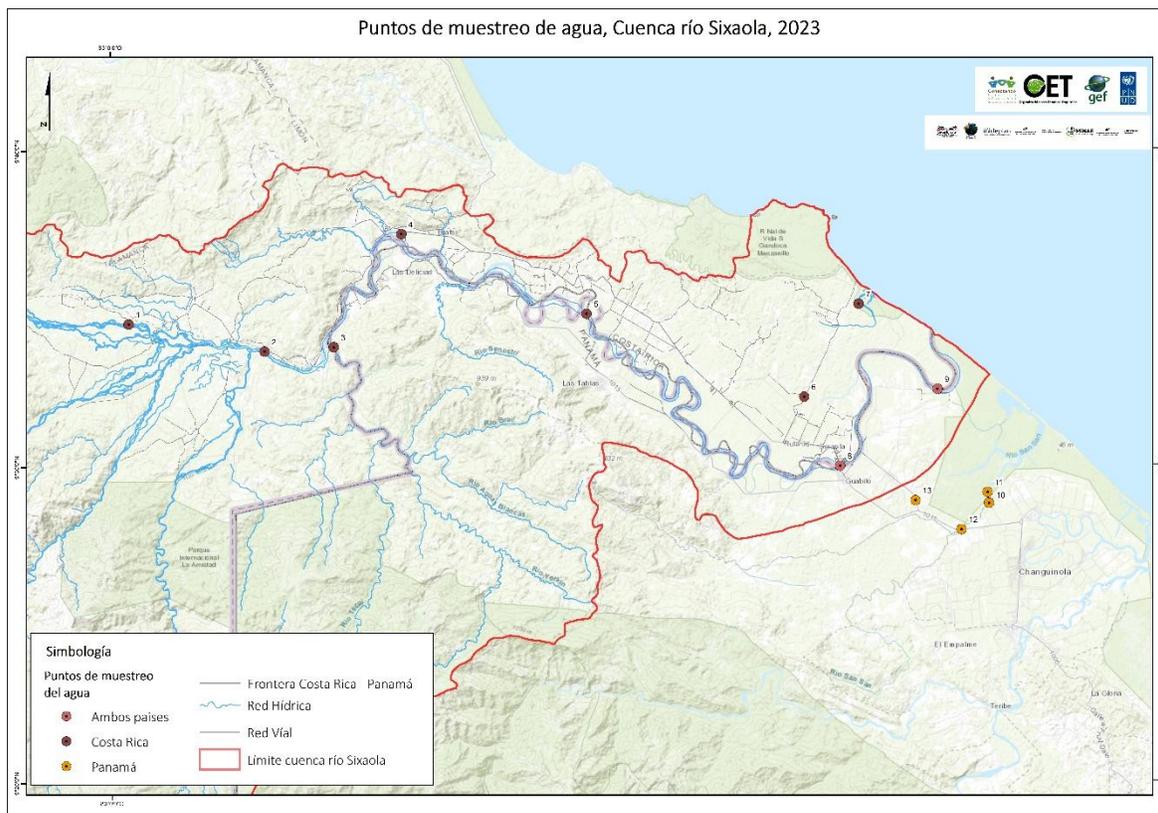
LABORATORIO	LIMITE DE CUANTIFICACIÓN
AGQ Labs and Tech Costa Rica S. A	Desde 0.003-0.010 µg/L según resultados reportados
IRET/UNA	Desde 0.001-0.005 µg/L según resultados reportados
MIDA	0.11-0.14 µg/L (hasta 10 µg/L en un solo caso)

La sensibilidad en los métodos de análisis, así como el paquete de plaguicidas que se monitoree, en relación con los plaguicidas que pueden estarse utilizando en cada país, son factores importantes para entender el alcance del monitoreo que se está llevando a cabo. Si la sensibilidad de los métodos de análisis está por encima de los valores de peligrosidad que puede tener un plaguicida para los organismos acuáticos, como el caso que nos ocupa, entonces los resultados obtenidos en el monitoreo no serían adecuados para valorar los riesgos ambientales por la presencia de residuos de plaguicidas en las aguas estudiadas.

Es importante tener en cuenta estos factores a la hora de interpretar algunos de los resultados encontrados, o no encontrados, en el transcurso del monitoreo, lo cual se verá seguidamente.

UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de monitoreo de residuos de plaguicidas en la CBRS se observa en el siguiente mapa.



En este mapa vemos que se monitorearon nueve (9) puntos en territorio de Costa Rica y cuatro (4) puntos en territorio de Panamá, con la siguiente descripción:

Punto número	Ubicación	Descripción del punto
1	Río Telire	Cuenca media Río Telire
2	Río Telire	Aguas arriba de donde desemboca el río Uren.
3	Río Yorkín	Río Yorkin antes de su desembocadura en el Sixaola.
4	Río Carbón	Río Sixaola aguas abajo antes de donde el Río Carbón tributa sus aguas.
5	Río Sixaola	Río Sixaola, entre Margarita y Annia
6	Quebrada Quebra Caña	En la carretera que va hacia Gandoca.
7	Laguna Gandoca	En el Refugio Gandoca Manzanillo, es un humedal RAMSAR.
8	Río Sixaola	Puente de Sixaola, en el margen de Costa Rica
9	Río Sixaola	Sixaola, La California
10	Humedal San San Entrada Bomba	Changuinola, Bocas del Toro, Panamá
11	Humedal San San Laguna	Changuinola, Bocas del Toro, Panamá
12	Drenaje Washout	Changuinola, Bocas del Toro, Panamá
13	Drenaje Río Negro	Changuinola, Bocas del Toro, Panamá

RESULTADOS DEL MONITOREO.

Resultados de la línea base del proyecto (2019).

Según los reportes de laboratorio (AGQ Labs and Tech Costa Rica S.A), en el estudio realizado como “línea base”, la etapa previa al inicio de este proyecto (diciembre del año 2019), se detectó la presencia de residuos de plaguicidas tanto del lado costarricense de la cuenca como del lado panameño, para un total de siete (7) plaguicidas (**2,4-D, azoxistrobina, clotianidina, glifosato, pirimetanil, terbutrina y thiamethoxam**). Dos de estos plaguicidas (**azoxistrobina y terbutrina**) están en concentraciones de preocupación por posibles afectaciones ambientales, según observaremos en el análisis más detallado que realizaremos más adelante.

RESULTADOS DEL PRIMER MONITOREO (2022-2023).

En el primer monitoreo realizado en la etapa de este proyecto se tuvo la participación de dos laboratorios en las fases de muestreo y análisis de residuos de plaguicidas: en el lado de Panamá participó el Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas en Plantas y Productos Vegetales, de la Dirección Nacional de Sanidad Vegetal del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA); en el lado de Costa Rica participó el Laboratorio de Análisis de Residuos de Plaguicidas (LAREP) del Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas de la Universidad Nacional (IRET-UNA).

Según los reportes del IRET en la campaña de monitoreo de diciembre del 2022 se detectó un total de 23 plaguicidas en niveles cuantificables que analizaremos más adelante.

De acuerdo con los reportes de monitoreo del laboratorio del MIDA, en la campaña del 2023 (finales de abril y principios de mayo) se detectaron trazas de dos plaguicidas (**boscalida y tiabendazol**) en niveles inferiores a los límites de cuantificación del método utilizado. En tal caso el límite de detección es de 0.03 µg/L, con un límite de cuantificación de 0.14 µg/L y 0.11 µg/L respectivamente. En tal caso, las detecciones nos advierten de la presencia de residuos, pero no de su concentración.

Estos resultados tenemos que verlos conservadoramente ya que los límites de cuantificación del laboratorio del MIDA son relativamente altos, en comparación con los del laboratorio del IRET que detectó residuos cuantificables de un número significativamente mayor de moléculas. Pero también hay que tomar en cuenta que, como veremos seguidamente, los niveles de peligrosidad de algunos plaguicidas son hasta 20 y 70 veces menor que estos parámetros (tal el caso del diazinon o la clotianidina). Aunque tampoco podemos descartar que en el lado panameño de la CBRS haya menor contaminación con plaguicidas que del lado costarricense, pero eso sería bueno constatarlo con métodos de análisis de mayor sensibilidad que los que se utilizaron en esta ocasión.

Los resultados del monitoreo del año 2019-diciembre (línea base), compilados junto con los resultados “positivos” obtenidos en el monitoreo realizado en el año 2022-diciembre se observan en el siguiente cuadro.

Antes de profundizar en el análisis del caso, se aclara que es posible encontrar leves diferencias en la sintaxis de los nombres de los plaguicidas. Esto es de entender, ya que las fuentes utilizan tanto nombres en inglés como en español, tanto en los registros de los países como en los reportes de los

laboratorios. Por eso hemos recurrido a utilizar el **número CAS**⁵ para efectos de conocer mejor la identidad de las sustancias, especialmente sus características de peligrosidad y poder interrelacionar distintas bases de datos con base en este parámetro de identificación.

⁵ Número CAS o número de registro CAS es un identificador numérico único, que designa una única sustancia, que no tiene ningún significado químico, y que enlaza con una gran cantidad de información acerca de esa sustancia química específica. El número es designado por la **Chemical Abstracts Service** (de donde provienen las siglas CAS), la cual es una división de la **American Chemical Society** (Sociedad Americana de Química), y es la autoridad mundial para la información química.

CUADRO 1. PLAGUICIDAS DETECTADOS EN LA CBRS (LÍNEA BASE 201912 Y PRIMER MUESTREO 202212), EN MICROGRAMOS POR LITRO

No. CAS	CLASE	PUNTO DE MUESTREO PLAGUICIDA	Costa Rica									Panamá									
			Río Telire arriba	Río Telire - desemboca dura Uren	Río Yorkin desemboca dura	Río Carbón desemboca dura	Río Sixaola / Margarita	Río Quebra Caña desemboca dura	Laguna Gandoca	Río Sixaola puente	Río Sixaola, La California	Humedal San San Entrada Bomba	Humedal San San Laguna	Drenaje Washout	Río Negro drenaje						
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13						
201912	201912	201912	201912	202212	201912	202212	201912	202212	201912	202212	201912	202212	201912	202212	201912	201912	201912	201912			
94-75-7	H	2,4-D	0.014							0.8	0.051					0.021					
834-12-8	H	ametrina										0.01									
131860-33-8	F	Azoxistrobina						0		0.008	1.15			0.002	0.033	0.04		0.051	0.025		
188425-85-6	F	boscalid												0.001		0.004					
		cafeina										0.04				0.01					
10605-21-7	F	carbendazim						0						0		0.004					
1897-45-6	F	Clorotalonil (metab CTB*)									0.7										
210880-92-5	I	Clotianidín										0.034									
333-41-5	I	diazinon											0.006								
119446-68-3	F	difenoconazol														0.004					
330-54-1	H	Diuron						0							0	0.007					
135319-73-2	F	epoxiconazole								0.001				0.007							
67306-00-7	F	fenpropidin								0				0		0.001					
67564-91-4	F	fenpropimorf						0.001		0		0		0.002		0.002					
658066-35-4	F	fluopiram								0		0		0		0.004					
907204-31-3	F	fluxaproxad												0							
1071-83-6	H	Glifosato	0.07									0.1							0.09		
74223-64-6	H	metasulfuron metil											0.018								
88671-89-0	F	midobutanil								0						0					
23135-22-0	I-N	oxamilo												0		0.001					
53112-28-0	F	Pirimetanil								0	0.053			0		0.009		0.0034			
118134-30-8	F	spiroxamina								0.004				0		0.008					
107534-96-3	F	tebuconazole					0.007														
13071-79-9	I-N	terbufos-sulfone										0.0030				0					
886-50-0	H	terbutrina	0.0123	0.0179	0.0178	0.0085	0	0.0146		0.0272			0.0073		0.0284		0.0271	0.1081	0.0183		
153719-23-4	I	Thiametoxam (Suma)										0.033			0.026			0.014	0.019		
148-79-8	F	tiabendazol									0.003			0.004		0.02					
		Total general	0.0963	0.0179	0.0178	0.0085	0.007	0.0146	0.001	0.0272	1.516	1.421	0.077	0.0073	0.016	0.0874	0.114	0.0481	0.065	0.1065	0.1523

Nota: los datos marcados en gris corresponden a aquellos plaguicidas que aparecieron tanto en el año 2019 como en el 2022. Los datos marcados en amarillo con letras rojas corresponden a aquellos residuos que están en niveles de preocupación por sus efectos para organismos acuáticos, según las normas de referencia utilizadas. Los nombres de plaguicidas marcados con letras rojas corresponden a aquellos encontrados en niveles superiores a las normas de referencia consultadas. Los números CAS resaltados corresponden a plaguicidas de los cuales se encontraron metabolitos.

Del cuadro anterior observamos que:

1. En total se encontraron residuos de 26 plaguicidas en toda la zona de muestreo.
2. No observamos un patrón histórico de presencia de plaguicidas; es decir, en ambos muestreos solo unos pocos plaguicidas se repitieron (3) y casi no fueron en los mismos puntos.
3. De estos 26 plaguicidas, 7 tenían residuos en niveles superiores a las normas de referencia consultadas, lo cual es de preocupación por cuanto podrían estar siendo afectados organismos acuáticos que no son objetivo de control con los plaguicidas utilizados.
4. En los primeros cinco puntos de muestreo, que corresponden a la zona más alta estudiada, no se encontraron residuos de plaguicidas en niveles de preocupación, al menos durante estos muestreos.
5. En los puntos 6 al 9 es donde más se encontraron residuos de plaguicidas, lo que es de esperar, ya que es la zona con mayor actividad agrícola, con cultivos para exportación o para venta en los mercados nacionales, especialmente banano y plátano. Así también en las partes bajas de la cuenca se recogen los plaguicidas arrastrados de las partes altas, especialmente si esos plaguicidas tienen una alta movilidad y alta vida media.
6. En resumen, los hallazgos de residuos en los puntos 6 al 9 fueron los siguientes:

PUNTO DE MONITOREO	TOTAL DE PLAGUICIDAS ENCONTRADOS	PLAGUICIDAS EN NIVELES DE PREOCUPACIÓN*)
6. Río Quebra Caña desembocadura	8	2
7. Laguna Gandoca	12	5
8. Río Sixaola puente	6	0
9. Río Sixaola puente abajo	13	1

Nota: *) señalamos como “nivel de preocupación” cuando la concentración encontrada de un plaguicida en el ambiente supera el valor crítico de referencia, según la toxicidad de cada plaguicida para organismos no objetivo.

7. Es preocupante la alta detección de residuos de plaguicidas en la laguna Gandoca, ya que es una zona protegida, como parte del Refugio Nacional de Vida Silvestre mixto Gandoca-Manzanillo, que tiene el mayor manglar de Costa Rica en el Caribe. No solo se detectaron residuos de 12 distintos plaguicidas, sino que cinco (5) de ellos superaron los niveles críticos de referencia, con lo cual se pueden estar poniendo en riesgo organismos no objetivo que se busca proteger en ese refugio. Esto lo veremos más en detalle en el siguiente cuadro.
8. Respecto a los puntos 10 al 13, ubicados en territorio de Panamá, se detectaron residuos en **niveles cuantificables** durante el muestreo de línea base, pero no así durante el muestreo realizado en el año 2023, donde solo se detectaron trazas en niveles superiores al límite de detección (LD, pero inferiores al límite de cuantificación (LC). En este caso consideramos que no podemos sacar conclusiones definitivas referentes a la ausencia de residuos en las aguas muestreadas, por cuanto los niveles de cuantificación de los métodos de análisis aplicados eran muy superiores a los niveles que aplicaron los otros laboratorios involucrados. Así también, de las evaluaciones ecotoxicológicas realizadas, queda claro que tal nivel de evaluación química no es suficientemente sensible para detectar concentraciones que pueden ser de preocupación para los plaguicidas encontrados en este estudio, lo cual veremos más en detalle en el siguiente cuadro.

Para efectos de profundizar la evaluación de riesgo por exposición ambiental a estos plaguicidas, hemos procedido a comparar los resultados del monitoreo en los sitios donde más aparecieron residuos de plaguicidas con las normas existentes y desarrolladas en otras latitudes debido a la ausencia de normativa en Costa Rica y en Panamá que se refiera específicamente a los plaguicidas de los cuales se encontraron residuos o metabolitos.

Como ya se expuso, se está recurriendo a normativa desarrollada en la Unión Europea, en USA a nivel federal y estatal, así como también en Canadá. Para el caso de Costa Rica, se está tomando para evaluación una norma que está en proceso de desarrollo, pero que en esencia es similar al procedimiento ya elaborado en Europa. La diferencia entre esta propuesta de norma para Costa Rica, en relación con la norma europea, es que en el primer caso se están tomando en cuenta solo los efectos agudos, mientras que en la norma europea se toman en cuenta efectos agudos y crónicos. Esto último es más apropiado, según nuestra opinión. Se debe partir del **principio de “el peor escenario”** y, además, no podemos dejar de considerar los riesgos para algún grupo de organismos ya que todos son importantes por sus funciones en el ecosistema. Por lo tanto, a la hora de calcular el RAC, de acuerdo con la metodología europea, hemos considerado el valor más bajo (la mayor toxicidad) para el organismo más sensible; esto implica que si se protege el organismo más sensible se protegen todos los demás organismos expuestos a los plaguicidas.

Los resultados de esta evaluación se observan en el siguiente cuadro.

SEGUNDA FASE DEL PROYECTO: 2023-2024

Para efectos del análisis de los datos de monitoreo de residuos de plaguicidas en la Cuenca Binacional del Río Sixaola y de este reporte, procederemos a ampliar este informe con los datos recabados por los equipos de monitoreo y análisis de calidad de las aguas, de forma separada para los cuerpos de agua existentes en la cuenca del lado de Panamá (lo llamaremos Subcuenca Panamá) y del lado de Costa Rica (lo llamaremos Subcuenca Costa Rica). Esta separación la haremos por dos razones, principalmente: primero, porque los trabajos de monitoreo y análisis fueron realizados por equipos técnicos distintos. Para el caso de Panamá, se contrató de nuevo al laboratorio especializado AGQ Labs, el mismo que realizó el estudio de línea base de este proyecto, en el año 2019, y que, además, es un laboratorio acreditado en Panamá. Para el caso de la Subcuenca Costa Rica, la segunda etapa del proceso de monitoreo y análisis se contrata de nuevo el laboratorio del Instituto Regional de Estudios en Toxicología (IRET) de la Universidad Nacional, el mismo que hizo los análisis en la etapa previa. La segunda razón para hacer la separación de datos en el análisis de los resultados se debe a un enfoque de “simplificación” del análisis, ya que, si se juntan todos los datos, se producen matrices y gráficos muy grandes y complejos, en que se dificulta el análisis mismo.

RESULTADOS DEL MONITOREO DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN SUBCUENCA PANAMÁ.

Como se señaló en el informe anterior, los resultados de monitoreo de residuos de plaguicidas en los cuerpos de agua en la Subcuenca Panamá, realizados en el año 2022 no tuvieron la sensibilidad requerida para detectar y cuantificar los residuos de plaguicidas que podrían estar presentes, a pesar de que esos niveles de contaminación podrían representar un riesgo para los organismos acuáticos silvestres no objetivo.

En virtud de ello se contrató –nuevamente- a la empresa AGQ Labs para realizar los muestreos, transportes de las muestras y los análisis de residuos de plaguicidas en aguas en la cuenca. Para el caso de las aguas superficiales, las campañas de monitoreo de residuos de plaguicidas se llevaron a cabo en diciembre del año 2019 (línea base), así como en el año 2024 (durante los meses de abril, setiembre y octubre). Para todos los casos se realizaron los muestreos en sitios determinados por el Ministerio de Ambiente. Ellos fueron el Puente sobre el Río Sixaola (punto 8 de la lista de muestreo, según los mapas realizados), a la altura de la Bomba A drenaje en San San Poneel Sack (punto 10), en Laguna San San Poneel Sack (punto 11), en San San Puente (punto 12), en Río Negro (punto 13) y en California, sobre el río Sixaola (punto 14).

Adicionalmente y en virtud de que en el territorio panameño de la cuenca el agua para consumo humano se obtiene de aguas superficiales, se consideró también oportuno realizar un monitoreo de la posible presencia de residuos de plaguicidas en las aguas que emanan del proceso de potabilización de los cinco servicios de abastecimiento (Acueducto de Barranco – Adentro, Acueducto de la Mesa – El Arenal, Acueducto de Las Delicias Arriba, Acueducto de Las Tablas y Planta Potabilizadora de Guabito).

Los resultados cuantificables arrojados en todos los puntos y en todas las fechas de muestreo fueron integrados en un sistema de análisis estadístico desarrollado en Microsoft Excel para los efectos, el cual arrojó los cuadros y gráficos que analizaremos seguidamente.

La metodología de evaluación de peligrosidad de los residuos detectados, para aguas superficiales, fue la misma utilizada en la fase primera de este proyecto; es decir, se utilizó de referencia la normativa europea basada en el parámetro denominado Concentración Regulatoria Aceptable^{6, 7, 8} (RAC, Regulatory Acceptable Concentrations). Como se explicó en la primera fase de este proyecto, se recurre a esta normativa tomando en cuenta que en Panamá no conocemos que exista normativa que establezca valores de referencia para la contaminación de las aguas superficiales con plaguicidas que están siendo utilizados activamente en la agricultura contemporánea, de la misma forma que sucede en Costa Rica.

En vista de que la normativa europea consiste en una metodología para calcular el RAC, pero no publica los valores RAC específicos para cada plaguicida, se debió recurrir a hacer un levantamiento de los factores de peligrosidad de cada plaguicida, a través de la base de datos de la Universidad de Hertfordshire, del Reino Unido, denominada Base de Datos de Propiedades de los Plaguicidas (Pesticide Properties DataBase⁹), la cual es una fuente de referencia recomendada por la Agencia de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en su Kit de Herramientas para el Registro de Plaguicidas¹⁰, cuando los países no disponen de fuentes propias de información. Con base en este esfuerzo, se logró disponer de valores RAC para un total superior a los 250 distintos plaguicidas.

Se aclara, adicionalmente, que también se consultó normativa existente en otros países, en un proceso de benchmarking, tendiente a disponer de normativa regulatoria de alto nivel para proteger a los organismos acuáticos del efecto adverso inherente a los plaguicidas de uso agrícola. Para los efectos, se encontró información parcial sobre algunos plaguicidas en otras fuentes de Estados Unidos de América, publicada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) Federal^{11, 12}, por el Departamento de Protección Ambiental del Estado de Florida¹³, por autoridades ambientales del Estado de Delaware¹⁴ y por las autoridades ambientales canadienses¹⁵. En los casos en que se

⁶ Guidance on tiered risk assessment for plant protection products for aquatic organisms in edge-of-field surface waters <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/3290>

⁷ Small streams—large concentrations? Pesticide monitoring in small agricultural streams in Germany during dry weather and rainfall <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135421007314>

⁸ Pesticides in surface waters: a comparison with regulatory acceptable concentrations (RACs) determined in the authorization process and consideration for regulation concentrations (RACs) determined in the authorization process and consideration for regulation Regulatory acceptable concentrations of pesticides with exceedances of monitoring data in Switzerland. Exceedances (n) of regulatory acceptable concentrations (RACs) of pesticides in surface waters (FLOZ) presented as percentage of total measurements and measurements in FLOZ 1–3 surface water bodies and calculated risk quotients [MECmax (maximum measured concentration) in comparison to RACs (regulatory acceptable concentrations)]

⁹ <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>

¹⁰ <https://www.fao.org/pesticide-registration-toolkit/information-sources/pesticide-properties/es/>

¹¹ Regulatory limits for pesticide residues in water (IUPAC Technical Report). 2003

https://www.researchgate.net/publication/237530403_Regulatory_limits_for_pesticide_residues_in_water_IUPAC_Technical_Report

¹² RUP = Restricted Use Products, USA-EPA. Restricted Use Products (RUP) Report <https://www.epa.gov/pesticide-worker-safety/restricted-use-products-rup-report>

¹³ Estado de Florida, Department of Environmental Protection, 2005. Development of Cleanup Target Levels (CTLs) for Chapter 62-777, FAC (Feb. 2005) <https://floridadep.gov/waste/district-business-support/documents/technical-report-development-cleanup-target-levels-ctls>

¹⁴ WATER QUALITY CRITERIA FOR PROTECTION OF AQUATIC LIFE (efecto crónico)

<https://regulations.delaware.gov/AdminCode/title7/7000/7400/7401.shtml>

¹⁵ Regulatory limits for pesticide residues in water (IUPAC Technical Report). 2003

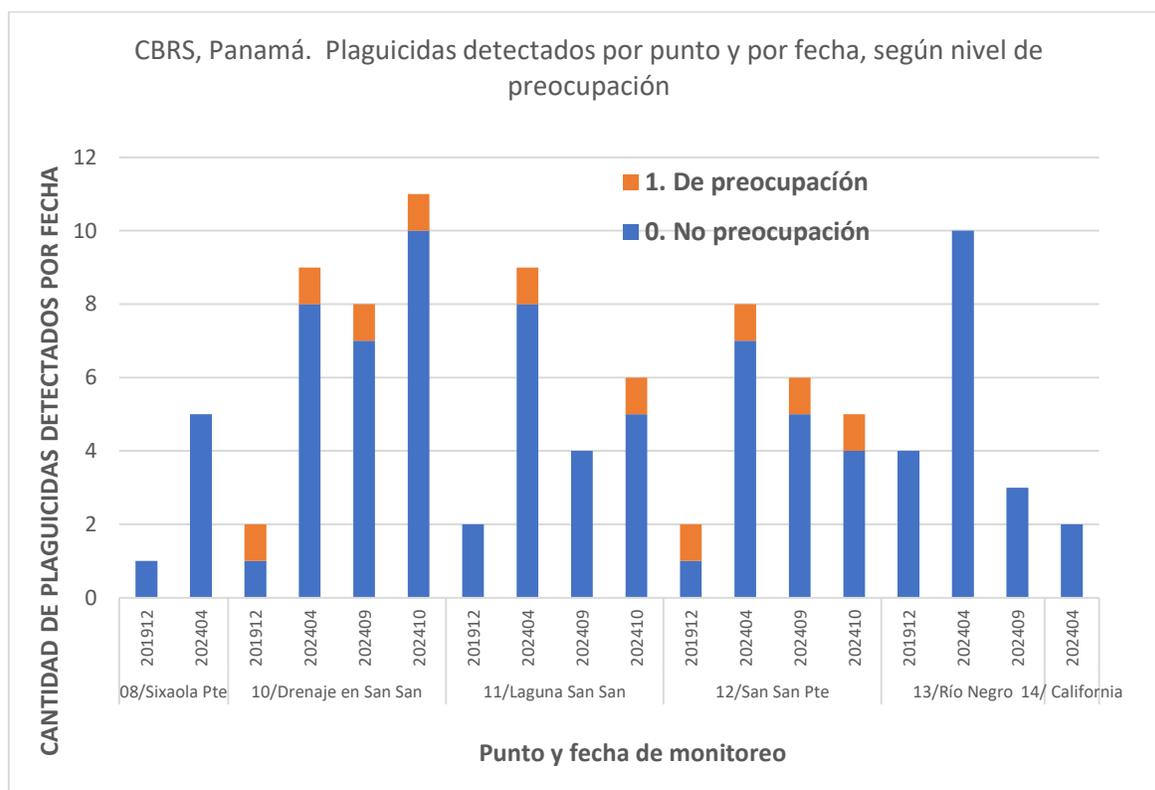
https://www.researchgate.net/publication/237530403_Regulatory_limits_for_pesticide_residues_in_water_IUPAC_Technical_Report

encontraron valores de referencia en varias fuentes para un mismo plaguicida, la evaluación se realizó comparando con el valor más sensible, considerando el principio precautorio.

Toda la información disponible se integró en una sola base de datos y se compararon los resultados de residuos encontrados en las aguas de la subcuenca estudiada con las normas existentes para los mismos plaguicidas en otros países. El resultado de este análisis se observa en el siguiente cuadro consolidado.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL MONITOREO DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN LAS AGUAS SUPERFICIALES

En primer lugar, se observa con preocupación la cantidad de plaguicidas que fueron detectados en los distintos puntos de muestreo en la gran mayoría de fechas. Estos oscilaron, en dos terceras partes de los casos, entre 4 y 11 distintas moléculas, incluyendo algunas en altas concentraciones, que podrían tener eventuales efectos adversos para organismos acuáticos silvestres, como analizaremos más adelante, o podrían genera un “efecto coctel” igualmente peligroso.



No. CAS	CLASE	Contenido µg/L PLAGUICIDA	PUNTOS																	
			8		10				11				12				13			14
			2019 12	2024 04	2019 12	2024 04	2024 09	2024 10	2019 12	2024 04	2024 09	2024 10	2019 12	2024 04	2024 09	2024 10	2019 12	2024 04	2024 09	2024 04
188425 -85-6	F	Boscalida				0.07	0.04	0.03		0.06				0.02	0.03			0.03	0.08	
210880 -92-5	I	Clotianidina				0.01 49														
119446 -68-3	F	Difenoconazol				0.11 23	0.01 5	0.03 72		0.06 56				0.01 27				0.01 38		
330- 54-1	H	Diuron				0.01 91	0.68 3			0.09 89		0.04 85		0.03 54		0.05 84		0.02 57		
203313 -25-1	I	Espirotetramat- ketohidroxi						0.90 5				0.01 9				0.02 7				
85-01-8	HAP	Fenantreno		0.00 41				0.00 454										0.00 577		
86-73-7	HAP	Fluoreno						0.00 286										0.00 396		
1071- 83-6	H	Glifosato															0.09			
138261- 41-3	I	Imidacloprid					0.05 5								0.06 58					
129- 00-0	HAP	Pireno		0.00 93		0.00 316				0.01 081										
53112- 28-0	F	Pirimetanil				0.18 3	0.07 95	0.14 82		0.19 76	0.01 96	0.01 91	0.00 34	0.06 1	0.04 09	0.01 6		0.01 71		
886- 50-0	H	Terbutrina	0.00 73		0.02 71			0.01 37					0.10 31				0.01 83			

		PUNTOS																		
		Contenido µg/L	8		10			11				12				13			14	
No. CAS	CLASE	PLAGUICIDA	201 912	202 404	201 912	202 404	202 409	202 410	201 912	202 404	202 409	202 410	201 912	202 404	202 409	202 410	201 912	202 404	202 409	2024 04
153719-23-4	I	Thiametoxam				0.03 19			0.01 4	0.01 79							0.01 9			
148-79-8	F	Tiabendazol				0.15 06	0.68 31	0.71 91		0.09 58	0.12 28	0.09 71		0.07 81	0.41 25	0.16 1		0.01 9	0.16 83	
Total general			0.00 73	0.04 16	0.04 81	0.64 692	0.95 98	2.68 071	0.06 5	0.61 503	0.17 34	0.21 32	0.10 65	0.37 79	0.59 35	0.39 25	0.15 23	0.12 95	0.29 71	0.01 131

Notas para este cuadro:

1. Se utiliza el número CAS como criterio para identificar las sustancias químicas, tanto las detectadas como los valores de peligrosidad, en vista de la gran variabilidad existente en la sintaxis de los nombres que se le dan a los plaguicidas, tanto en idioma inglés como en español. Es muy importante el uso del CAS, ya que facilita el proceso de integración de las distintas bases de datos utilizadas.
2. Clase. Se refiere al uso que se le da a los plaguicidas, en la mayor parte de casos: D – disecante, F – fungicida, H – herbicida, I – insecticida. Así también se identifican sustancias que no necesariamente son insecticidas, como los HAP – Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, pero que han aparecido con alguna regularidad en los cuerpos de agua monitoreados.
3. La Atrazina-2-Hidroxi es un metabolito de la atrazina. Por lo tanto, el número CAS y los valores de peligrosidad se tomaron de la molécula original, al no disponerse de valores para el metabolito.
4. El Espirotetramat-ketohidroxi es un metabolito del Espirotetramato. Por lo tanto, el número CAS y los valores de peligrosidad se tomaron de la molécula original, al no disponerse de valores para el metabolito.
5. Se resaltan con letra roja y fondo amarillo aquellos residuos de plaguicidas que se detectaron en niveles de preocupación, por superar los valores de los RAC de referencia.
6. La **cantidad de residuos** se refiere al número de diferentes moléculas contaminantes que se detectaron en niveles superiores al límite de cuantificación en cada uno de los puntos monitoreados.

PLAGUICIDA	No CAS	CLASE	MAXIMO	NORMAS EUROPEAS			NORMAS DE USA					Canadá			
				RAC, µg/L	RAC Publicado	CR=Hallazgo/RAC	US_EP_A	RUP_EP_A	DEP-Florida CTL	CR=Hallazgo / DEP-Florida	Delaware	CR=Hallazgo/Delaware (crónico)	Guíeline	Interim	CR=Hallazgo / Canadá min
Clotianidina	210880-92-5	I	0.0149	0.072	0.007	Alerta : X 2.1									
Difenoconazol	119446-68-3	F	0.1123	0.32											
Diuron	330-54-1	H	0.683	0.027		Alerta : X 25.3			8						
Espirotriamet-ketohidroxi	203313-25-1	I	0.905	9.6											
Fenantreno	85-01-8	HA P	0.00577												
Fluoreno	86-73-7	HA P	0.00396												
Glifosato	1071-83-6	H	0.09	100					120				0	65	
Imidacloprid	138261-41-3	I	0.0658	0.06	0.009	Alerta : X 7.3									
Pireno	129-00-0	HA P	0.01081												
Pirimetanil	53112-28-0	F	0.1976	12											
Terbutrina	886-50-0	H	0.1031	0.024		Alerta : X 4.3			3.1						

PLAGUICIDA	No CAS	CLASE	MÁXIMO	NORMAS EUROPEAS			NORMAS DE USA					Canada			
				RAC, $\mu\text{g/L}$	RAC Publicado	CR=Hallazgo/RAC	US_EPA	RUP_EPA	DEP-Florida CTL	CR=Hallazgo / DEP-Florida	Delaware	CR=Hallazgo/Delaware (crónico)	Guíeline	Interim	CR=Hallazgo / Canada min
Thiametoxam	153719-23-4	I	0.0319	0.553											
Tiabendazol	148-79-8	F	0.7191	1.2											

Notas para este cuadro:

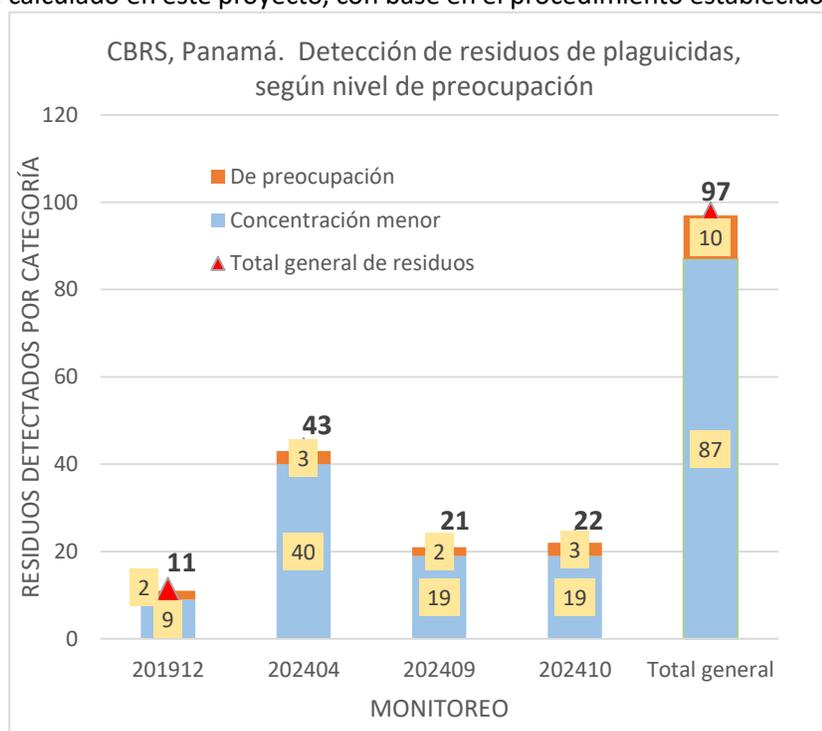
1. El valor **máximo** se refiere a la máxima concentración de residuos de cada una de las sustancias, detectado durante el proyecto. Este valor se utiliza para “detonar la alerta” respecto a la presencia de sustancias en concentraciones de preocupación, con base en las normas consultadas.
2. RAC: se refiere al valor calculado con base en la metodología publicada por EPA, con base en los valores de peligrosidad para cada sustancia, publicados en la PPDB de la Universidad de Hertfordshire.
3. RAC publicado: se refiere a los valores que han sido publicados en varios artículos científicos sobre estudios realizados en Europa, los cuales fueron citados previamente en este documento.
4. CR: es el coeficiente de riesgo, calculado como la relación entre el valor RAC y la concentración máxima detectada en el monitoreo en los cuerpos de agua de la cuenca del Río Sixaola. Para el caso de las normas de USA y Canadá, el CR se calcula respecto al valor de referencia que ha sido publicado en los territorios de dichos países.
5. Alerta: Se refiere al número de veces en que el valor RAC u otra referencia de mayor rigor ha sido superada por la concentración de un determinado plaguicida en el transcurso del monitoreo del proyecto. Además, en el cuadro general de resultados de monitoreo se revisan todos los resultados que puedan estar superando estos valores de referencia y se genera la advertencia respectiva.
6. RUP (Restricted Use Product). Es un indicador desarrollado y utilizado en USA para los plaguicidas considerados por la USA-EPA como de alta peligrosidad (uso restringido). Estos plaguicidas o sus presentaciones consideradas altamente peligrosas pueden ser aplicados por personas debidamente capacitadas y acreditadas por las autoridades, o bajo la supervisión de estas.

Con base en los resultados presentados en los dos cuadros anteriores, que compilan los hallazgos encontrados tanto en la línea base (año 2019, diciembre) como en el año 2024 (abril, setiembre y octubre), se observa lo siguiente:

Durante estos cuatro momentos de monitoreo se obtuvieron 97 detecciones que superaron los límites de cuantificación establecidos en el laboratorio para los plaguicidas buscados.

De estos 97 residuos, 10 de ellos estuvieron en concentraciones de preocupación, por el riesgo de afectación a organismos acuáticos no objetivo, de acuerdo con las normas de referencia, especialmente el RAC que fue calculado en este proyecto, con base en el procedimiento establecido por las autoridades europeas.

En un proyecto de este tipo, con un horizonte de tiempo relativamente corto, la línea base (año 2019), al parecer, sirve solamente de referencia para entender cuál puede ser el escenario a encontrar durante la ejecución del proyecto, ya que, difícilmente, con las actividades del proyecto se pueda provocar un cambio de resultados en una amplia área geográfica, como la cuenca binacional del Río Sixaola.



Los tres monitoreos válidos llevados a cabo en la subcuenca Panamá, después de contar con una “línea base” (diciembre de 2019) muestra resultados de contaminación variables, que muy probablemente dependen de la estación y de las condiciones climáticas del año en que se realizó el monitoreo. Así, se observa que en el monitoreo realizado en el mes de abril se detectaron 43 residuos en valores superiores al límite de cuantificación, tres de los cuales estuvieron en niveles de preocupación. Por otro lado, los monitoreos realizados en los meses de setiembre y octubre arrojaron la mitad de hallazgos, en comparación con el ciclo de muestreo previo; es decir, 21-22 residuos en total, y 2-3 de los residuos estuvieron en niveles de preocupación.

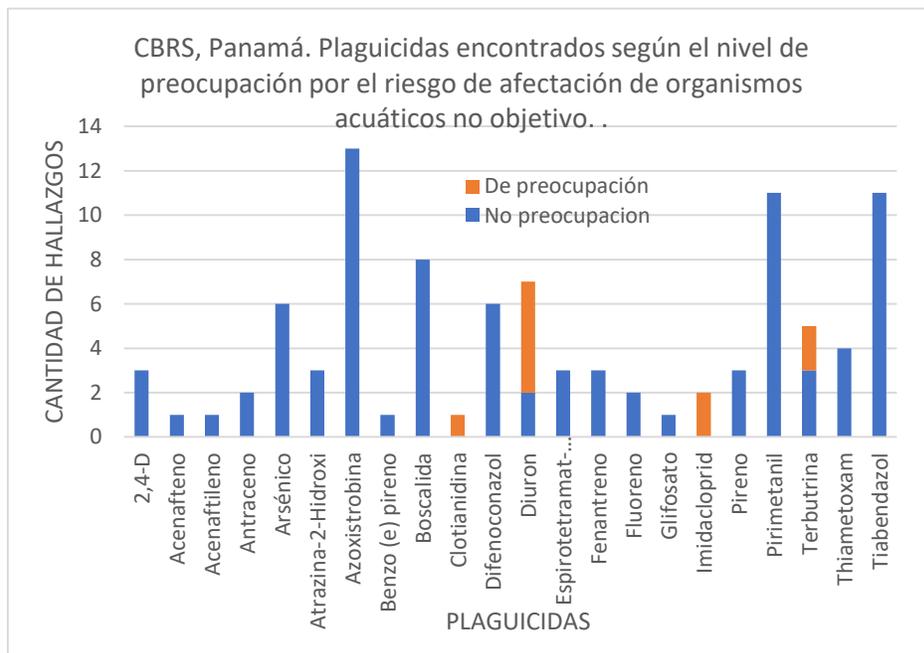
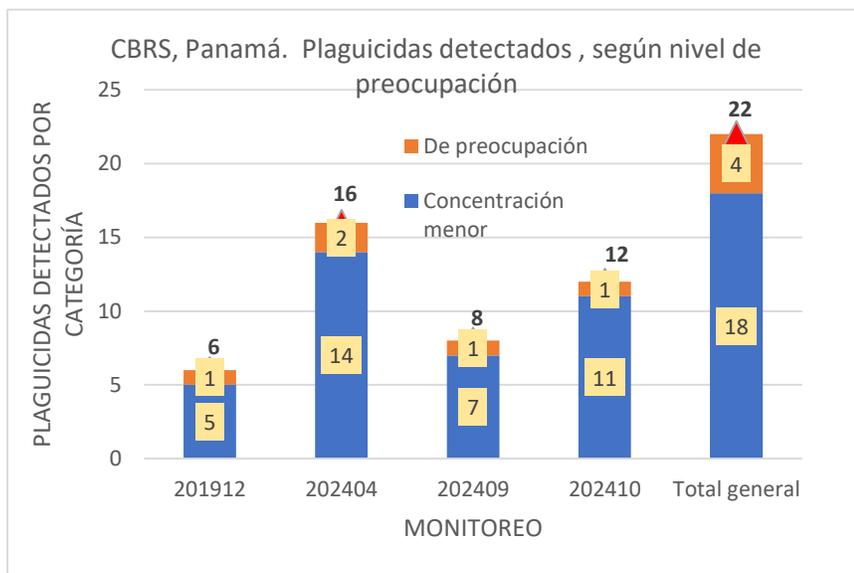
Con base en lo señalado, se puede concluir que en estudios de este tipo **es muy importante definir correctamente la época de monitoreo, con la finalidad de tener un panorama completo, que permita conocer la situación de riesgo en la zona por exposición al uso de plaguicidas de origen agrícola, así como economizar recursos y esfuerzo de trabajo por los procesos de monitoreo.** De esta forma, esta es una importante conclusión para futuros proyectos que se lleven a cabo en la

zona, sobre un tema similar, relacionado con el uso e impacto de plaguicidas en los cuerpos de agua superficiales.

Un análisis más detallado muestra que los 97 residuos encontrados en la vida del proyecto están relacionados con 22 plaguicidas, según se observa en la siguiente gráfica. De estos 22 distintos plaguicidas, 4 presentaron concentraciones en niveles de preocupación por un posible efecto adverso para organismos acuáticos no objetivo.

Los plaguicidas involucrados en la contaminación de las

aguas son los insecticidas neonicotinoides **clotianidina e imidacloprid** así como los herbicidas **diuron** (el mismo que apareció en más casos en concentraciones altas), y la **terbutrina**, según se observa en la gráfica siguiente.

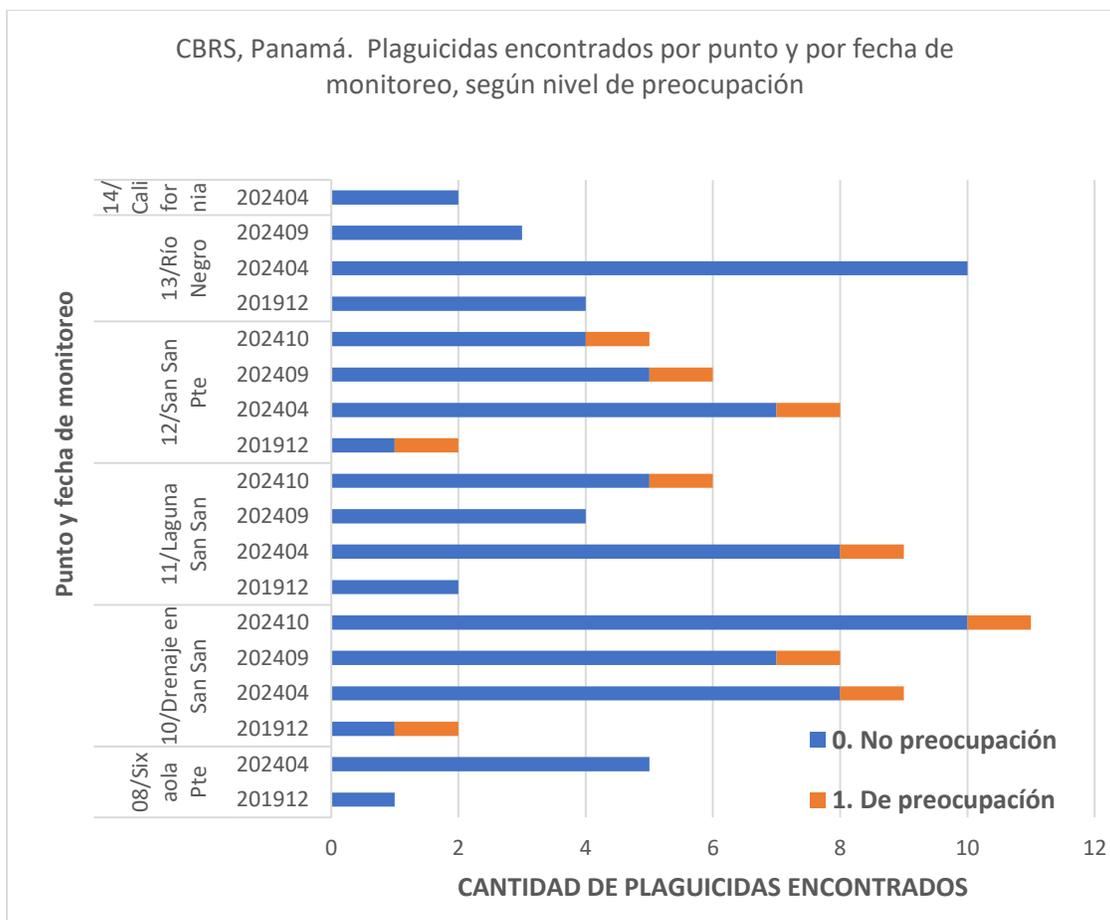


No sobra comentar la alta frecuencia de aparición de plaguicidas como **azoxistrobina, boscalida, pirimetanil y tiabendazol**, que, aunque estuvieron por debajo de los valores RAC de referencia, su detección en los cuerpos de agua es frecuente, lo que podría también afectar organismos

no objetivo. Esta observación se realiza en virtud de que esta información puede ayudar a los tomadores de decisión, especialmente a las instituciones del sector agrícola y ambiental, así como a los empresarios y profesionales en agronomía, involucrados en la zona de interés, a tomar acciones para mejorar el uso de estas sustancias químicas, de tal manera que se prevengan escenarios futuros de mayor afectación ambiental.

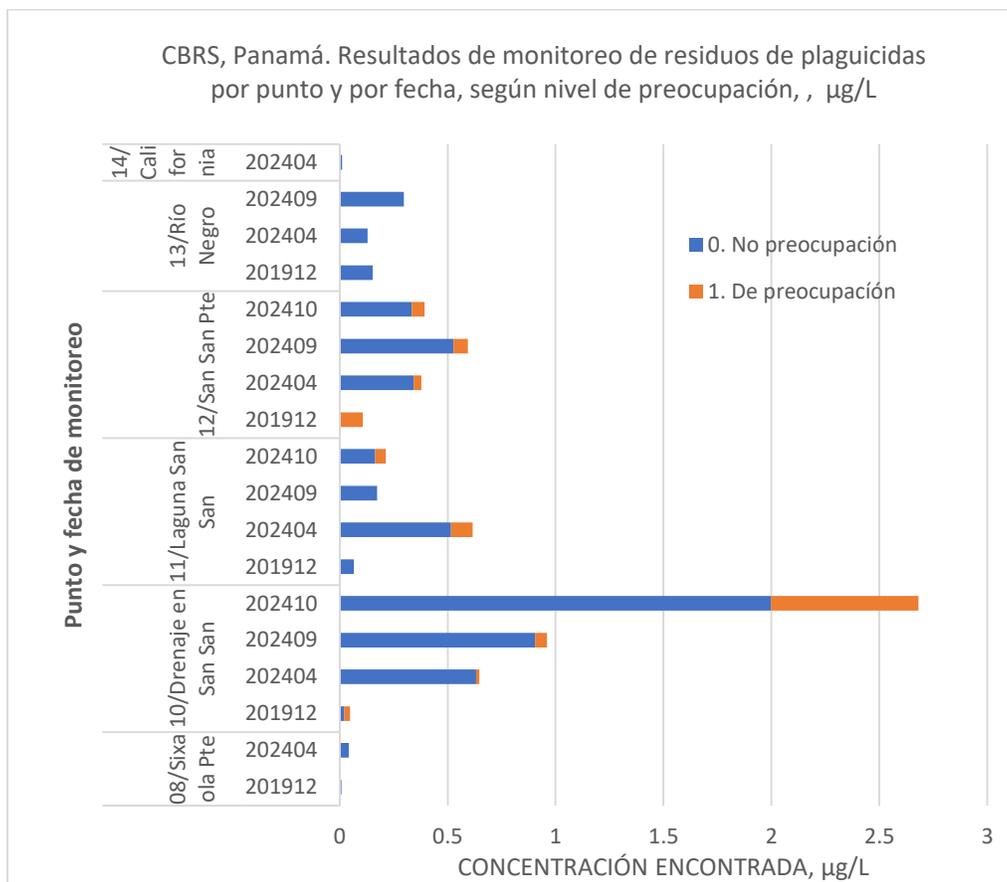
La gráfica anterior muestra que en la zona se detectaron sustancias como *acenaftileno*, *antraceno*, *fenantreno* y *pireno*. Todas estas sustancias pertenecen al grupo denominado *Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)* los cuales no necesariamente pueden tener un origen como plaguicida de uso agrícola, ya que la mayor parte de estos se puede generar como resultado de descomposición de la materia orgánica, del carbón mineral o de combustibles, así como de los residuos domésticos. No obstante, debido a que algunas de estas sustancias son altamente peligrosas para la salud humana y para el ambiente, se hace conveniente investigar las eventuales fuentes que puedan estar produciendo estos contaminantes.

Una mención similar merece la presencia del *arsénico* que fue detectada en las aguas muestreadas, ya que es una sustancia altísimamente tóxica (especialmente como agente cancerígeno), lo que viene provocando en muchos países la prohibición del uso de plaguicidas que contienen arsénico en la agricultura. Sin embargo, se conoce que el arsénico es posible que tenga un origen mineral, presente en los suelos, desde donde contamina tanto las aguas superficiales como las subterráneas.



El análisis de los resultados del monitoreo muestra cuáles son los puntos y las épocas en que se detectan más residuos de plaguicidas en la subcuenca estudiada. Según va observa en la siguiente gráfica, el punto con mayores detecciones de residuos de plaguicida, de la zona de estudio, fue el punto 10 (**Bomba A drenaje en San San Pond Sack**). En este sitio no sólo se dio la mayor detección de residuos de plaguicidas en términos de concentración (2.68 µg/L, en el monitoreo realizado en octubre del 2024), sino que también en ese mismo monitoreo se encontró la mayor cantidad de

plaguicidas en una concentración de niveles de preocupación por su posible efecto adverso para organismos acuáticos no objetivo (0.683 µg/L). El plaguicida encontrado en estos altos niveles fue el herbicida **diuron**, el cual es considerado de alta peligrosidad, según se detallará más adelante.



En el Humedal San San Pond sak también se detectaron altos niveles de residuos de plaguicidas - algunos de los cuales son de preocupación- tanto en la Laguna (punto 11) como en la zona del puente (punto 12). Los plaguicidas detectados en niveles de preocupación en estos tres puntos fueron **clotianidina (insecticida neonicotinoide)**, **diuron (el herbicida que más veces (5) apareció en niveles de preocupación)**, **imidacloprid (insecticida neonicotinoide) y terbutrina (herbicida)**. Sobre la peligrosidad de estos plaguicidas nos referiremos seguidamente.

SINTESIS DE LOS RESULTADOS DEL MONITOREO DE PLAGUICIDAS EN LA SUBCUENCA PANAMA

Tal como puede apreciarse en la Tabla inserta a continuación los análisis determinaron la presencia de 22 sustancias químicas de los cuales 7 son Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) **los cuales no necesariamente pueden tener un origen como plaguicida de uso agrícola**, ya que la mayor parte de estos se puede generar como resultado de descomposición de la materia orgánica, del carbón mineral o de combustibles, así como de los residuos domésticos. No obstante, debido a

que algunas de estas sustancias son altamente peligrosas para la salud humana y para el ambiente, se hace conveniente –en futuras investigaciones- investigar las eventuales fuentes que puedan estar produciendo estos contaminantes.

Sustancias químicas detectadas en la CBRs (subcuenca Panamá) durante los monitoreos de 2019, diciembre (línea base) y 2024 (abril, setiembre y octubre)								
No. CAS	CLASE	TOTAL DE DETECCIONES	MONITOREO				Total general de detecciones	En niveles de preocupación
		PLAGUICIDA	201912	202404	202409	202410		
94-75-7	H	2,4-D	1	1		1	3	
83-32-9	HAP	Acenafteno		1			1	
208-96-8	HAP	Acenaftileno		1			1	
120-12-7	HAP	Antraceno		2			2	
7440-38-2	Mineral	Arsénico		6			6	
1912-24-9	H	Atrazina-2-Hidroxi			3		3	
131860-33-8	F	Azoxistrobina	2	4	4	3	13	
192-97-2	HAP	Benzo (e) pireno				1	1	
188425-85-6	F	Boscalida		4	3	1	8	
210880-92-5	I	Clotianidina		1			1	1
119446-68-3	F	Difenoconazol		4	1	1	6	
330-54-1	H	Diuron		3	1	3	7	5
203313-25-1	I	Espirotramat-ketohidroxi				3	3	
85-01-8	HAP	Fenantreno		2		1	3	
86-73-7	HAP	Fluoreno		1		1	2	
1071-83-6	H	Glifosato	1				1	
138261-41-3	I	Imidacloprid			2		2	2
129-00-0	HAP	Pireno		3			3	
53112-28-0	F	Primetanil	1	4	3	3	11	
886-50-0	H	Terbutrina	4			1	5	1
153719-23-4	I	Thiametoxam	2	2			4	
148-79-8	F	Tiabendazol		4	4	3	11	
		Total general de detecciones	11	43	21	22	97	9
		Cantidad de plaguicidas encontrados	6	16	8	12	22	
		Plaguicidas en niveles de preocupación (veces encontrados)	1 (1)	2 (3)	1 (2)	1 (3)	4 (9)	9

La presencia del **arsénico** que es una sustancia altísimamente tóxica (especialmente como agente cancerígeno) en las aguas muestreadas, es posible que tenga origen como un mineral presente en los suelos, desde donde contamina tanto las aguas superficiales como las subterráneas. Sin embargo, es conocido que en muchos países se avanza en la prohibición del uso de plaguicidas que contienen arsénico en la agricultura. Futuros estudios deberán demostrar con certeza el origen de este contaminante en el recurso hídrico en el territorio estudiado.

De tal forma, incluyendo los HAPs detectados y el arsénico es importante señalar que en los 4 muestreos realizados en el territorio panameño hubo 97 ocasiones en las que se detectó la presencia de sustancias químicas en las aguas. De las 22 sustancias diferentes encontradas, 7 de ellas fueron HAP, un mineral (Arsénico) y 14 fueron residuos de plaguicidas. 4 de estos plaguicidas (**Clotianidina, Diurón, Imidacloprid y Terbutrina**) fueron los que aparecieron en niveles de preocupación en 10 ocasiones.

PELIGROSIDAD DE LOS PLAGUICIDAS DETECTADOS EN NIVELES DE PREOCUPACION EN LA SUBCUENCA PANAMA DE LA CBRs.

Para conocer, resumidamente, las características de peligrosidad de algunos de los plaguicidas encontrados en este estudio en territorio panameño, en niveles de preocupación por su efecto adverso para organismos acuáticos no objetivo, recurriremos a la Base de Datos de Propiedades de los Plaguicidas (PPDB¹⁶ por sus siglas en inglés) de la Universidad de Hertfordshire, Reino Unido. Esta base de datos es una de las recomendadas por la FAO, como parte de las herramientas para el registro de plaguicidas, cuando los países no disponen de sus propios datos¹⁷. Resumidamente, las características de peligrosidad y el destino ambiental de mayor preocupación de los plaguicidas encontrados durante los monitoreos realizados son las siguientes:

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	USO ¹⁸	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	TOXICIDAD PARA LA SALUD HUMANA
Clotianidin ¹⁹	210880-92-5	I	Alerta máxima: Persistente: (DT50=121-545 días) GUS²⁰=3,74; Alta lixiviabilidad	Alerta máxima: Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: Alta; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: Alta	Alerta máxima: neurotóxico
Diuron	330-54-1	H	Alerta máxima: Persistente (DT50=146-229 días) GUS=2.65	Alerta moderada: Ecotoxicidad aguda en aves: Moderada; Ecotoxicidad aguda en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: moderada; Ecotoxicidad aguda para las lombrices de tierra: Moderada; Ecotoxicidad crónica para las lombrices de tierra: Moderada	Alerta máxima: disruptor endocrino
imidacloprid	138261-41-3	I	Alerta máxima: Persistente;	Alerta máxima:	Alerta máxima:

¹⁶ Pesticide Properties Data Base, University of Hertfordshire (<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>)

¹⁷ FAO. Pesticide Registration Toolkit. Pesticide property databases. <https://www.fao.org/pesticide-registration-toolkit/information-sources/pesticide-properties/en/>

¹⁸ Uso: H – herbicida, I – insecticida.

¹⁹ La clotianidina no está registrada para uso en la agricultura en Costa Rica. Sin embargo, la clotianidina es un metabolito del tiametoxam, por lo cual no es sorprendente su aparición en las muestras de agua superficiales: (<https://www.nature.com/articles/s41598-018-33334-w#:~:text=Thiamethoxam%20is%20transformed%20to%20clothianidin,with%20its%20metabolite%20clothianidin6.>)

²⁰ El índice GUS (Groundwater Ubiquity Score) es una herramienta ampliamente empleada para clasificar a los plaguicidas en función de su riesgo de lixiviación hacia el agua subterránea. Este índice relaciona la persistencia (vida media) y adsorción (K_{oc}) de los compuestos químicos en el suelo (Kerle et al., 1996)

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	USO ¹⁸	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	TOXICIDAD PARA LA SALUD HUMANA
			DT50: 174-191 DÍAS GUS = 3,69: Alta lixiviabilidad	Ecotoxicidad aguda en aves: Alta; Ecotoxicidad crónica en aves: Alta; Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: Alta; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: Alta	Efectos de reproducción/ desarrollo (13/06/2024)
Terbutrina	886-50-0	H	Alerta moderada: Moderadamente persistente (DT50=52-74 días); GUS=2,21: Estado de transición; Flujo de drenaje: Ligeramente móvil; Potencial de transporte ligado a partículas: Medio	Alerta máxima: Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: Alta	Alerta máxima: disruptor endocrino
Clorpirifos					
ametrina	834-12-8	H	Alerta moderada: Moderadamente persistente; Flujo de drenaje: Moderadamente móvil; Potencial de transporte ligado a partículas: Medio	Alerta moderada: Ecotoxicidad aguda en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad aguda para lombrices de tierra: Moderada	Alerta moderada: Toxicidad aguda en mamíferos: Moderada

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	USO ¹⁸	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	TOXICIDAD PARA LA SALUD HUMANA
2,4-D	94-75-7	H	Alerta máxima: GUS^{21, 22, 23}: Alta lixiviabilidad (GUS=3,82); Flujo de drenaje: Móvil	Alerta moderada: Ecotoxicidad aguda en aves: Moderada; Ecotoxicidad crónica en aves: Moderada; Ecotoxicidad aguda en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: moderada; Ecotoxicidad aguda para las lombrices de tierra: Moderada; Ecotoxicidad crónica para las lombrices de tierra: Moderada	Alerta máxima: Disruptor endocrino; Efectos sobre la reproducción/ desarrollo ; Neurotóxico. Posible Carcinógeno (IARC)²⁴
Pireno Fenantreno					

De los cuatro (4) plaguicidas detectados en niveles de preocupación por su efecto adverso para organismos acuáticos no objetivo, tenemos dos insecticidas (clotianidina e imidacloprid) y dos herbicidas (diuron y terbutrina). Revisaremos la peligrosidad de estos plaguicidas para organismos no objetivo, tanto acuáticos como terrestres, así como su peligrosidad para la salud humana y el comportamiento de las sustancias, una vez aplicadas y dispersas en el ambiente.

²¹ El GUS o Puntuación de Ubicuidad de las Aguas Subterráneas es un valor calculado experimentalmente que relaciona la vida media de los pesticidas (DT50) y la Koc (a partir de datos de laboratorio). La GUS se puede utilizar para clasificar los pesticidas según su potencial para llegar a las aguas subterráneas. $GUS = \log_{10}(\text{vida media}) \times [4 - \log_{10}(Koc)]$.

²² Características de los plaguicidas según el valor GUS: $GUS < 1.8$ = Bajo potencial de lixiviación; $1.8 \geq GUS \leq 2.8$ = Estado de transición; $GUS > 2.8$ = Alto potencial de lixiviación. Gustafson, D.I. (1989) **Groundwater Ubiquity Score: A Simple Method for Assessing Pesticide Leachability**. Environmental Toxicology and Chemistry, 8, 339-357. <http://dx.doi.org/10.1002/etc.5620080411> . ([https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1228914](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1228914))

²³ DIGECA, MINAE. 2020. Criterios para la clasificación de la peligrosidad ecotoxicológica y persistencia ambiental de agroinsumos. (<http://www.digeca.go.cr/documentos/criterios-para-la-clasificacion-de-la-peligrosidad-ecotoxicologica-y-persistencia-0>)

²⁴ IARC 113. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 113 DDT, Lindane, and 2,4-D. Lyon, International Agency for Research on Cancer, 2018 (<https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/mono113.pdf>)

La **clotianidina y el imidacloprid**, ambos pertenecen al grupo de **insecticidas conocido como neonicotinoides**. Este grupo ha sido muy criticado en los últimos años, especialmente por su efecto nocivo para insectos polinizadores, y en particular para las abejas. Por esta razón, estos plaguicidas han sido prohibidos o su uso está restringido en gran cantidad de países. Se indica que **el imidacloprid no es solo altamente peligroso para abejas, sino también para las aves, tanto de forma aguda (en el corto plazo), sino crónica (en el largo plazo)**. Al tratarse de insecticidas, también es de consideración la peligrosidad de estos plaguicidas para los artrópodos acuáticos, en particular para los organismos que habitan en el sedimento, bajo un efecto crónico, según se observa en los datos ecotoxicológicos disponibles. Así también, estos dos insecticidas representan un **alto riesgo para la salud humana**; el primero se señala por ser un **agente neurotóxico**; al segundo se le señala por su efecto como **disruptor endocrino**, lo cual es de alta preocupación en la comunidad científica.

Adicionalmente, es importante, también, conocer el comportamiento ambiental de estas sustancias, para entender la razón por la cual aparecen con frecuencia como contaminantes ambientales. Las características físico-químicas de las sustancias nos arrojan una luz sobre el comportamiento ambiental que puedan tener. Dos factores muy importantes, en este comportamiento ambiental, es la vida media de la sustancia (es decir, la cantidad de días estimados entre su aplicación en el ambiente y el tiempo que se requiere para que se descomponga la mitad de la cantidad aplicada); el segundo factor que nos ayuda a entender este comportamiento ambiental es el llamado Índice GUS²⁵.

La **clotianidina es considerada una sustancia altamente persistente en el ambiente, con una vida media (DT50) que oscila entre 121 y 545 días**, según las condiciones ambientales. Su **índice GUS=3.74**, lo que significa que esta sustancia tiene un altísimo potencial para lixiviar y contaminar las aguas subterráneas, así como las superficiales. O sea, **una alta persistencia en el ambiente, unida a una alta lixiviación explican por qué fácilmente la clotianidina puede contaminar el ambiente** y, con ello, afectar a los organismos no objetivo sensibles a estas sustancias.

Cabe señalar que la clotianidina es un plaguicida que puede aplicarse por si mismo en la agricultura, pero también se puede producir como un metabolito de la descomposición del plaguicida tiametoxam.

En relación con **el imidacloprid**, su **vida media (DT50) oscila entre 174 y 191 días**, lo que lo presenta como una sustancia persistente en el campo; así también el **GUS = 3,69.**; es decir, tiene un muy alto potencial de lixiviación. Es decir, al igual que la clotianidina, el imidacloprid puede mantenerse largo tiempo en el ambiente y, además, durante este tiempo puede lixiviar, contaminando tanto las aguas subterráneas como superficiales.

²⁵ El índice GUS permite determinar qué tan susceptible es un plaguicida a infiltrarse y contaminar el agua subterránea, y se obtiene a partir de la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{GUS} = (\log t_{1/2}) (4 - \log K_{oc})$$

Donde $t_{1/2}$ es la vida media del compuesto en el suelo, o bien es el tiempo que duraría un compuesto en biodegradarse. El K_{oc} es un coeficiente de adsorción del compuesto en el suelo y está directamente relacionado con la presencia de carbono orgánico (materia orgánica).

Si el valor del índice GUS es mayor que 2,8 entonces se considera que el plaguicida es lixiviable, si el índice GUS es menor que 1,8 el plaguicida no es lixiviable y para valores entre 2,8 y 1,8 se considera que los plaguicidas son de transición.

Fuente: Vargas Azofeifa, I. Caracterización hidrogeológica de la zona oeste del cantón de Siquirres y evaluación del riesgo a la contaminación del recurso hídrico por plaguicidas, ED- 2358, UCR, 2011

Esta información puede servir de base a la hora de buscar medidas para la prevención de la contaminación ambiental con clotianidina. Entre las medidas a considerar estaría el no hacer aplicaciones frecuentes de clotianidina ni del tiametoxam, así como tampoco del imidacloprid (considerando su larga vida media), además de no hacer aplicaciones en épocas con alta precipitación pluvial (tomando en cuenta su alto potencial de lixiviación).

Por otra parte, los **herbicidas diuron y terbutrina** también presentan características de peligrosidad importantes, tanto para la vida silvestre como para el ser humano. Se advierte una alerta máxima por exposición humana al **diuron por posibles efectos como disruptor endocrino**. Su peligrosidad para organismos silvestres no objetivo es considerada como moderada tanto para aves, peces como para artrópodos acuáticos y para lombrices de tierra. En cuanto a su comportamiento ambiental, se considera una sustancia persistente, con una **vida media (DT50) de entre 146 y 229 días**, además de un **GUS=2.65**, lo cual lo caracteriza en una fase de transición respecto a su capacidad de lixiviación, aunque en el margen alto de esta clasificación. Esto puede explicar, también, su presencia como contaminante de aguas superficiales, especialmente cuando se utiliza en zonas con alta y frecuente precipitación pluvial.

La **terbutrina**, por su parte también hallada en 4 de los servicios de agua potable, se reporta como un herbicida de alerta máxima para la salud humana, al ser clasificada como **disruptor endocrino**. Se indica también que tiene una **alta toxicidad para las abejas por contacto**. Desde el punto de vista del comportamiento ambiental, se considera moderadamente persistente, con una vida media (DT50) de 52 a 74 días; un GUS=2,21 (estado de transición) y un flujo de drenaje: Ligeramente móvil y con un potencial de transporte ligado a partículas: Medio.

Los residuos en el agua superficial tanto del diuron como la terbutrina, por tratarse de herbicidas, representan un **alto riesgo para las algas**. Esto es muy importante, ya que las algas son organismos autótrofos que están en la base de las cadenas tróficas, importantes para la vida de artrópodos acuáticos, peces y demás miembros de las cadenas tróficas, de los cuales depende también la vida de organismos terrestres, incluyendo al ser humano.

Dadas las características de peligrosidad y comportamiento ambiental señaladas para los herbicidas diuron y terbutrina, es conveniente prestar atención en busca de reducir su impacto ambiental, especialmente si las aguas superficiales son utilizadas para consumo humano. Como medidas de prevención puede ser revisar las frecuencias de aplicación, así como evitar su aplicación en días lluviosos, o la cercanía de nacientes y fuentes de agua para consumo humano, de tal manera que se reduzca la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

ANÁLISIS CONSOLIDADO DE LOS RESULTADOS DEL MONITOREO DE PLAGUICIDAS EN LA CBRIS (SUBCUENCA COSTA RICA)

Las siguientes tablas presentan los resultados del monitoreo de residuos de plaguicidas, obtenidos desde el monitoreo realizado en diciembre del año 2019 (línea base de este proyecto, así como los resultados de los monitoreos realizados en el 2022 (diciembre), 2023 (noviembre) y 2024 (agosto) en territorio costarricense de la Cuenca Binacional del Río Sixaola.

Posterior a las tablas, se grafican y comentan los resultados del monitoreo.

Tabla 5. PLAGUICIDAS DETECTADOS EN LA CUENCA BINACIONAL DEL RIO SIXAOLA. SUBCUENCA COSTA RICA, PUNTOS DE MUESTREO 1 A 6. (LINEA BASE - 201912 Y MUESTREOS 202212, 202311 y 202408). EN MICROGRAMOS POR LITRO.

			Plaguicidas encontrados																
			3	2	1	1	1	1	1	2	2	7	1	4	2	1	11	23	18
			Río Telire arriba			Río Telire - desemboca dura Uren		Río Yorkin desemboca dura	Río Carbón desembocadura				Río Sixaola / Margarita			Quebrada Quebra Caña desemboca dura			
			PUNTOS 1			2		3	4				5			6			
No. CAS	CLASE	PLAGUICIDA	2019 12	2023 11	2024 08	2019 12	2023 11	2019 12	2019 12	2022 12	2023 11	2024 08	2019 12	2022 12	2023 11	2019 12	2022 12	2023 11	2024 08
94-75-7	H	2,4-D	0.014									0.04					0.8		
834-12-8	H	ametrina																	
131860-33-8	F	Azoxistrobina												0	0		0.008	1.2	1
188425-85-6	F	boscalida																0.0066	0
69327-76-0	I	buprofezin																0	
10605-21-7	F	carbendazim												0				0.0065	0.05
1897-45-6	F	Clorotalonil (metab CTB*)															0.7	0	
2921-88-2	I	clorpirifos		0															
210880-92-5	I	Clotianidina																	
333-41-5	I	diazinon									0.0081	0							
119446-68-3	F	difenoconazol																0.0267	0.07
330-54-1	H	Diuron					0					0.003		0				0.0778	0.024

No. CAS	CLASE	PUNTO PLAGUICIDA	1		2		3		4			5			6				
			2019 12	2023 11	2024 08	2019 12	2023 11	2019 12	2019 12	2022 12	2023 11	2024 08	2019 12	2022 12	2023 11	2019 12	2022 12	2023 11	2024 08
13071-79-9	I-N	terbufos																0.01 33	1
56070-16-7	I-N	terbufos sulfone										0.022						0.05 38	0
886-50-0	H	terbutrina	0.012 3			0.01 79		0.01 78	0.008 5	0			0.014 6			0.027 2			
153719-23-4	I	Thiametoxam																	
148-79-8	F	tiabendazol										0.05					0.003	0.91 48	0.86
		Total general	0.096 3	0	0.01 3	0.01 79	0	0.01 78	0.008 5	0.007	0.008 1	0.225	0.014 6	0.001	0	0.027 2	1.516	3.04 94	4.09 3

Notas:

F - fungicida, H - herbicida, I - insecticida, N - nematicida

Cuadro de fondo amarillo con letras rojas: concentraciones en niveles superiores al RAC, lo cual estaría poniendo en riesgo a organismos no objetivo.

Nombre con letras rojas: sustancias encontradas en niveles de preocupación por poner en riesgo a organismos no objetivo.

Cuadro de fondo gris: la sustancia aparece repetidamente en el mismo punto.

Cuadro con valor de cero (0): la sustancia aparece por encima del límite de detección, pero por debajo del límite de cuantificación (trazas).

No. CAS	CLASE	PUNTOS PLAGUICIDA	7				8				9			
			201912	202212	202311	202408	201912	202212	202311	202408	201912	202212	202311	202408
74223-64-6	H	metsulfuron metil		0.018		0.26							0.014	
88671-89-0	F	miclobutanil									0			
23135-22-0	I-N	oxamilo					0				0.001			
53112-28-0	F	Pirimetanil	0.053				0	0			0.009	0.0024		
60207-90-1	F	propiconazol												
118134-30-8	F	spiroxamina			0	0.03		0			0.008	0.0036	0.03	
1897-45-6	F	SYN546871 *												
107534-96-3	F	tebuconazole												
13071-79-9	I-N	terbufos											0.014	
56070-16-7	I-N	terbufos sulfone		0.003	0.003	0					0	0.0013		
886-50-0	H	terbutrina					0.0073				0.0284			
153719-23-4	I	Thiametoxam	0.033								0.026			
148-79-8	F	tiabendazol				0.03		0.004	0.0023			0.02	0.0124	0.042
		Total general	1.421	0.037	0.0031	0.355	0.0073	0.016	0.0023	0.003	0.0874	0.104	0.0394	0.158

Notas:

F - fungicida, H - herbicida, I - insecticida, N - nematocida

Cuadro de fondo amarillo con letras rojas: concentraciones en niveles superiores al RAC, lo cual estaría poniendo en riesgo a organismos no objetivo.

Nombre con letras rojas: sustancias encontradas en niveles de preocupación por poner en riesgo a organismos no objetivo.

Cuadro de fondo gris: la sustancia aparece repetidamente en el mismo punto.

Cuadro con valor de cero (0): la sustancia aparece por encima del límite de detección, pero por debajo del límite de cuantificación (trazas).

Tabla 6. PLAGUICIDAS DETECTADOS EN LA CUENCA BINACIONAL DEL RIO SIXAOOLA. SUBCUENCA COSTA RICA (LINEA BASE - 201912 Y MUESTREOS 202212, 202311 y 202408). EVALUACION DE RIESGO DE LOS RESIDUOS DETECTADOS EN COMPARACIÓN CON NORMATIVA EUROPEA, DE USA Y NORMATIVA PROPUESTA PARA COSTA RICA

No. CAS	CLASE	PLAGUICIDA	MAXIMO ENCONTRADO, µg/L	NORMAS EUROPEAS			Norma Costa Rica propuesta		NORMAS DE USA					Canada			
				RAC, µg/L	RAC Publicado	CR=Hallazgo/RAC	IRET-DA MINAE	CRagudo = Hallazgo/IRET-DA	US_EPA	RUP_A	DEP-Florida CTL	CR=Hallazgo/DEP-Florida	Delaware	CR=Hallazgo/Delaware (crónico)	Guilford	Interim	CR=Hallazgo/Canada min
94-75-7	H	2,4-D	0.8	27			5.8										
834-12-8	H	ametrina	0.01	0.036	0.43		0.02										
131860-33-8	F	Azoxistrobina	1.2	0.55	3.3	Alerta: X 2.2	2.3										
188425-85-6	F	boscalida	0.0066	12.5													
69327-76-0	I	buprofezin	0	3													
10605-21-7	F	carbendazima	0.05	0.15			1										
1897-45-6	F	Clorotalonil (metab CTB*)2	0.7	0.13		Alerta: X 5.4	0.5	Alerta: X 1.4							0	0.18	Alerta: X 3.9
2921-88-2	I	clorpirifos	0	0.0024			0.0108		0.041				0.041		0.0035	0	
210880-92-5	I	Clotianidina	0.034	0.072	0.007	Alerta: X 4.9					0						
333-41-5	I	diazinon	0.0081	0.01			0.012			RUP	0.002	Alerta: X 4.1	0.17				

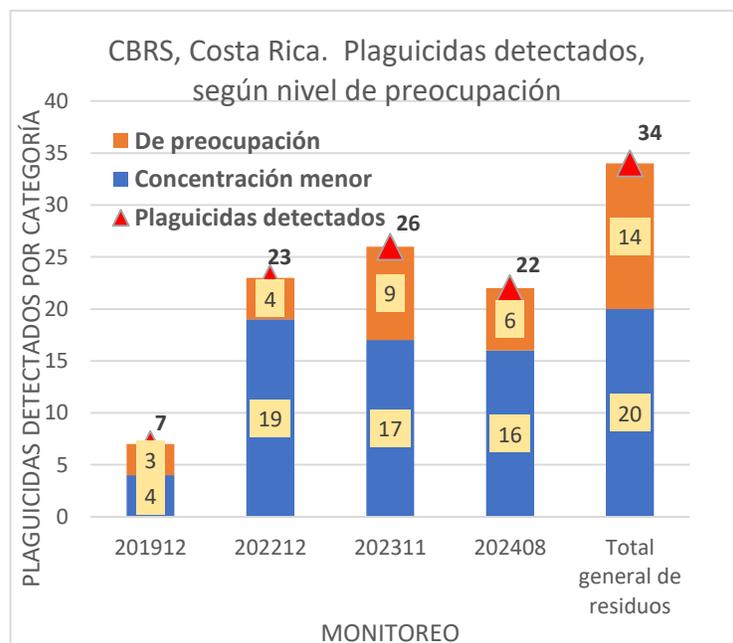
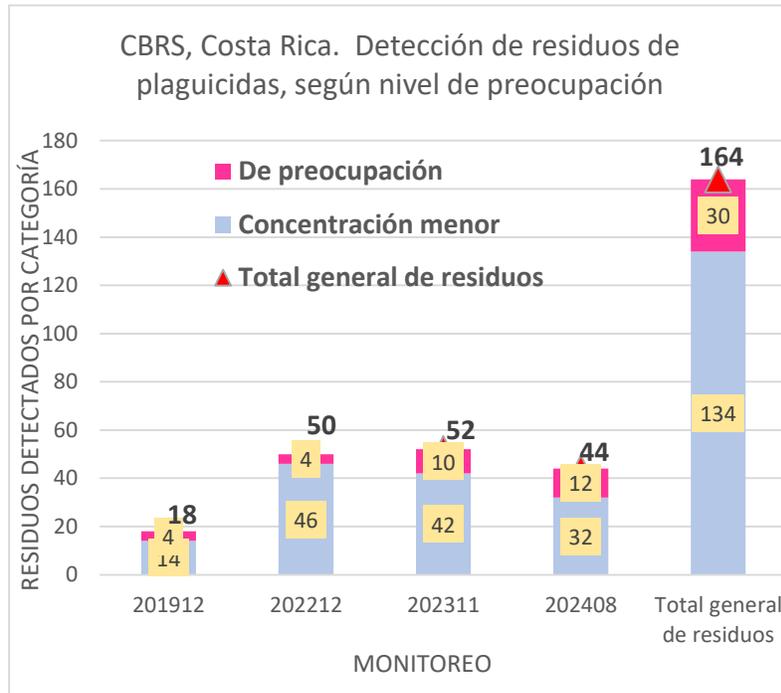
No. CAS	CLASE	PLAGUICIDA	MAXIMO ENCONTRADO, µg/L	NORMAS EUROPEAS			Norma Costa Rica propuesta		NORMAS DE USA					Canada			
				RAC, µg/L	RAC Publicado	CR=Hallazgo/RAC	IRET-DA MINAE	CRagudo = Hallazgo/IRET-DA	US_PA	RUP_A	DEP-Florida CTL	CR=Hallazgo/DEP-Florida	Delaware	CR=Hallazgo/Delaware (crónico)	Guilford	Interim	CR=Hallazgo/Canada min
74223-64-6	H	metsulfuron metil	0.26	0.0036		Alerta: X 72.2											
88671-89-0	F	miclobutanil	0.05	2.4													
23135-22-0	I-N	oxamilo	0.0019	2.7			14		RUP	8.5							
53112-28-0	F	Pirimetanil	0.0798	12			30.4										
60207-90-1	F	propiconazol	0.3	0.93			38.68										
118134-30-8	F	spiroxamina	0.37	0.02		Alerta: X 18.5	21										
1897-45-6	F	SYN546871 (*)	0.3	0.13		Alerta: X 2.3	0.5								0	0.18	Alerta: X 1.7
107534-96-3	F	tebuconazole	0.007	1			1.44										
13071-79-9	I-N	terbufos	1	0.0022		Alerta: X 454.5	0.01	Alerta: X 100.0	RUP	0.01	Alerta: X 100.0						
56070-16-7	I-N	terbufos sulfone	0.0538	0.0022		Alerta: X 24.5											
886-50-0	H	terbutrina	0.0284	0.024		Alerta: X 1.2	0.54			3.1							

SINTESIS DE LOS RESULTADOS DEL MONITOREO DE PLAGUICIDAS EN SUBCUENCA COSTA RICA

Con base en los datos compilados durante toda la vida de este proyecto, desde la línea base realizada en diciembre del año 2019, hasta los últimos datos recabados del lado costarricense, en agosto del año 2024, se observa que se detectaron 164 muestras con evidencia de residuos de plaguicidas. De estos 164 datos, 30 de ellos estaban en concentraciones que reflejan preocupación por el efecto adverso que las sustancias detectadas pueden provocar para organismos acuáticos no objetivo, con base en los datos de referencia utilizados. Esto se observa con claridad en la siguiente gráfica.

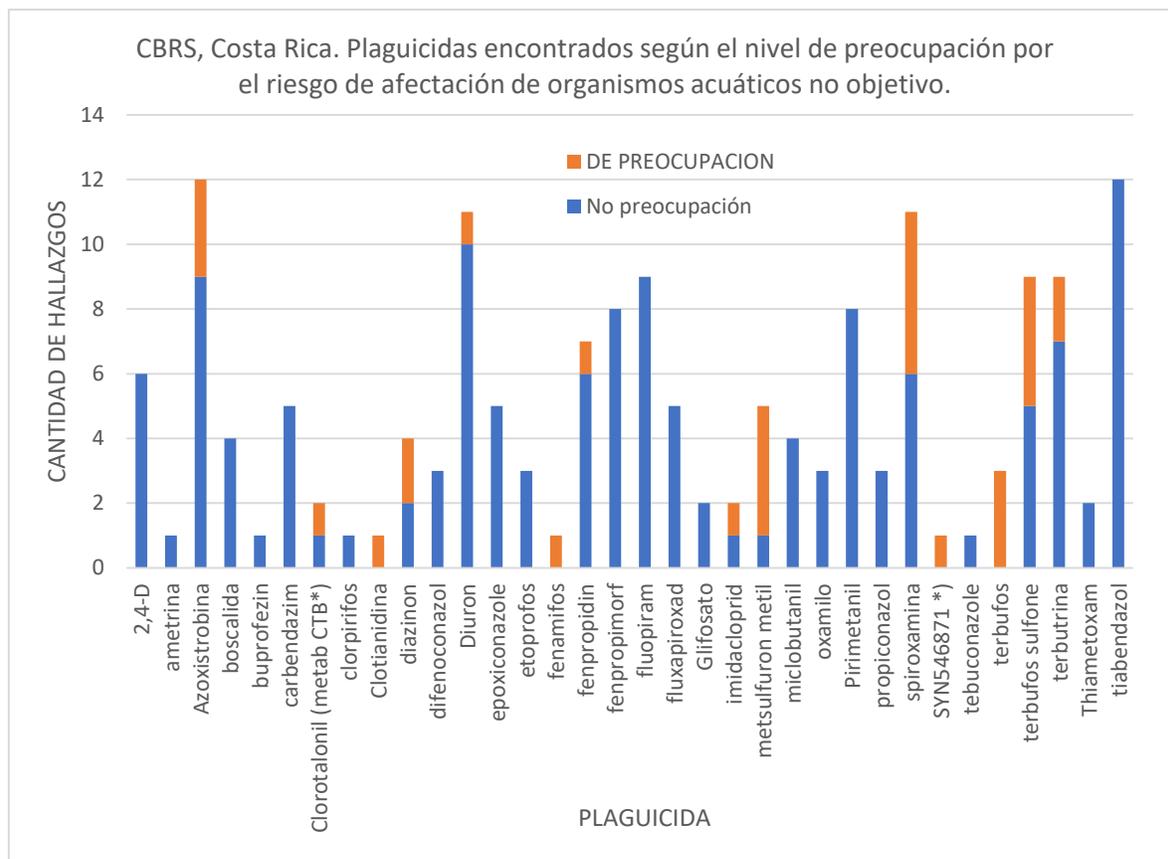
El análisis comparativo de las cuatro campañas de monitoreo realizadas arroja que en el monitoreo de diciembre del 2019 (línea base) se detectaron residuos de 18 plaguicidas, incluyendo 4 (cuatro) de ellos en niveles de preocupación. Posteriormente, en los monitoreos realizados en el 2022 (diciembre), 2023 (noviembre) y 2024 (agosto), se detectaron muchas más muestras con residuos cuantificables, para un total de 50, 52 y 44 por año, respectivamente, de los cuales 4, 10 y 12 muestras estuvieron en niveles de preocupación.

En relación con los plaguicidas encontrados, los análisis muestran que estos fueron un total de 34 distintas moléculas, 14 de las cuales arrojaron datos de preocupación por efecto adverso a organismos acuáticos no objetivo. El análisis por año muestra que en el 2019 aparecieron 7 moléculas (3 en niveles de preocupación), mientras que en el 2022 fueron 23



moléculas (4 en niveles de preocupación), en el 2023 se encontraron 26 moléculas (9 de ellas en niveles de preocupación) y en el año 2024 aparecieron 22 moléculas de plaguicidas distintos (6 de ellas en niveles de preocupación).

El análisis específico de las moléculas encontradas, según el nivel de preocupación, se observa en la siguiente gráfica.



Los plaguicidas que arrojaron datos de **concentración en niveles de preocupación** fueron **azoxistrobina** (3 detecciones de 12), **clorotalonil** (dos de sus metabolitos), **clotianidina** (una muestra), **diazinon** (2 de las 4 muestras detectadas), **diuron** (una muestra de 11 detecciones), **fenamifos** (una muestra), **fenpropidin** (una muestra de 7), **imidacloprid** (una muestra), **metsulfuron metil** (4 de las 5 detecciones), **spiroxamina** (5 de las 11 detecciones), **terbufos** (3 detecciones), **terbufos sulfone** (4 de 9 detecciones) y **terbutrina** (2 de las 9 detecciones).

Sobre estos residuos detectados es importante señalar algunos aspectos:

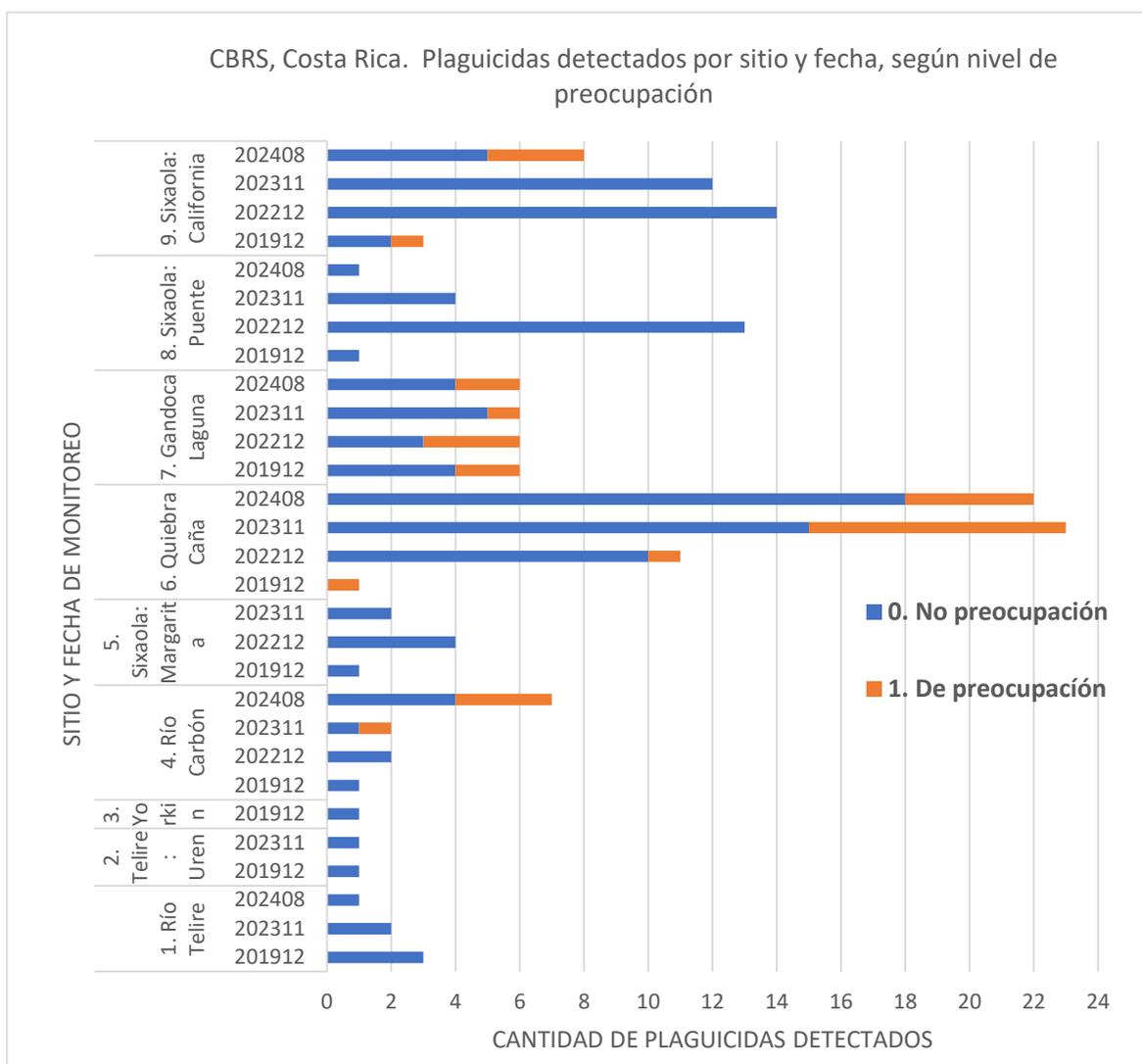
- i. La **clotianidina** no está registrada para uso en la agricultura de Costa Rica; pero su detección en el ambiente no es de extrañar, ya que se conoce que esta molécula se produce también como un metabolito (producto de la descomposición) del insecticida **tiametoxam**, el cual si está registrado para uso en Costa Rica. Ambos son plaguicidas del grupo de los

neonicotinoides y resulta muy tóxico para organismos acuáticos, pudiendo generar efectos adversos a largo plazo en el ambiente acuático.²⁶

- ii. El **clorotalonil** es un plaguicida que ya prohibido en Costa Rica; pero sus metabolitos siguen apareciendo tanto en aguas superficiales como subterráneas. Si el plaguicida se deja de utilizar, es posible que en un corto o mediano plazo dejen de aparecer metabolitos en las aguas superficiales.
- iii. El **terbufos sulfone** es un metabolito producido por la descomposición del **terbufos** en el ambiente. De esta manera, se pueden sumar las muestras detectadas con ambas moléculas, lo que arrojaría un total de 12 detecciones, de las cuales 7 están e niveles de preocupación, considerando la alta peligrosidad ambiental de este plaguicida, a los cual nos referiremos más adelante.

²⁶ <https://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/base-de-datos-menu/160-clotianidin>

El estudio de los resultados de monitoreo por sitio y por fecha, el cual se observa en la siguiente gráfica, muestra que **la quebrada Quebra Caña es el cuerpo de agua que presenta mayor contaminación**, de los nueve puntos monitoreados durante la vida del proyecto. En los monitoreos



realizados en el año 2023 y en el 2024 se detectaron residuos de 23 y 22 distintas moléculas de plaguicidas, respectivamente. Así también en esos mismos sitios y momentos se encontró la mayor cantidad de plaguicidas en niveles de preocupación por sus posibles efectos adversos para organismos acuáticos no objetivo: 8 y 4 moléculas, respectivamente, en niveles de concentración que superaron los valores de referencia utilizados en este estudio.

El segundo sitio monitoreado que arroja una alerta sería la Laguna Gandoca, ya que es parte del Refugio de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo (REGAMA). En este sitio, se detectaron 6 moléculas, cada vez, de distintos plaguicidas, de las cuales de una a tres estaban en concentraciones altas, que superaron los valores de referencia, con lo cual se ponen en riesgo organismos acuáticos no objetivo, en una zona protegida.

Sobre el río Sixaola, a la altura del poblado de California, así como también en los muestreos en el puente binacional sobre el mismo río, se detectaron residuos de múltiples plaguicidas. En este caso,

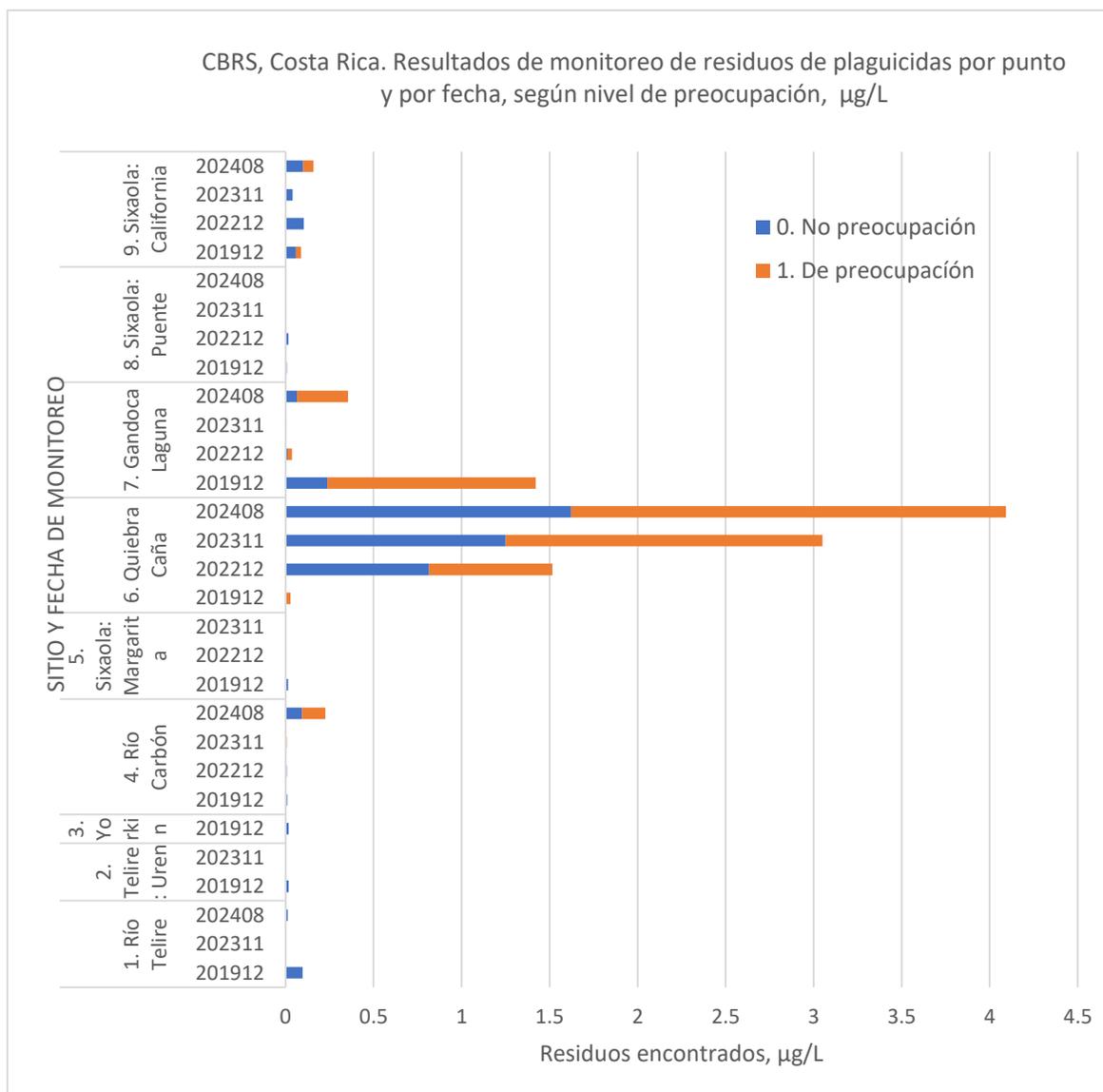
la mayoría de los residuos estuvieron por debajo de los valores de referencia, lo cual indica que, individualmente, no serían de preocupación, si no se toma en cuenta el efecto acumulativo que podría provocar un coctel de hasta 14 moléculas distintas en una misma muestra. En el muestreo del año 2024 en California se detectaron tres distintas moléculas en niveles de preocupación.

Por otro lado, como era de esperar, en la parte alta de la cuenca del río Sixaola y sus afluentes la detección de residuos de plaguicidas fue mucho menor y en niveles por debajo de los valores de referencia. Esto indica que en la agricultura desarrollada en estas partes de la cuenca probablemente haya un uso de plaguicidas mucho menor que en la parte baja de la cuenca o que los agricultores tengan mejores prácticas de uso de dichos insumos. No obstante, se debe prestar atención para que el panorama no se complique a futuro, ya que a la altura del río Carbón ya están apareciendo más residuos de plaguicidas e incluso en niveles de preocupación.

Los datos relativos a la concentración encontrada de plaguicidas en los distintos cuerpos de agua y los monitoreos llevados a cabo nos permiten hacer una reflexión adicional, especialmente cuando vemos las alertas por posible afectación a organismos acuáticos no objetivo. Como recordaremos, los parámetros de referencia utilizados son el valor RAC, criterio desarrollado por las autoridades ambientales europeas; así también, se están considerando parámetros de referencia de otras fuentes internacionales, tanto de USA como de Canadá, que son aquellas en las que encontramos valores para los plaguicidas que se están utilizando en Costa Rica.

En la siguiente página se inserta la gráfica que muestra la concentración de plaguicidas detectados, de forma separada si estos plaguicidas estaban o no en concentraciones superiores a los valores de referencia utilizados.

De acuerdo con estos resultados, se observa nuevamente que la **quebrada Quebra Caña** presenta las mayores concentraciones de residuos de plaguicidas, tanto en niveles de preocupación como en niveles por debajo de los valores de referencia consultados. En particular, en el año 2024 se detectó la mayor presencia de plaguicidas en este sitio, con una concentración de 1.62 microgramos por litro de 18 plaguicidas por debajo de los valores de preocupación; sin embargo, en ese mismo muestreo se detectaron 4 (cuatro) plaguicidas que estaban en niveles de preocupación, con un total de 2.47 $\mu\text{g/L}$. Esto es, menos de una quinta parte de los plaguicidas encontrados en este punto en ese muestreo eran de alta peligrosidad en una concentración muy significativa. Estos plaguicidas fueron **azoxistrobina** (1 $\mu\text{g/L}$), **clorotalonil** (su metabolito SYN546871, con 0.3 $\mu\text{g/L}$), **spiroxamina** (0.17 $\mu\text{g/L}$) y **terbufos** (1 $\mu\text{g/L}$). Cabe resaltar que, no obstante que esas concentraciones, nominalmente,



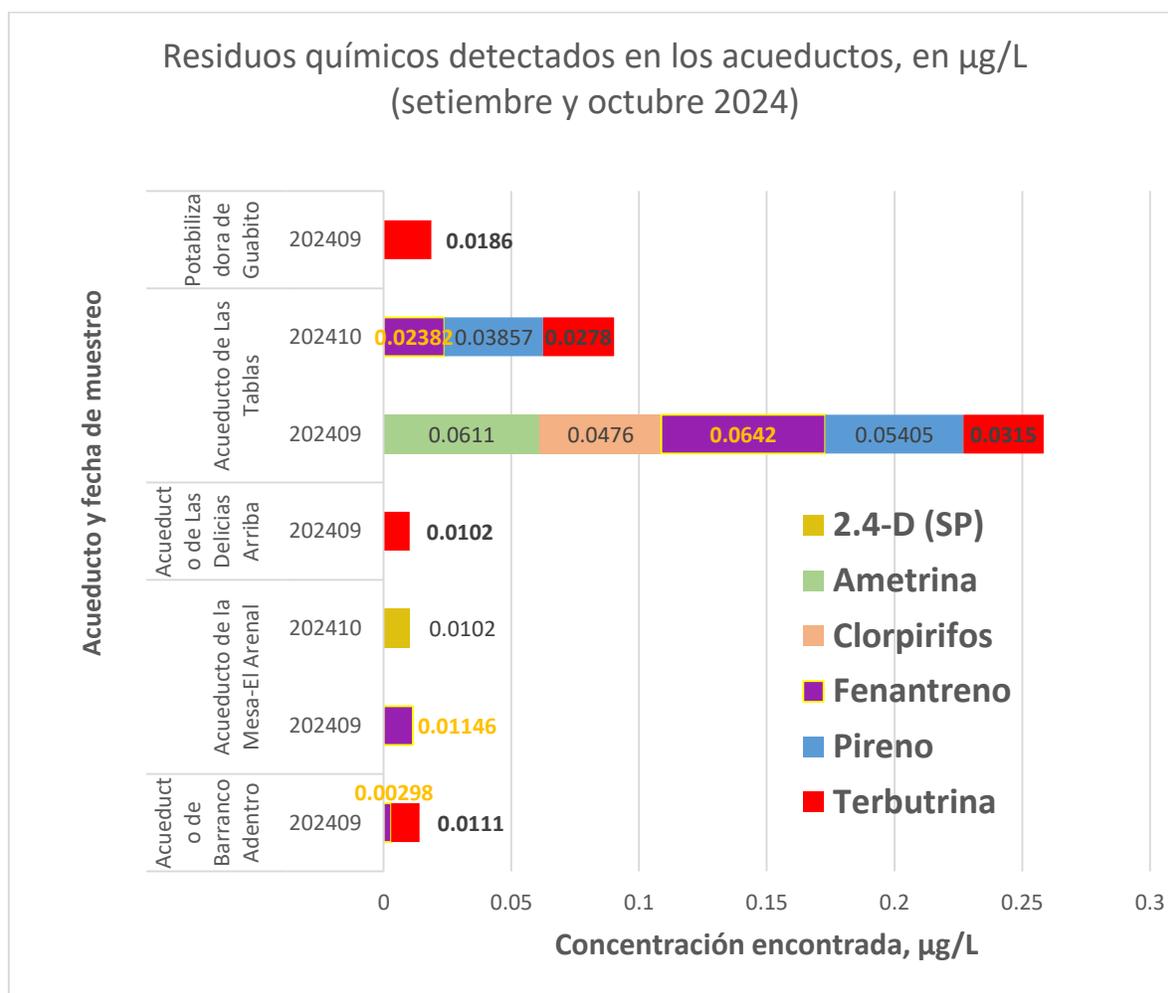
parecen muy bajas; al comparar con los valores de referencia, es una concentración que pone en riesgo a organismos acuáticos no objetivo. De estos plaguicidas, los de mayor preocupación por su impacto ambiental serían terbufos y spiroxamina. No obstante, no puede dejar de prestarse atención a la presencia de tan amplio coctel de plaguicidas que, en suma, podrían afectar el ambiente, aunque su evaluación individual esté por debajo de los valores de referencia utilizados.

En el caso de la Laguna Gandoca, que forma parte del Refugio Gandoca Manzanillo, al comparar la alerta por la presencia de hasta seis moléculas distintas de plaguicidas, se observa que la concentración total de plaguicidas es sumamente baja, lo cual no implica que no se estén poniendo en riesgo los organismos acuáticos. En este sitio se detectaron, en niveles de preocupación, **azoxistrobina** (1.15 $\mu\text{g/L}$, en el año 2019), **clotianidina** (0.034 $\mu\text{g/L}$, en el año 2019), **diazinon** (0.006 $\mu\text{g/L}$, en el año 2022), **metsulfuron metil** (0.018 $\mu\text{g/L}$, en el año 2022 y 0.26 $\mu\text{g/L}$, en el año 2024), así como **terbufos sulfone** (0.003 $\mu\text{g/L}$, en el año 2022 y 0.003 $\mu\text{g/L}$, en el año 2023). Como puede observarse, los plaguicidas detectados son técnicamente considerados de altísima peligrosidad para organismos acuáticos no objetivo, lo cual detallaremos más adelante.

MONITOREO DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN LAS FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN PANAMA.

En la segunda fase de este proyecto se realizó un ajuste en las actividades y se incorporó el monitoreo de residuos en las aguas de consumo humano para el territorio panameño de la cuenca del río Sixaola (territorio de Panamá).

Se realizaron dos monitoreos, en setiembre y octubre del año 2024, en cinco acueductos distribuidos en la zona de estudio. Como resultado del estudio de residuos de sustancias químicas en el agua, se encontraron residuos de las siguientes sustancias: **2,4-D (herbicida), ametrina (herbicida), clorpirifos (insecticida), fenantreno (PAH), pireno (PHA) y terbutrina (herbicida)**, según se observa en la siguiente gráfica:



Individualmente, las sustancias se encontraron en concentraciones no mayores a 0.06 microgramos por litro, lo cual puede considerarse una concentración baja. Sin embargo, no se puede dejar de

tomar en cuenta que en algunos casos se detectaron simultáneamente residuos de varios (hasta 5) plaguicidas y otras sustancias químicas en una sola fuente. Además, es importante prestar atención a las características de peligrosidad de las sustancias detectadas.

En estos monitoreos, **el Acueducto de Las Tablas** es el que más ha reportado residuos químicos. En el monitoreo de setiembre del 2024, aparecieron residuos de los plaguicidas **ametrina, clorpirifos y terbutrina**, además de los **hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) fenantreno y pireno**. En el monitoreo realizado en el mismo sitio en el mes de octubre siguiente, aparecieron de nuevo **fenantreno y pireno, además de terbutrina**.

Los otros acueductos monitoreados mostraron menos residuos químicos; sin embargo, se reportó la presencia del **herbicida terbutrina en la planta potabilizadora de Guabito y en los acueductos de Las Delicias Arriba y de Barranco Adentro**. En este último caso también se detectaron trazas de **fenantreno**.

En el caso del **acueducto de la Mesa-Arenal**, los dos monitoreos realizados arrojaron residuos de sustancias químicas; en setiembre se detectaron residuos de **fenantreno** y en octubre se detectó el **herbicida 2,4-D**.

Dados estos hallazgos, se considera conveniente revisar en los alrededores del acueducto las posibles fuentes de estos contaminantes, que pueden ser actividades agrícolas, para el caso de los plaguicidas, u otras actividades, como la presencia de sitios de disposición de residuos que al descomponerse puedan producir los PHA encontrados. Consecuentemente, es conveniente tomar medidas para detener y prevenir la contaminación detectada en este acueducto, en aras de proteger la salud de los consumidores.

PELIGROSIDAD DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS DETECTADAS EN LAS FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LA ZONA MONITOREADA EN TERRITORIO PANAMEÑO DE LA CBRS.

Tomando en cuenta que estas fuentes de agua son utilizadas para el consumo humano, comentaremos la peligrosidad atribuida a las sustancias detectadas en estos monitoreos especialmente desde el punto de vista de la posible afectación para la salud humana. Para ello, utilizaremos la información publicada en PPDB, así como algunas fuentes adicionales.

En relación con el **2,4-D** (CAS No 94-75-7), en PPDB se señala **alerta máxima, basada en sus características como disruptor endocrino, además de presentar efectos sobre la reproducción/desarrollo; así como por ser neurotóxico y un posible carcinógeno (IARC)²⁷**. Respecto a su potencial cancerogénico, la **Agencia Internacional para Investigaciones del Cáncer (IARC)** indica que el **herbicida 2,4-D fue clasificado como posiblemente cancerígeno para los seres humanos (Grupo 2B), sobre la base de evidencia insuficiente en seres humanos y evidencia**

²⁷ IARC 113. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 113 DDT, Lindane, and 2,4-D. Lyon, International Agency for Research on Cancer, 2018 (<https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/mono113.pdf>)

limitada en animales de experimentación. Existe evidencia sólida de que el 2,4-D induce estrés oxidativo, un mecanismo que puede operar en seres humanos, y evidencia moderada de que el 2,4-D causa inmunosupresión, sobre la base de estudios in vivo e in vitro. Sin embargo, los estudios epidemiológicos no encontraron aumentos fuertes o consistentes en el riesgo de linfoma no Hodgkin u otros cánceres en relación con la exposición al 2,4-D.²⁸

Para comprender algunas de las posibles razones por las que el 2,4-D se reporta como contaminante de las aguas superficiales, vemos que este tiene un **alto potencial de lixiviabilidad (GUS=3,82) así como ser móvil en su flujo de drenaje**. Por lo tanto, se requiere tomar medidas para prevenir la contaminación de cuerpos de agua, cuando se aplica este plaguicida, especialmente en zonas donde hay tomas de agua para consumo humano, considerando también su peligrosidad.

El **clorpirifos** (CAS No 2921-88-2) es un insecticida-acaricida del grupo de los organofosforados considerado **altamente tóxico, tanto para la salud humana como para organismos silvestres no objetivo**. Por estas razones, su uso ha sido prohibido en los países de la Unión Europea y está siendo prohibido también en USA, por orden judicial. Entre las características de peligrosidad para humanos se indica que es de alta **toxicidad aguda y crónica en mamíferos; es disruptor endocrino; tiene efectos adversos en la reproducción y el desarrollo; es inhibidor de la acetilcolinesterasa y neurotóxico**. Por su comportamiento en el ambiente, se indica que tiene una vida media (DT50) de 27.6 hasta 386 días, lo que indica que puede ser muy persistente, según las condiciones ambientales.

Con estas características de peligrosidad, que incluso ha llevado a su prohibición en muchos países, es conveniente prestar atención al probable origen de este plaguicida en las aguas de consumo humano y tomar acciones para prevenir que este fenómeno continúe.

La **terbutrina** (CAS No 886-50-0) es un herbicida de los que ha aparecido con mayor frecuencia como contaminante de las aguas superficiales monitoreadas en la CBRS; pero también vemos que apareció en las aguas de 4 de los 5 acueductos para abastecimiento de la población monitoreados.

Se señala una alta peligrosidad de la terbutrina para la salud humana, al catalogársele como un **disruptor endocrino**, según reporta PPDB.

En relación con los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) **fenantreno y pireno**, que fueron detectados en tres de las cinco fuentes monitoreadas, pero especialmente en el acueducto de Las Tablas, la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de USA (ATSDR, por sus siglas en inglés) publica un documento denominado "Resúmenes de Salud Pública – Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)"²⁹ donde se detallan algunas de las características de peligrosidad de estas sustancias,

De acuerdo con esta fuente, se indica que los HAPs son un grupo de sustancias químicas que se forman durante la incineración incompleta del carbón, el petróleo, el gas, la madera, la basura y otras sustancias orgánicas, como el tabaco y la carne asada al carbón. Existen más de 100 clases

²⁸ IARC Monographs evaluate DDT, lindane and 2,4-D. 2015 https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/pr236_E.pdf

²⁹ https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs69.html

diferentes de HAPs. Los HAPs se encuentran generalmente como mezclas complejas (por ejemplo, como parte de productos de combustión como el hollín), no como compuestos simples

Unos cuantos HAPs se utilizan **en medicinas y para la producción de tintas, plásticos y pesticidas**. Otros se encuentran en el asfalto que se utiliza en la construcción de carreteras. También se pueden encontrar en sustancias como el petróleo crudo, el carbón, el alquitrán o la brea, la creosota y el alquitrán utilizado en el recubrimiento de techos. Los HAPs se encuentran en todo el medio ambiente en el aire, el agua y el suelo. Pueden encontrarse en el aire bien sea adheridos a partículas de polvo o como sólidos en el suelo o en los sedimentos.

Los HAPs entran al medio ambiente principalmente a través de las emisiones al aire de los volcanes, los incendios forestales, la quema de madera en los hogares y los gases de los tubos de escape de automóviles y camiones. También pueden entrar a las aguas de superficie a través de las descargas de las plantas industriales y las plantas de tratamiento de aguas residuales y pueden ser liberados a los suelos de los sitios de desechos peligrosos si se escapan de los contenedores de almacenamiento.

Según esta misma fuente consultada, se han encontrado HAPs en algunos abastecimientos de agua potable en Estados Unidos. **Los niveles de referencia de HAPs en el agua potable oscilan entre 4 y 24 nanogramos por litro (ng/L).**

Para efectos de comparación, vemos que, en los muestreos realizados en estas fuentes de agua para consumo humano, se detectaron residuos de **fenantreno en concentraciones que van de 2.98 a 64.2 ng/L y pireno, en concentraciones que van de 38.57 a 54.05 ng/L, lo cual, evidentemente, está superando los niveles de referencia utilizados en USA para los HAPs.**

La Agencia Europea de Químicos (ECHA, por sus siglas en inglés) clasifica al pireno (CAS No 129-00-0) como una sustancia persistente, bioacumulable y tóxica (PTB), además de señalar su alta toxicidad para organismos acuáticos con efectos duraderos³⁰.

Por otra parte, la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición³¹ señala que, de forma general, los HAPs pueden provocar efectos irritantes por contacto de la piel y los ojos, fallos respiratorios cuando se inhalan y afectación del sistema nervioso.

A largo plazo por ingestión pueden causar problemas de coagulación y del sistema inmunitario por disminución de las plaquetas y los leucocitos respectivamente. Además, existen estudios que confirman que algunos HAPs pueden causar cáncer en animales de experimentación o incluso en humanos, como el benzopireno, que ha sido clasificado por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) como agente carcinógeno para los humanos (Grupo 1).

Una ingesta diaria tolerable (IDT o en inglés TDI) es la cantidad de una sustancia que una persona puede ingerir diariamente a lo largo de toda su vida sin que suponga un riesgo para su salud. No es posible establecer una TDI para los HAPs debido a los efectos cancerígenos que se les pueden atribuir

³⁰ <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.004.481>

³¹ https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/haps.htm#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20efectos%20tienen%20estos%20compuestos,y%20afectaci%C3%B3n%20del%20sistema%20nervioso.

a estos compuestos. En estos casos, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) utiliza la aproximación del margen de exposición (MOE) para la evaluación del riesgo.

En conclusión, los HAP son considerados como sustancias de preocupación tanto por sus potenciales efectos adversos para la salud humana como para el ambiente. La concentración de fenantreno y pireno encontrada en los acueductos muestreados supera, los valores de referencia establecidos por la US-EPA para el agua de consumo humano, lo cual es una señal de alerta para estudiar el caso a mayor profundidad y buscar la toma de medidas para tratar de prevenir esta contaminación.

PELIGROSIDAD DE LOS PLAGUICIDAS DETECTADOS EN MARGEN COSTARRICENSE DE LA CBRS.

Detallaremos más meticulosamente las características de peligrosidad de los plaguicidas encontrados en niveles de preocupación, de acuerdo con la metodología ya descrita para este estudio. Esto no implica que no haya preocupación por la presencia de otros plaguicidas, especialmente cuando en un solo punto se encontraron múltiples moléculas, tal cual se está observando en este estudio.

Los plaguicidas que se encontraron en niveles de preocupación durante estos cuatro monitoreos son **azoxistrobina, clorotalonil, clotianidina, diazinon, difenoconazol, diuron, fenamifos, fenpropidin, imidacloprid, metsulfuron metil, spiroxamina, terbufos y su metabolito terbufos sulfone, así como terbutrina.**

Con base en los datos publicados por la Universidad de Hertfordshire (PPDB³²) seguidamente se describirán las características de peligrosidad de estos plaguicidas.

³² Pesticide Properties Data Base, University of Hertfordshire (<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>)

Tabla 7. CARACTERÍSTICAS DE PELIGROSIDAD PARA EL AMBIENTE Y LA SALUD HUMANA, ASÍ COMO EL DESTINO AMBIENTAL DE ALGUNOS PLAGUICIDAS.

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	US O	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	SALUD HUMANA
2,4-D	94-75-7	H	Alerta máxima: GUS^{33, 34, 35}: Alta lixiviabilidad (GUS=3,82); Flujo de drenaje: Móvil	Alerta moderada: Ecotoxicidad aguda en aves: Moderada; Ecotoxicidad crónica en aves: Moderada; Ecotoxicidad aguda en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: moderada; Ecotoxicidad aguda para las lombrices de tierra: Moderada; Ecotoxicidad crónica para las lombrices de tierra: Moderada	Alerta máxima: Disruptor endocrino; Efectos sobre la reproducción/desarrollo; Neurotóxico. Posible Carcinógeno (IARC)³⁶
ametrina	834-12-8	H	Alerta moderada: Moderadamente persistente; Flujo de drenaje: Moderadamente móvil; Potencial de transporte ligado a partículas: Medio	Alerta moderada: Ecotoxicidad aguda en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad aguda para lombrices de tierra: Moderada	Alerta moderada: Toxicidad aguda en mamíferos: Moderada

³³ El GUS o Puntuación de Ubicuidad de las Aguas Subterráneas es un valor calculado experimentalmente que relaciona la vida media de los pesticidas (DT50) y la Koc (a partir de datos de laboratorio). La GUS se puede utilizar para clasificar los pesticidas según su potencial para llegar a las aguas subterráneas. $GUS = \log_{10}(\text{vida media}) \times [4 - \log_{10}(Koc)]$.

³⁴ Características de los plaguicidas según el valor GUS: $GUS < 1.8$ = Bajo potencial de lixiviación; $1.8 \geq GUS \leq 2.8$ = Estado de transición; $GUS > 2.8$ = Alto potencial de lixiviación. Gustafson, D.I. (1989) **Groundwater Ubiquity Score: A Simple Method for Assessing Pesticide Leachability**. Environmental Toxicology and Chemistry, 8, 339-357. <http://dx.doi.org/10.1002/etc.5620080411> .
([https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1228914](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1228914))

³⁵ DIGECA, MINAE. 2020. Criterios para la clasificación de la peligrosidad ecotoxicológica y persistencia ambiental de agroinsumos. (<http://www.digeca.go.cr/documentos/criterios-para-la-clasificacion-de-la-peligrosidad-ecotoxicologica-y-persistencia-0>)

³⁶ IARC 113. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 113 DDT, Lindane, and 2,4-D. Lyon, International Agency for Research on Cancer, 2018 (<https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/mono113.pdf>)

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	US O	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	SALUD HUMANA
Azoxistrobina	131860-33-8	F	Alerta máxima: Persistente (DT50=84-363 días); GUS: Alta lixiviabilidad (GUS=3,10)	Alerta moderada: Ecotoxicidad aguda en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: moderada; Ecotoxicidad aguda para las lombrices de tierra: Moderada; Ecotoxicidad crónica para las lombrices de tierra: Moderada	Alerta moderada: Toxicidad crónica en mamíferos: moderada; Efectos de reproducción/desarrollo
boscalida	188425-85-6	F	Alerta máxima: Persistente (DT50=254-484 días)	Alerta moderada: Ecotoxicidad crónica en aves: Moderada; Ecotoxicidad aguda en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad aguda para las lombrices de tierra: Moderada; Ecotoxicidad crónica para las lombrices de tierra: Moderada	Alerta moderada: Posible carcinógeno; Efectos de reproducción/desarrollo
buprofezin					

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	US O	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	SALUD HUMANA
Carbendazim a	10605- 21-7	F	Alerta moderada: GUS: Estado de transición (GUS=2,21); Flujo de drenaje: Moderadamente móvil	Alerta máxima: Ecotoxicidad crónica en peces: Alta; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Alta; Ecotoxicidad aguda para lombrices de tierra: Alta	Alerta máxima: Disruptor endocrino; Efecto reproducción/desarrollo
clorotalonil (metabolito CTB*)	1897-45- 6	F	Alerta moderada: Flujo de drenaje: Ligeramente móvil; Potencial de transporte ligado a partículas: Medio	Alerta máxima: Ecotoxicidad aguda en peces: Alta; Ecotoxicidad crónica en peces: Alta; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Alta; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Alta	Alerta máxima: Disruptor endocrino; Efectos de reproducción/desarrollo
Clotianidina ³⁷	210880- 92-5	I	Alerta máxima: Persistente: (DT50=121-545 días) GUS=3,74; Alta lixiviabilidad	Alerta máxima: Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: Alta; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: Alta	Alerta máxima: neurotóxico
clorpirifos					

³⁷ La clotianidina no está registrada para uso en la agricultura en Costa Rica. Sin embargo, la clotianidina es un metabolito del tiametoxam, por lo cual no es sorprendente su aparición en las muestras de agua superficiales: (<https://www.nature.com/articles/s41598-018-33334-w#:~:text=Thiamethoxam%20is%20transformed%20to%20clothianidin,with%20its%20metabolite%20clothianidin6.>)

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	US O	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	SALUD HUMANA
diazinon	333-41-5	I	Alerta moderada: Flujo de drenaje: ligeramente móvil	Alerta máxima: Ecotoxicidad aguda en aves: Alta; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Alta; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Alta; Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: Alta; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: Alta	Alerta máxima: Disruptor endocrino; Inhibidor de acetil colinesterasa; neurotóxico
difenoconazol	119446-68-3	F	Alerta máxima: Potencial de transporte ligado a partículas: Alto GUS=0.89	Alerta máxima: Ecotoxicidad crónica en aves: Alta; Ecotoxicidad crónica en peces: Alta; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Alta	Alerta moderada: Toxicidad aguda en mamíferos: Moderada; Toxicidad crónica en mamíferos: moderada; Posible carcinógeno; Efectos de reproducción/desarrollo
Diuron	330-54-1	H	Alerta máxima: Persistente (DT50=146-229 días) GUS=2.65	Alerta moderada: Ecotoxicidad aguda en aves: Moderada; Ecotoxicidad aguda en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: moderada; Ecotoxicidad aguda para las lombrices de tierra: Moderada; Ecotoxicidad crónica para las lombrices de tierra: Moderada	Alerta máxima: disruptor endocrino
epoxiconazole	106325-08-0	F	Alerta moderada: Moderadamente persistente; GUS: Estado de transición (GUS=2,09); Flujo de drenaje: Ligeramente móvil; Potencial de transporte ligado	Alerta máxima: Ecotoxicidad crónica en aves: Alta; Ecotoxicidad crónica en peces: Alta	Alerta máxima: Toxicidad crónica en mamíferos: Alta; Disruptor endocrino; Efectos de reproducción/desarrollo

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	US O	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	SALUD HUMANA
			a partículas: Medio		
etoprofos					
fenamifos	22224-92-6	I-N	Alerta moderada: Flujo de drenaje: Moderadamente móvil GUS=0.49 DT50=0.90 días	Alerta máxima: Ecotoxicidad aguda en aves: Alta; Ecotoxicidad aguda en peces: Alta; Ecotoxicidad crónica en peces: Alta; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Alta; Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: Alta; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: Alta	Alerta máxima: Toxicidad aguda en mamíferos: Alta; Efectos sobre la reproducción/desarrollo; Inhibidor de acetil colinesterasa; neurotóxico (04/04/2024)
fenpropidin	67306-00-7	F	Alerta máxima: Potencial de transporte ligado a partículas: Alto	Alerta moderada: Ecotoxicidad aguda en aves: Moderada; Ecotoxicidad crónica en aves: Moderada; Ecotoxicidad aguda en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: moderada; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: moderada; Ecotoxicidad aguda para las lombrices de tierra: Moderada; Ecotoxicidad crónica para las lombrices de tierra: Moderada	Alerta máxima: Toxicidad crónica en mamíferos: Alta
fenpropimorf	67564-91-4	F	Alerta moderada: Potencial de transporte ligado a partículas: Medio	Alerta moderada: Ecotoxicidad crónica en aves: Moderada; Ecotoxicidad aguda en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: moderada; Ecotoxicidad aguda para las lombrices de tierra: Moderada; Ecotoxicidad crónica para las lombrices de tierra: Moderada	Alerta moderada: Toxicidad aguda en mamíferos: Moderada; Toxicidad crónica en mamíferos: moderada; Efectos de reproducción/desarrollo

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	US O	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	SALUD HUMANA
fluopiram	658066-35-4	F	Alerta máxima: Persistente (DT50=119-309 días); GUS: Alta lixiviabilidad (GUS=3,23)	Alerta máxima: Ecotoxicidad crónica en aves: Alta	Alerta moderada: Toxicidad crónica en mamíferos: moderada; Efectos sobre la reproducción/desarrollo; neurotóxico
fluxaproxad	907204-31-3	F	Alerta máxima: Persistente (DT50=183 días)	Alerta máxima: Ecotoxicidad crónica en peces: Alta	Alerta moderada: Posible carcinógeno; Efectos de reproducción/desarrollo
Glifosato	1071-83-6	H	Alerta moderada: Flujo de drenaje: Ligeramente móvil; Potencial de transporte ligado a partículas: Medio	Alerta moderada: Ecotoxicidad crónica en aves: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica para las lombrices de tierra: Moderada	Alerta moderada: Posible carcinógeno; Disruptor endocrino; Efectos de reproducción/desarrollo
imidacloprid	138261-41-3	I	Alerta máxima: Persistente (DT50=174-171 días); GUS = 3,69: Alta lixiviabilidad	Alerta máxima: Ecotoxicidad aguda en aves: Alta; Ecotoxicidad crónica en aves: Alta; Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: Alta; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: Alta	Alerta máxima: Efectos de reproducción/desarrollo (13/06/2024)
metsulfuron metil	74223-64-6	H	Alerta máxima: GUS: Alta lixiviabilidad (GUS=3,28); Flujo de drenaje: muy móvil; DT50=10-13.3 días	Alerta moderada: Ecotoxicidad crónica en aves: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: moderada; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: moderada; Ecotoxicidad crónica para las lombrices de tierra: Moderada	Alerta moderada: Efectos de reproducción/desarrollo

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	US O	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	SALUD HUMANA
miclobutanil	88671-89-0	F	Alerta moderada: Moderadamente persistente (DT50=35-560 días); GUS: Estado de transición (GUS=1,99); Flujo de drenaje: Ligeramente móvil; Potencial de transporte ligado a partículas: Medio	Alerta moderada: Ecotoxicidad aguda en aves: Moderada; Ecotoxicidad crónica en aves: Moderada; Ecotoxicidad aguda en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: moderada; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: moderada; Ecotoxicidad aguda para las lombrices de tierra: Moderada; Ecotoxicidad crónica para las lombrices de tierra: Moderada	Alerta máxima: disruptor endocrino
oxamilo	23135-22-0	I-N	Alerta máxima: GUS: Estado de transición (GUS=2.23); Flujo de drenaje: muy móvil	Alerta máxima: Ecotoxicidad aguda en aves: Alta; Ecotoxicidad crónica en aves: Alta; Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: Alta; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: Alta	Alerta máxima: Toxicidad aguda en mamíferos: Alta; Disruptor endocrino; Inhibidor de acetil colinesterasa; neurotóxico
Pirimetaniil	53112-28-0	F	Alerta moderada: Moderadamente persistente (DT50=31,4-50,9 días); GUS=2,17: Estado de transición; Flujo de drenaje: Moderadamente móvil; Potencial de	Alerta moderada: Ecotoxicidad crónica en aves: Moderada; Ecotoxicidad aguda en peces: Moderada; Ecotoxicidad crónica en peces: Moderada; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad crónica de Daphnia: Moderada; Ecotoxicidad aguda para las lombrices de tierra: Moderada; Ecotoxicidad crónica para las lombrices de tierra: Moderada	Alerta moderada: Posible carcinógeno; Disruptor endocrino; Efectos de reproducción/desarrollo

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	US O	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	SALUD HUMANA
			transporte ligado a partículas: Medio		
Propiconazol					
spiroxamina	118134-30-8	F	Alerta moderada: Moderadamente persistente (DT50=25-52,4 días); Potencial de transporte ligado a partículas: Medio	Alerta máxima: Ecotoxicidad crónica en aves: Alta; Ecotoxicidad crónica en peces: Alta	Alerta moderada: Toxicidad aguda en mamíferos: Moderada; Toxicidad crónica en mamíferos: moderada; Efectos de reproducción/desarrollo
SYN546871 *)					
tebuconazole	107534-96-3	F	Alerta moderada: Moderadamente persistente; GUS: Estado de transición (GUS=1,86); Flujo de drenaje: Ligeramente móvil; Potencial de transporte ligado a partículas: Medio	Alerta máxima: Ecotoxicidad crónica en aves: Alta; Ecotoxicidad crónica en peces: Alta	Alerta máxima: Disruptor endocrino; Efectos de reproducción/desarrollo

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	US O	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	SALUD HUMANA
terbufos	13071-79-9	IN	Alerta moderada: Flujo de drenaje: ligeramente móvil GUS=1.25 DT50=8-12 días	Alerta máxima: Ecotoxicidad aguda en peces: Alta; Ecotoxicidad crónica en peces: Alta; Ecotoxicidad aguda de Daphnia: Alta; Ecotoxicidad aguda por lombrices de tierra: Alta	Alerta máxima: Toxicidad aguda en mamíferos: Alta; Inhibidor de acetil colinesterasa; neurotóxico (22/02/2024)
terbufos-sulfone	56070-16-7	I-N	Metabolito del terbufos. Se presume el mismo comportamiento, a menos que haya información que muestre otra cosa	Metabolito del terbufos. Se presume el mismo comportamiento, a menos que haya información que muestre otra cosa	H300 (100%): Mortal si se ingiere [Peligro Toxicidad aguda, oral] H310 (100%): Mortal en contacto con la piel [Peligro Toxicidad aguda, cutánea] H330 (100%): Mortal si se inhala [Peligro Toxicidad aguda, inhalación] Fuente: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Terbufos-sulfone#section=Safety-and-Hazards
Terbutrina	886-50-0	H	Alerta moderada: Moderadamente persistente (DT50=52-74 días); GUS=2,21: Estado de transición; Flujo de drenaje: Ligeramente móvil; Potencial de transporte ligado a partículas: Medio	Alerta máxima: Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: Alta	Alerta máxima: disruptor endocrino

PLAGUICIDA ENCONTRADO	NUMERO CAS	US O	DESTINO AMBIENTAL	ECOTOXICIDAD	SALUD HUMANA
Thiametoxam ³⁸ ,	153719-23-4	I	Alerta máxima: GUS: Alta lixiviabilidad (GUS=3,58); DT50=39-121 días; Flujo de drenaje: Móvil	Alerta máxima: Ecotoxicidad aguda por contacto con las abejas: Alta; Ecotoxicidad oral aguda en abejas: Alta	Alerta moderada: Toxicidad aguda en mamíferos: Moderada; Toxicidad crónica en mamíferos: Moderada
tiabendazol	148-79-8	F	Alerta máxima: Muy persistente (DT50=500-724 días); GUS=1,94; Potencial de transporte ligado a partículas: Alto	Alerta máxima: Ecotoxicidad crónica en peces: Alta	Alerta moderada: Toxicidad crónica en mamíferos: moderada; Posible carcinógeno; Efectos de reproducción/desarrollo

³⁸ Uno de los metabolitos importantes del tiametoxam es la clotianidida (Fan, Y. & Shi, X. Characterization of the metabolic transformation of thiamethoxam to clothianidin in Helicoverpa armigera larvae by SPE combined UPLC-MS/MS and its relationship with the toxicity of thiamethoxam to Helicoverpa armigera larvae. J Chromatogr B.1061, 349–355 (2017)) <https://www.nature.com/articles/s41598-018-33334-w#:~:text=Thiamethoxam%20is%20transformed%20to%20clothianidin,with%20its%20metabolite%20clothianidin6.>

Con base en la descripción de las características de peligrosidad publicadas en PPDB de los plaguicidas que se han detectado en concentraciones que superan los valores de referencia utilizados en este estudio, procederemos a resumir estas características, así como a señalar los puntos donde se reporta la presencia de dichos plaguicidas, con las alertas pertinentes, así como algunas sugerencias de acciones a tomar para corregir y prevenir la contaminación que se ha detectado en este proyecto.

Azoxistrobina, CAS N° 131860-33-8. Según se reporta en PPDB, el fungicida azoxistrobina presenta una toxicidad moderada para peces y artrópodos acuáticos, así como para abejas y lombrices de tierra, tanto en sus efectos agudos como crónicos. Similar nivel de peligrosidad presenta para la salud humana, en quienes se señala efectos sobre la reproducción y el desarrollo.

En el comportamiento ambiental de este fungicida, se caracteriza como una sustancia **persistente, con una vida media que oscila entre 84 y 363 días**. Aunado a lo anterior, se estima que tiene un **GUS=3.10, lo que indica que tiene un alto potencial de lixiviación**. Estas dos últimas características (alta persistencia y alto potencial de lixiviación) explican el por qué se le encuentra como contaminante de las aguas superficiales, pero también es una alerta del efecto adverso que puede producir a organismos no objetivo, a pesar de su moderada peligrosidad; pero su presencia por largo tiempo en cuerpos de agua podría provocar efectos adversos a los organismos más sensibles.

Una sustancia que tenga una vida media de hasta un año y que, a su vez, se utilice con frecuencia en el mismo sitio o la misma cuenca, podría producir un efecto de exposición frecuente a organismos no objetivo. Esta condición es conveniente que se tome en cuenta si se pretenden tomar acciones para reducir el efecto adverso del plaguicida en la zona de estudio.

La azoxistrobina se encontró en concentraciones que superaron los valores de referencia en los monitoreos del año 2023 y 2024 en la quebrada Queiebra Caña y, más preocupante aún, en la Laguna Gandoca, que es parte del Refugio de Vida Silvestre Gandoca-Manzanillo (año 2019). Dado lo anterior, es conveniente realizar una evaluación de campo, así como las condiciones de uso del plaguicida para buscar medidas para prevenir la contaminación ambiental con este plaguicida.

Clorotalonil, CAS N° 1897-45-6. El uso de este fungicida fue **prohibido en Costa Rica a partir de mediados del año 2024 debido a ser un frecuente contaminante de las aguas subterráneas para consumo humano**. Sin embargo, según resultados de análisis de aguas en la zona agrícola de Cartago, continúan apareciendo hasta 8 (ocho) metabolitos del plaguicida a más de 6 meses después de que (teóricamente) dejó de utilizarse. Por lo tanto, no es de sorprender que continúen apareciendo metabolitos de este plaguicida en las aguas del río Sixaola, aunque no esté en uso en la agricultura.

Desde el punto de vista de peligrosidad de este plaguicida, se le señala como un **disruptor endocrino, con efectos adversos para la reproducción y el desarrollo**. PPDB menciona una alerta máxima por su **alta toxicidad para peces y Daphnia**. En cuanto a su comportamiento ambiental, se considera una sustancia ligeramente móvil. Eso hace presumir que, muy probablemente, la contaminación de las aguas esté relacionado con el uso del químico muy cerca de cuerpos de agua o en terrenos relativamente permeables.

No obstante, para efectos de la valoración de eventuales acciones en la CBRS para prevenir los efectos de este plaguicida, lo que procede sería dar seguimiento al cumplimiento de la prohibición de uso, al menos para la zona agrícola de Costa Rica.

Metabolitos de clorotalonil fueron detectados en niveles de preocupación en la quebrada Quebra Caña (año 2022 y 2024). Considerando la prohibición del uso de clorotalonil en Costa Rica, se esperaría que en un mediano plazo dejen de aparecer estas sustancias en el ambiente.

Diuron. Este herbicida (CAS N° 330-54-1) se caracteriza por tener una **alta persistencia, con una vida media entre 146 y 229 días**. Presenta un **GUS=2.65**, lo cual lo hace tener un potencial relativamente alto para lixiviar. Desde el punto de vista de peligrosidad, se le señalan efectos adversos de **alta preocupación para la salud humana, al tratarse de un disruptor endocrino**. Desde el punto de vista ecotoxicológico, se menciona tener una toxicidad moderada tanto aguda como crónica para peces, artrópodo y lombrices de tierra. así como toxicidad moderada aguda para aves y abejas.

Se encontraron concentraciones de diuron superiores a los valores de referencia en la quebrada Quebra Caña, en el año 2023, pero también en concentraciones menores en el año 2024, así como en el río Carbón (2024), laguna Gandoca (2024) y en el río Sixaola, especialmente en California (2022, 2023 y 2024). O sea, es una plaguicida con presencia frecuente en los cuerpos de agua de esta parte de la CBRS.

Lo anterior muestra la necesidad de hacer una evaluación en la zona sobre el uso de este plaguicida en la agricultura, para tratar de reducir la exposición ambiental con la sustancia.

Fenamifos, CAS N° 22224-92-6. El insecticida-nematicida fenamifos pertenece al grupo de las sustancias organofosforadas, las cuales son ampliamente reconocidas por producir **afectaciones al sistema nervioso de los animales y personas** que puedan estar expuestas, ya sea durante las fases de aplicación, o mediante el consumo de agua o alimentos contaminados. Por esta razón, gran cantidad de plaguicidas organofosforados han sido prohibidos tanto en Costa Rica como a nivel mundial.

Las características de alta peligrosidad para humanos, así como para organismos silvestres no objetivo se refleja en el resumen publicado en la PPDB, que indica que este plaguicida tiene una **alta toxicidad aguda para mamíferos, con efectos adversos para la reproducción y el desarrollo, neurotóxico, inhibidor de la acetil colinesterasa**.

En relación con el riesgo para organismos silvestres, el plaguicida es de alerta máxima por su **alta toxicidad aguda para aves y artrópodos acuáticos (Daphnia), así como alta toxicidad aguda y crónica para peces, al igual que por exposición de las abejas**.

Según las características de comportamiento ambiental, se considera una sustancia moderadamente móvil, con un GUS=0.49 y una DT50=0.90 días, lo cual hace presumir que la sustancia tiene poca probabilidad de contaminar las aguas superficiales. En tal caso, la explicación que podríamos tener

para entender la presencia del fenamifos en las aguas superficiales de la CBRS es debido a un uso no apropiado en las fincas donde se aplica.

De cualquier forma, es conveniente evaluar la situación en campo y tomar medidas para prevenir la contaminación de las aguas superficiales, tomando en cuenta la alta peligrosidad del fenamifos para los organismos acuáticos.

En el transcurso de los estudios de este proyecto, se han detectado altas concentraciones de fenamifos en la quebrada Quebra Caña (año 2023), en niveles que ponen en riesgo a organismos no objetivo. Este hallazgo se suma a las alertas por alta contaminación de ese cuerpo de agua con residuos de plaguicidas.

Fenpropidin, CAS N° 67306-00-7. Este fungicida presenta características de **alta preocupación por sus efectos de toxicidad crónica para los mamíferos**. En el ámbito ecotoxicológico, es de moderada toxicidad aguda y crónica para aves, peces, artrópodos acuáticos, para abejas y lombrices de tierra. Desde el punto de vista de su comportamiento ambiental, el fenpropidin tiene un bajo potencial de lixiviación; sin embargo, tiene un alto potencial de transporte ligado a partículas. Es moderadamente persistente, con una vida media (DT50) entre 49.2 y 90 días. No obstante, si se calcula el período para su descomposición en un 90%, sería altamente persistente (478.4 días)

Al considerar las condiciones de persistencia del plaguicida se puede concluir que, si se utiliza con frecuencia, especialmente en cuerpos de agua con poco movimiento, puede provocar un severo efecto adverso a los organismos no objetivo más sensibles.

Residuos de fenpropidin se detectaron en la quebrada Quebra Caña, tanto en el año 2023 como en el 2024. En el primer caso, su concentración superó los valores de referencia. También se detectó este contaminante en el río Sixaola, a la altura de California (2022), pero hubo, además, en el transcurso del proyecto otras detecciones en niveles superiores al límite de detección, aunque por debajo del límite de cuantificación. Esto es una advertencia de probablemente haya más contaminación durante el año, ya que este monitoreo es puntual para un momento del año, pero no refleja el panorama durante todo el ciclo anual.

Imidacloprid, CAS N° 138261-41-3. Se trata de un insecticida del grupo de los neonicotinoides, los cuales se señalan por tener una **alta toxicidad para las abejas y otros polinizadores**; pero **también su toxicidad tanto aguda como crónica es alta para las aves**. Se indica también que podría tener **efectos adversos para la reproducción y el desarrollo humano**. Desde el punto de vista del comportamiento ambiental, se considera **persistente (DT50=174-171 días)**; **además tiene un GUS = 3,69**, lo que lo muestra que tiene una **alta lixivabilidad**.

Lo señalado son características de alta preocupación por los efectos adversos que esta sustancia tiene, especialmente para organismos silvestres, y por tener un muy alto potencial para contaminar el ambiente. Debido a estas características, el uso del imidacloprid se viene prohibiendo en muchos países, entre ellos la Unión Europea y Gran Bretaña.

Residuos de imidacloprid fueron detectados en una concentración superior a los valores de referencia en el año 2023 en la quebrada Quebra Caña. Ahí mismo también se reportó su presencia en el año 2024, en una concentración menor. Este es otro de los contaminantes al que hay que prestar atención, por su alta peligrosidad para organismos no objetivo; pero también porque en la quebrada Quebra Caña el coctel de plaguicidas detectado cada vez ha sido muy numeroso, lo que, en conjunto, está poniendo en riesgo a la vida silvestre.

Metsulfuron metil, CAS Nº 74223-64-6. Desde el punto de vista de afectaciones a la salud humana, este herbicida es de alerta moderada, especialmente debido a posibles efectos adversos para la reproducción y el desarrollo. En el ámbito ecotoxicológico, su toxicidad es también moderada para aves, peces, artrópodos acuáticos, abejas y lombrices de tierra. Desde el punto de vista de su comportamiento ambiental, esta sustancia es de alta preocupación, ya que tiene un alto potencial de lixiviación (**GUS=3,28**), **con un flujo de drenaje muy móvil**; aunque tiene una vida media de DT50=10-13.3 días (no persistente).

Las características de comportamiento ambiental señaladas, le dan una alta probabilidad de convertirse en un contaminante, especialmente si no se toman las medidas adecuadas, durante su aplicación, para prevenir esta contaminación.

Al evaluar la concentración encontrada de metsulfuron metil, en relación con valores de referencia para proteger la vida acuática, encontramos la presencia de altas concentraciones en el río Carbón, en el año 2024. Este hallazgo es de especial preocupación, ya que se trata de la parte un tanto alta de la cuenca, donde la presencia de residuos de plaguicidas no es frecuente; por lo tanto, sería conveniente tratar de orientar a los agricultores para prevenir el agravamiento de esta situación.

Más preocupante aún ha sido la detección de altas concentraciones de este plaguicida en la laguna Gandoca, que es parte del REGAMA, en los años 2022 y 2024, ya que se están poniendo en riesgo organismos silvestres en un área protegida oficialmente.

Una concentración superior a los valores de referencia se detectó también en el río Sixaola, a la altura de California.

De esta manera, a pesar de que el metsulfuron metil se caracteriza como una sustancia de moderada toxicidad, las concentraciones en que se ha detectado en varios de los cuerpos de agua monitoreados supera los valores de referencia, lo cual es una alerta sobre eventuales afectaciones a los organismos silvestres no objetivo.

Por lo tanto, se considera conveniente realizar una evaluación en la zona de estudio sobre el uso que se está dando al plaguicida, así como sobre las condiciones del registro, para valorar las acciones a tomar para detener la contaminación actual y prevenirla a futuro.

Spiroxamina. La Spiroxamina (CAS Nº 118134-30-8) es un fungicida sistémico con **una alerta máxima por su alta toxicidad crónica tanto para aves como para peces**. Su toxicidad para humanos es considerada moderada, por sus efectos agudos y crónicos para mamíferos, además de efectos adversos para la reproducción y el desarrollo humana, según indica PPDB. En su comportamiento

ambiental, se considera moderadamente persistente, con un DT50 de 25 a 52.4 días, además de tener un potencial medio de transporte de partículas.

En los monitoreos realizados en los años 2022, 2023 y 2024 se detectaron residuos de spiroxamina en la quebrada Quebra Caña; incluso, en los dos últimos años la concentración superó significativamente los valores de referencia para este plaguicida. Más preocupante aún es la detección de este plaguicida en la laguna Gandoca (parte del REGAMA), en los años 2023 y 2024. El primer año se detectaron trazas, pero en el siguiente la concentración superó los valores RAC de referencia.

En el río Sixaola, a la altura de California, la detección de la spiroxamina ha sido más frecuente (del 2022 al 2024) incluyendo concentraciones de preocupación por afectación a organismos no objetivo.

Terbufos y terbufos sulfone. Terbufos (CAS N° 13071-79-9) es otro de los plaguicidas pertenecientes al grupo de los organofosforados, considerados altamente tóxicos por su efecto neurotóxico para mamíferos. Por su parte, el terbufos sulfone (CAS N° 56070-16-7) es un metabolito, producto de la descomposición del terbufos. En tal circunstancia, haremos una sola descripción de peligrosidad de ambas sustancias según dos fuentes diferentes consultadas.

PPDB indica que el **terbufos** tiene más de 50 años de estar en el mercado y es de alerta máxima, debido a su **alta toxicidad aguda para los mamíferos, así como por ser neurotóxico, inhibidor de la colinesterasa**. En este mismo aspecto, las autoridades sanitarias de USA señalan que el **terbufos sulfone** es mortal si se ingiere (H300, según el SGA), es mortal en contacto con la piel (H310) y es mortal si se inhala (H330)³⁹

En relación con el riesgo para organismos silvestres, se indica una alerta máxima por su **alta toxicidad para peces (aguda y crónica), alta toxicidad aguda para artrópodos acuáticos y para lombrices de tierra**.

El flujo de drenaje es ligeramente móvil, con GUS=1.25 y DT50=8-12 días. Desde este punto de vista, la sustancia tendría poca probabilidad de contaminar las aguas superficiales, si se utiliza adecuadamente. Lo cual nos lleva a advertir la importancia de velar sobre el uso adecuado del terbufos en las fincas agrícolas para prevenir las afectaciones que puede provocar, especialmente para los peces y los artrópodos acuáticos.

De especial preocupación es la detección de residuos de terbufos y su metabolito el terbufos sulfone en las aguas superficiales monitoreadas. Según los reportes de laboratorio, se detectaron altas concentraciones de estos plaguicidas en el río Carbón (2024), en la quebrada Quebra Caña (2023 y 2024) y, una vez más, con gran preocupación, la presencia de concentraciones superiores al RAC en la laguna Gandoca, en los años 2022 y 2023. Esto es un llamado de alerta a prestar atención al uso del terbufos en la agricultura en la CBRS, y tomar acciones para reducir el impacto ambiental por el uso de este peligroso plaguicida.

³⁹ <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Terbufos-sulfone#section=Safety-and-Hazards>

Terbutrina, CAS N° 886-50-0. Este es un herbicida con 59 años de estar en el mercado, con características de preocupación por su poder de afectación a la salud humana, al considerarse un **disruptor endocrino**, así como para organismos silvestres, en particular **para las abejas, para quienes puede ser altamente tóxico de forma aguda por contacto**. Es una sustancia considerada moderadamente persistente en el ambiente, con una DT50=52-74 días. Tiene un GUS=2.21 que lo ubica en un nivel medio en su capacidad de lixiviación.

Con las características descritas, se puede presumir que la presencia de terbutrina como contaminante en las aguas superficiales, pone en riesgo a organismos silvestres y, probablemente, se debe a un uso no apropiado de la sustancia, sin considerar sus características de comportamiento ambiental.

La terbutrina es uno de los plaguicidas que apareció con mayor frecuencia en los muestreos realizados en este proyecto, especialmente durante la línea base, realizada en el año 2019. Se reportó en el río Telire (tanto en la parte alta como en la desembocadura del Uren), en el río Yorkin, en el río Sixaola (a la altura de Margarita), en la quebrada Quebra Caña, en el río Sixaola, tanto en el puente binacional como en California. La mayor parte de detecciones estuvo por debajo del valor RAC de referencia, excepto lo detectado en la quebrada Quebra Caña y California, que fueron concentraciones de preocupación por posibles efectos adversos para organismos no objetivo.

Dada la frecuencia de detección de residuos de terbutrina en la zona de estudio, se considera conveniente evaluar la forma de uso de la sustancia para prevenir futuras contaminaciones y afectaciones ambientales.

CULTIVOS QUE PODRÍAN ESTAR INVOLUCRADOS EN USO DE PLAGUICIDAS ENCONTRADOS.

Con la finalidad de entender el origen de los residuos de los plaguicidas encontrados en las aguas estudiadas, hemos investigado a través del registro de plaguicidas de uso agrícola del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Costa Rica⁴⁰, los cultivos para los cuales han sido registrados estos plaguicidas. El registro de plaguicidas en Costa Rica se rige por la Ley 7664 y sus reglamentos.

Para conocer los plaguicidas registrados en Panamá se recurrió a la página web oficial del Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA) de la República de Panamá⁴¹

2,4-D. Uso autorizado según los registros oficiales.

⁴⁰ INSUMOSYS, Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Costa Rica (<https://app.sfe.go.cr/SFEInsumos/asp/Insumos/ConsultaRegistroPlaguicida.aspx>)

⁴¹ Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), Dirección Nacional de Sanidad Vegetal, Listado de Insumos fitosanitarios (con corte al 14/06/2023). <https://mida.gob.pa/sanidad-vegetal-2/>

El 2,4-D es un **herbicida** especializado en el control de hierbas de hoja ancha. Según los registros del SFE, el 2,4-D está autorizado para usarse en los siguientes cultivos: **abelia hibrida, arroz, café, caña de azúcar, maíz, nuez, palma aceitera, pasto, pasto bromo, piña y sorgo.**

Al ver la lista anterior, se puede presumir que en la zona de estudio este herbicida se estaría utilizando en **cultivos de maíz o pastos**, ya que los demás cultivos de la lista no son comunes en la zona. Lo otro que se podría presumir es que hay un uso no autorizado del plaguicida, en otros cultivos, lo cual es una práctica frecuente en Costa Rica, dados los débiles controles oficiales existentes, aunados a la escasa asistencia técnica especializada que se brinda a los agricultores.

Es una tarea importante para el proyecto conocer más a fondo el uso que hacen los agricultores de este plaguicida, así como las medidas para hacer un uso apropiado que reduzca la contaminación ambiental detectada.

En el mercado costarricense hay 103 nombres comerciales de plaguicidas que contienen el herbicida 2,4-D; entre ellos los siguientes:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
2,4-D DAF 60 SL	HA -48 SL
2,4-D 60 SL	HA 72 SL
2,4-D 72 SL	Hedonal 68,3 SL
2,4-D DAF 40 SL	Hedonal 72 SL
4*4 60 SL	Helm 2,4-D Amina 60 SL
A.S.6 60 SL	HERBAMAX 60 SL
Academix 60 SL	HERBAMAX 72 SL
AGROCOM 60 SL	HERBOLEX 30.4 SL
Agromart 2.4-D 60 SL	HORMONIL 60 SL
AGROMINA 60 SL	HORMOVIT 60 SL
Agroz 2,4-D 40 SL	KURON 16 SL
AGROZAMORANOS 2,4-D 40 SL	Limpiapotrero 36 SL
AGROZAMORANOS 2,4-D 60 SL	MARMAN 24 DE 40 SL
AMINACOOOP 60 SL	Matamina 60 SL
AMINAMART 40 SL	Matamonte 50,6 SL
AMINAMART 60 SL	MEGA 2,4-D 60 SL
Aminaroc 72 SL	
Aminex 60 SL	Mitch 101 30.4 SL
Aminex 72 SL	Mitch 30,4 SL
ANIMAL 60 SL	Navajo 30,4 SL
Arbuskip 16 SL	Nelore 60 SL
Arronex Propanil + 2,4-D 54 EC	Nufarm 2,4-D 60 SL
BANVEL 46.5 SL	Paso D 30,4 SL
BATON 80 SP	PASTAR 36 SL
Biokim 2.4-D 60 SL	Pastoreo 60 SL
Bioquim Herbikil 48 SL	Pestinex 2,4-D 60 SL
BIOQUIM PICLOR 30.4 SL	Potreron 30,4 SL
	PRADERA 72 SL

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Bullgrass 16 SL	PRINCEP 2,4-D 60 SL
Bullgrass 30,4 SL	RANCHERO 24 SL
Bullgrass 7,5 SL	Revancha 50 SL
CAÑAMINA 60 SL	Rimac 2,4-D 60 SL
Casagri 2,4-D 60 SL	Rimac Propanil+2,4-D 54 EC
Cash 7,5 SL	RIMAXIL 40 SL
Combatran 24 SL	Rimaxil 60 SL
Crisamina 60 SL	Rimaxil 72 SL
CROSSER 16.5 SL	Rimaxil M 60 SL
Defensa 30.4 SL	Sanzir 60 SL
Dimaxine 60 SL	SERACSA 2,4-D 40 SL
DMA 45.6 SL	SERACSA 2,4-D 60 SL
DMA 68.3 SL	Sharda 2,4-D 60 SL
Dominal 40 SL	SHERIFF 16 SL
Dominal 48 SL	Soldado 101 30.4 SL
Dominal 60 SL	
Dominal 72 SL	SUPERAGROMINA 72 SL
DUCLAR 16 SL	Telvar 7.5 SL
ESCOLITE 60 SL	TORAM 101 30.4 SL
Esteron 40 SL	TORDON 30,4 SL
FENOXAL 48 SL	Totem 60 SL
FLASH 7.5 SL	Totem 72 SL
FQ- 60 SL	VULCAN 60 SL
Fullmina 60 SL	Weedmaster 46,5 SL
Galloper 52,9 WP	

Por otra parte, en Panamá hay 140 plaguicidas comerciales registrados que contienen 2,4-D:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
2,4-D + PICLORAM 30,4 SL	GALLOPER 52,9 WP
2,4-D 60 SL	GESAMINA 60 SL
2,4-D 60,2 SL	GLIFOSATO + 2,4-D 39,8 SL
	GOLDSPRAY 76 SL
2,4-D AMINA 60 SL	HELMATON SUPER 26 SL
2,4-D AMINA 60 SL	HERBAMAX 60 SL
2,4-D AMINA PROFICOL 72 SL	HERBAMAX 72 SL
2,4-D COLINA 76 SL	HERBASOL 7,5 SL
2,4-D COLINA 90 SG	HERBIKIL 48 SL
2,4-D DMA 72 SL	HERBOLEX 30,4 SL
	HIERBAFIN 30,4 SL

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
2,4-D+ AMINOPYRALID 36 SL	HORMONIL 60 SL
2,4-D+DICAMBA 41 SL	HURACAN 16 SL
2-4-D 72 SL	HURACAN 30,4 SL
AGROAMINA 72 SL	INFALIBLE 38,3 SL
AGROAMINA 72 SL	IOXITRIL 70 EC
AGROCOMBI 48 SL	KAMBA MASTER 39,9 SL
AGROMINA 60 SL	KURON 16 SL
AGRORESCUE 36 SL	LIGUSTRO 40 ME
ALFAMINA SUPER 72 SL	LIMPIA POTRERO 36 SL
AMERDON 30,4	M - UNO 20 SL
AMINA GOLD 72 SL	MATAMINA 60 SL
AMINAL 86 SL	MONTURA 30,4 SL
AMINAX SUPER 36 SL	NICOFOR PLUS 15 SE
AMINEX 60 SL	PADRON 13,5 SL
AMINEX 72 SL	PASTAR ® D 36 SL
APOLLO 18,9 SL	PASTAR 36 SL
ARRANQUE 36 SL	PASTIZAL 16 SL
ARRANQUE 45 SL	PASTIZAL 30,4 SL
ARTYS 30,4 SL	PICLORAZELL 30,4 SL
ASIMIX 72 SL	PICLORDON 48,7 SC
BANDANA ® 72 SL	POTRERO 60 SL
BATON 80 SP	POTRERON 30,4 SL
BEEF MASTER 30,4 SL	QUORUM 16 SL
BEST CCEM 2,4-D + PICLORAM 27 SL	RECOIL 31,8 SL
BEST CHEM 2,4-D + PICLORAM 7,5 SL	RELAMPAGO 16,5 SL
BIOQUIM 2,4-D 60 SL	REVANCHA 50 SL
BIOQUIM PICLOR 30,4 SL	RIDONA 75 SG
BOMBAZO 24,4 SL	RIDONA LITE 51 SL
BRAMGUS 30,4 SL	RIMAXIL 60 SL
BREVE 7,5 SL	RIMAXIL M 60 SL
BULLGRASS 30,4 SL	SEMBRO FICLORAM 30,4 SL
CAMPO 2,4-D 72 SL	SHARDA 2,4D + AMINOPIRALID 36 SL
CAMPO-GAN 30,4 SL	SOCIO 72,37 SL
CAMPORALIYD 18,9 SL	SOLDADO 101 30,4 SL
CENTROL 70 EC	STELLAR 16,5 SL
COMBATRAN 24 SL	SUPER AGROMINA 72 SL
COMBATRAN 24 SL	SUPERGRASS 30,4 SL
COMBATRANXT 22,5 ME	TALION 30,41 SL
CROSSER 16,5 SL	TERRANO D 18,9 SL
CROSSER D 18,9 SL	THORMAX 30,5 SL
CUATRO X CUATRO 60 SL	TIFON 36 SL
DEBUT 42 SL	TIFREN 18,9 SL

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
DEFENSA 30,4 SL	TORAM 101 30,4 SL
DESTELLO 16,5 SL	TORBAN 30, 4 SL
DICAMZELL 48,8 SL	TORBAN PRO 90 SG
DIFERON 72 SL	TORBAN PRO 90 SG
DIMASTER 46,5 SL	TORDON 30,4 SL
DIMASTER XTRA 90 SG	TORDON XT 26 SL
DIMAXINE PRO 80 SG	TORIL 36 SL
DMA 68,3 SL	TORON 101 30,4 SL
DOSAMINA 72 SL	TOTEM 60 SL
ELIMINA 60 SL	TOTEM 72 SL
ELIMINA 72 SL	TRONADOR D 18,9 SL
ESPUELA 30,4 SL	TRONADOR 18,9 SL
ESPUELON 30,5 SL	TRUENO D 36 SL
ESTRELLA 7,5 SL	TUMBADOR 30,4 SL
ESTRIBO 38,3 SL	VENUSPRAY 90,6 SG
FENOXAL 48 SL	WEEDPLUS 46,5 SL
FLASH 7,5 SL	XTERMINA 45 EC
FORAM 16,5 SL	XTERMINA 90,5 EC

De esta manera, el herbicida 2,4-D es posiblemente el plaguicida con mayor oferta de productos comerciales, tanto en Costa Rica como en Panamá.

Nota: En estos y los siguientes cuadros, hemos resaltado con negrita en ambos cuadros (de Costa Rica y Panamá) algunos de los plaguicidas que están registrados en ambos países con los mismos nombres

Ametrina. Uso autorizado según los registros oficiales.

Los cultivos para los que está autorizado el uso de este **herbicida**, de acuerdo con los registros del SFE, son: **algodón, banano, caña de azúcar, cítricos, maíz, piña y plátanos**. Con base en esto, se presume que en la zona de estudio los cultivos donde se utiliza mayormente la ametrina pueden ser **banano, plátano y maíz**.

La oferta de productos comerciales que contienen ametrina en Costa Rica es la siguiente:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Ampax 50 SC	Exprone 80 WG
AMETREX 50 SC	Gesapax 50 SC
Ametrex 80 WG	GESAPAX 80 WG
Ametrex 80 WP	JEQUE 50 SC
Ametrina 50 SC	Krismat 75 WG
Ametrol 50 SC	MAITRINA 50 SC
Ametrol Facil 80 WG	MARMATRINA 50 SC
AMIGAN 50 SC	MARMATRINA 80 WP

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Amigan 65 WG	PBC AMETRINA 50 SC
AMIGAN 65 WP	Pronto 50 SC
Bioquim Herbastop 50 SC	Razor 50 SC
Colono Ametrina 50 SC	RIMAC AMETRINA 50 SC
CRISATRINA 50 SC	RIMAC AMETRINA 80 WG
DIMETRIN FACIL 80 WG	SELLAPAX 50 SC
DPA AMETRINA 50 SC	SELLAPAX 80 WG
Drexel Ametrina 50 SC	Sugarpax 50 SC
DVA AMETRINA 50 SC	Uranus 50 SC

En Panamá la ametrina se encuentra en la siguiente lista de plaguicidas formulados:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
AMAZINA 50 SC	BIOQUIM HERBASTOP 50 SC
AMEPRIX 50 SC	CAMPO-AME 50 SC
AMEPRIX 80 WG	CAÑATREX 65 WG
AMETRELL 50 SC	DEVASTADOR 75 WG
AMETREX 50 SC	DIMETRIN FACIL 80 WG
AMETREX 50 SC	DREXEL AMETRINA 50 SC
AMETREX 80 WG	DUSTER 50 SC
AMETRINA 50 SC	ENFOKE XTRA 75 WG
AMETRINA 50 SC	GESAMETRINA 80 WG
AMETRINA 80 WG	GESAPAX 80 WG
AMETRINA 80 WP	JEQUE 50 SC
AMETRINA 80 WP	KRISMAT 75 WG
AMETRINA 80 WP	RIMAC AMETRINA 50 SC
	SELLAPAX 50 SC
AMETRINA HANSEANDINA 50 SC	SEMBRO AMETRINA
AMETROL 50 SC	SINERGE 50 EC
AMETROL FACIL 80 WG	SUGAR TR YN 65 WG
AMIGAN 65 WG	SUGARPAX 50 SC
BARCANE 75 WG	

Azoxistrobina. Uso autorizado según los registros oficiales.

El **fungicida** azoxistrobina está registrado en Costa Rica para usarse en los siguientes cultivos: arroz, banano, café, cebolla, chile dulce, frijol, helecho rumohra, melón, papa, papaya, sandía, tomate, zanahoria. De esta lista, se presumiría que el producto se está utilizando en banano y tal vez frijol y papaya.

Para uso en la agricultura, en Costa Rica hay nueve registros de productos comerciales:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Affix 50 WG Amistar 50 WG Bankit 25 SC BIOQUIM MISTRAL 25 SC Combistar 50 WG	Combistar Mix 28 SC Custodia 32 SC Mirador 25 SC Mistral Extra 32 SC

A su vez, en Panamá están registrados 79 plaguicidas comerciales que contienen azoxistrobina:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
ABATON 32,5 SC ACENTOZELL 32 SC ACROBI OPTI 56 SC ACROBI TOP 32,5 SC ACTIVPRO 29,5 SE ADICONSTAR 32,5 SC AFFIX 50 WG AGROPIONNER 37 SC AGRORAID 32 SC AGROSTAR 80 WG AGROZOLE PLUS 28 SC AGROZOLE PRO 20 + 12,5 SC AMISTAR 50 WG AMISTAR FULL ® 60 SC AMISTAR TOP 32,5 SC AMISTAR XTRA ® 28 SC AMIZELL 28 SC ASTROBIN 80 WDG AZOCONAZOL XTRA 28 SC AZOTELA MAX 85 WG AZOTELA MAX 85 WG AZOX 25 SC AZOXISTROBINA 25 SC AZOXSTAR 28 SC AZOXYSTROBIN 50 WG AZTROSTAR 80 WG AZTROSTAR XTRA 28 SC AZTROSTAR XTRA 84 WG BANKIT 25 SC BEST CHEM AZOXISTROBIN+CYPROCONAZOLE 28 SC CAMPO-STAR MIX 28 SC CAVALIER 32,5 SC	GLORY 75 WG GRADUATE ® 47,79 HELMSTAR 50 WG HELMSTAR PRISMA 32,5 SC HYPER 28 SC IMPERIO 32,5 SC KAMIKAZE 32 SC MANCUERNA 28 SC MANCUERNA PLUS 28 SE MISTICO 25 SC MISTRAL EXTRA 32 SC MIXBOM 32,5 SC NANOZELL 25 SC OSIRIS 32,5 SC PAGROSTAR F 32,5 SC PARADOR 25 SC PARADOR 50 WG PERSEO 32,5 SC PORTERO 25 SC RICECLEAN 75 WG RIDOLAXYL 39,1 SE RUMBA 28 SC SCANNER 37 SC SEMBRO TABUS 50 WG SHARDA AZOXISTROBINA 50 WG SPARTAZUR 56 SC TANDEM 40 SC TIAGO GOLD 32,5 SC TIRO 27 EC TOPGUN 34 SE TRIDIUM 70 WG TURBO 25 SC URGENTE 50 WG

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
COMPA DUO 84 WG	VERTIGO 32,5 SC
COSMOPOL 32,5 SC	WILSTAR GOLD 48 SC
CUSTODIA 32 SC	XPERTO GOLD 50 SC
DIFENOBIN 32,5 SC	XSTRATA 25 SC
DURAB 32,5 SC SC	XSTRATA GOLD 24 SC
EIZIT GUADAGRO 25 SC	XYSTROZELL 50 WG
FLUTOLIN PLUS 60 WG	ZOXIKILL EXTRA 28 SC

Aunque por los valores toxicológicos parece que la azoxistrobina no es altamente tóxica; sin embargo, el reporte del laboratorio mostró una concentración muy alta en las aguas superficiales, que incluso **superó en más de dos veces el valor de referencia para proteger los organismos acuáticos, conocido en Europa como RAC** (Regulatory Acceptable Concentration). Esto es, posiblemente, el resultado del uso no adecuado del fungicida, a lo que es conveniente prestar atención.

Boscalid. Uso autorizado según los registros oficiales.

El boscalid es un **fungicida** registrado en Cosa Rica para uso en los cultivos de banano, frijol, melón, papaya, plátanos, sandía, tomate, zanahoria.

Solo se observan dos productos comerciales registrados para uso en la agricultura en Costa Rica:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Bellis 38 WG	Cumora 50 SC

Por su parte, en Panamá hay 13 marcas comerciales de plaguicidas que contienen boscalid:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
AGROBOSS 50 SC	BOXEADOR 38 WDG
AGROBOSS 50 WDG	CAUTELA 50 WG
AVALANCHA 50 SC	CAUTELA 50 WG
BELLIS ® 38 WG	CUMORA 50 SC
BOSBEL 38 WG	ESSENCE 87 WG
	PATRIMONY 87 WG
BOSSWIDE 38 WG	TWIN 38 WG

Carbendazim. Uso autorizado según los registros oficiales

Este **fungicida** está registrado en Costa Rica para uso en los siguientes 34 cultivos: aguacate, ajo, apio, arroz, ayote, banano, brócoli, café, cebolla, chayote, chile dulce, cítricos, coliflor, espárrago, fresa, frijol, helecho rumohra, lechuga, macadamia, mango, maní, melón, ornamentales, ornamentales de flor, papa, pepino, piña, plátanos, remolacha, repollo, rosa, sandía, tomate y zanahoria.

Con base en la lista anterior, estimamos que en la CBRS el carbendazim podría estarse utilizando en los **cultivos de banano y plátano, así como en frijol**. Los demás cultivos son de menor importancia en dicha zona.

Hay registrados 41 productos comerciales que contienen el ingrediente activo carbendazim para uso en la agricultura en Costa Rica:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
AGROCOM CARBENDAZIM 50 WP	Formuquisa Carbendazim 50 WP
Agromart Carbendazim 50 WP	Formuquisa Carbendazina 3 GR
AZOTE CARBENDAZINM 50 WP	HELMISTIN 50 SC
Biocarben 50 SC	Kanter 50 SC
Biocarben 50 WP	KANTER 50 WP
Carbecol 50 SC	Karbenzim Plus 50 SC
Carben 50 SC	LIBULAC 50 SC
Carbendazim 50 SC	Luxazim 50 SC
Carbendazina FQ 50 SC	ONIX 25 SC
Carbistin 50 SC	Pilarstin 50 WP
Concordia 52.5 SC	PISCIS CARBENZIM 50 WP
COZAID 50 SC	Rimac Carbendazin 50 WP
CPCP Carbendazin 50 WP	Rodazim 50 SC
Craker 50 SC	SERINALE 500 50 SC
Crizeb 50 SC	Sharda Carbendazina 50 WP
CROTONOX 50 SC	SOPRANO-C 25 SC
Curacarb 50 SC	Vertice 50 SC
DEROSAL 50 SC	Vondocarb 52.5 SC
ELIXIR 50 SC	VONDOCARB 74 WP
Eminol 50 SC	Zincoman 52.5 SC
Fedecoop Carbendazina 50 SC	

En Panamá son 36 los plaguicidas comerciales formulados con base en carbendazim que están registrados ante el MIDA con los siguientes nombres:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
BENDAZIM 50 SC	ELIXIR ® 50 SC
BIOCARBEN 50 SC	EPOXICARB XTRA 80 WG
CALIDAN 26,25 SC	EPOXICONAZOL + CARBENDAZIM 80 WG
CAMPO CARZOL 37,5 SC	FUNGICAR DUO 25 SC
CAMPO SEGURO 25 SC	GOLDAZIM 50 SC
CAMPO-CARB 50 SC	HELMISTIN 50 SC
CARBEN 80 WG	KEMPRO 25 SE
CARBENDAZELL 50 SC	LUXAZIM 50 SC
CARBENDAZIM 50 SC	ONIX 25 SC
CARBENDAZIM 50 SC	PAGROVIENTO 25 SC

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
CARBENDAZIM HANSEANDINA 50 SC	PANDAZIM 50 SC
CARBENDAZINA 50 SC	PORTO 37,5 SC
CROTONOX 50 SC	PROTEXIN 50 SC
DEROSAL 50 SC	RIMAC CARBENDAZIM 50 WP
DEROXIM PRO 80 WG	SAAF 75 WP
DEROZIM 50 SC	SUNDAZIM 50 WP
DICARNID 50 SC	VONDOCARB 52,5 SC
	XPERTO GOLD 50 SC
	ZINCOMAN 52,5 SC

Clorotalonil. Uso autorizado según los registros oficiales

El **fungicida** clorotalonil está registrado ante el SFE para ser utilizado en un total de 50 cultivos en todo el país. A saber: ajo, apio, arroz, ayote, banano, berenjena, brócoli, cacao, café, cebolla, chayote, chile dulce, ciruela, cítricos, col de Bruselas, coliflor, crisantemo, dracaena, durazno, frijol, geranio, helecho rumohra, iris, lechuga, maíz, mango, maní, maracuyá, melocotón, melón, ornamentales, ornamentales de flor, ornamentales de follaje, palma aceitera, papa, papaya, pepino, plátanos, puerro, remolacha, repollo, rosa, sandía, soya, tomate, vainica, zanahoria, zapallo, zinnia, zucchini

De la lista anterior, se puede estimar que en la CBRS se utilizaría en los **cultivos de banano, cacao, frijol, maíz y plátano**, principalmente, ya que los demás cultivos son menos probables en la zona, al menos en extensiones comerciales.

Según el SFE, hay registrados 70 productos formulados que contienen este ingrediente activo, con los siguientes nombres:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Acrobat CT 60 SC	FEDECOOP CLOROTALONILO 75 WP
AG CLOROTALONIL 72 SC	FENIKS 62,5 SC
AGROCOM CLOROTALONIL 75 WP	FOLIO GOLD 44 SC
AGROMART BRADANIL 75 WP	Formuquisa Clorotalonil 72 SC
AMCONIL 72 SC	FORMUQUISA CLOROTALONIL 75 WP
AZOTE CLOROTALONIL 50 SC	Galeon 60,8 SC
AZOTE CLOROTALONIL 75 WP	GLIDER 72 SC
BALEAR 72 SC	Griffin Clorotalonilo 50 WP
Benzonil 60 WP	HELMONIL 72 SC
Biomil 50 SC	KAL-SIL 72 SC
Biomil 72 SC	Kinght 50 SC
Biomil 75 WP	Knight 72 SC
Bioquim Clorotalonil Dimetomorf 60 SC	Knight Plus 72 SC
BRADANIL 50 SC	Morfat CT 60 WP
BRAVO 50 SC	Odeon 72 SC
BRAVO 72 SC	ODEON 72 SC

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Bravo 82.5 WG Bravonil 72 SC CADONIL 50 SC Clorotal 50 SC Clorotal 72 SC CLORTOSIP 50 SC Clortosip 72 SC Cuprostar 63,4 SC Dacomax 72 SC Dacomax 75 WP Daconil 2787 - 75 WP Daconil 50 SC Daconil 82.5 WG Daconil 72 SC DAF CLOROTALONIL 50 SC DAF Clorotalonil 75 WP Diligent M-CT 81 WP Echo 500 50 SC Echo 72 SC Echo 90 WG	ODEON 82.5 WG PBC Clorotalonil 50 SC PBC Clorotalonil 75 WP Protal 72 SC Ridonate 50 SC Ridonate 72 SC Rimac Clorotalonil 50 SC Rimac Clorotalonil 72 SC Sharda Clorotalonil 75 WP Sphinx Supra 48 WG TALONIL 72 SC THALONEX 50 SC Thalonil Plus 50 SC Transmerquim Clorotalonil 75 WP Visclor 72 SC Visclor 50 SC Visclor 75 WG Vondonil 72 SC

Por otra parte, en Panamá son 56 los plaguicidas formulados registrados ante el MIDA para venta comercial que contienen clorotalonil:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
ACROBAT CT 60 SC ACROBI OPTI 56 SC AGROSHIELD 60 SC BALEAR 72 SC BIOMIL 72 SC BIOMIL 75 WP BRADANIL 72 SC BRANADIL 72 SC BRAVO 72 SC BRAVO 82,5 WG BRAVONIL ® 72 SC CAMPO-NIL 72 SC CENTURY 80 WP CHENEY 42,5 SC CLOROTALONIL 72 SC CLOROTALONIL 50 SC CLORTOSIP 72 SC	GLIDER 72 SC HELMONIL 72 SC KNIGHT 72 SC MAPCLORYL 72 SC MATSU 63,5 SC MAXIMUS 50 SC METANIL 81 WP MIXTAN 60 SC NOVOFIX RF 75 WG ODEON 72 SC ODEON 82,5 WG PANONIL 72 SC PRIX 50 SC PRIX 72 SC REVUS OPTI ® 44 SC REVUS OPTI ® 44 SC RIDOMIL GOLD BRAVO ® 44 SC

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
CONTACT-PRO 72 SC	RIDOMIL GOLD BRAVO 44 SC
CURAVIT 80 WP	SPARTAZUR 56 SC
DACOMAX 72 SC	SPHINX SUPRA 48 WG
DACOMAX FORTE 90 WP	TALONIL 72 SC
DACONIL 82,5 WG	TALONIL 72 SC
DIACONO 75 SC	THALO 72 SC
DIACONO 75 SC	THALONEX 50 SC
DICLOZELL 60 SC	TILETION 72 WP
FENOMENO 75 WP	TRECATOL 48 WP
FIGHT CT 60 SC	VELONIL 72 SC
FOLIO® GOLD 44 SC	WILSTAR GOLD 48 SC

En el monitoreo de aguas en la CBRS no se encontraron residuos de clorotalonil, pero se detectó CTB⁴², el cual es un metabolito del citado plaguicida.

Clotianidina. Uso autorizado según los registros oficiales.

El **insecticida** clotianidina **no figura en la lista de registros de plaguicidas de uso agrícola** en Costa Rica ni en Panamá. Sin embargo, se conoce que la clotianidina es un metabolito que se produce durante el proceso de descomposición del **tiametoxam**^{43, 44, 45}. Esto explicaría su presencia en las aguas del río Sixaola, ya que también se encontraron residuos de tiametoxam; por lo tanto, haremos énfasis en los cultivos para los cuales está registrado el tiametoxam en vez del metabolito.

De cualquier forma, se debe resaltar que la clotianidina es también un plaguicida con un fuerte efecto tóxico para organismos no objetivo de control, como artrópodos acuáticos e insectos polinizadores. Esta sustancia tiene características físico-químicas de preocupación por cuanto pueden afectar el ambiente, como tener un alto potencial de lixiviación (GUS=3.74) con alta persistencia, reflejada en una prolongada vida media (DT50=121-545 días). Estas dos características, aunadas a una alta toxicidad para insectos, son de preocupación para la protección ambiental. Así

⁴² CTB = 1,3-dicarbamoil-2,4,5,6-tetraclorobenceno, un metabolito del fungicida clorotalonil

⁴³ Liu, N., Pan, X., Yang, Q. et al. The dissipation of thiamethoxam and its main metabolite clothianidin during strawberry growth and jam-making process. *Sci Rep* 8, 15242 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33334-w>. (<https://www.nature.com/articles/s41598-018-33334-w#:~:text=Thiamethoxam%20is%20transformed%20to%20clothianidin,with%20its%20metabolite%20clothianidin6.>)

⁴⁴ M. Coulon, F. Schurr, A.-C. Martel, N. Cougoule, A. Bégaud, P. Mangoni, A. Dalmon, C. Alaux, Y. Le Conte, R. Thiéry, M. Ribière-Chabert, E. Dubois, Metabolisation of thiamethoxam (a neonicotinoid pesticide) and interaction with the Chronic bee paralysis virus in honeybees, *Pesticide Biochemistry and Physiology*, Volume 144, 2018, Pages 10-18, ISSN 0048-3575, <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.10.009>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048357517301633>)

⁴⁵ ANASAC. Hoja de datos de seguridad ORBITA SC (Tiametoxam+Lambda Cihalothrina) (<https://www.anasac.cl/agropecuario/wp-content/uploads/ORBITA-SC-HDS.pdf>)

también es de preocupación por el efecto que pueda provocar en humanos, ya que se indica que la sustancia produce efectos neurotóxicos.

Estas preocupaciones deben asociarse también con el plaguicida tiametoxam del cual se deriva la clotianidina.

Diazinon. Uso autorizado según los registros oficiales

El **insecticida** diazinon está registrado en Costa Rica para ser utilizado en los cultivos de banano, brócoli, café, caña de azúcar, cebolla, chile dulce, cítricos, coliflor, fresa, frijol, hortalizas, lechuga, maíz, mango, melón, ornamentales, papa, papaya, pastos, pepino, piña, plátanos, repollo, sandía, sorgo, tabaco y tomate.

Los plaguicidas comerciales que contienen diazinon, autorizados para la venta en Costa Rica, son 26:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Biokim Diazinon 60 EC	Duwest Diazinon 60 EC
Colono Diazinon 60 EC	KNOX OUT 2 FM 24 CS
CRISAPON 60 EC	Piñorel 60 EC
DANOL 60 EC	RIMAZINON 10 GR
DIAZIFOR 60 EC	RIMAZINON 60 EC
DIAZINON DAF 10 GR	Seracsa Diazinon 60 EC
Diazinon daf 60 EC	Tekla 60 EC
Diazol 50 EW	TERCIOPELO 10 GR
DIAZOL 60 EC	TERCIOPELO 60 EC
Diazol 60 EW	Transmerquim Diazinon 60 EC
Diazolution 10 GR	
DIAZOLUTION 60 EC	Vibora 60 EC
Dicarmid 60 EC	Zinoncoop 60 EC
Drexel Diazinon 60 EC	

En Panamá hay registrados 17 plaguicidas comerciales formulados con base en diazinon:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
<i>AGROMART DIAZINON 60 EC</i>	<i>DIAZINON 60 EC</i>
<i>BIOKIM DIAZINON 60 EC</i>	DIAZOL 60 EC
<i>CORSARIO 22,5 EC</i>	<i>DIZOL 60 EC</i>
DANOL 60 EC	DREXEL Diazinon 60 EC
<i>DIASH 50 EC</i>	<i>PAGROZINON 60 EC</i>
<i>DIAZID 60 EC</i>	RIMAZINON 10 GR
DIAZINON DAF 60 EC	RIMAZINON 60 EC
<i>DIAZINON 50 EC</i>	<i>SUNDIAZINON 60 EC</i>
<i>DIAZINON 60 EC</i>	

El **diazinon es considerado un plaguicida altamente peligroso** tanto para organismos silvestres como para el ser humano, según se observa en PPDB⁴⁶. Dada su peligrosidad, la EPA de USA tiene al diazinon entre los **productos de uso restringido**⁴⁷ (**RUP** por sus siglas en inglés); así también el Departamento de Protección Ambiental del Estado de Florida⁴⁸ tiene una norma con un muy bajo nivel de tolerancia para este plaguicida en el agua superficial, el cual es tres veces inferior al nivel de contaminación que se detectó en las aguas del río Sixaola. Esto es importante de tomar en cuenta en este proyecto.

Difenoconazol. Uso autorizado según los registros oficiales.

El **fungicida** difenoconazol está autorizado en Costa Rica para ser utilizado en los siguientes cultivos: arroz, banano, café, cebolla, cítricos, helecho pteris, helechos, melón, naranja, papaya, plátanos, tomate y zanahoria. De estos cultivos, se estima que en la CBRS se utiliza en los **cultivos de banano y plátano**.

En el mercado costarricense están autorizados un total de nueve plaguicidas formulados que contienen difenoconazol, según el siguiente listado:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Bioquim Difenoconazole 25 EC	Paladium 25 EC
Brisk 50 EC	SCORE 25 EC
Divino 25 EC	Sico 25 EC
GARDNER 25 EC	TASPA 50 EC
HELCORE 25 EC	

Por otra parte, en Panamá hay registrados 41 plaguicidas comerciales que contienen difenoconazol:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
ABATON 32,5 SC	FIERRO 50 SC
ACROBI TOP 32,5 SC	GARDNER 25 EC
ACRUX 32,87 EC	HELCORE 25 EC
ADICONSTAR 32,5 SC	HELMSTAR PRISMA 32,5 SC
ALCATRAZ 37,5 SC	JAVIN XTRA 50 SC
ALCATRAZ 7 ME	KONIG 50 EC
AMISTAR FULL ® 60 SC	MIRAVIS DUO 20 SC
AMISTAR TOP 32,5 SC	OSIRIS 32,5 SC
CAMPO- DIFE 250 EC	PAGROVERA 50 SC
CANCILLER 25 EC	PALADIUM 25 EC
CYDOME 30 SC	PANIG 30 EC
DEBUT 25 EC	RAUS 50 EC
DIFECOR 25 EC	SCORE ® 25 EC
DIFENOBIN 32,5 SC	SICO 25 EC

⁴⁶ Pesticide Properties Data Base, University of Hertfordshire (<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/212.htm>)

⁴⁷ US-EPA. Restricted Use Products (RUP) Report <https://www.epa.gov/pesticide-worker-safety/restricted-use-products-rup-report>

⁴⁸ Estado de Florida, USA, Department of Environment Protection, 2005 Development of Cleanup Target Levels (CTLs) for Chapter 62-777, FAC (Feb. 2005) <https://floridadep.gov/waste/district-business-support/documents/technical-report-development-cleanup-target-levels-ctl>

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
DIFENOCONAZOLE 25 % EC	SIGILO 25 EC
DIFENOCONAZOLE STOCKTON 25 EC	SPLASH 30 EC
DIFOR 25 EC	SPYRALE® 47,5 EC
DIVINO 25 EC	TASPA 50 EC
DURAB 32,5 SC	TIAGO GOLD 32,5 SC
FATUM 60 WG	VERTIGO 32,5 SC
FENPROZOLE 50 EC	

Diuron. Uso autorizado según los registros oficiales.

El **herbicida** diuron se encuentra registrado en Costa Rica para ser utilizado en los siguientes cultivos: algodón, banano, café, caña de azúcar, cítricos, limón, macadamia, maíz, manzana, melocotón, naranja, palma aceitera, pastos, piña, plátanos, sorgo y yuca.

Es de esperar que en la CBRS el diuron se utilice en los **cultivos de banano y plátano, así también en maíz, pastos y plantaciones de yuca.**

Además, en la siguiente lista están los plaguicidas que contienen diuron que pueden estar disponibles en el mercado de Costa Rica, con un total de 65 nombres comerciales, lo que lo convierte en uno de los plaguicidas con mayor número de productos formulados registrados:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
AATREX 80 SC	Dorion 80 SC
Advance 61 WP	Dorion 80 WG
AG DIURON 50 SC	Drexel Diuron 48 SC
AGROCOM DIURON 48 SC	DREXEL DIURON 80 WG
AGROCOM DIURON 80 WP	FARMAGRO DIURON 80 WP
AGROMART DIURON 48 SC	Gramocil 30 SC
AGROZAMORANOS MARKEX 80 WP	GRAMURON X 30 SC
Batazo 50 SC	KARMEX 80 WG
Batazo 80 WG	Karmex 80 WG
Bioquim Biomuron 30 SC	KARMEX 80 WP
Bioron 48 SC	Kila 70,5 WP
Bioron 80 WP	Killuron 50 SC
Boa Super 30 SC	Knockout 30 SC
Colono Diuron 50 SC	NATUREX DIURON 50 SC
Crisquat Paraquat + Diuron 30 SC	NATUREX DIURON 80 WP
CRISURON 48 SC	Nufarm Diuron 50 SC
CRISURON 80 WP	Nufarm Diuron 90 WG
DIMETRIN FACIL 80 WG	Pronto 50 SC
DIUMAR 80 SC	Razor 50 SC
DIUMAR 80 WP	RIMAC DIURON 50 SC
Diupax 80 SC	RIMAC DIURON 80 SC
DIUREX 50 SC	RIMAC DIURON 80 WP

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
DIUREX 80 SC Diurex 80 WG DIUREX 80 WP Diurolaq 50 SC Diuron Bayer 80 WP DIURON 80 SC DIURON 80 WP Diuron Daf 80 WP DIURON FORMUQUISA 80 WP Diuronco 80 SC DIURONCOOP 80 WG	Seduron 80 SC SEDURON 80 WP SELLADOR 48 SC SHARDA DIURON 50 SC SHARDA DIURON 80 WP SHEIK 80 SC SHEIK 80 WP Trombo 80 SC Trombo 48 SC Trombo 80 WG Trombo 80 WP Velpar K 60 WP

Se registran 46 plaguicidas comerciales, en Panamá, que contiene el ingrediente activo diuron, según reporta el MIDA, ya sea solos o en mezcla con otros ingredientes activos:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
ADVANCE 61 WP ANGLURON 30 SL (USO RESTRINGIDO) BATAZO 50 SC BATAZO 80 WG BIORON 80 WP BROMACIL + DIURON 80 WG BROMACIL + DIURON 80 WG CAMPO-URON 80 SC CAMPO-URON 80 WP DALONG 30 SC (USO RESTRINGIDO) DIMETRIN FACIL 80 WG DIUPRIX 80 WG DIUPRIX DUO 60 WG DIUREX 80 SC DIUREX 80 WG DIUREX 80 WP DIUROLAQ 50 SC DIURON + HEXAZINONA 60 WG DIURON 80 SC DIURON 80 WG DIURON 80 WG DIURON 80 WP DIURON 80 WP	DIURON 80 WP DIURON 80 WP DIURON HANSEANDINA 80 WG DIURONE 80 WG DYUPRO 80 WP GRAMURON-X 30 SC (USO RESTRINGIDO) HERBIURON 80 WG HEXARON 60 WG HURON 80 WP KATOR 80 WP KOMETA 60 WG KROVAR 80 WG PAGROMAX 60 WDG PANURON 80 WG PARAQUAT + DIURON 30 SC (USO RESTRINGIDO) RIMAC DIURON 80 WP SHARDA DIURON 80 WG SHEIK ® 80 SC SHEIK 80 WP TRITON 80 WDG TROMBO 80 WG UNIURON 80 WP

Epoxiconazol. Uso autorizado según los registros oficiales.

El **fungicida** está registrado en Costa Rica para ser utilizado en 5 cultivos: arroz, banano, café, piña, plátanos, de los cuales **el banano el plátano** son los cultivos más probables donde se utiliza el epoxiconazol en la CBRS.

Los plaguicidas comerciales que contienen epoxiconazole y que están autorizados para comercializar en el mercado costarricense son los siguientes:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Bioquim Epoxiconazole 12,5 SC	Opus 12.5 SC
Bioquim Pyraclostrobin-Epoxiconazole 18,3 SE	SOPRAL 7.5 EC
Espiga 25 SC	Soprano 12,5 SC
JUWEL 25 SC	SOPRANO-C 25 SC
OPERA 18.3 SE	Trigold 25 SC
	Viathan 18,3 SE

El epoxiconazol se comercializa en Panamá con base en 32 registros realizados ante el MIDA:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
ADEXAR® 12,5 EC	OPTIMO 12,5 SC
AGROCOACH 80 WG	OPUS 12,5 SC
AGROCONQUER 18,3 SE	PAGROVIENTO 25 SC
BARRET 12,5 SL	PETEL 7,5 EC
EPOFANT 49,7 SC	PIRASTAR 80 WG
EPOK 12,5 SC	PIRAZOL 18,3 SE.
EPOXICARB XTRA 80 WG	POLCA 12,5 SC
EPOXICONAZOL + CARBENDAZIM 80 WG	SINFONIA 18,3 SE
EPOXICONAZOL+KRESOMIX METIL 80 WG	SOPRANO 12,5 SC
EPOXICONAZOL 7,5 EC	SPARTA COMBI 25 WG
FLORIX MIXX 18,1 EC	SPLIT 38 SC
FUNGICAR DUO 25 SC	TENOR 12,5 SC
JUWEL 25 SC	TRIGOLD 25 SC
KANTER 25 SC	VALIDUS 25 SC
KANTER 25 SC	ZANCOR 18,3 SE
OPERA® 18,3 SE	ZANCOR 80 WG

Fenpropidin. Uso autorizado según los registros oficiales.

El fenpropidin es un **fungicida** registrado en Costa Rica para uso en un limitado número de cultivos: **banano y plátano**, con solo un producto comercial formulado registrado:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Seeker 75 EC	

En Panamá se han registrado dos productos comerciales con base en fenpropidin, según reporta el MIDA:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
SEEKER R 75 EC	SPYRALE® 47,5 EC

Fenamifos. Uso autorizado según los registros oficiales.

Fenpropidin. Uso autorizado según los registros oficiales

Fenpropimorf. Uso autorizado según los registros oficiales.

Este **fungicida** está registrado ante el SFE para uso en dos cultivos: **banano y plátano**. Así también se ha registrado solo un producto comercial formulado:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Volley 88 OL	

En Panamá hay solo dos productos comerciales registrados que contienen fenpropimorf:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
CANDIDO 75 EC	VOLLEY 88 OL

Fluopiram. Uso autorizado según los registros oficiales.

El fluopiram es uno de los **fungicidas** conocidos como “de nueva generación”, el cual se registró en Costa Rica para uso en dos cultivos: **banano y plátano**, con un solo producto comercial registrado hasta la fecha:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Verango 50 SC	

Por otra parte, en Panamá hay registrados cuatro productos comerciales que contienen fluopiram:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
CALILLA 50 SC	GORNA PLUS 50 SC

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
CALILLA PLUS 4 SC	VERANGO 50 SC

El fluopiram tiene relativamente poco tiempo de estar en uso en Costa Rica, pero tiene características de preocupación respecto a su comportamiento ambiental, su ecotoxicidad y su toxicidad para la salud humana. El hecho de que en tan corto tiempo se esté detectando como contaminante en aguas superficiales evidencia un mal manejo en el campo, por cuanto desde el punto de vista ambiental su registro en Costa Rica tiene limitaciones de uso, ya que eran conocidos sus factores de peligrosidad desde la fase de registro del producto.

Fluxapiroxad. Uso autorizado según los registros oficiales.

El **fungicida** fluxapiroxad está registrado ante el SFE para ser utilizado solamente en dos cultivos: banano, frijol.

También existen solo dos productos comerciales formulados que están registrados para su venta y uso en el mercado costarricense:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Lonselor 30 SC	Sistiva 33,3 FS

La siguiente es la lista de plaguicidas comerciales que contienen fluxapiroxad registrados en Panamá:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
LONSELOR[®] 30 SC	FLORIX PLUS 50SC
VIVACE 50 SC	FLORIX MIXX 18,1 EC
ADEXAR [®] 12,5 EC	

Glifosato. Uso autorizado según los registros oficiales.

El glifosato es el **herbicida** más utilizado en Costa Rica. Ante el SFE se ha registrado para utilizar en los siguientes **30 cultivos**: aguacate, algodón, arroz, banano, cacao, café, caña de azúcar, chayote, cítricos, coco, frijol, guanábana, macadamia, maíz, mango, maní, manzana, melón, ornamentales, palma aceitera, papa, papaya, pasto bermuda, piña, plátanos, sandía, sorgo, soya, tamarindo y uva.

En la CBRS es posible que se utilice glifosato en **los cultivos de banano, cacao, frijol, maíz y plátano**, pero también en cualquier otro cultivo, incluyendo hasta el mantenimiento de las orillas de carreteras y caminos vecinales.

Ante el SFE hay **registrados 78 productos comerciales** que contienen glifosato, lo cual lo convierte en uno de los plaguicidas con mayor oferta en el mercado. La siguiente es la lista de nombres comerciales con los que podría estar en el mercado este plaguicida:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Agente 36 SL	GLIFOSATO NORTOX 35.6 SL
Agr. Glifosato+Terbutilazina 50 SC	GLIPHOGAN 35.6 SL
Agrocom Glifosato 35,6 SL	Glyfosan 35,6 SL
	Glyfosan 68 WG
Agromart Glifosato 24 SL	Glyphosate Original 35.6 SL
ARRASADOR 36 SL	Helosate 35.6 SL
ARRASADOR 75,7 SG	INQUIGRASS 35.6 SL
	JINETE 24 SL
ATILA 35.6 SL	JINETE 35.6 SL
Atred 35.6 SL	Kila 44.9 TB
Az Rondo 15.38 SL	Kila 44.9 WP
Az Rondo 30,77 SL	Labriego 35.6 SL
Balazo 35.6 SL	Lince 36,5 SL
Batalla 35.6 SL	NOSWEAT 35.6 SL
Biokil 24 SL	PANTEK 36 SL
BIOKIL 35.6 SL	Pasaglif 35.6 SL
Biokim Glifosato 35.6 SL	RAMBO 24 SL
Bronco 35,6 SL	RAMBO 35.6 SL
Brusato 35.6 SL	RAMBO M 20,4 SL
Cañaxato 35,6 SL	Ranger 24 SL
CAVALIER 35.6 SL	Rastrillo 35,6 SL
Clipper 68 WG	Raydon 35.6 SL
Colono Glifosato 36 SL	Rimaxato 20.5 SL
CPCP Glifosato 35,6 SL	RIMAXATO 24 SL
Credit 35.6 SL	Rimaxato 35,6 SL
Devastador 75,7 SG	
DOMINANTE 35.6 SL	Rimaxato 68 WG
Drexel Glifosato 35,6 SL	Rimaxato 75 WG
Durango 48 SL	RIVAL 68 SG
Estelar 36 SL	Rodeo 35.6 SL
EVIGRAS 24 SL	ROKA 35.6 SL
EVIGRAS 35.6 SL	Rondo 35.6 SL
Fedecoop Glifosato 35.6 SL	ROOT OUT 36 SL
Folar 46 SC	Roundup 35.6 SL
Forastero 35.6 SL	Roundup Max 68 SG
Glifocol 35,6 SL	Rula 35.6 SL
Glifolaq 35,6 SL	SERACSA GLIFOSATO 35.6 SL
GLIFOMAX 35.6 SL	Skoba 35.6 SL
GLIFONOX 35.6 SL	Sunup 36 SL
Glifos 35.6 SL	Touchdown Forte 50 SL
Glifosato 35.6 SL	

Glifosato es uno de los plaguicidas que tiene más registros comerciales en Panamá, para un total de 76 productos, descritos en la siguiente lista:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
AGENTE 36 SL	GLISAN 75,7 SG
ARRASADOR 75,7 SG	GLYFOPRO 35,6 SL
ATILA 35,6 SL	GLYFOPRO 75,7 SG
BIOKIL 35,6 SL	GLYFOSAN 35,6 SL
CAMPO-SATO 360 SL	GLYKAMBA 24 SL
CAMPO-SATO 75,7 SG	GLYPHOGAN 35,6 SL
CANDELA 35,6 SL	HELOSATE 35,6 SL
CANDELA 68 WG	INQUIGRASS 35, 6 SL
CANDELA SUPER 36,5 EW	JARIPEO 68 SG
CARPIDORA 48 SL	JINETE 35,6 SL
CLIPPER 68 WG	KILA 44,9 TB
COMANDER 75,7 SG	KING GRASS 75,7 SG
DEBUT 42 SL	NOVAMAX [®] 36 SL
DESEKTOR 50 SL	PANTEK 36 SL
DKLIFOSAT 48 SL	PILAROUND 35,6 SL
DKLIFOSAT 75,7 SG	PILARSATO 35,6 SL
DURANGO 48 SL	RAMBO 35,6 SL
EVIGRAS 35,6 SL	RECOIL 31,8 SL
FASTFIELD 35,6 SL	REVOLVER PLUS 54 SL
FERSATO 35,6 SL	REVOLVER XTRA 68 SG
FERSATO SUPER 35,6 SL	RIDONA 75 SG
GARABATO 41 SL	RIDONA LITE 51 SL
GLIFOCOL 35,6 SL	RIMAXATO 24 SL
GLIFOLAQ 35,6 SL	RIMAXATO 75 WG
GLIFONOX 35,6 SL	RIPPER ULTRA 35,6 SL
GLIFOSAN FORTE 48 SL	ROOT OUT 36 SL
GLIFOSATO + 2,4-D 39,8 SL	ROUNDUP 35,6 SL
GLIFOSATO 35,6 SL	ROUNDUP MAX 68 SG
GLIFOSATO 35,6 SL	SPARTACO 54 SL
GLIFOSATO 48 SL	TITAN 68 SG
GLIFOSATO ALEMAN 35,6 SL	TORNADO 48 SL
GLIFOSATO DREXEL 35,6 SL	TOUCHDOWN FORTE[®] 50 SL
GLIFOSATO ORIGINAL 35,6 SL	TOUCHDOWN PRO [®] 36 SL
GLIFOZELL 35,6 SL	VALSAGLIF 35,6 SL
GLIFOZELL 68 SG	VALSAGLIF 68
GLIFOZELL 48 SL	VELFOSATO 35,6 SL

Imidacloprid. Uso autorizado según los registros oficiales

Metsulfuron metil. Uso autorizado según los registros oficiales.

El **herbicida** metsulfuron metil está registrado ante el SFE para ser utilizado en los siguientes cultivos: arroz, café, caña de azúcar, palma aceitera, pastos. Por lo tanto, habría que presumir que en la CBRS se está **utilizando en el mantenimiento de pasturas, a menos que también se esté dando un uso no autorizado en otros cultivos**. Esto último no sería de extrañar, tomando en cuenta los débiles controles de uso de plaguicidas que hay en Costa Rica, así como la escasa asistencia técnica especializada que reciben los agricultores.

Existen en el mercado costarricense 28 plaguicidas comerciales formulados que contienen metsulfuron metil, con los siguientes nombres:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Aliado 60 WG	Kila 44.9 WP
Aliado 60 WP	Kila 70,5 WP
ALLY 60 WG	MALBAN 50 WP
Arranque 60 WP	Matamonte 50,6 SL
Cash 60 WP	Matancha 60 WG
Combo 60 WG/24 SL	METSULFOZELL 60 WP
Crystal Sulfonil 51 SC	
Errasin 60 WP	Met-Weed 60 WG
Espada 60 WP	Misil 60 WP
	Neptuno 60 60 WG
Fulminante 60 WP	Plot 60 WG
GALLO 60 WP	PURESTAND 60 WG
Galloper 52,9 WP	RIMAC - ONVO 60 WG/24 SL
Glock 60 WP	Rimac Metsulfuron Metil 60 WG
Kila 44.9 TB	Tronazell 60 WP

Según los reportes del MIDA, en Panamá hay 37 plaguicidas comerciales que contienen metsulfuron metil:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
ALFALLY 60 WG	METSULFURON 60 WG
ALIADO 60 WG	METSULFURON METHYL 60 WDG
ALIADO 60 WP	METSULFURON METIL 60 WG
ALLIED 60 WG	METSULFURON METIL 60 WG
ALLY 60 WG	METSULMAX 60 WG
ARRANQUE 60 WP	NEPTUNO 60 WG

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
BEST CHEM METSULFURON METHYL 60 WG	NEWKILL 60 WG
CAMPOFURON 60 WG	PANALY 60 WG
COMBO 60 WG/24 SL	RIMAC ONVO 60 WG/ 24 SL
ERTUS 60 WDG	ROSULFURON 60 WG
ESPADA 60 WP	SEMBRO DIRVO 60 WG
FORZA 60 WP	SOCIO 72,37 SL
GALLOPER 52,9 WP	SULFONIL 48,3 SC
KAPUT 60 WG/ 24 SL	SUNTAL 60 WG
KILA 44,9 TB	TARZAN 60 WDG
MAGNUM 60 WP	TRONAZELL 60 WP
MATANCHA 60 WG	TURIA 60 WG
MESUMET GUADAGRO 60 WDG	VALAY 60 WG
METSUK 60 WG	ZUMBA 60 WG
METSULFOZELL 60 WP	

Miclobutanil. Uso autorizado según los registros oficiales.

El **fungicida** miclobutanil está registrado en Costa Rica para ser utilizado en los cultivos de arroz, banano, manzana, melón, ornamentales, rosa, sandía y uva. Por lo tanto, es de esperar que en la CBRS se utilice en **el cultivo de banano y, probablemente, también en plátano, aunque el registro no lo autorice.**

En Costa Rica existe solo un registro comercial formulado disponible para este plaguicida:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
RALLY 40 WP	

En Panamá existen 8 productos comerciales registrados formulados con miclobutanil:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
RALLY 40 WP	TRIWAY 55 EC
MICLOBUTANIL 96 % TÉCNICO	DUELO 40 WP
MYCLON 12,5 EC	ESTRUENDO 24 EC
BLAST PRO 66 EC	SYSTHANE 24 EC

Oxamilo. Uso autorizado según los registros oficiales.

Insecticida-nematicida altamente peligroso para las personas y para el ambiente. Recientemente fue tomada la decisión en la **Unión Europea de sacarlo del mercado (no se aprobó su continuación en el registro)** ⁴⁹. En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) tiene al oxamilo en la lista de **“productos de uso restringido” (RUP, por sus siglas en inglés)** ⁵⁰. Esto implica que no cualquier persona puede aplicarlo, si no pasa un proceso de capacitación y acreditación especial,

⁴⁹ EUR-LEX, Commission Implementing Regulation (EU) 2023/741 DEL 05/04/2023. ([EUR-Lex - 32023R0741 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/741/20230405))

⁵⁰ US-EPA. Restricted Use Products (RUP) Report <https://www.epa.gov/pesticide-worker-safety/restricted-use-products-rup-report>

coordinado por dicha agencia ambiental, o si el aplicador no está supervisado por una persona acreditada.

En Costa Rica el oxamilo está registrado para uso en los siguientes cultivos: algodón, apio, banano, café, cebolla, cítricos, lechuga, melón, ornamentales, papa, pasto estrella, pasto kikuyo, pepino, piña, plátanos, sandía, tabaco y tomate

En la zona de la CBRS el oxamilo probablemente se utiliza en los **cultivos de banano y plátano**.

De acuerdo con los registros de este plaguicida ante el SFE, en Costa Rica se comercializa con los siguientes nombres comerciales:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Armeril 10 GR Armeril 24 SL	Raizate 24 SL Sunxamil 24 SL
Bazuka 24 SL BIOQUIM OXATE 24 SL OXAMIL 24 SL	Vydate 24 SL Vydate Azul 24 SL Vydox 24 SL

El oxamilo está clasificado en Costa Rica en la categoría de “**altamente peligroso**” (**Banda de color roja**); **por lo tanto, su venta debe ser solamente bajo receta profesional**. No obstante, no existe una restricción específica para este plaguicida, a pesar de su alta peligrosidad.

Por otro lado, en Panamá son 9 los plaguicidas comerciales, registrados formulados con oxamilo:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
ARMERIL 24 SL BIOQUIM OXATE 24 SL KING 24 SL OXAMIL 24 SL OXAMIL 24 SL	OXAMIZELL 24 SL RAIZATE 24 SL VYDATE AZUL 24 SL VYDATE 24 SL

Además, en Panamá el **oxamilo es un plaguicida de uso restringido**, según el RESUELTO N° DAL-043-ADM-2011 (del 14 de septiembre de 2011).

Pirimetaniil. Uso autorizado según los registros oficiales.

Este **fungicida** está registrado en Costa Rica para uso en banano, clavel, ornamentales, rosa y tomate. Por lo tanto, es de esperar que en la CBRS se utilice en el **cultivo de banano y, podría ser, también en plátano**, a pesar de no tener registro para ese uso.

El registro de productos comerciales formulados en Costa Rica a base de pirimetaniil se limita a cuatro nombres:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
BIOQUIM PIRAMIDE 60 SC Compeer 60 SC	Scala 40 SC Siganex 60 SC

Por otro lado, en Panamá hay dos plaguicidas comerciales registrados que contienen pirimetanil:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
PIM 60 SC	SPARTANIL 60 SC

Spiroxamina. Uso autorizado según los registros oficiales.

La spiroxamina es un **fungicida** que está registrado en Costa Rica solamente para uso en el cultivo de **banano**. Así también hay solo dos productos comerciales registrados ante el SFE para uso en la agricultura:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
BIOQUIM ESPIRAL 80 EC	Impulse 80 EC

En Panamá se reportan 6 productos comerciales formulados con el ingrediente activo spiroxamina:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
BIOQUIM ESPIRAL 80 EC	SPARKUP MIXX 46 EC
BLAST PRO 66 EC	SPIROXAMINA 80 EC
IMPULSE 80 EC	SPLendid 80 EC

De acuerdo con PPDB, se advierte sobre la **alta peligrosidad de este fungicida para las aves y los peces**.

Tebuconazol. Uso autorizado según los registros oficiales.

Fungicida altamente peligroso para aves y peces. Además, se señala una alta preocupación por **efectos adversos para la salud humana** como ser un disruptor endocrino y producir efectos adversos para la reproducción y el desarrollo.

En Costa Rica está registrado su uso en los cultivos de arroz, banano, café, cebolla, maíz, melón, papaya y plátano.

El SFE reporta un total de 24 productos comerciales formulados que contienen tebuconazol:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Argento 25 EC	Horizell 25 EC
Argento Plus 30 EC	NATIVO 75 WG
Benosol 25 EC	Orius 25 EW
BIOQUIM TEBUCONAZOLE 25 EC	RIMAC TEBUCONAZOLE 25 EC
Campeador 30 EC	Silvacur Combi 30 EC
CHEMOZOLE 25 EC	Slammer Duo 30 EC
Coloso 30 EC	Supreme 40 EW

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Custodia 32 SC Espectro 30 EC FOLICUR 25 EC FOLICUR 25 EW Forastero 75 WG GRAND 25 EW	TEBUCONAZELL 25 EC Tebutrianol 30 EC TEBUTRIAZELL 30 EC Zamir 40 EW

En Panamá existen 51 plaguicidas comerciales que contienen tebuconazol, que están registrados ante el MIDA:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
ACENTOZELL 32 SC	PILARTED 34,5 SC
AGROHERO 30 EC	PORTO 37,5 SC
AGROPIONNER 37 SC	SCANNER 37 SC
AGRORAID 32 SC	SEMBRO GRADUS 43 SC
AS 30 EC	SILVACUR COMBI 30 EC
AZOTELA MAX 85 WG	SILVZOLE PLUS 41,67 SC
BOXER 25 EC	SPARKUP MIXX 46 EC
BUZZ ULTRA 75 WG	SUPER METEORO 30 EC
CALILLA PLUS 4 SC	SUPREME 40 EW
CAMPO CARZOL 37,5 SC	TEBUCONAZELL 25 EC
COMBI PRO 24,6 FS	TEBUCONAZOL 25 EW
CUSTODIA 32 SC	TEBUCONAZOL 43 SC
DECOR 25 EC	TEBUCONAZOL 75 WG
EVITO T 45 SC	TEBUCONAZOL+ TRIADIMENOL 30 EC
FENOMENO 75 WP	TEBUCONAZOLE 25 EW
GRAND 25 EW	
IMPERIO 32,5 SC	TEBUCOZ 25 EC
KAMIKAZE 32 SC	TEBUFOR 25 EC
KROPAX 75 WG	TRIBUNOL 75 WG
LINUX 75 WG	TRIDIUM 70 WG
LINUX 75 WG	TRIFLOXISTROBINA+TEBUCONAZOL 75 WG
NATIVO 30 SC	TRIPTON COMBI 75 WG
NATIVO 75 WG	TRIX FORTE 75 WG
NOMAD 50 EC	TRIZOLE 30 EC
PARACAMPO- TEBU 25 EW	UNICORN 74,5 WG
PILARTEBU 25 EW	XSTRATA GOLD 24 SC

Terbufos. Uso autorizado según los registros oficiales.

El terbufos es un **insecticida y nematocida altamente peligroso** tanto para organismos silvestres, como peces, artrópodos y lombriz de tierra, así también como para el ser humano. Por su alta peligrosidad, el terbufos es un plaguicida que está incluido por la US-EPA en la lista de “**productos de uso restringido**” (**RUP**, por sus siglas en inglés)⁵¹ Esto implica que no cualquier persona puede aplicarlo en USA, si no pasa un **proceso de capacitación y acreditación** especial, coordinado por dicha agencia ambiental.

Los plaguicidas formulados con base en terbufos están considerados oficialmente por parte del SFE en la categoría de altamente peligrosos (Banda de color roja); por lo tanto, deben ser comercializados con receta profesional.

El terbufos está registrado en Costa Rica para usar en los siguientes cultivos: algodón, arroz, banano, café, caña de azúcar, maíz, plátano, sorgo, soya y tabaco. Con base en este listado, presumimos que en la CBRS el plaguicida se utiliza, principalmente, en los **cultivos de banano y plátano**.

Así también, se observa que hay 15 productos comerciales registrados por el SFE, para uso en la agricultura, que contienen terbufos:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
AGROMART TERBUFOS 10 GR	Forater 10 GR
BIOKIM TERBUFOS 10 GR	FORATER 15 GR
Biosban 10 GR	RIMAFOS 10 GR
BIOSBAN 15 GR	SHARDA TERBUFOS 10 GR
Counter 10 GR	Terbufos 10 GR
COUNTER 15 GR	TERBULAN 10 GR
FCC Terbufos 10 GR	TERBULAN 15 GR
	TERRAFOX 10 GR

En Costa Rica, el uso de terbufos está restringido, según el decreto ejecutivo No. 34143 del 15/05/2007.

En Panamá se reportan 6 plaguicidas comerciales que contienen terbufos, todos los cuales se registran como **de uso restringido**, según el RESUELTO N° DAL-024-ADM-2011 (del 10 de junio de 2011):

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
BIOKIM TERBUFOS 10 GR	COUNTER 15 GR
<i>BIOSBAN 15 GR</i>	FORATER 10 GR
COUNTER 10 GR	FORATER 15 GR

En el monitoreo de residuos de plaguicidas en las aguas de la CBRS no se detectó el terbufos, pero se encontraron residuos de terbufos sulfone, el cual es un conocido metabolito (producto de

⁵¹ US-EPA. Restricted Use Products (RUP) Report <https://www.epa.gov/pesticide-worker-safety/restricted-use-products-rup-report>

degradación) del plaguicida terbufos⁵². Por lo tanto, para este estudio hemos tomado como referencia al plaguicida terbufos.

En esta misma publicación los investigadores señalan lo siguiente:

“Los importantes metabolitos terbufos sulfóxido y terbufos sulfone son más móviles y persistentes que el terbufos original. Las vidas medias de sulfóxido y sulfone son de 116 y 96 días, respectivamente.

Estos metabolitos también son móviles en todos los suelos analizados y pueden llegar al agua subterránea cuando se usa terbufos en un lugar donde el agua de riego o de lluvia se mueve a través del perfil del suelo hasta el agua subterránea. Además, terbufos y sus metabolitos pueden ingresar a las aguas superficiales como resultado de eventos de escorrentía.” Así también indicaron que *“Para el terbufos sulfone, las vidas medias de hidrólisis a 25° C se estimaron en 127, 93.5 y 7.00 días a pH 5, 7 y 9, respectivamente.”* O sea, en suelos ácidos la vida media del terbufos sulfone es mayor que en suelos neutros o alcalinos.

Esta combinación entre la movilidad de la molécula del terbufos sulfone y su alta vida media en suelos ácidos explica su presencia en los cuerpos de agua estudiados.

Terbutrina. Uso autorizado según los registros oficiales.

El **herbicida** terbutrina está registrado en Costa Rica para uso en los siguientes cultivos: caña de azúcar, dracaena, maíz, ornamentales y sorgo.

Parece sorprendente que se detecten residuos de este herbicida ya que no hay muchos cultivos que se produzcan de forma comercial en la CBRS donde esté autorizado su uso; si acaso el maíz.

Hay que prestar especial atención al uso que se pueda estar dando de este plaguicida en la CBRS, ya que el mismo es **altamente peligroso tanto para el ambiente (alta toxicidad para las abejas, por contacto) así también como para la salud humana (disruptor endocrino).**

Los plaguicidas comerciales formulados que contienen terbutrina, disponibles en Costa Rica, son los siguientes:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
ABOPAC TERBUTRINA 80 WG	DVA TERBUTRINA 50 SC
Agromart Terbutrina 50 SC	IGRAN 50 SC
AMIGAN 50 SC	Rimac Terbutrina 50 SC
Amigan 65 WG	RIMAC TERBUTRINA 50 SC
AMIGAN 65 WP	RIMAC TERBUTRINA 80 WG
Aterbutox 50 SC	RIMATILAZINA 50 SC
Cañatrex 50 SC	Sable 50 SC
Cañatrex 80 WG	Samba 50 SC

⁵² FAO, JMPR, 2005. TERBUFOS (167). First draft prepared by Dr Salwa Dogheim, Central Laboratory of Residue Analysis of Pesticides and Heavy Metals in Food, Agriculture Research Centre, Ministry of Agriculture, Cairo, Egypt (https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/IPM_Pesticide/JMPR/Evaluations/2005/Terbufos.pdf)

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
Colono Terbutrina 50 SC Cozaid Terbutrina 50 SC CPCP Terbutrina 50 SC Drexel Terbutrina 50 SC	Terbupax 50 SC TERBUTREX 50,1 SC Terbutrex 80 WG Terbutrina-Laq 50 SC Trial 50 SC

En Panamá los productos comerciales registrados que contienen terbutrina son:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
AMIGAN 65 WG CAMPO-TRYN 50 SC CAÑATREX 50 SC CAÑATREX 65 WG DREXEL TERBUTRINA 50 SC IGRAN 50 SC SABLE 50 SC SAMBA 50 SC	SUGAR TR YN 65 WG TERBUNICA 80 WG TERBUPAX 50 SC TERBUTREX 50 SC TERBUTRINA 50 SC TERBUTRINA 80 WG TERBUTRIZELL 50 SC TRIAL 50 SC VERITRYN 50 SC

Tiametoxam. Uso autorizado según los registros oficiales.

El tiametoxam es un **insecticida del grupo de los neonicotinoides**, considerados de **alta peligrosidad para los insectos polinizadores**. Adicional a la toxicidad, otra característica de preocupación del tiametoxam es su **alto potencial de contaminación de aguas subterráneas y superficiales (GUS=3.58)**.

Recordemos, también, que durante su descomposición **el tiametoxam produce clotianidina⁵³**, otro insecticida **altamente tóxico para organismos silvestres (especialmente para abejas y otros polinizadores), pero también para humanos (neurotóxico)**. Esta sustancia es señalada como **persistente en el ambiente (DT50=121-545 días) y con un alto potencial de lixiviación (GUS=3,74)**, razón por la cual es de esperar la contaminación no solo con tiametoxam, sino también con clotianidina, una vez aplicado el tiametoxam.

En Costa Rica el tiametoxam está registrado para uso en los siguientes cultivos: algodón, arroz, caña de azúcar, cebolla, chayote, chile dulce, cítricos, melón, naranja, papa, pasto kikuyo, pasto peludo, pastos, piña, sandía y tomate. En esta lista de cultivos no se observan los cultivos de mayor extensión en la CBRS; por lo tanto, se recomienda prestar atención al uso que se pueda estar dando el tiametoxam, que origine la presencia de sus residuos, así como del metabolito, en las aguas superficiales.

⁵³ La clotianidina no está registrada para uso en la agricultura en Costa Rica. Sin embargo, la clotianidina es un metabolito del tiametoxam, por lo cual no es sorprendente su aparición en las muestras de agua superficiales: (<https://www.nature.com/articles/s41598-018-33334-w#?text=Thiamethoxam%20is%20transformed%20to%20clothianidin,with%20its%20metabolite%20clothianidin6.>)

Hay 12 plaguicidas comerciales formulados, registrados en Costa Rica, que contienen tiametoxam, de acuerdo con la siguiente lista:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
ACT UP 25 WG	ENGEO 24.7 SC
Actara 25 WG	Mactar 25 WG
Actta 25 WG	Orbita 24,7 SC
Actta Plus 24,7 SC	Pehuen 54 SC
Centric 75 SG	Reno 35 FS
Cruiser 35 FS	Renova 25 WG

En Panamá la lista de plaguicidas comerciales registrados que contienen tiametoxam se limita a 3 productos, según los reportes del MIDA:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
AMISTAR FULL ® 60 SC	TRIPLEFIX 38 FS
CONFIABLE 60 WG	

Tiabendazol. Uso autorizado según los registros oficiales.

El tiabendazol es un **fungicida altamente peligroso para peces** que además **es muy persistente (DT50=500-724 días) y con un alto potencial de transporte de partículas**; por eso es preocupante la presencia de sus residuos en las aguas del río Sixaola.

En Costa Rica, el tiabendazol está registrado para uso en los siguientes cultivos: aguacate, arroz, ayote, banano, cebolla, cítricos, fresa, frijol, mango, manzana, melón, ornamentales, papa, papaya, plátanos, remolacha, soya y zanahoria. En la CBRS probablemente se está utilizando en los **cultivos de banano y plátano**.

Los productos comerciales formulados que contienen tiabendazol que están registrados en Costa Rica son los siguientes:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
BIOQUIM THIABENDAZOLE 22 SL	MERTECT 22 SL
BIOQUIM THIABENDAZOLE 50 SC	MERTECT 50 SC
Lotos 26,7 SL	TB-LAQ 20 SL
Lotos 40 SL	

En Panamá el tiabendazol se contiene en 6 productos comerciales registrados ante el MIDA:

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE COMERCIAL
LOTOS 40 SL	TIABENDAZOL 50 SC
MERTEC ® 50 SC	TB-LAQ 20 SL
MERTEC ® 22 SL	TBZ 50 SC

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se observan diferencias en el nivel de sensibilidad de los laboratorios involucrados en el análisis de residuos de plaguicidas en este proyecto. Si el nivel de sensibilidad del laboratorio tiene valores de cuantificación superiores a los niveles críticos de los plaguicidas, por debajo de los cuales se pueden ver afectados los organismos acuáticos, se considera conveniente realizar mejoras en el nivel de sensibilidad en los métodos de análisis utilizados.
2. Tanto en Costa Rica como en Panamá no se cuenta con normas de calidad de aguas superficiales que consideren residuos de los plaguicidas de uso agrícola que están en uso en esos países. Por lo tanto, se considera conveniente revisar la normativa en dichos países e introducir las mejoras correspondientes, de tal manera que se protejan los organismos acuáticos y terrestres del efecto adverso de los plaguicidas que se utilizan en la agricultura.
3. La revisión de las bases oficiales de datos de los ministerios de agricultura de Costa Rica (MAG) y Panamá (MIDA) muestra que en ambos países existe una abundante oferta de plaguicidas para uso en la agricultura.
4. La revisión de las características de peligrosidad de los plaguicidas cuyos residuos han sido encontrados en los cuerpos de agua estudiados en la CBRS muestra que algunos son de alta peligrosidad para la vida silvestre, así como también tienen características de preocupación para la salud humana.
5. De los plaguicidas estudiados, en algunos casos las autoridades de ambos países ya conocen de su peligrosidad y algunos de ellos están catalogados como altamente peligrosos y son de venta restringida.
6. Según las evaluaciones de peligrosidad y riesgo realizadas de los plaguicidas encontrados en estos monitoreos, **7 de ellos estaban en niveles de concentración que podrían estar afectando a los organismos acuáticos. Estos plaguicidas son: azoxistrobina, clorotalonil, clotianidina, diazinon, metsulfuron metil, terbufos y terbutrina.**
7. De 26 plaguicidas estudiados se observa que en el mercado de ambos países hay registrados numerosos productos comerciales que son coincidentes al menos por su nombre comercial y sus ingredientes activos. Esta información podría ayudar en los procesos de capacitación de los agrónomos que brindan asistencia técnica, así como de los agricultores de la zona, sobre el uso adecuado de los plaguicidas, así como de los riesgos asociados para la salud de los agricultores y los pobladores y la protección del ambiente.
8. Es de especial preocupación la presencia de residuos de varios plaguicidas altamente peligrosos y en concentraciones altas en la laguna Gandoca, que es parte del Refugio Nacional de Vida Silvestre mixto Gandoca-Manzanillo. Las autoridades agrícolas y ambientales de Costa Rica deberían prestar atención al uso de la tierra y el manejo de las actividades agrícolas en el ámbito del refugio para buscar las vías para prevenir la contaminación de la laguna con residuos de plaguicidas.
9. Es conveniente buscar alternativas para el control de plagas agrícolas que sean menos peligrosas que los plaguicidas que se están utilizando, ya sea por su toxicidad o por su comportamiento ambiental. Estas alternativas no necesariamente tienen que ser otras sustancias químicas sintéticas, sino que pueden ser controladores biológicos o formas y métodos de producción que prevengan la aparición de plagas, con un enfoque de manejo integrado de cultivos.

10. Es conveniente capacitar a los agricultores de la zona sobre la peligrosidad de los plaguicidas que están utilizando, tanto para su salud como para el ambiente. Así también es conveniente capacitarlos sobre el manejo adecuado de los plaguicidas, incluyendo la forma adecuada del control de plagas en que se requiera el mínimo uso de sustancias químicas sintéticas. Los plaguicidas son importantes en la agricultura, pero deben ser la última opción que el agricultor utilice, una vez que se hayan agotado las demás medidas agronómicas para prevenir la aparición de plagas en el campo.