

## Propuesta

# Guía técnica para la evaluación de riesgo ecológico por toxicidad aguda de residuos de plaguicidas en aguas superficiales de Costa Rica

---

### Preparado por:

*Dra. María de Jesús Arias Andrés, MSc. Silvia Echeverría Sáenz*

*Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas, Universidad Nacional*

Correo electrónico para consultas: [maria.arias.andres@una.ac.cr](mailto:maria.arias.andres@una.ac.cr)

### Alcance y consideraciones generales

- Se propone anexar esta guía al decreto No. 33903-MINAE-S REGLAMENTO PARA LA EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES.
- El alcance de esta guía es la evaluación de riesgo por toxicidad aguda para organismos del compartimento acuático por la presencia de residuos de ingredientes activos de plaguicidas en ecosistemas predominantemente dulceacuícolas.
- La guía contiene una **metodología para la evaluación de riesgo ecológico agudo** de concentraciones máximas de residuos de plaguicidas en el agua, así como **para la derivación de criterios de riesgo por toxicidad aguda** en ecosistemas acuáticos.
- Se sugiere una manera de priorizar los i.a. con fines de monitoreo en aguas superficiales de Costa Rica, así como el cálculo del riesgo para el ecosistema de las sustancias seleccionadas.
- Las recomendaciones técnicas de esta guía aplican para evaluar el riesgo por toxicidad aguda de i.a. individuales en el agua, y no considera el riesgo a largo plazo (crónico) ni el acumulado por la presencia de varios i.a. en una misma muestra (mezclas). Tampoco se considera el análisis de riesgo de toxicidad por procesos de bioacumulación y biomagnificación en redes tróficas acuáticas.
- Se recomienda el asesoramiento de expertos en Ecotoxicología a los tomadores de decisiones y entes reguladores, en particular en lo relativo al refinamiento del análisis para disminuir las incertidumbres asociadas a las estimaciones de riesgo.
- Se recomienda que los resultados de la estimación de riesgo obtenidos con mediciones hechas en campo, y aplicando esta metodología, sean valorados en conjunto con información del comportamiento y destino ambiental de las sustancias químicas evaluadas (por ejemplo, persistencia, reportes de denuncias ambientales, presencia de vertidos en el área, análisis de uso del suelo y aplicación de plaguicidas, entre otros).
- Finalmente, es importante indicar que el presente documento técnico pretende ser una guía para el manejo de información cuantitativa sobre los plaguicidas en el ecosistema acuático, que ayude a priorizar la toma de decisiones en el manejo del recurso hídrico y el seguimiento de la contaminación por plaguicidas en cuerpos de agua superficial

del país. La decisión de utilizar los criterios de riesgo derivados del uso de esta metodología para fines regulatorios, para monitoreo y/o para el seguimiento de eventos de contaminación puntual, recaen en las autoridades del MINAE u otras determinadas por el ordenamiento jurídico nacional para la protección de las fuentes de agua.

### *Definiciones<sup>1</sup>*

**Ecotoxicología:** disciplina científica aplicada que tiene por objeto comprender y predecir la distribución, destino y efectos, directos e indirectos, causados por agentes contaminantes de naturaleza física, química (de origen natural o sintético) o biológica que, producto de la acción antrópica, alcanzan en el ambiente niveles anormales alterando la estructura y/o función de los ecosistemas, con el fin de proveer herramientas de gestión que permitan prevenir, mitigar o remediar tales efectos.

**Evaluación de riesgo ecológico:** La Evaluación del Riesgo Ecológico es el proceso por el que se define la probabilidad de que un determinado factor de estrés produzca efectos ecológicamente adversos; en la bibliografía se utiliza la sigla ERA (del inglés “Ecological Risk Assessment”) para hacer referencia a este proceso.

**Bioensayo:** ensayo en el cual el poder o potencia de una sustancia es medido a través de la respuesta de organismos vivos o sistemas vivientes. Los ensayos biológicos son herramientas de diagnóstico adecuadas para determinar el efecto de agentes físicos y químicos sobre organismos de prueba bajo condiciones experimentales específicas y controladas. Estos efectos pueden ser tanto de inhibición como de magnificación, evaluados por la reacción de los organismos, tales como muerte, crecimiento, proliferación, multiplicación, cambios morfológicos, fisiológicos o histológicos.

**Toxicidad aguda:** cuando la toxicidad ocurre dentro de un periodo corto (minutos, horas o algunos días) en relación con el periodo de vida del organismo de ensayo.

**Índices de toxicidad aguda EC/IC/LC50:** concentración efectiva (CE), de inhibición media (IC) o letal (LC). Concentración del material en agua, suelo o sedimento que se estima afecta al 50% de los organismos de ensayo. La CE50 y sus límites de confianza (95%) son usualmente derivados de análisis estadístico.

**Productores primarios:** grupo trófico de aquellos organismos fotoautótrofos, o sea que pueden captar la energía lumínica proveniente del sol para fijar CO<sub>2</sub> y sintetizar moléculas orgánicas como azúcares que posteriormente se utilizarán como fuente de energía y para generación de biomasa (ej. plantas acuáticas, algas, fitoplancton).

**Consumidores:** el grupo trófico de consumidores de primer orden (herbívoros acuáticos, zooplancton) que utilizarán las moléculas orgánicas sintetizadas por los productores primarios como fuente de energía y materia para su propio crecimiento y desarrollo. Los consumidores de segundo orden se alimentarán de los de primer orden y los de tercer orden de los de segundo orden y así hasta llegar a los depredadores tope, consumidores que se encuentran

---

<sup>1</sup> Las presentes definiciones fueron obtenidas de Castillo 2004; PPDB 2022 y Carriquiriborde 2021.

en la cima de la pirámide alimentaria y que no poseen otros organismos que preden sobre ellos, en estado adulto y de forma significativa.

**Distribución de la Sensibilidad de Especies, SSD (por sus siglas en inglés):** análisis probabilístico de la distribución de sensibilidad de las especies a un i.a. La distribución estadística que describe la variación de la toxicidad entre un conjunto de especies para una determinada sustancia. Cuando se habla de conjunto de especies nos referimos a un taxón específico, un ensamble de especies o una comunidad natural. Dado que no conocemos la verdadera distribución de los puntos finales de toxicidad, la SSD es estimada a partir de una muestra y visualizada como una función de distribución acumulada que es la integral de una función de densidad de probabilidad. La curva acumulada sigue la distribución de los datos de sensibilidad obtenidos de pruebas ecotoxicológicas, con concentraciones de efecto derivadas de pruebas de toxicidad agudas o crónicas, por ejemplo, valores de LC50, EC50 o NOEC (Concentración de No Efecto), respectivamente.

**Concentración de Peligro 5%, HC5 (por sus siglas en inglés):** La concentración de la sustancia que afecta a una proporción (p) de las especies dentro de una SSD, se describe como la concentración de peligro a nivel “p” (HCp). El valor de corte de 5% de especies de la cola izquierda de la distribución (HC5), se ha utilizado tradicionalmente para obtener criterios de calidad, bajo el supuesto de que los ecosistemas pueden tolerar un cierto grado de estrés químico.

**Coefficiente de Riesgo:** método determinístico de estimación de riesgo en el que se compara una concentración de efecto en relación con una concentración de exposición. En este enfoque se emplean supuestos conservadores y, en muchos casos, factores de seguridad para asegurar que se protejan las especies o entidades ecológicas más sensibles.

**Factor de seguridad o aplicación:** multiplicadores aplicados a los CL50 para estimar posibles umbrales subletales de efecto en comunidades acuáticas. También se aplican en caso de incertidumbre sobre los efectos en ecosistemas para los que se tienen pocos datos de toxicidad.

**No. CAS:** de acuerdo con el “Chemical Abstract System” (CAS por sus siglas en inglés), se asigna un número de identificación único a cada sustancia química descrita en la literatura.

**Acción biocida:** En el marco de esta guía técnica se agrupan como tres tipos de acción biocida según el tipo de hospedante sobre el que se ejerza la acción tóxica: herbicidas (diseñados para ejercer efecto sobre productores primarios), fungicidas (diseñados para ejercer efecto sobre hongos) e insecticidas (diseñados para ejercer efecto sobre insectos y otros artrópodos).

**Persistencia:** Se representa con el tiempo (en días) que se requiere para que la concentración del i.a. disminuya en un 50% a partir de la cantidad aplicada. En muchos casos, los químicos muestran un comportamiento de “vida media”, en el que concentraciones subsecuentes de i.a. continúan disminuyendo por 50% en la misma cantidad de tiempo. Esta vida media es la

medida de persistencia del químico. En este documento, se utilizará la vida media en agua/sedimentos para representar la persistencia en ecosistemas acuáticos.

## *Metodología para la evaluación de riesgo ecológico*

### *Obtención de información de datos ecotoxicológicos*

Para la obtención de la información ecotoxicológica se recomienda el uso de bases de datos o literatura científica en donde se pueda acceder al origen de los datos y corroborar aspectos como: el diseño experimental (tipo de medio, condiciones físico-químicas), las concentraciones del tóxico ensayadas, las condiciones físico-químicas del medio durante el bioensayo, el tipo de exposición (estática o de renovación, duración), los controles realizados, y la descripción de las pruebas estadísticas utilizadas en el análisis de datos y la estimación de los índices de toxicidad.

Se recomienda la base de datos de acceso libre “ECOTOX” de la EPA de los EEUU<sup>2</sup> o similares, así como datos provenientes de literatura científica publicada en revistas indexadas y con sistema de revisión por pares. En general se recomienda usar bases de datos para las cuales se cuenta con información del origen de los datos (fuente bibliográfica). Para la búsqueda se recomienda utilizar el número CAS del i.a. como identificador.

Se podrá considerar también la utilización de datos suministrados durante el registro de i.a. (Información contenida en los expedientes presentados al Servicio Fitosanitario del Estado), mientras estos hayan sido aceptados durante el registro del plaguicida por las autoridades competentes y no cuenten con protección de datos de prueba.

La generación de datos ecotoxicológicos con especies nativas se recomienda como una medida para la reducción de la incertidumbre en la estimación del riesgo, en el tanto para su obtención se sigan los protocolos y criterios de calidad indicados en las siguientes secciones.

### *Niveles tróficos de interés (ecosistema acuático)*

La información ecotoxicológica para organismos del ecosistema acuático buscará incluir datos de sensibilidad de diferentes niveles tróficos (productores primarios, consumidores primarios y secundarios), específicamente de peces, artrópodos (incluyendo crustáceos del género *Daphnia* y especies de insectos acuáticos), plantas acuáticas y algas. Estos grupos se seleccionaron considerando los criterios para la clasificación de peligrosidad y persistencia ambiental determinados por DIGECA-MINAE para la evaluación de riesgo realizada durante el registro de plaguicidas, así como guías generales para la evaluación de riesgos utilizadas en la Unión Europea (EC, 2011), los Estados Unidos de Norteamérica (Stephan et al, 1985) y la OCDE (OECD, 2011). El objetivo es obtener datos de la sensibilidad de especies en al menos tres grupos tróficos de las redes acuáticas (productores primarios, consumidores primarios y consumidores secundarios).

---

<sup>2</sup> Sitio en internet: <https://cfpub.epa.gov/ecotox/>

### *Criterios de selección de datos:*

Como guía general, se recomienda que los datos ecotoxicológicos provengan de bioensayos con índices de toxicidad similares o comparables a los descritos en las Guías de la OECD para Pruebas Químicas-Sección 2 Efectos en Sistemas Bióticos (OECD Guideline for Testing of Chemicals), y/o Ecological Effects Tests Guidelines de la EPA de los EEUU. Se utilizarán resultados de bioensayos realizados en condiciones de laboratorio, en medio acuático de agua dulce. Los datos podrán provenir de bioensayos con ingrediente activo (material grado reactivo o técnico) o producto formulado.

Específicamente para cada tipo de nivel trófico se indican a continuación los criterios de selección (ver Arias-Andrés, et al. 2018):

- Peces: índices de toxicidad aguda (EC50, LC50) que consideren los tipos de efecto de mortalidad, inmovilización o intoxicación. Estos deberán responder a tiempos de exposición de 2-21 días a ingrediente activo o formulado.
- Artrópodos: índices de toxicidad aguda (EC50, LC50) que consideren los tipos de efecto de mortalidad, inmovilización o intoxicación de artrópodos (incluyendo crustáceos e insectos acuáticos). Estos deberán responder a tiempos de exposición de 1-7 días a ingrediente activo o formulado.
- Productores primarios: índices de toxicidad aguda (EC50, IC50) que consideren los tipos de efecto de mortalidad e inhibición del crecimiento. Estos deberán responder a tiempos de exposición de 2-28 días para plantas acuáticas (macrófitas) y de 1-7 días para algas, a ingrediente activo o formulado.

Los datos de toxicidad (índices de toxicidad EC50, LC50, IC50) deben estandarizarse a una misma unidad (p.ej., mg/L). Se utilizará la media de la estimación del índice de toxicidad. En el caso de que se encuentren varios datos para una misma especie se utilizará la media geométrica de los datos para la misma especie. Se incorporarán datos en cuya estimación de índice de toxicidad se cuente con un número mayor de cero y que no se exprese en términos relativos (mayor o menor que). El análisis de riesgo utilizando datos de toxicidad provenientes de bioensayos que simulen condiciones ambientales (pruebas en campo o mesocosmos) podrá ser considerada de forma separada, debido a condiciones relevantes para el área de estudio.

Es importante considerar los objetivos de protección establecidos al inicio de la evaluación de riesgos (identificación del problema) para realizar una curación de datos o escoger subgrupos. Por ejemplo, la inclusión de datos de especies acuáticas pertenecientes a grupos diferentes a los indicados anteriormente podrá valorarse para ecosistemas o fines específicos de la evaluación de riesgos (especies de interés comercial, especies exóticas o especies en peligro de extinción). También tomar esta decisión si los resúmenes de evaluación de riesgo de agencias internacionales como EPA o EFSA, indican importancia en algún otro grupo de organismos (por ejemplo, anfibios). En los casos mencionados, así como el uso de datos generados específicamente para el análisis de riesgo, se debe considerar el cumplimiento de los criterios de diseño experimental y calidad.

Se debe compilar un cuadro con la información ecotoxicológica utilizada durante la estimación de riesgos por residuos de plaguicidas (de preferencia en formato de tabla de datos o .csv). Esta debe contener información de los datos como tipo de parámetro estadístico del índice (media y su incertidumbre si es posible), la información del origen de cada dato (referencia bibliográfica o base de datos), la especie analizada, el nivel trófico al que pertenece, condiciones experimentales (si la prueba tuvo renovación de medio o es estática, el tiempo de exposición, tipo de efecto determinado). También se recomienda indicar en el reporte del análisis, cuando no sea posible encontrar datos para alguno de los niveles tróficos y por lo tanto no se pueda estimar el riesgo bajo las metodologías aquí descritas.

#### *Metodología de estimación del riesgo de residuos de plaguicidas en agua*

Para estimar el riesgo presentado por la concentración de ingrediente activo (determinada en el agua superficial) sobre organismos del ecosistema acuático, se utilizarán métodos tanto determinísticos como probabilísticos, siendo estos:

- a. Metodología Nivel 1 – Coeficiente de riesgo (método determinístico)
- b. Metodología Nivel 2 – Comparación con la concentración de peligro al 5% de especies en una distribución de valores de sensibilidad (SSD) o HC5 (método probabilístico)

#### a. Metodología Nivel 1 – Coeficiente de Riesgo

Para derivar un coeficiente de riesgo por toxicidad se utilizarán los datos ecotoxicológicos más sensibles disponibles según los criterios antes descritos, correspondientes a los grupos de:

- Plantas acuáticas (macrófitas) y segundo lugar algas (productores primarios)
- Especies del género *Daphnia* para invertebrados acuáticos (consumidores primarios)
- Peces (consumidores secundarios)

Estos tres niveles tróficos, corresponden con los grupos biológicos para los cuales se tiene una clasificación de peligrosidad ecotoxicológica durante la evaluación de riesgos ambientales que realiza DIGECA-MINAE para el registro de los plaguicidas (MINAE, 2017).

El coeficiente de riesgo compara la concentración detectada en el agua superficial (exposición) con el valor de referencia ecotoxicológico (toxicidad):  $\text{exposición} / \text{toxicidad}$

Se mantiene un enfoque conservador al aplicar un factor de seguridad (FS) (EC, 2011) para cubrir la incertidumbre sobre la sensibilidad de las especies más sensibles que podrían encontrarse en el ecosistema.

$$\text{CR} = \text{exposición} / (\text{toxicidad} / \text{FS})$$

CR = Coeficiente de Riesgo

Exposición = Concentración detectada del i.a. en el agua superficial

Toxicidad = dato ecotoxicológico más sensible disponible de los tres grupos biológicos

FS= 1000 cuando sólo se cuenta con datos de un grupo biológico; por ejemplo, si sólo hay datos para *Daphnia*, o sólo para peces o sólo para productores primarios.

FS= 100 cuando existe información de 2 ó 3 grupos biológicos.

Un coeficiente  $\geq 1$  alerta sobre un riesgo alto por toxicidad aguda en el ecosistema y corresponderá definir a la autoridad competente las acciones a seguir. Se debe tener en consideración que el Coeficiente de Riesgo es la metodología con mayor nivel de incertidumbre, utilizada para la priorización de niveles tróficos y sustancias de interés en el análisis de riesgo. Ante un resultado donde se estime un riesgo alto por toxicidad (coeficiente  $\geq 1$ ) se recomienda aplicar análisis probabilísticos (Nivel 2) de la exposición ambiental y de efectos para disminuir la incertidumbre.

#### b. Metodología Nivel 2 – Método probabilístico

El análisis probabilístico busca disminuir la incertidumbre en niveles superiores del proceso de evaluación de riesgos. A diferencia del método determinístico, que usa sólo el dato ecotoxicológico de la especie más sensible en la literatura, este análisis de Nivel 2 se basa en la comparación de los datos de exposición (concentración de i.a. en al agua), con una distribución de probabilidad de una mayor cantidad de datos de sensibilidad de varias especies (peces, artrópodos y productores primarios), escogidas según los criterios de selección mencionados anteriormente. En este caso, se tomará la concentración de peligro para el percentil 5 de la distribución, usualmente conocido como concentración de peligro al 5% de las especies en la distribución o HC5, como criterio de calidad para definir un potencial alto de toxicidad o toxicidad aguda.

Estimación del HC5:

Hay diversas formas, descritas en la literatura científica y en guías técnicas, para el ajuste de datos ecotoxicológicos a una distribución probabilística, con el objeto de estimar el HC5, por lo que se indican en esta guía algunas recomendaciones generales a partir de entes reguladores en Norteamérica (EEUU y Canadá) y la Unión Europea:

1. Obtener una muestra preferiblemente con 15 datos (mínimo de 10), de al menos 8 especies para el grupo biológico analizado (productores primarios, consumidores primarios, o consumidores secundarios).
2. Considerar que debe ser prioridad el uso de grupos biológicos donde se espera una mayor sensibilidad debido a su acción biocida (por ejemplo, se utilizan datos de productores primarios para evaluar herbicidas, e invertebrados y peces para evaluar el riesgo de insecticidas).
3. En el caso de los fungicidas, debido a la menor disponibilidad de datos específicos para hongos, se podrán combinar especies de los diferentes grupos biológicos en la elaboración de la SSD.
4. En casos donde se encuentre cambios abruptos en la sensibilidad dentro de un grupo biológico, se debe valorar la separación o unión de grupos de datos en el análisis. Finalmente, en ausencia de suficientes datos con especies sensibles, se preferirá aplicar

un método determinístico (Nivel 1), pues permite considerar el mayor nivel de incertidumbre asociado al estimado de riesgo.

5. Realizar los ajustes de distribución de los datos ecotoxicológicos utilizando el método de Estimación de Máxima Verosimilitud o EMV.
6. Ajustar los datos a varias distribuciones (log-normal, log-logistic, log-Gumbel, Burr y Weibull) a partir de las cuales calcular un valor promedio del HC5 (y su intervalo de confianza al 95%). Para ello se recomienda la utilización de la herramienta *SSD Toolbox* desarrollado por la EPA de los EEUU<sup>3</sup> en el lenguaje de programación MATLAB®. Otra opción disponible es el paquete *SSDtools* en el lenguaje de programación estadística R, también accesible en su interfase gráfica de usuario (GUI) “*shinyssdtools*”<sup>4</sup>. Ambas herramientas son de acceso libre, permiten utilizar EMV y la aplicación de métodos iterativos para el ajuste de la distribución de datos, y proporcionan un intervalo de confianza para el valor de HC5. Además, permiten el análisis de distribuciones log-normal, log-logistic, log-Gumbel, Burr y Weibull. La herramienta SSDToolbox realiza además la estimación de las medias geométricas para una misma especie (Fox et al 2021).
7. Utilizar modelos con un valor  $p$  (bayesiano) de la prueba de bondad de ajuste lo más cercanos a 0.5 (preferiblemente entre 0.1 y 0.9), para estimar el HC5 de un modelo promedio. Esto lo hacen las herramientas SSDtoolbox y SSDtools mencionadas en el punto 3. Esta recomendación busca asegurar que los datos no posean un buen ajuste al modelo o que exista un sobreajuste (Royle et al, 2014).

En esta metodología de Nivel 2, el riesgo también se estima mediante el cociente de exposición/ toxicidad, pero en este caso, la toxicidad está representada por el valor del HC5.

$$ER = \text{exposición} / (\text{toxicidad}/FS)$$

ER = Estimación probabilística del Riesgo

Exposición = Concentración detectada del i.a. en el agua superficial

Toxicidad = concentración de peligro al 5% de las especies en la distribución (HC5)

FS= 10, para contemplar incertidumbres asociadas a la estimación.

---

<sup>3</sup> Disponible en: <https://www.epa.gov/chemical-research/species-sensitivity-distribution-ssd-toolbox>

<sup>4</sup> Disponible en: <https://bcgov-env.shinyapps.io/ssdtools/>

## Criterios de priorización de sustancias para el monitoreo

La adopción de medidas de control de emisiones para sustancias prioritarias es una práctica común en diversas partes del mundo, como por ejemplo en el marco de la Directiva Marco del Agua de la UE o la Ley de Control de Sustancias Tóxicas de la EPA en los EEUU. Se busca con esto priorizar en un periodo de 5 años aquellas sustancias a las cuales realizar una evaluación de riesgo posterior. Además, es una herramienta para guiar los esfuerzos de monitoreo de sustancias químicas en un territorio. Esto permite además realizar un vínculo entre el cálculo de riesgo realizado durante el registro de las sustancias químicas (evaluación de riesgo prospectiva) con la realidad del riesgo en los ecosistemas reales (evaluación de riesgo retrospectiva).

La priorización de sustancias está sujeta a revisión al menos cada 5 años o por solicitud ante la Dirección del Agua del MINAE, que valorará los criterios para la inclusión y exclusión de sustancias antes de la revisión del decreto.

### *Criterios para la priorización y selección de los i.a a monitorear:*

La presente guía establece los siguientes criterios para la priorización de los plaguicidas (i.a) que serán sujetos de monitoreo en los cuerpos de agua superficial y a los cuales realizar evaluaciones de riesgo posterior a su uso:

Criterio	Clasificación
Uso registrado	La sustancia se encuentra entre las de mayor volumen de importación (primeras 50 según datos de Kg de i.a.) para uso registradas en el país en el periodo de análisis.
Capacidad analítica	Existe capacidad instalada en el país para su cuantificación mediante método de barrido (preferible) o método único en los niveles determinados según los criterios de alerta derivados de esta metodología.
Toxicidad para organismos acuáticos	LC/EC50 aguda < 10 mg/L (1)
Persistencia (DT50)	Persistencia > 15 días (2)
Peligrosidad de la sustancia (otras listas prioritarias)	Clasificación de prioritaria o plaguicidas altamente peligrosos en listas internacionales (2)
Frecuencia de detección de la sustancia	Frecuencia de detección en muestras de agua superficial de Costa Rica >5 % (3)
Análisis de Riesgo realizado en el país	<ul style="list-style-type: none"><li>•Sustancias para las que se tiene información previa de riesgo por toxicidad aguda por investigaciones en el país.</li><li>•Sustancias detectadas durante mortalidades de fauna acuática. (4)</li></ul>

- (1) Criterios para la clasificación de la peligrosidad ecotoxicológica y persistencia ambiental de los ingredientes activos y productos formulados de uso agrícola (DIGECA-MINAE, 2017)
- (2) Base de datos de propiedades de plaguicidas (PPDB; <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm>)
- (3) Directiva Marco del Agua (UE), TSA de la EPA (EEUU), Highly Hazardous Pesticides (OMS, PAN).
- (4) Monitoreos realizadas por Ministerios e Instituciones Autónomas competentes en el tema; Plan Nacional de Monitoreo de la Calidad de las Aguas Superficiales.
- (5) Información científica publicada, Análisis realizado por DIGECA-MINAE o Información suministrada por SINAC por denuncias ambientales.

### *Considerandos generales:*

- El incumplimiento de los criterios de calidad ecotoxicológica aquí descritos debe entenderse como una **alerta de alto riesgo de toxicidad**, para lo cual se debe definir o priorizar acciones de mejora, remediación o gestión del uso de los plaguicidas en una cuenca o unidad hidrográfica definida.
- La adición de sustancias a la lista prioritaria se podrá realizar vía resolución administrativa por parte de la comisión técnica y tras justificación técnica de la peligrosidad de la sustancia o el incremento en la exposición esperada.
- Se podrán adicionar sustancias con un nivel de peligrosidad alto, pero para las cuáles no se tenga todavía capacidad de detección en el país, a una lista secundaria de sustancias prioritarias para las que se procurarán estrategias de desarrollo de métodos de detección en el país.
- Para las sustancias detectadas en muestras de agua superficial que se encuentren fuera de las contempladas en esta lista, se podrá aplicar la misma metodología descrita en el apartado anterior para la obtención del criterio de riesgo por toxicidad aguda. Para ello se deberá documentar la información ecotoxicológica utilizada.
- La autoridad competente o el comité técnico de revisión del reglamento podrá justificar, mediante criterio técnico, la aplicación de otras metodologías para estimar los criterios de riesgo por toxicidad, considerando que el resultado debe procurar una mayor protección a las comunidades acuáticas y nunca una protección menor.
- En el caso de la determinación analítica de los plaguicidas en agua, se establecerá un límite de detección mínimo del análisis, que sea inferior a los criterios propuestos.

### *Sustancias prioritarias y criterios de riesgo:*

Se presenta a continuación una lista de ingredientes activos para los cuales se establecen criterios para priorizar su peligrosidad en el ambiente, así como los datos para su evaluación de riesgo (por métodos determinístico y probabilístico). Para ello se consideraron las 50 sustancias importadas en mayor volumen durante el periodo 2017-2018 (Kg de i.a.)<sup>5</sup>. Se menciona los datos de toxicidad por grupo biológico para la realización del análisis determinístico de cada i.a. (Metodología de riesgo Nivel 1) y el estimado de HC5 (método probabilístico – Nivel 2) para los casos donde fue posible obtenerlo, mostrando el resultado por nivel trófico más sensible. Se recomienda hacer una actualización de los datos ecotoxicológicos con una periodicidad de 5 años o la que decida el comité que regula el decreto.

Además, se incorporaron a esta lista (Cuadro 1) una serie de i.a. cuyo volumen de importación no es tan alto, pero que cumplen con más de cuatro de los otros criterios de selección (por ejemplo, persistencia, riesgo reportado en la literatura, frecuencia de detección alta o presencia en listas prioritarias).

---

<sup>5</sup> Calculados por IRET-UNA a partir de registros de productos formulados registrados por SFE.

**Cuadro 1.** Propuesta de ingredientes activos prioritarios para monitoreo en aguas superficiales y sus criterios de priorización.

No.	No. Cas	Ingrediente activo (i.a)	Acción biocida <sup>A</sup>	Dentro de las 50 más importadas	Existe capacidad analítica CR	Toxicidad <10mg/L <sup>B</sup>	Persistencia (PPDB) >15d	HHP O Lista Prioritaria (PAN, EU, US-EPA)	Frec. detección > 5%	Análisis de Riesgo previo
1	94-75-7	2,4-D	H	X	X	X		X		
2	137-42-8	metam sodio	F	X	X	X		X		
3	121-75-5	malatión	I	X	X	X		X		
4	330-54-1	diuron	H	X	X	X	X	X	X	X
5	834-12-8	ametrina	H	X	X	X	X		X	X
6	53112-28-0	pirimetanil	F	X	X	X	X		X	
7	333-41-5	diazinon	I	X	X	X		X (SFE incumplimiento LMR 2020)	X	X
8	2921-88-2	clorpirifos	I	X	X	X	X	X (SFE incumplimiento LMR 2020)	X	X
9	13194-48-4	etoprofos	I	X	X	X		X	X	X
10	314-40-9	bromacil	H	X	X	X	X		X	X
11	1897-45-6	clorotalonil	F	X	X	X		X (SFE incumplimiento LMR 2020)	X	X
12	51235-04-2	hexazinona	H	X	X	X	X		X	X
13	25057-89-0	bentazona	H	X	X	X	X		X	
14	119446-68-3	difenoconazol	F	X	X	X	X		X	
15	60207-90-1	propiconazol	F	X	X	X	X	X	X	
16	67564-91-4	fenpropimorf	F	X	X	X	X		X	X
17	886-50-0	terbutrina	H	X	X	X	X	X	X	X
18	10605-21-7	carbendazina	F	X	X	X	X	X	X	

No.	No. Cas	Ingrediente activo (i.a)	Acción biocida <sup>A</sup>	Dentro de las 50 más importadas	Existe capacidad analítica CR	Toxicidad <10mg/L <sup>B</sup>	Persistencia (PPDB) >15d	HHP O Lista Prioritaria (PAN, EU, US-EPA)	Frec. detección > 5%	Análisis de Riesgo previo
19	22224-92-6	fenamifos	I	X	X	X		X		X
20	138261-41-3	imidacloprid	I	X	X	X	X	X		X
21	63-25-2	carbaril	I	X	X	X	X	X (SFE incumplimiento LMR 2020)		X
22	23135-22-0	Oxamil	I	X	X	X		X (SFE incumplimiento LMR 2020)		
23	60-51-5	dimetoato	I	X	X	X		X (SFE incumplimiento LMR 2020)		X
24	55219-65-3	triadimenol	F	X	X	X	X	X		
25	42874-03-3	oxifluorfen	H	X	X	X	X	X		X
26	13071-79-9	terbufos	I	X	X	X		X		X
27	298-02-2	forato	I	X	X	X	X	X		X
28	95465-99-9	cadusafos	I	X	X	X	X	X		X
29	118134-30-8	espiroxamina	F	X	X	X	X			X
30	40487-42-1	pendimetalina	H	X	X	X	X	X		X
31	52315-07-8	α-cypermethrin	I	X	X	X	X	X (SFE incumplimiento LMR 2020)		X
32	131860-33-8	azoxistrobina	F		X	X	X		X	X
33	133855-98-8 (En PPDB: 135319-73-2)	epoxiconazol	F		X	X	X	X	X	X
34	148-79-8	tiabendazol	F		X	X	X	X	X	
35	107534-96-3	tebuconazol	F		X	X	X	X	X	

No.	No. Cas	Ingrediente activo (i.a)	Acción biocida <sup>A</sup>	Dentro de las 50 más importadas	Existe capacidad analítica CR	Toxicidad <10mg/L <sup>B</sup>	Persistencia (PPDB) >15d	HHP O Lista Prioritaria (PAN, EU, US-EPA)	Frec. detección > 5%	Análisis de Riesgo previo
36	1563-66-2	carbofuran	I		X	X	X	X (SFE incumplimiento LMR 2020)	X	X
37	82-68-8	quintozeno (PCNB)	F		X	X	X		X	X

<sup>A</sup> F Fungicida, I Insecticida, H Herbicida.

<sup>B</sup> Datos LC/EC50 en 1 nivel trófico

A continuación, se presenta el Cuadro 2, que contiene la información de los datos ecotoxicológicos, los HC5 derivados para esta lista de ingredientes activos prioritarios y los criterios de riesgo respectivos.

**Cuadro 2.** Datos Ecotoxicológicos y criterios de riesgo estimados para los ingredientes activos prioritarios en el monitoreo de aguas superficiales.

N o.	Ingrediente activo (i.a)	Acción biocida <sup>A</sup>	LC/EC50 Invertebrado (mg/L)	Especie	LC/EC 50 Planta acuática (mg/L)	Especie	LC/EC 50 Peces (mg/L)	Especie	HC5 (µg/L)	Grupo biológico o analizado <sup>B</sup>	Dato más sensible (mg/L)	Nivel 1 (µg/L) <sup>C</sup>	Nivel 2 (µg/L) <sup>D</sup>
1	2,4-D	H	4	<i>D. magna</i>	0.58	<i>L. gibba</i>	324	<i>Ictalurus punctatus</i>	nd	nd	0.58	5.8	nd
2	metam sodio	F	2.4	<i>D. magna</i>	1.08	<i>P. subcapitata</i>	34.1	<i>O. mykiss</i>	nd	nd	1.08	10.8	nd

N o.	Ingrediente activo (i.a)	Acción biocida <sup>A</sup>	LC/EC50 Invertebrado (mg/L)	Especie	LC/EC50 Planta acuática (mg/L)	Especie	LC/EC50 Peces (mg/L)	Especie	HC5 (µg/L)	Grupo biológico o analizado <sup>B</sup>	Dato más sensible (mg/L)	Nivel 1 (µg/L) <sup>C</sup>	Nivel 2 (µg/L) <sup>D</sup>
3	malatión	I	0.014	<i>D. magna</i>	13	<i>P. subcapitata</i>	0.094	<i>O. mykiss</i>	0.15	Ar	0.014	0.14	0.015
4	diuron	H	5.7	<i>D. magna</i>	0.02	<i>L. minor</i>	1.5	<i>O. mykiss</i>	2.6	PP	0.02	0.2	0.26
5	ametrina	H	28	<i>D. magna</i>	0.0054	<i>L. gibba</i>	5	<i>O. mykiss</i>	0.2	PP	0.0054	0.054	0.02
6	pirimetanil	F	3.04	<i>D. magna</i>	7.8	<i>L. gibba</i>	10.14	<i>O. mykiss</i>	1740	todos	3.04	30.4	174
7	diazinón	I	0.0012	<i>D. magna</i>	6.4	<i>P. subcapitata</i>	0.78	<i>O. mykiss</i>	0.2	Ar	0.0012	0.012	0.02
8	clorpirifós	I	0.0011	<i>D. magna</i>	0.53	<i>L. minor</i>	0.015	<i>O. mykiss</i>	0.108	Ar	0.0011	0.011	0.0108
9	etoprofós	I	1.4	<i>D. magna</i>	nd		2.96	<i>O. mykiss</i>	3.1	Ar	1.4	14	0.31
10	bromacil	H	121	<i>D. magna</i>	0.0068	<i>P. subcapitata</i>	36	<i>O. mykiss</i>	3.8	PP	0.0068	0.068	0.38

N o.	Ingrediente activo (i.a)	Acción biocida <sup>A</sup>	LC/EC50 Invertebrado (mg/L)	Especie	LC/EC 50 Planta acuática (mg/L)	Especie	LC/EC 50 Peces (mg/L)	Especie	HC5 (µg/L)	Grupo biológico o analizado <sup>B</sup>	Dato más sensible (mg/L)	Nivel 1 (µg/L) <sup>C</sup>	Nivel 2 (µg/L) <sup>D</sup>
11	clorotalonil	F	0.16	<i>D. magna</i>	0.63	<i>L. gibba</i>	0.05	<i>O. mykiss</i>	6.2	todos	0.05	0.5	0.62
12	hexazinona	H	152	<i>D. magna</i>	0.037	<i>L. gibba</i>	146.7	<i>O. mykiss</i>	6.1	PP	0.037	0.37	0.61
13	bentazona	H	100	<i>D. magna</i>	5.35	<i>L. gibba</i>	100	<i>O. mykiss</i>	828	PPP	5.35	53.5	82.8
14	difenoconazol	F	0.015	<i>D. magna</i>	0.3	<i>P. subcapitata</i>	0.93	<i>O. mykiss</i>	100.9	todos	0.015	0.15	10.09
15	propiconazol	F	4.3	<i>D. magna</i>	5.62	<i>L. gibba</i>	5.4	<i>O. mykiss</i>	386.8	todos	4.3	43	38.68
16	fenpropimorf	F	2.24	<i>D. magna</i>	0.327	<i>P. subcapitata</i>	3.46	<i>O. mykiss</i>	nd	nd	0.327	3.27	nd
17	terbutrina	H	2.66	<i>D. magna</i>	9.21	<i>L. gibba</i>	0.82	<i>O. mykiss</i>	5.4	PP	0.82	8.2	0.54
18	carbendazima	F	0.1	<i>D. magna</i>	3.3	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	0.37	<i>O. mykiss</i>	11.7	todos	0.1	1	1.17
19	fenamifós	I	0.003	<i>D. magna</i>	3.8	<i>Scenedesmus subspicatus</i>	0.14	<i>O. mykiss</i>	0.8	Ar	0.003	0.03	0.08

N o.	Ingrediente activo (i.a)	Acción biocida <sup>A</sup>	LC/EC50 Invertebrado (mg/L)	Especie	LC/EC50 Planta acuática (mg/L)	Especie	LC/EC50 Peces (mg/L)	Especie	HC5 (µg/L)	Grupo biológico o analizado <sup>B</sup>	Dato más sensible (mg/L)	Nivel 1 (µg/L) <sup>C</sup>	Nivel 2 (µg/L) <sup>D</sup>
20	imidacloprid	I	85.2	<i>D. magna</i>	10	<i>S. subspicatus</i>	83	<i>O. mykiss</i>	0.517	Ar	10	100	0.0517
21	carbaril	I	0.014	<i>D. magna</i>	13.7	<i>L. gibba</i>	0.27	<i>O. mykiss</i>	1.02	Ar	0.014	0.14	0.102
22	oxamil	I	1.4	<i>D. magna</i>	3.57	<i>L. gibba</i>	3.7	<i>O. mykiss</i>	nd	nd	1.4	14	nd
23	dimetoato	I	0.82	<i>D. magna</i>	90.4	<i>P. subcapitata</i>	10.5	<i>O. mykiss</i>	1.25	Ar	0.82	8.2	0.125
24	triadimenol	F	2.5	<i>D. magna</i>	8.7	<i>P. subcapitata</i>	18.14	<i>O. mykiss</i>	2160	todos	2.5	25	216
25	oxifluorfen	H	0.072	<i>D. magna</i>	0.00033	<i>L. gibba</i>	0.25	<i>O. mykiss</i>	0.5	PP	0.00033	0.0033	0.05
26	terbufos	I	0.0014	<i>D. magna</i>	nd		0.014	<i>O. mykiss</i>	0.1	PP	0.0014	0.014	0.01
27	forato	I	0.028	<i>D. magna</i>	nd		0.058	<i>O. mykiss</i>	1.65	Ar	0.028	0.28	0.165

N o.	Ingrediente activo (i.a)	Acción biocida <sup>A</sup>	LC/EC50 Invertebrado (mg/L)	Especie	LC/EC50 Planta acuática (mg/L)	Especie	LC/EC50 Peces (mg/L)	Especie	HC5 (µg/L)	Grupo biológico o analizado <sup>B</sup>	Dato más sensible (mg/L)	Nivel 1 (µg/L) <sup>C</sup>	Nivel 2 (µg/L) <sup>D</sup>
28	cadusafós	I	0.00075	<i>D. magna</i>	4.3	<i>S. subspicatus</i>	0.13	<i>O. mykiss</i>	nd	nd	0.00075	0.0075	nd
29	espiroxamina	F	2.55	<i>D. magna</i>	2.1	<i>L. gibba</i>	17	<i>O. mykiss</i>	nd	nd	2.1	21	nd
30	pendimetalina	H	0.147	<i>D. magna</i>	0.0125	<i>L. gibba</i>	0.196	<i>O. mykiss</i>	3.26	PP	0.0125	0.125	0.326
31	α-cypermethrin	I	0.0095	<i>D. magna</i>	nd		0.003	<i>O. mykiss</i>	1.77	P	0.003	0.03	0.177
32	azoxistrobina	F	0.23	<i>D. magna</i>	3.2	<i>L. gibba</i>	0.47	<i>O. mykiss</i>	45.3	todos	0.23	2.3	4.53
33	epoxiconazol	F	nd	<i>D. magna</i>	0.014	<i>L. gibba</i>	nd		nd	nd	0.014	0.014*	nd
34	tiabendazol	F	0.81	<i>D. magna</i>	nd		0.55	<i>O. mykiss</i>	nd	nd	0.55	5.5	nd
35	tebuconazol	F	2.79	<i>D. magna</i>	0.144	<i>L. gibba</i>	4.4	<i>O. mykiss</i>	1160	todos	0.144	1.44	116

N o.	Ingrediente activo (i.a)	Acción biocida <sup>A</sup>	LC/EC50 Invertebrado (mg/L)	Especie	LC/EC 50 Planta acuática (mg/L)	Especie	LC/EC 50 Peces (mg/L)	Especie	HC5 (µg/L)	Grupo biológico o analizado <sup>B</sup>	Dato más sensible (mg/L)	Nivel 1 (µg/L) <sup>C</sup>	Nivel 2 (µg/L) <sup>D</sup>
36	carbofuran	I	0.0094	<i>D. magna</i>	nd		0.18	<i>Lepomis macrochirus</i>	0.608		0.0094	0.094	0.0608
37	quintozeno (PCNB)	F	0.77	<i>D. magna</i>	nd		nd		nd		0.77	0.77*	nd

<sup>A</sup> F Fungicida, I Insecticida, H Herbicida.

<sup>B</sup> PP=Productores Primarios, Ar=Artrópodos y P=Peces

<sup>C</sup> Se presenta el valor calculado para el nivel trófico más sensible, con la aplicación de los factores de seguridad correspondientes. Este dato representa el denominador en el CR.

<sup>D</sup> Se presenta el valor calculado para las especies del grupo biológico correspondiente, con la aplicación del factor de seguridad. Notar que este valor se presenta en microgramos por litro. Este dato representa el denominador en el ER.

\* Nota: Estos 2 casos son especiales pues como sólo había un dato de toxicidad, el FS es de 1000 y no de 100.

## Referencias

- Carriquiriborde, Pedro (Ed.). 2021. Principios de Ecotoxicología. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Disponible en línea en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/118183> [en español]
- Castillo G. 2004. Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. IMTA, México. 189p. Disponible en línea: <https://www.idrc.ca/es/node/11207>
- EC, 2011. European Commission. WFD CIS Guidance Document No. 27. Technical Guidance for Deriving Environmental Quality Standards. ISBN: 978-92-79-16228-2, DOI: 10.2779/43816
- OECD (Organisation for Economic Co-Operation and Development). 2011. Manual for the Assessment of Chemicals. Chapter 4: Initial Assessment of Data. Disponible en: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-assessment/chapter4initialassessmentofdata.htm>
- Stephan, C. E., Mount, D. I., Hansen, D. J., Gentile, J. H., Chapman, G. A., & Brungs, W. A. 1985. Guidelines for deriving numerical national water quality criteria for the protection of aquatic organisms and their uses (p. 98). Washington, DC: US Environmental Protection Agency. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-02/documents/guidelines-water-quality-criteria.pdf>
- MINAE. 2017. Criterios para la clasificación de la peligrosidad ecotoxicológica y persistencia ambiental de los ingredientes activos y productos formulados de uso agrícola. Dirección de Gestión de Calidad Ambiental. Disponible en: <http://www.digeca.go.cr/documentos/criterios-para-la-clasificacion-de-la-peligrosidad-ecotoxicologica-y-persistencia>
- Arias-Andrés, M., Rämö, R., Mena Torres, F. et al. Lower tier toxicity risk assessment of agriculture pesticides detected on the Río Madre de Dios watershed, Costa Rica. Environ Sci Pollut Res 25, 13312–13321 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7875-7>
- Royle, J. A., Chandler, R. B., Sollmann, R., & Gardner, B. (2014). GLMs and Bayesian Analysis. In Spatial Capture-recapture (pp. 47–85). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405939-9.00003-7>
- Fox, D. R., Dam, R. A., Fisher, R., Batley, G. E., Tillmanns, A. R., Thorley, J., Schwarz, C. J., Spry, D. J., & McTavish, K. (2021). Recent Developments in Species Sensitivity Distribution Modeling. Environmental Toxicology and Chemistry, 40(2), 293–308. <https://doi.org/10.1002/etc.4925>

SOFTWARE disponibles o paquetes de R:

Paquete SSD tools de R: <https://bcgov-env.shinyapps.io/ssdtools/> y <https://github.com/bcgov/ssdtools>

SST Toolbox US EPA: <https://www.epa.gov/chemical-research/species-sensitivity-distribution-ssd-toolbox>