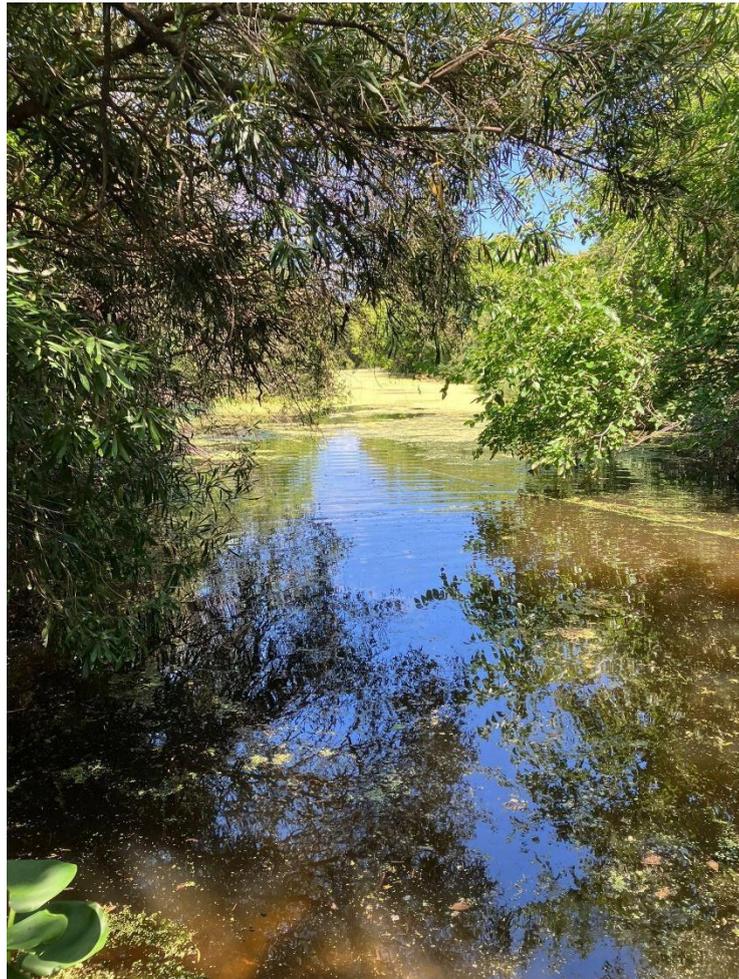


PRODUCTO 4

Programa de Monitoreo de Plaguicidas en la cuenca del Río San Salvador (Soriano)



Este documento fue generado en el marco de la Carta de Acuerdo entre la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Fundación para el Desarrollo de las Ciencias Básicas (FUNDACIBA), asociado al proyecto: “Fortalecimiento de las capacidades para la gestión ambientalmente adecuada de plaguicidas incluyendo COPS” UTF/URU/035/URU. Dicho proyecto se ejecuta con técnicos del CURE- Maldonado y CURE-Rocha, GACT (Montevideo y Paysandú), Facultad de Ciencias (Montevideo), UDELAR, DINACEA (Montevideo) Ministerio de Ambiente.



Técnicos participantes:

Centro Universitario Regional del Este-Maldonado, UDELAR & FUNDACIBA

Cesar Rodríguez
Giancarlo Tesitore
Martín Pacheco
Margenny Barrios
Eugenia Fontes
Emilia Heber
Juan Manuel Gutiérrez
Alejandra Kröger
Dalma Soñez
Franco Teixeira de Mello

Centro Universitario Regional del Este- Rocha, UDELAR & FUNDACIBA

Andrés Pérez Parada

Facultad de Ciencias, UDELAR & FUNDACIBA

Sheena Salvarrey
Natalia Arbulo
Estela Santos
Eugenia Suárez
Yulai Ramos
Juan Pablo Burla
Mónica Remedios
Gabriela Bentancur
Pablo Juri
José Anzola
Ciro Invernizzi

Laboratorio Química, CENUR LN. Facultad de Química, UDELAR & FUNDACIBA

Silvina Niell
Fiamma Pequeño
Melina Dorrego
Pilar Jorcin
Martín Torino
Veronica Cesio
Horacio Heinzen

Laboratorio DINACEA-Ministerio de Ambiente

Natalia Barboza
Alejandro Mangarelli
Rodrigo Souza
Alfonso Rodriguez
Laura Diana
Valentina da Silveira
Vivian Muñoz



Ministerio de Ambiente División Calidad Ambiental (DINACEA)

Carolina Ferrer
Belén Ocampo
Facundo Lepillanca
Lucía Gómez
Magdalena Hill

Responsables escritura del informe Final:

Cesar Rodríguez-Bolaña
Juan Manuel Gutiérrez
Martín Pacheco
Alejandra Kroger
Franco Teixeira de Mello

Coordinador general del proyecto:

Franco Teixeira de Mello

LABORATORIOS PARTICIPANTES

CURE- Sedes Maldonado y Rocha, UDELAR
GACT (Facultad de Química, Montevideo y CENUR Litoral Norte, Paysandú), UDELAR
Facultad de Ciencias (Montevideo), UDELAR
DINACEA (Montevideo), MA



AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este proyecto implicó el trabajo de una gran cantidad de técnicos e instituciones. Además, queremos resaltar nuestro agradecimiento a quienes colaboraron desinteresadamente con este proyecto. A nivel del proyecto marco queremos agradecer la colaboración de los técnicos de la FAO Samanta Stebniki y Sebastián Viroga, que estuvieron detrás de toda la ejecución del mismo, además aportando información clave sobre los usos del suelo y plaguicidas utilizados en la cuenca. A todo el equipo de la División de Calidad Ambiental que colaboró en el campo y en la coordinación de las campañas de muestreos. A Mercedes Gelós del Ministerio de Ambiente por sus aportes en el análisis de usos del suelo a nivel de cuenca. A Marisol Mallo quién ha fomentado desde el Ministerio de Ambiente el fortalecimiento de las capacidades nacionales para el monitoreo de plaguicidas facilitando el trabajo en conjunto con la Universidad de la República.

En campo queremos agradecer a Carlos Larrea que nos acompañó con su embarcación propia a todos los muestreos realizados en el punto más bajo de la cuenca donde se necesitaba conocer el río para poder calar las redes. También a los productores José María Sánchez, Andrés Negrín, Marcel Bontink e Ignacio Sasso por poner a disposición sus apiarios.

A FUNDACIBA por la gestión económica del proyecto y a la Universidad de la República que ha sido un fuerte sustento en cuanto a infraestructura de laboratorios, movilidad y recursos humanos.

Contenido

Tabla de contenido

Resumen ejecutivo	7
TOMO 1: Descripción de los arreglos operativos desde la perspectiva de la gestión de la campaña	12
i. Descripción y evaluación de la logística	12
ii. Metodologías y protocolos generados y/o utilizados	12
ii.1 Área de estudio	12
ii.2 Selección de sitios de Muestreo	15
ii.3 Consideraciones previas a las campañas de muestreo	21
ii.4 Protocolo: toma de muestras de agua	21
ii.5 Protocolo: toma de muestras de sedimentos	23
ii.6 Protocolo: toma de muestras de bivalvos	23
ii.7 Protocolo: toma de muestras de peces	24
ii.8 Protocolo: toma de muestras de colmenas	28
ii.9 Protocolo: colecta de polinizadores	29
iii. Descripción de metodologías analíticas	31
iii.1 Plaguicidas en agua	31
iii.2 Plaguicidas en sedimentos	33
iii.3 Plaguicidas en bivalvos	34
iii.4 Plaguicidas en peces	34
iii.5 Plaguicidas en apiarios	35
iii.6 Criterios para el reporte de datos entre laboratorios	37
iii.7 Características poblacionales y comunitarias en peces	37
iv. Análisis de datos según matrices	39
iv.1 Plaguicidas en Agua	39
iv.2 Plaguicidas en Sedimentos	43
iv.3 Plaguicidas en peces, análisis poblacional y comunitario	43
iv.5 Plaguicidas en polinizadores	49
v. Detalle de los recursos humanos efectivamente empleados	50
TOMO 2: Evaluación e interpretación global de las campañas de monitoreo.	52
i. Modelo conceptual de la cuenca en base a los resultados y observaciones de campo	52

ii. Análisis y discusión de la evaluación de plaguicidas en las diferentes matrices analizadas.	53
ii.1 Plaguicidas en Agua: resultados y discusión	53
ii.2 Plaguicidas en peces: resultados y discusión	74
ii.3 Plaguicidas en Bivalvos: resultados y discusión	99
ii.4 Plaguicidas en Colmenas: resultados y discusión	113
vi. Distribución de los plaguicidas entre las diferentes matrices (agua, peces, bivalvos, abejas, cera, polen y miel). Análisis de complementariedad	139
vii. Descripción de la comunidad de peces	142
vii.1 Estructura y variabilidad espacio temporal de la comunidad	142
vii.2 Caracterización trófica de la comunidad	145
viii. Polinizadores diversidad	156
ix. Origen botánico de la miel y el polen colectado por abejas.	165
x. Discusión general	169
xi. Conclusiones	173
xii. Bibliografía	175
xiii. Anexos	181

Resumen ejecutivo

En las últimas décadas Uruguay experimentó una notoria expansión y consolidación agrícola, incrementado un 65% su superficie cultivada en el período 2000 – 2017. Este crecimiento fue liderado principalmente por un aumento del área sembrada de soja, lo que a su vez incidió en el crecimiento del área sembrada de trigo, debido a la adopción del doble cultivo anual como práctica predominante. En 2021, la superficie total sembrada de cultivos de verano fue de casi 1,2 millones de hectáreas, correspondiendo más de 900.000 ha a soja, 142.000 ha a maíz y casi 28.000 ha al cultivo de sorgo. Gran parte del paquete tecnológico asociado con estas actividades incluyen el empleo de una gran diversidad de plaguicidas para proteger y aumentar la productividad de los cultivos. En este sentido, en Uruguay en el año 2020 se importaron casi 12 millones de kilogramos de plaguicidas en forma de principios activos. Debido a la movilidad que presentan estos plaguicidas, una proporción no despreciable termina llegando a los sistemas acuáticos por mecanismos como la deriva aérea, transporte atmosférico, escorrentía superficial o subsuperficial. Una vez en el medio acuático, los plaguicidas permanecen disueltos en agua o son absorbidos por las partículas orgánicas e inorgánicas suspendidas, las cuales luego pueden depositarse en los sedimentos o ser absorbidas por la biota.

En un contexto de preocupación creciente a nivel país por fortalecer la gestión de los plaguicidas, se lleva adelante en Uruguay el proyecto UTF/URU/035/URU: *“Fortalecimiento de las capacidades para la gestión ambientalmente adecuada de plaguicidas incluyendo COPs”* liderado por el Ministerio de Ambiente (MA), Ministerio de Ganadería y Pesca (MGAP) y Ministerio de Salud Pública (MSP). El objetivo general de este proyecto es fortalecer el marco legal y la capacidad institucional para un manejo apropiado de los plaguicidas, así como la prevención, manejo y disposición ambientalmente adecuada de los residuos de estos productos.

En el marco del proyecto mencionado y con el objetivo de aportar a su desarrollo, la presente propuesta se basó en la ejecución de un programa de monitoreo de plaguicidas en la cuenca del río San Salvador (Soriano) y sus principales afluentes en las matrices: agua, sedimentos, peces, bivalvos y polinizadores. Su objetivo principal se basó en la generación de estrategias que permitan fortalecer (particularmente en la temática plaguicidas) los planes de monitoreo de calidad de agua que ya viene ejecutando la División de Calidad del Ministerio de Ambiente.

Se logró identificar y cuantificar la presencia de múltiples plaguicidas, así como evaluar su dinámica espacial y temporal. El enfoque metodológico diseñado para este trabajo buscó hacer posible la aplicación del conocimiento generado en el Programa de Monitoreo de plaguicidas en Laguna del Cisne (Canelones) en el marco del mismo



proyecto (GCP/URU/031/GFF) durante el período (2018-2019). Además se incluyeron aportes de la División de Calidad considerando los monitoreos previos que se vienen realizando por el Ministerio de Ambiente.

El análisis de muestras de agua permitió evaluar la presencia y los aportes recientes de plaguicidas en el sistema y sus efectos en la calidad del agua. Se detectaron 41 plaguicidas, entre ellos el herbicida atrazina, prohibido en 2016 por MGAP (Res. 104 12/16) y otros con determinadas restricciones de comercialización (etión, permetrina, clorpirifos, imidacloprid y tiametoxan). Asimismo, 17 de ellos son considerados Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAP) debido a que presentan altos niveles de peligro agudo o crónico para la salud o el medio ambiente. Las 52 muestras analizadas en agua presentaron al menos nueve plaguicidas cada una (máximo 25). Se lograron determinar variaciones estacionales, con una mayor ocurrencia en otoño y mínima en verano. Glifosato y AMPA fueron los plaguicidas con mayor concentración media en todo el año, excepto en noviembre donde el 2.4-D, fue el plaguicida con mayor concentración media. La presencia de una gran variedad de plaguicidas (16) en todos los meses analizados sugiere la existencia de un paquete de plaguicidas que son usados de forma continua en el sistema, independientemente de la época del año y el tipo de cultivo predominante en la cuenca, siendo la mayoría de estos compuestos herbicidas. La gran similitud de plaguicidas en todos los sitios analizados no permitió determinar una entrada diferencial clara de los plaguicidas en función de su uso en la cuenca. Sin embargo, se detectaron ingresos específicos en algunos afluentes. La evaluación de riesgo ecotoxicológico basado en el método de Risk Quotient (RQ) determinó un riesgo ambiental alto en toda la cuenca, al considerar tres niveles taxonómicos de importancia en los cursos de agua (algas, invertebrados y peces). Este riesgo fue particularmente alto en la parte baja de la cuenca. Los compuestos que presentan mayor riesgo fueron los insecticidas organofosforados (etión y clorpirifos) y los piretroides (cipermetrina, permetrina, bifentrina y lambda-cialotrina). El potencial de bioacumulación de estos compuestos y sus posibles efectos en la biota determinan la necesidad de profundizar en las prácticas agrícolas de estos plaguicidas para minimizar sus riesgos. En la cuenca se detectó el uso de atrazina, un plaguicida prohibido en Uruguay desde 2016, este uso se vio reflejado en su presencia en agua en todos los muestreos, y en básicamente toda la cuenca. También se detectó en peces en algunas ocasiones. Considerando el número de muestras analizadas en agua y la frecuencia de ocurrencia de plaguicidas, el análisis de acumulación determinó que el esfuerzo de muestreo fue adecuado y representativo del número total de plaguicidas estimados para el sistema para esa frecuencia de muestreo. Sin embargo, este número podría estar subestimado considerando los resultados previos en la Laguna del Cisne, donde el análisis de la frecuencia de muestreos evidenció que el pasaje de muestreos mensuales a trimestrales (como en este caso) el número de plaguicidas detectados disminuye a un 50%.

No fueron detectados plaguicidas en la matriz sedimento. Considerando que la metodología analítica utilizada fué similar a las demás matrices sólidas evaluadas (ej. peces), la falta de cuantificación puede estar relacionada a que no se ha podido mejorar la capacidad de concentración de la muestra durante el proceso de extracción. En este sentido, resulta necesario mejorar la capacidad de extracción ya que actualmente se podrían cuantificar solo cuando las concentraciones son muy elevadas.

En el caso de los peces, se analizaron 158 muestras provenientes de 32 especies, resultando positivas para al menos un plaguicida el 83,5% de las mismas. Se detectaron 30 plaguicidas, de los cuales cinco fueron exclusivamente encontrados en peces (endosulfan sulfato, fenazaquin, flumetsulam, isoxadifen-ethyl y pirimifos metil) indicativo de la capacidad de acumular compuestos que no son de fácil detección en otras matrices. La mayor ocurrencia de plaguicidas se observó en el mes de noviembre (18), y el mínimo en febrero (12). Al igual que en agua, cuatro plaguicidas fueron detectados en todos los muestreos (clorpirifos, cipermetrina, bifentrina y simazina), siendo los dos primeros compuestos PAP. Se detectó riesgo ecotoxicológico moderado para peces de los insecticidas piretroides: lambda-cialotrina (mayo) y cipermetrina (febrero). Además, se encontró una relación positiva significativa entre el número de plaguicidas por muestras y la posición trófica de los peces. Este fenómeno de bioacumulación en la red trófica representa un riesgo para la comunidad acuática en general. Adicionalmente, el contenido lipídico en el músculo también presentó una relación positiva con la concentración de plaguicidas en la muestra. En base a esto se sugiere trabajar con al menos dos especies *Bryconamericus iheringii* (mojarra muy abundante con una importante presencia de plaguicidas) y *Oligosarcus jenynsii* (especie clasificada como piscívora, con contenido graso medio-alto; y de gran abundancia en la cuenca).

En bivalvos se detectaron 13 plaguicidas, de los cuales sorprendentemente casi la mitad (6) fueron exclusivas de esta matriz (acetolaclor, difenoconazol, fipronil, fipronil sulfona, fludioxonil y metil paratión). Estos resultados resaltan la importancia de los bivalvos como matriz complementaria a las muestras de agua y peces. La mayor cantidad de plaguicidas se observó en noviembre (7) y la menor en agosto (2), siendo el piretroide bifentrina el único que ocurrió durante todos los meses analizados. Se encontró una relación positiva significativa entre la concentración de plaguicidas bioacumulados y el tamaño de los individuos, así como una relación negativa significativa entre la cantidad de plaguicidas y el tamaño. En general *C. fluminea* y *Diplodon* sp. acumularon plaguicidas diferentes, poniendo de manifiesto la utilidad de utilizar diferentes especies para una misma matriz. El riesgo ecotoxicológico para esta matriz pudo ser determinado para unos pocos plaguicidas dada la falta de disponibilidad de información bibliográfica.

Las cuatro matrices de polinizadores (polen, miel, cera y abejas) fueron complementarias en cuanto a los plaguicidas que acumularon además se debe considerar que todas ellas indican una temporalidad distinta. Al presentar la mayor cantidad de plaguicidas sumado a la similitud en la presencia de plaguicidas entre los apiarios, la matriz cera se posicionó como la mejor opción de entre las cuatro para analizar los usos del suelo en la cuenca. Por su parte, en la matriz polen se observaron las mayores concentraciones de plaguicidas, por lo que ambas matrices se deberían evaluar en conjunto. Los fungicidas (azoxiestrobina, piraclostrobina y trifloxistrobina) fueron los compuestos más abundantes en las cuatro matrices. Sin embargo, el análisis de priorización de riesgo determinó que los insecticidas: bifentrina, tiametoxam, clorpirifos, acetamiprid y carbendazim; y el herbicida atrazina son los compuestos que representan el mayor riesgo para las abejas.

Se observó una gran complementariedad entre todas las matrices analizadas, con un 7,2% de los plaguicidas presentes en todas ellas. En función de las características de los plaguicidas, los insecticidas tienden a ser más frecuentes en matrices biológicas, mientras que los herbicidas son más frecuentes en agua. Los diferentes patrones de acumulación permitieron determinar diferentes temporalidades entre ellas. Agua y polen son indicadores de los usos recientes en la cuenca, mientras que peces, bivalvos y cera reflejan una temporalidad mayor, asociada a los usos de la cuenca.

En base a los resultados encontrados recomendamos una serie de criterios para fortalecer los Planes de Monitoreo de Calidad de Agua en la cuenca del río San Salvador:

- 1) aumentar la frecuencia del monitoreo en la matriz agua en los afluentes debido a que es más sencillo entender la dinámica con respecto a los usos del suelo. Aumentar la frecuencia y poder mantener un número de muestras relativamente similar puede surgir de eliminar algunos sitios utilizados en el cauce del San Salvador;
- 2) incorporar análisis de cargas de plaguicidas y mejorar el acceso a los calendarios agrícolas intra-anales
- 3) mejorar la validación del método de determinación de plaguicidas en sedimentos particularmente en la reducción de los LOQs;
- 4) seleccionar al menos las dos especies de peces indicadas y las especies de bivalvos invasoras, de esta manera se cubren al menos tres grupos tróficos, y un gradiente de contenido lipídico y de tamaño corporal);
- 5) en componente polinizadores si bien existe complementariedad entre matrices, dada su acumulación y temporalidad sería recomendable trabajar con la matriz cera y polen;
- 6) resulta relevante los avances generados entre las diferentes instituciones participantes, por lo que se recomienda generar un espacio interinstitucional para abordar este tipo de monitoreos considerando capacidades complementarias para la puesta en marcha de estos programas de monitoreo a nivel país.



La estrategia aplicada permitió generar y ajustar protocolos para la toma de muestras, así como desarrollar mejoras en las capacidades analíticas para el análisis de plaguicidas a escala nacional. Se lograron identificar varios de los desafíos asociados a la dinámica de los sistemas lóticos, cuyas recomendaciones se detallan y que podrán ser utilizadas en diversas cuencas de nuestro país. El trabajo interinstitucional que se viene llevando adelante desde hace varios años entre la Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental del MA y con el apoyo de FAO, los laboratorios del Grupo de Análisis de Contaminantes Traza (GACT) en Facultad de Química en Montevideo y en el CENUR Litoral Norte en Paysandú y el CURE sedes Maldonado y Rocha, representa una vez más un aporte valioso para el entramado científico y de gestión ambiental a nivel nacional.

TOMO 1: Descripción de los arreglos operativos desde la perspectiva de la gestión de la campaña

i. Descripción y evaluación de la logística

Este proyecto se llevó a cabo en un período de un año (entre mayo 2022 y febrero de 2023) y contó con el trabajo en conjunto de diferentes entes. Los involucrados fueron: técnicos del CURE-Maldonado y CURE-Rocha, GACT (Montevideo y Paysandú), Facultad de Ciencias (Montevideo), UDELAR y DINACEA (Montevideo) del Ministerio de Ambiente. Los técnicos de Cure Maldonado y DINACEA concurren en las 4 estaciones: mayo, agosto, noviembre y febrero a monitorear las matrices de agua, sedimento, peces y bivalvos. La coordinación logística de los muestreos fue exitosa. Dicha colaboración entre las distintas instituciones fue clave para el correcto desarrollo del proyecto. Esta experiencia fue exitosa y se lograron llevar a cabo los objetivos planteados, generando una base de datos importante para futuros planes de manejo. Además, se sienta otro precedente sobre el monitoreo de plaguicidas y COP's en el territorio uruguayo que brinda información particular sobre los sistemas uruguayos. Finalmente se proponen estrategias y recomendaciones para abordar este tipo de monitoreos.

ii. Metodologías y protocolos generados y/o utilizados

ii.1 Área de estudio

La cuenca del río San Salvador forma parte de la cuenca hidrográfica alta del río Uruguay y comprende una superficie de 3.085 km². Su cauce es de aproximadamente 100 km, incluido totalmente en el Departamento de Soriano (MVOTMA-FAO, 2020). El río nace en la cuchilla del mismo nombre, en Cardona, bordea la ciudad de Dolores y desemboca en el Río Uruguay, a la altura de Colonia Concordia. Sus principales afluentes son los arroyos Bizcocho, Espinillo, San Martín, Corralito, Del Águila, Magallanes, Del Medio y Olivera.

Se considera una cuenca con una densidad poblacional alta (áreas rurales: 1 habitante por km²; áreas urbanas: 19 habitantes por km²) (INE, 2011). Los centros poblados con más habitantes de la cuenca son: Dolores (17174 hab), Palmitas (2123 hab), José Enrique Rodó (2120 hab) y Cardona (4600 hab) (INE, 2011).

El paisaje está compuesto principalmente por dos sectores geomorfológicos: el Basamento Cristalino, y parte de la gran Cuenca Sedimentaria del Litoral Oeste, que desarrollan suelos profundos, con buen drenaje y retención de agua, factores que generan una alta fertilidad (MGAP, 2017). En este sentido, su cuenca ocupa una de las regiones agrícolas más fértiles del Uruguay, representando un 10 % del área agrícola de todo el país (MGAP, 2017). Se destaca además que el 76 % de sus suelos son destinados a la agricultura (MGAP, 2017). Allí prevalecen los cultivos de secano, siendo los principales: soja, trigo, cebada, maíz y sorgo y en menor medida canola, lino y girasol (Mondelli M. et. al., 2015). En este sentido, esta zona contribuye al 21 % de la producción nacional de trigo, 17 % de maíz, 9 % de soja y 14 % de sorgo (BRL Ingenierie S.A. y SIGMAPLUS SRL). Otras actividades predominantes en la región son la forestación y la ganadería (la lechería, la ganadería extensiva y a corral (feedlots).

Producto del régimen característico de precipitación del Uruguay, la cuenca presenta una alta variabilidad intranual. Este régimen irregular explica la presencia de fuertes torrentes de agua en determinadas épocas del año, así como la escasez del recurso en otras (MVOTMA-FAO, 2020). Los antecedentes de caudales (período 1988-2000) evidencian una escorrentía anual promedio de 463 mm, que se corresponde a un caudal de 45 m³/s, y al caudal específico de 15 l/s/km² (Genta et al., 2001)

El río San Salvador es monitoreado por el MVOTMA-DINAMA-DCA desde el año 2014 (con una frecuencia bimensual a partir del año 2016). Estos estudios reportan altas concentraciones de nutrientes en el agua (fósforo total y nitrógeno total) que exceden la normativa vigente, y lo relacionan con los aportes difusos de la cuenca vinculados a las actividades agrícolas (MVOTMA-DINAMA 2019). En este sentido, los valores del Índice de Estado Trófico (IET), basado en la concentración de fósforo total en la columna de agua evidencia supereutrofia ($63 < IET \leq 67$) e hipereutrofia ($IET > 67$) en la mayor parte de su recorrido MVOTMA-DINAMA (2019). Se observa un gradiente de concentraciones desde la naciente hacia la zona baja de la cuenca, siendo esta última la zona más comprometida del río. Este tramo se caracteriza por sus altas concentraciones de nutrientes y altas concentraciones de coliformes termotolerantes consecuencia de los aportes de la ciudad de Dolores, cuyos desechos no son tratados (MVOTMA-DINAMA, 2019).

En general las concentraciones más altas de nutrientes se vincularon a aquellos años en donde se registraron las mayores precipitaciones acumuladas, resaltando la importancia del aporte desde la cuenca por escorrentía. En este sentido, la persistencia de compuestos orgánicos en el suelo, como los plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), también podrían ser transportados hacia las aguas continentales por escorrentía superficial o deposición atmosférica (Pérez-Parada et al., 2018). En general se ha observado que existe una mayor perturbación en los sistemas acuáticos con

cuencas agrícolas y urbanas, en comparación con cuencas no agrícolas (Aguilar et al., 2017; Metcalfe et al., 2019; Soutullo et al., 2020). Con una relación directa entre la concentración y ocurrencia de plaguicidas en las aguas superficiales y la cantidad y frecuencia de plaguicidas aplicados en la cuenca (Metcalfe et al., 2019).

En las últimas décadas, la intensificación de la agricultura en Uruguay, principalmente relacionada a los cultivos de secano, ha llevado a un uso intenso de plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas). Solamente en 2018 se han importado más de 15,8 millones de kg de ingrediente activo de plaguicidas (DGSA, 2018). La introducción de tales volúmenes de plaguicidas en el ambiente representa un riesgo para la salud humana y la de los ecosistemas, ya que pueden producir múltiples consecuencias negativas a nivel de los organismos, poblaciones y comunidades (Pérez-Parada et al., 2018; Silva et al., 2019).

La cuenca del río San Salvador, presenta el mayor porcentaje de área de agricultura de secano del país (MVOTMA-FAO, 2019), y su área cultivada aumentó un 50% entre 1990 y 2018 (Hastings, 2020). Desde el año 2014 se vienen monitoreando los siguientes plaguicidas en agua: atrazina, clorpirifos, endosulfán, glifosato y AMPA. A partir de mayo de 2019 se incorporó el análisis de 17 nuevos principios activos en la matriz agua y en noviembre de 2019 se incorporaron 11 principios activos más a cargo del Laboratorio de DGSA del MGAP (MVOTMA-DINAMA, 2020).

Durante ese período (2014-2019) el glifosato se detectó en el 63% de las muestras, AMPA en el 72% de las muestras, atrazina en el 20% y clorpirifos en 1%. De los nuevos plaguicidas incorporados se detectó la presencia de simazina y tiametoxan. En general se observa que la distribución espacial de los pesticidas aumenta desde la cabecera hacia la desembocadura. Las concentraciones máximas de glifosato se dieron en mayo 2014 con 15,2 $\mu\text{g/L}$ (año con las precipitaciones más altas registradas para el período analizado). Los valores máximos de atrazina fueron encontrados de 12,6 $\mu\text{g/l}$ en octubre de 2014, coincidiendo con los picos máximos de rendimientos y superficie cultivada en el Departamento de Soriano (MVOTMA-DINAMA, 2020).

En 2019, mediante la incorporación de 28 plaguicidas a los análisis (17 en muestreo de mayo y 11 en noviembre), se logró detectar la presencia de simazina, sustituto de la atrazina con un valor promedio de 0,90 $\mu\text{g/L}$ y tiametoxan (concentración media de 0,23 $\mu\text{g/l}$ y máxima de 0,28 $\mu\text{g/L}$). En este año también se integró el monitoreo de cuatro de sus afluentes (arroyos San Martín, Maciel, del Águila y Magallanes). En sedimento, para el período 2014-2015 fueron detectados únicamente glifosato y AMPA aunque no se lograron coleccionar muestras de todas las estaciones del año. No existen antecedentes de análisis de plaguicidas en biota en el río San Salvador.

ii.2 Selección de sitios de Muestreo

ii.2.a Agua, Sedimento, Peces y Bivalvos

Un total de 13 sitios para el muestreo de agua, 3 de sedimentos y 9 para peces y bivalvos fueron establecidos en la campaña piloto realizada los días 29 y 30 de marzo de 2022 (**Fig. 1**). Los lugares incluyen sitios muestreados previamente por MA-OSE-MGAP y abarcan tanto la parte alta, media y baja de la cuenca, así como el cauce principal del río San Salvador y algunos de sus mayores afluentes. Los muestreos tuvieron una frecuencia trimestral, y se realizaron en mayo 2022, agosto 2022, noviembre 2022 y febrero 2023.

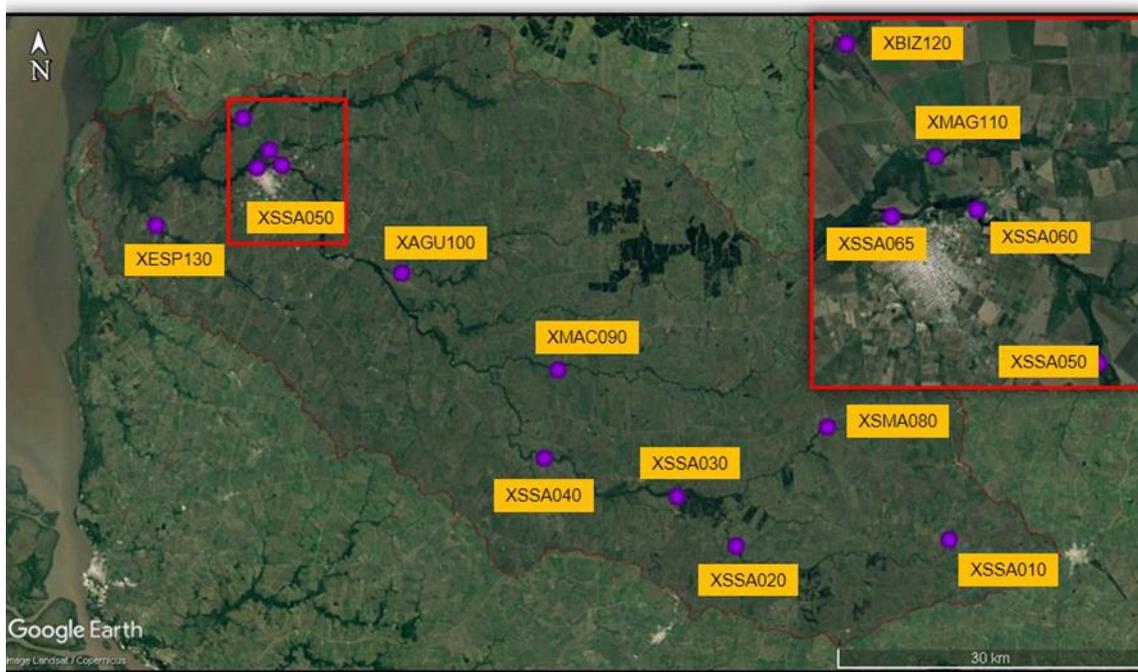


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en la cuenca del Río San Salvador.

Cada sitio ubicado geográficamente se identifica con una nomenclatura que comienza con un código de cuatro letras y tres números. La primera letra corresponde al tipo sistema (x: lótico), y las siguientes identifican al curso de agua (ej: SSA, río San Salvador) y los números al sitio de muestreo. Los afluentes están representados por las primeras tres letras del nombre del arroyo (**Tabla 1**).

Salvo para los sitios XBIZ120 (arroyo Bizcocho) y XESP130 (arroyo Espinillo) la codificación es la misma que utiliza la División de Calidad del Ministerio de Ambiente para sus muestreos de Calidad de Agua en la cuenca. Si bien ambos puntos representan nuevos sitios de colecta, su identificación se generó en coordinación con dicha División.

La posición de todos los sitios y su codificación se mantuvo durante toda la realización del proyecto (**Tabla 1, Fig. 2**). Se puede seguir el recorrido que realizó cada muestra desde su colecta a su procesamiento en función del tipo de matriz (**Anexo 1**).

Tabla 1. Códigos, coordenadas y matrices analizadas en cada uno de los sitios.

Sistema	Codigo del sitio	Zona	Zona UTM 21 H		Matrices			
			X	Y	Agua	Sedim.	Bivalvos	Peces
Río San Salvador	XSSA010	Alta	453489,99	6253548,09	X		X	X
Río San Salvador	XSSA020	Alta	432559,38	6253364,09	X			
Río San Salvador	XSSA030	Alta	427061,12	6257964,23	X	X	X	X
Arroyo San Martín	XSMA080	Alta	441781,94	6264664,78	X		X	X
Río San Salvador	XSSA040	Media	414020,17	6261855,93	X		X	X
Arroyo Maciel	XMAC090	Media	415432,51	6270508,33	X	X	X	X
Arroyo el Águila	XAGU100	Media	400176,13	6280134,39	X		X	X
Río San Salvador	XSSA050	Baja	391973,01	6286477,59	X		X	X
Río San Salvador	XSSA060	Baja	388516,28	6290885,17	X			
Río San Salvador	XSSA065	Baja	386745,24	6290659,02	X	X	X	X
Arroyo Magallanes	XMAG110	Baja	387246,14	6292278,36	X			
Arroyo Bizcocho	XBIZ120	Baja	384732,76	6295551,93	X			
Arroyo Espinillo	XESP130	Baja	376080,51	6285079,61	X		X	X

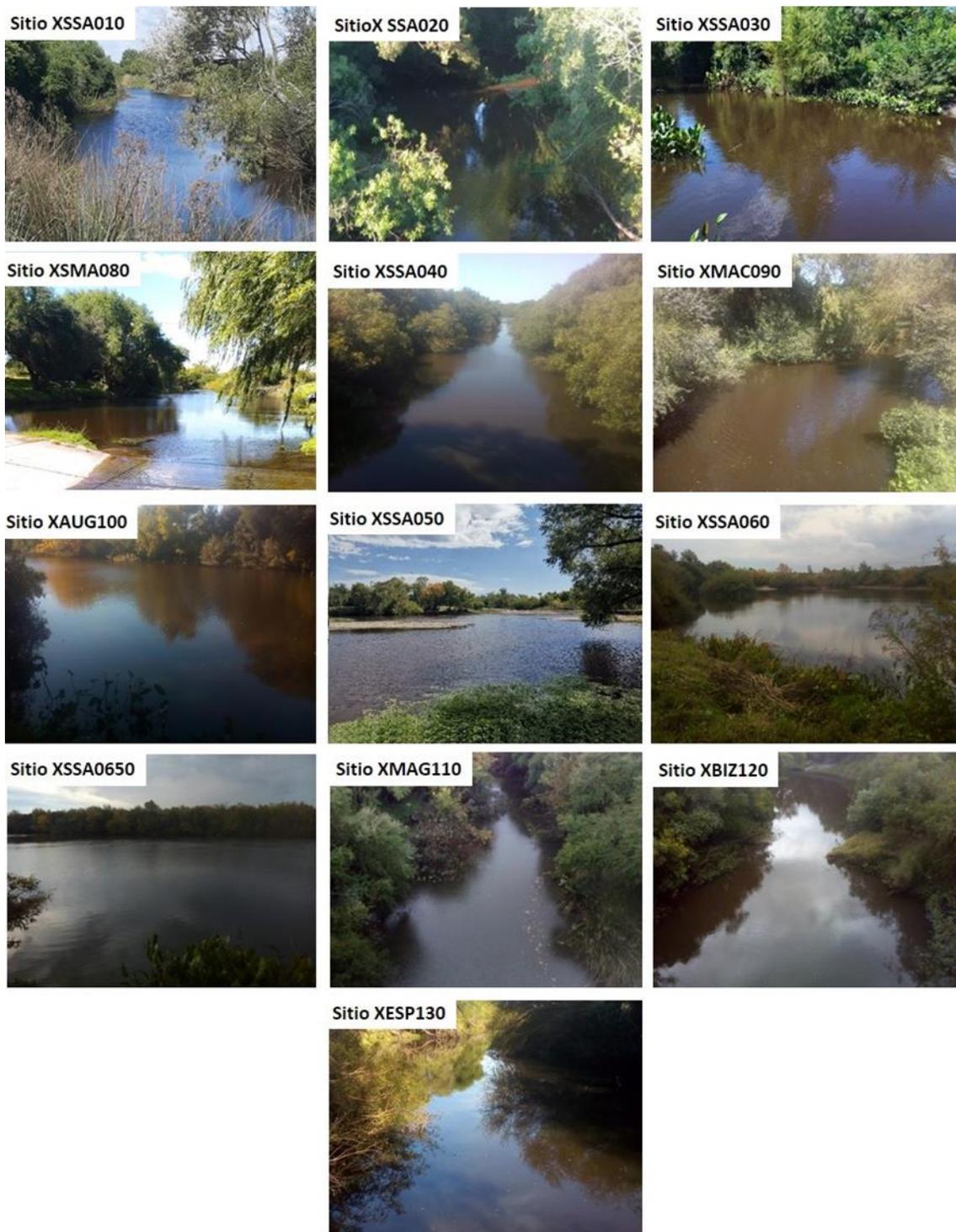


Figura 2. Imágenes representativas de cada uno de los sitios seleccionados en la cuenca del río San Salvador.

ii.2.b. Colmenas

Se emplearon 5 apiarios aportados por apicultores profesionales de no menos 20 colmenas cada uno, de las cuales se muestrearon 5 colmenas (**Fig. 3**). Los apiarios estaban ubicados a lo largo de la cuenca del río San Salvador, uno en la región baja, dos en la región media y dos en la región alta (**Fig. 4 y Tabla 2**). En los dos últimos tramos un apiario estaba ubicado en las cercanías del río (a menos de 1 km) y otro alejado varios kilómetros del río, de modo que las abejas de ambos grupos se diferenciaron en la posibilidad de explotar las fuentes de alimento del monte ribereño. Las colmenas recibieron tratamientos acaricidas orgánicos (ácido oxálico en tiras de cartón) al menos dos veces a lo largo de un año para eliminar al ácaro *Varroa destructor*.



Figura 3. Foto de uno de los apiarios muestreados (Apiario 4).

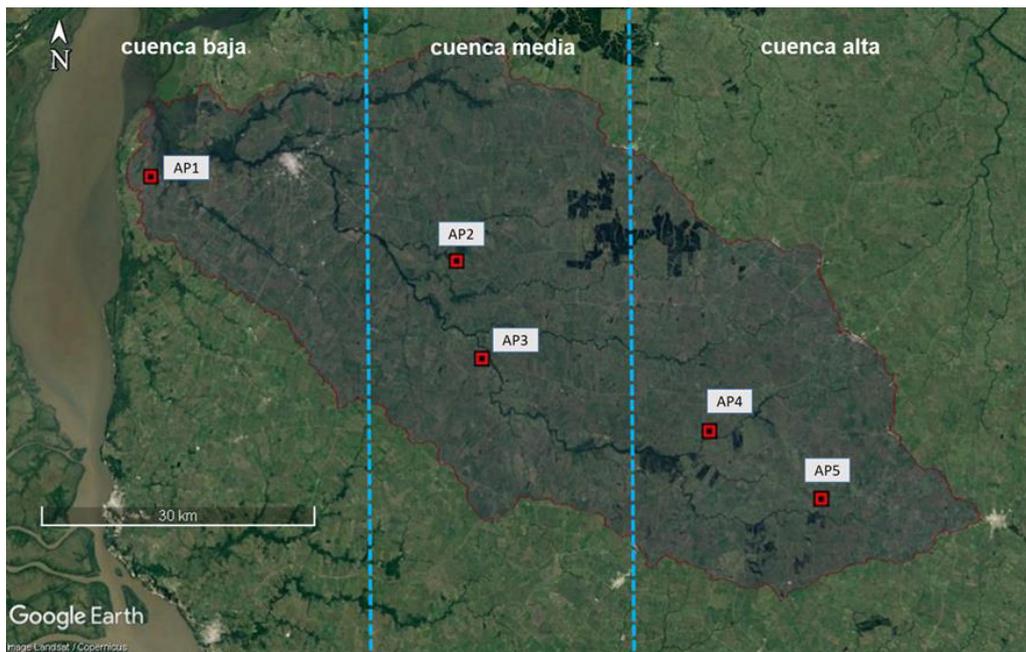


Figura 4. Distribución de los apiarios en las tres zonas de la cuenca.

Tabla 2. Ubicación de los apiarios según zona, incluyendo coordenadas geográficas, matriz evaluada y los códigos adjudicados a cada matriz.

Zona de muestreo	Apiario	Zona UTM 21 H		Matriz evaluada	Código
		X	Y		
Baja	1	472024,26	6291802,20	Abeja	ZBA10Ab
	1	472024,26	6291802,20	polen	ZBA10P
	1	472024,26	6291802,20	Miel	ZBA10M
	1	472024,26	6291802,20	Cera	ZBA10C
Media alejada	2	459671,56	6291700,78	Abeja	ZMA20Ab
	2	459671,56	6291700,78	polen	ZMA20P
	2	459671,56	6291700,78	Miel	ZMA20M
	2	459671,56	6291700,78	Cera	ZMA20C
Media cercana	3	448500,66	6297082,6	Abeja	ZMA30Ab
	3	448500,66	6297082,6	polen	ZMA30P
	3	448500,66	6297082,6	Miel	ZMA30M
	3	448500,66	6297082,6	Cera	ZMA30C
Alta alejada	4	449342,42	6301900,05	Abeja	ZAA40Ab
	4	449342,42	6301900,05	polen	ZAA40P
	4	449342,42	6301900,05	Miel	ZAA40M
	4	449342,42	6301900,05	Cera	ZAA40C
Alta cercana	5	398066,13	6311353,38	Abeja	ZAA50Ab
	5	398066,13	6311353,38	polen	ZAA50P
	5	398066,13	6311353,38	Miel	ZAA50M
	5	398066,13	6311353,38	Cera	ZAA50C

ii.2.c. Polinizadores

En base a dos campañas de reconocimiento realizadas los días 2 y 9 de febrero de 2022, se seleccionaron 12 sitios de muestreo de insectos polinizadores, en la parte baja, media y alta de la cuenca del río San Salvador (**Fig. 5, Tabla 3**).

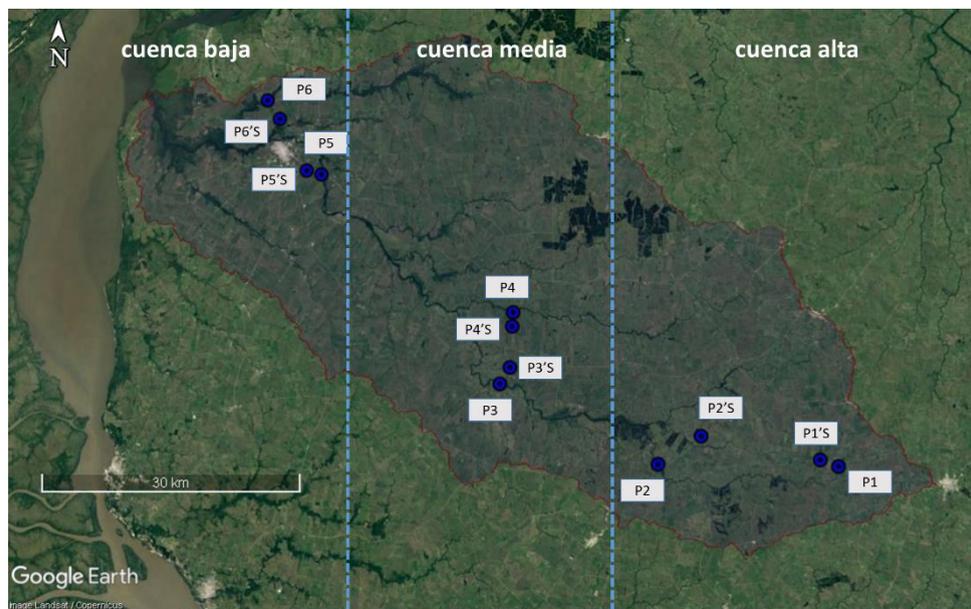


Figura 5. Mapa con los sitios seleccionados para el estudio de polinizadores, en cada zona hay dos sitios pareados uno en vegetación ribereña y otro en un área cultivada (indicados con la S).

Tabla 3. Coordenadas de los puntos de muestreo seleccionados para el estudio de polinizadores dentro del área de la cuenca del río San Salvador.

Sitio	Zona	Zona UTM 21 H	
		X	Y
Punto 1	Alta	472024,26	6291802,20
Punto 1'Soja		470895,09	6292057,19
Punto 2		459671,56	6291700,78
Punto 2'Soja		462578,73	6293795,78
Punto 3	Media	448500,66	6297082,6
Punto 3'Soja		414162,58	6263007,17
Punto 4		449342,42	6301900,05
Punto 4'Soja		449327,92	6300409,84
Punto 5	Baja	398066,13	6311353,38
Punto 5'Soja		396673,89	6311503,87
Punto 6		393663,37	6316792,85
Punto 6'Soja		393663,37	6316792,85

ii.3 Consideraciones previas a las campañas de muestreo

Para cada muestreo, la solicitud de campaña fue ingresada en el Sistema Informático del Ministerio de Ambiente (SILAD-DINACEA), donde se indicaron los puntos a incluir (**Fig. 6**) y los parámetros a analizar. Una vez ingresada dicha solicitud, se generaban las fichas de ingreso y las etiquetas correspondientes para cada muestra.

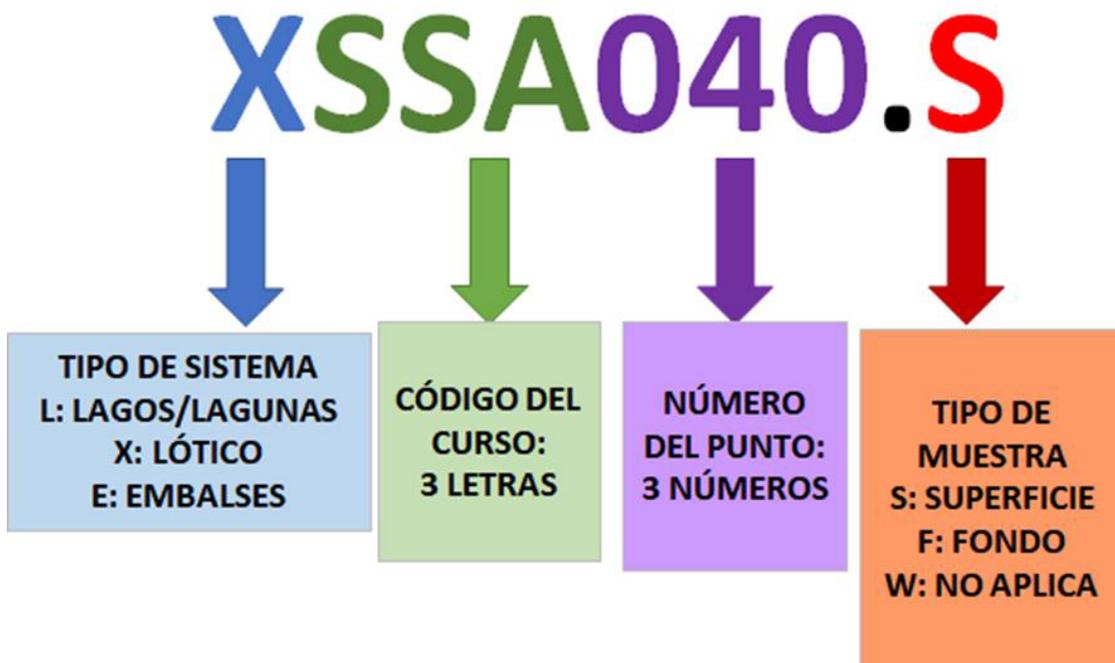


Figura 6. Ejemplo de codificación utilizada para la generación de etiquetas para muestras de agua y sedimentos. Tipo de sistema: (X Lótico); Código del Curso: identifica el curso de agua correspondiente a la muestra (SSA río San Salvador); Número del Punto: sitios de muestreo (040 Puente en paso Zabala); Tipo de muestras (.S agua).

ii.4 Protocolo: toma de muestras de agua

ii.4.a Sitios de muestreo

Se consideraron los trece sitios de muestreo previamente seleccionados y georreferenciados.

ii.4.b Toma de muestras, preparación y distribución entre laboratorios

ii.4.b.1 Muestreo físico químico de agua

Junto a la toma de muestra de agua se registró profundidad y variables fisicoquímicas (temperatura, conductividad, O₂, pH) con sonda YSI 6600.

Para el registro de las variables físico químicas, se colocó la sonda subsuperficialmente (50 cm) registrando la información obtenida en las planillas correspondientes. La sonda se calibró previo a cada muestreo.

ii.4.b.2 Muestreo de agua para análisis de plaguicidas

En cada sitio se recogieron muestras de agua en dos botellas de vidrio ámbar de un litro: una botella para enviar a GACT (Facultad de Química) y otra botella para el Laboratorio Ambiental de DINACEA. Además, se recolectaron 50 ml de agua en tubos Falcon sin cámara de aire para Glifosato y AMPA, destinados al Departamento de Desarrollo Tecnológico en CURE-Rocha.

Procedimiento de acondicionamiento de botellas: previo a cada muestreo, las botellas de facultad de química y CURE fueron prelavadas utilizando hexano y acetona por parte de técnicos del CURE. El acondicionamiento de las botellas de DINACEA fué llevado a cabo por personal técnico de DINACEA.

A las tapas de las botellas se les añadió una contratapa de teflón o papel de aluminio. Estas botellas no se enjuagan con agua del lugar antes de tomar la muestra.

Procedimiento para la toma de muestras: la muestra se obtuvo subsuperficialmente introduciendo la botella con el pico hacia abajo para evitar la toma de materiales suspendidos en la superficie del agua. Una vez tomada la muestra, se etiquetó la botella (Figura 6) y se guardó en una conservadora con geles refrigerantes. A continuación, se completó una planilla con la información correspondiente a cada muestra.

Una vez realizada la recolección de muestras, estas se enviaron directamente a la DINACEA donde se realizó el control y posteriormente se derivaron a los laboratorios GACT Montevideo y CURE-Rocha. Al recibir las muestras, los laboratorios completaron la ficha de ingreso agregando cualquier observación pertinente y llevando a cabo el

correspondiente control del proceso. Por último, se entregó una copia de la ficha completa de cada muestra al Laboratorio Ambiental de DINACEA para realizar el ingreso de las muestras en el SILAD.

ii.5 Protocolo: toma de muestras de sedimentos

ii.5.a Sitios de muestreo

Se consideraron los tres sitios de muestreo previamente seleccionados y georreferenciados.

ii.5.b Toma de muestras, preparación y distribución entre laboratorios

En cada sitio se tomaron las muestras con Corer, de la cual se colecta la parte superficial.

Se colectaron y homogeneizaron 500 g de sedimento para análisis de plaguicidas con cuchara de metal, los cuales se empaquetaron en papel de aluminio y se guardaron en bolsa de polietileno que luego fueron etiquetadas.

De esta misma muestra se tomaron:

- a) Para el análisis de materia orgánica (MO), aproximadamente 5 g del sedimento previamente homogeneizado en bolsa de polietileno. Estas se colocaron en conservadora con geles refrigerantes, y fueron transportadas al CURE Maldonado donde se congelaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ para luego ser procesadas.
- b) De la misma muestra se colectaron en un tubo falcón de 50 ml para guardar sedimento de respaldo. Dichas muestras se guardaron en conservadora con gel refrigerante, luego se transportaron al CURE Maldonado donde se congelaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las muestras fueron guardadas en una conservadora con gel refrigerante, luego enviadas directamente a la DINACEA, donde se realizó el control y posteriormente se derivaron a los laboratorios GACT Montevideo. Las muestras de los puntos a) y b) fueron transportadas congeladas desde el campo directamente al CURE.

ii.6 Protocolo: toma de muestras de bivalvos

ii.6.a Sitios de muestreo

Se consideraron los sitios de muestreo previamente seleccionados y georreferenciados, siendo los mismos sitios donde se colectaron peces. Se colectaron ejemplares de *Corbicula fluminea* y *Diplodon sp.* mediante toma directa o colectando sedimento con calderines que luego se separaron a simple vista.

ii.6.b Tomas de muestras, preparación y distribución entre laboratorios

Se colectaron aproximadamente 15 g de pulpa con pinzas quirúrgicas en paquetes de papel de aluminio, luego se guardaron en bolsa de polietileno, se etiquetó y congeló. Una vez culminado el muestreo, las muestras fueron enviadas a 4 °C directamente desde Mercedes a Paysandú para la determinación de plaguicidas por personal del GACT.

En el caso de bivalvos, debido a las diferencias de tamaño y densidad entre las especies, las muestras fueron compuestas por aproximadamente 15 individuos en el caso de *Corbicula fluminea* y tres individuos en el caso de *Diplodon* sp.

ii.7 Protocolo: toma de muestras de peces

ii.7.a Sitios de muestreo.

Se consideraron los nueve sitios de muestreo previamente seleccionados y georreferenciados.

ii.7.b Colecta de peces

Los peces se colectaron en diferentes horarios del día para obtener el mayor número de especies y poder tener una visión más representativa del sistema y así poder completar las muestras. Dependiendo de las características de los sitios, como por ejemplo profundidad y tipo de sustratos, se definieron las artes de pesca a utilizar. En todos los arroyos se trabajó con pesca eléctrica, redes de arrastre y redes de enmalle. La red de arrastre utilizada fue de 5 metros de largo, 1.15 metros de alto y malla de 8 mm. Las redes de enmalle fueron redes nórdicas estandarizadas de 30 metros de largo, 1.5 m de altura y 12 mallas con diferentes tamaños de entrenudos (5; 6.25; 8; 10; 12.5; 15.5; 19.5; 24; 29; 35 ;43 y 55 mm) (**Fig. 7**). Para la pesca eléctrica se utilizó un equipo HANS GRASSL GmbH EL62 II GI (**Fig. 8**).



Figura 7. Proceso de calado de redes Nórdicas en el Río San Salvador, XSSA050 izquierda y XSSA065 derecha ambos en la cuenca baja del río San Salvador.



Figura 8. Procedimiento de colecta de peces mediante pesca eléctrica en el arroyo San Martín (XSMA080).

En cada sitio se mantuvo el mismo esfuerzo de muestreo, las artes de pesca y el horario (**Tabla 4**). Para los análisis comparativos se trabajó con la captura por unidad de esfuerzo

(CPUE) combinando las diferentes artes de pesca (CPUE de abundancia: sumatoria del número de individuos capturados en 12 horas de 1 red nórdica, 2 pasadas con red de arrastre y 50 pulsos en pesca eléctrica; CPUE de biomasa: sumatoria de la biomasa en gramos en 12 horas de 1 red nórdica, 2 pasadas con red de arrastre y 50 pulsos en pesca eléctrica)

Tabla 4. Descripción de los métodos de captura de peces y el esfuerzo de muestreo en cada uno de los sitios.

Sitios	Pesca eléctrica	Red de arrastre	Red de enmalle
XSSA010	50 pulsos	2 pasadas de red	1 red en la noche
XSSA030	50 pulsos	2 pasadas de red	1 red en la noche
XSMA080	50 pulsos	2 pasadas de red	1 red en la noche
XSSA040	50 pulsos	2 pasadas de red	1 red en la noche
XMAC090	50 pulsos	2 pasadas de red	1 red en la noche
XAGU100	50 pulsos	2 pasadas de red	2 redes en la noche
XSSA050	50 pulsos	2 pasadas de red	2 red en el día
XSSA065	50 pulsos	2 pasadas de red	2 red en el día
XESP130	50 pulsos	2 pasadas de red	1 red en la noche

Manipulación de los peces

Los peces utilizados para las muestras de plaguicidas fueron sacrificados utilizando el método de dislocación cérico-occipital. Luego fueron guardados en conservadoras con geles refrigerantes, y procesados inmediatamente por parte del personal CURE Maldonado.

Los peces que no fueron seleccionados para plaguicidas pero sí para análisis comunitario y análisis trófico, fueron sacrificados con eugenol (5ml/L de una solución de 1:10 Eugenol:Alcohol) siguiendo el protocolo de la CHEA aprobado por el CEUA del Cure (formulario número 1167).

ii.7.c Toma de muestras, preparación y distribución entre laboratorios

ii.7.c.1 Muestras para plaguicidas y ácidos grasos

Los individuos fueron separados por especie, en todos los casos que fue posible se guardaron hasta 150 g de músculo. Sin embargo, se mejoró la capacidad de procesar muestras más pequeñas y se procesaron muestras de hasta 60 g. Dependiendo del tamaño de los peces, estas muestras fueron individuales (una por individuo) o compuestas por varios individuos. Las muestras de peces fueron descamadas, evisceradas y se les quita cabeza y aletas, buscando eliminar la mayor cantidad de tejido no deseado (epitelio, hueso, etc.) (**Fig. 9**).



Figura 9. Muestras de músculo de peces *Oligosarcus jenynsii* destinadas al análisis de plaguicidas.

El músculo de los peces fue envuelto en papel de aluminio, luego guardado en bolsa de polietileno, etiquetada y congelada. Luego fueron entregados al Laboratorio Ambiental de DINACEA (MA). En DINACEA se realizó el primer procesamiento (molido del músculo), dividiéndose las muestras en dos partes: a) fracción para plaguicidas (que se procesó en DINACEA y en Facultad de Química), b) fracción para ácidos grasos (se trasladó a CURE-Rocha). Luego, con la fracción para plaguicidas en DINACEA se realizó la extracción de plaguicidas, parte de los extractos fueron procesados en DINACEA por LC y parte del extracto eran enviados a Facultad de Química para ser inyectados en GC-MS/MS.

ii.7.c.2 Muestras para análisis de grupos tróficos e isótopos estables y generación de información de los peces procesados para plaguicidas

A continuación, se presenta el procedimiento en el orden realizado.

- 1- El o los individuos que componen la muestra de plaguicidas fueron medidos (longitud estándar LS, cm) y pesados (peso fresco, g).
- 2- En todos ellos se extrajo las gónadas, las mismas fueron pesadas (0,001 g) y se realizó una identificación macroscópica del grado de madurez gonadal (MG1: juvenil, MG2: en maduración, MG3: maduro, MG4: desove parcial, MG5: regresión gonadal). No se preservó.
- 3- Extracción de hígado, pesado (0,001 g). No se preservó.
- 4- En todos los casos se extrajo el estómago para análisis de contenido estomacal, fijándose en formaldehído 4 % por una semana para luego ser conservado en alcohol 70 %.
- 5- Muestras para análisis de isótopos estables de C y N. Las muestras de músculo colectadas de cada una de las especies para análisis de isótopos se conservaron en tubos Eppendorf de 1,5 ml a -20 °C. Luego se secaron en estufa (60 °C durante 48 Hs), se guardaron en cápsulas de estaño para finalmente ser enviadas a Stable Isotope Facility de UC Davis.

ii.8 Protocolo: toma de muestras de colmenas

ii.8.a Sitios de Muestreo

Se consideraron los cinco sitios de muestreo previamente seleccionados y georreferenciados.

ii.8.b Toma de muestras, preparación y distribución entre laboratorios

Cinco colmenas de cada apiario fueron muestreadas una vez en cada estación. En las colmenas muestreadas se registró la población de abejas, el área de cría, la viabilidad de la cría, y las reservas de miel y polen. Se muestrearon similares cantidades de néctar, polen, cera y abejas adultas que luego se mezclaron y congelaron a -20 °C hasta su procesamiento y análisis.

Néctar fresco: se obtuvo cortando panales con néctar sin opercular de forma de obtener una muestra colectiva de no menos de 200 g. En el laboratorio se extrajo el néctar de los panales por prensado y se homogeneizó. Una muestra de 50 g de néctar se destinó al análisis palinológico para determinar el origen botánico y el resto se envió a FQ-CENUR Litoral Norte para el análisis de plaguicidas.

Polen: se obtuvo cortando panales con polen de forma de obtener una muestra colectiva de no menos de 50 g. En el laboratorio se extrajo manualmente el polen de los panales y se homogeneizó. Una muestra de 5 g de polen se destinó al análisis palinológico para determinar el origen botánico y el resto se envió a FQ-CENUR Litoral Norte para el análisis de plaguicidas.

Cera: se obtuvo cortando panales del área de cría vacíos de forma de obtener una muestra colectiva de no menos de 30 g. Esta muestra se envió a FQ-CENUR Litoral Norte para el análisis de plaguicidas.

Abejas: se obtuvieron colectando abejas nodrizas posadas sobre los panales con cría de modo de obtener una muestra colectiva de aproximadamente 400 abejas. Esta muestra se envió a FQ-CENUR Litoral Norte para el análisis de plaguicidas.

ii.9 Protocolo: colecta de polinizadores

ii.9.a Sitios de Muestreo

Se consideraron los doce sitios de muestreo previamente seleccionados y georreferenciados.

ii.9.b Toma de muestras, preparación y distribución entre laboratorios

Se realizaron tres campañas para relevar insectos polinizadores en la región baja, media y alta de la cuenca del río San Salvador, una en otoño, primavera y otra en verano en dos ambientes diferentes: sobre el monte ribereño del río San Salvador y un área cultivada alejada del río.

ii.9.b.1 Relevamiento de polinizadores

Colecta de insectos por medio de trampas de color: en cada sitio de muestreo se colocó un juego de trampas de color (amarillo, blanco y azul) y se dejaron 7-10 días en el lugar. Cada recipiente tiene una mezcla de agua, detergente y un conservante (etilenglicol). Los insectos recolectados se guardaron en frascos con alcohol rectificado.

Colecta de insectos por medio de red entomológica: en cada sitio de muestreo se definieron dos transectas de 100 m y se recorrieron pasando una red entomológica por la vegetación. Los insectos se guardaron en bolsas y se mantuvieron a -20°C hasta el momento del análisis de estos.

Colecta de insectos manual: algunos insectos observados sobre las flores a lo largo de las transectas se colectaron manualmente empleando frascos. Los insectos se guardaron en bolsas y se mantuvieron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta el momento del análisis de estos.

ii.9.b.2 Procesamiento de la colecta

Se realizó un procesamiento primario de las diferentes muestras colectadas para separar en grandes grupos de insectos: Diptera, Lepidoptera, Coleoptera e Hymenoptera (**Fig. 10**).



Figura 10. Individuos colectados a partir de las trampas de color (izquierda), separación de insectos según el grupo taxonómico al que pertenecían.

ii.9.b.3 Identificación y determinación de grandes grupos de insectos

Posteriormente, en cada uno de ellos, los insectos fueron observados bajo lupa en el laboratorio e identificados hasta el nivel taxonómico más bajo utilizando claves aportadas por Michener (2007) para Apoidea y Bentancourt et al. (2009) (**Fig. 11**).

La información obtenida permitió determinar la identidad, riqueza y abundancia de los cuatro grupos de insectos evaluados en diferentes ambientes. Ejemplares representantes de todas las especies encontradas serán incluidos en la colección de insectos de la Sección Entomología de la Facultad de Ciencias.

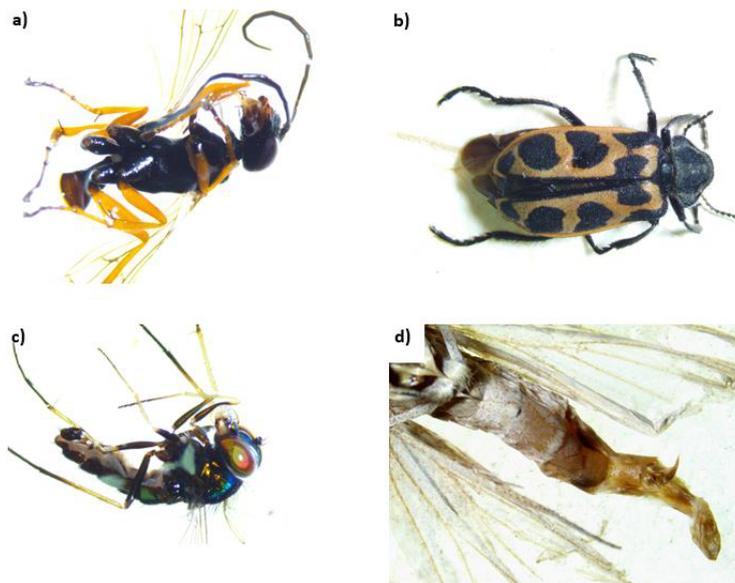


Figura 11. Diferentes morfoespecies identificadas dentro de los grupos Himenópteros (a), Coleópteros (b), Dípteros (c) y Lepidópteros (d).

iii. Descripción de metodologías analíticas

iii.1 Plaguicidas en agua

Se emplearon cuatro metodologías para el análisis de residuos de plaguicidas en agua. Los análisis fueron realizados por el grupo GACT (Facultad de Química) y por el Laboratorio Ambiental de DINACEA, y por ellos se tomaron las siguientes definiciones:

1. Cuando los resultados fueron No cuantificables en ambos laboratorios; se informó como menor al LC más sensible.
2. Cuando los resultados para un compuesto fueron cuantificables por ambos laboratorios, se reportó el mayor valor obtenido (peor situación).
3. Cuando un compuesto se logró cuantificar en un solo laboratorio, se reportó el valor cuantificable.

La primera metodología analítica fue empleada para el análisis de glifosato y su metabolito AMPA, así como de glufosinato. Esta metodología, consiste en derivatizar los compuestos con el reactivo FMOC (Alonso et al. 2022). Posteriormente, los residuos derivados son analizados por HPLC-FLD. Esta metodología permite alcanzar límites de cuantificación (LOQ) de 0.25 $\mu\text{g/L}$ para glifosato y 1 $\mu\text{g/L}$ para AMPA y glufosinato.

La segunda metodología es una extracción líquido-líquido (LLE) con acetato de etilo basada en el método EPA 3510C, con posterior determinación instrumental empleando GC/ μECD (cromatografía de gases con detector de microcaptura electrónica) basado en

el método EPA 8081 B. La metodología planteada permite lograr límites en el entorno los ng/L (ppt). Método 8089UY (Versión 6) del Manual de Procedimientos Analíticos para Muestras Ambientales del Laboratorio Ambiental del Ministerio de Ambiente.

Por otra parte, la tercera metodología se realizó mediante análisis por extracción en fase sólida (SPE) (**Fig. 12**) y determinación por LC-MS/MS (cromatografía líquida acoplado a espectrometría de masas tándem (**Fig. 13**) para buscar plaguicidas que en su mayoría, no están incluidos en el Decreto 253/79, pero actualmente autorizados para su uso en agricultura y dentro de los definidos como prioritarios por DINACEA y la cuenca en particular. La metodología planteada permite lograr límites en el entorno los ng/L (ppt). Método 8092UY (Versión 1) del Manual de Procedimientos Analíticos para Muestras Ambientales del Laboratorio Ambiental del Ministerio de Ambiente.



Figura 12. Equipamiento para el procesamiento de extracción en fase sólida (SPE) para la matriz agua.

La cuarta metodología utilizada fue por LLE con diclorometano e inyección en GC-MSMS.

En el primer caso, 3 ml de muestra se derivatizan con FMOC en medio básico durante 1 hora. Se realiza un cleanup para remover el exceso de derivatizante con diclorometano, se filtra por 0.45 μm e inyecta en HPLC-FLD con columna C18 (Alonso et al., 2022). Se optimizó un gradiente empleando como fases móvil acetato de amonio 25mM pH9 y Acetonitrilo para permitir el análisis simultáneo de glifosato, glufosinato y AMPA.

En el segundo caso, 100 ml de muestra de agua bruta conservada entre 0 y 4 $^{\circ}\text{C}$ por un periodo no mayor a 7 días, se extrae por agitación con 2 porciones de 40 ml de acetato de etilo. Las fases orgánicas se juntan y se llevan a sequedad en corriente de N_2 gaseoso. Posteriormente se retoman en 0.2 ml de acetato de etilo y se analizaron por GC/ μECD . El factor de concentración obtenido es de 500 veces.

En el tercer caso, 200 ml de agua bruta fueron extraídos por una columna de SPE C18. Posteriormente la columna se seca y es eluida con 22 ml de acetato de etilo. La fase orgánica obtenida se llevó a sequedad en corriente de N₂ gaseoso y se retoma en 0,5 ml de acetonitrilo. El factor de concentración obtenido es de 400 veces.



Figura 13. Equipo Shimadzu HPLC/UPLC - MS-MS 8045 instalado en el laboratorio Ambiental de DINACEA.

En el cuarto caso, 0,5 L de muestra de agua bruta fue conservado refrigerado a 4 °C por un periodo no mayor a 7 días, se colocó en bola de decantación de vidrio y se extrajo con 3 porciones de CH₂Cl₂ de 200 ml. Las fases orgánicas se juntan y se llevan a casi sequedad en corriente de N₂ gaseoso. Posteriormente se retoman en 0,2 ml de acetato de etilo y se analizaron por GC-MS/MS. Límite de cuantificación 7 ng/L

A su vez mientras se ajustaban métodos para un aumento en la sensibilidad, se realizó además la determinación por inyección directa por LC-MS/MS en CENUR Litoral Norte de herbicidas ácidos, imidazolinonas, insecticidas y fungicidas (37 compuestos) con límites de cuantificación entre 0,001 y 0,01 mgL⁻¹.

iii.2 Plaguicidas en sedimentos

El análisis de plaguicidas en sedimentos fue realizado por Facultad de Química con el procedimiento SOP del laboratorio de DINACEA. Los plaguicidas fueron extraídos de la matriz sedimento, utilizando acetato de etilo en un proceso asistido por ultrasonido. El

extracto orgánico fue separado de la mezcla y se realizó un clean up de tipo dispersivo empleando alúmina neutra. Finalmente, el extracto fue concentrado a sequedad en un baño de agua a 45 °C bajo corriente de N₂, y retomado en un volumen exacto de acetato de etilo. Para la determinación se utilizó un GC-MS/MS. La identificación de los plaguicidas se realizó por comparación de los tiempos de retención de los diferentes compuestos, entre los cromatogramas de la muestra y de los estándares, y por la concordancia en las transiciones correspondientes, aceptando una relación entre las transiciones de $\pm 30\%$. La cuantificación de cada plaguicida se realizó por interpolación del área en la curva de calibración en matriz correspondiente, utilizando para ello la señal de la transición de mayor sensibilidad (Gerez y Mangarelli, 2018).

iii.3 Plaguicidas en bivalvos

Se cuenta actualmente con una metodología validada para el análisis de residuos de plaguicidas en macroinvertebrados acuáticos en el laboratorio del CENUR Litoral Norte. Este método es una adaptación de la norma europea CSN EN 15662 a esta matriz, en especial a las características de estos organismos que disponen de baja cantidad de muestra. Esto dio origen al desarrollo del análisis de 73 residuos de plaguicidas por LC-MS/MS y GC-MS/MS (Jesús et al., 2018). Luego se realizó la validación de los métodos para *Corbicula fluminea* siguiendo la misma estrategia de preparación de muestra, obteniendo recuperaciones entre 70 y 120 % para unos 100 compuestos por LC-MS/MS y GC-MS/MS, con límites de cuantificación entre 0,001 y 0,050 mg kg⁻¹. En resumen, la metodología que se utilizó para la matriz bivalvos parte de 0,2 g de muestra y se extrae con acetonitrilo según el método QuEChERS buffer citrato ajustado proporcionalmente a la cantidad de matriz.

Se amplió el alcance de la metodología, logrando integrar 25 compuestos de alto Kow así como 15 compuestos de Kow medio y bajo también de interés para el presente proyecto como se muestran en **Anexo 2**.

iii.4 Plaguicidas en peces

El Laboratorio Ambiental de DINACEA utilizó las muestras recolectadas para validar la metodología de extracción tal como se describe a continuación.

Las muestras fueron congeladas y conservadas en freezer (-18 °C) hasta su posterior análisis. Inicialmente se procedió a moler la muestra hasta obtener una mezcla homogénea. Los plaguicidas fueron extraídos empleando un método QuEChERS donde 5,0 g de muestra fueron extraídos con 10 ml de acetonitrilo, 1,5 g de cloruro de sodio y 4,0 g de sulfato de magnesio. Una alícuota del extracto orgánico fue separada de la mezcla y se realizó un clean up de tipo dispersivo empleando sulfato de magnesio, PSA y C18 (250, 100 y 55 mg/ml, respectivamente). Finalmente, el extracto fue concentrado

a sequedad bajo corriente de N_2 y retomado en un volumen exacto de acetonitrilo para luego realizar la determinación por LC-MS/MS. Corresponde al método 8091UY (Versión 1) del Manual de Procedimientos Analíticos para Muestras Ambientales del Laboratorio Ambiental del Ministerio de Ambiente.

Una porción del extracto se envió a Facultad de Química para su análisis por GC-MS/MS: 2 ml del extracto en acetonitrilo se llevan a sequedad bajo corriente de N_2 y luego se retoman en 1 ml de acetato de etilo para luego realizar la determinación por GC-MS/MS.

Para el caso de plaguicidas de alta polaridad, estos fueron extraídos empleando un método QuEChERS donde 5.0 g de muestra fueron extraídos con 10 ml de acetonitrilo acidificado con 1% de ácido fosfórico, 1.5 g de cloruro de sodio y 4.0 g de sulfato de magnesio. Una alícuota del extracto orgánico fue separada de la mezcla y se realizó un clean up de tipo dispersivo empleando sulfato de magnesio y C18 (140 y 30 mg/ml, respectivamente). Finalmente, el extracto fue concentrado a sequedad bajo corriente de N_2 y retomado en un volumen exacto de acetonitrilo para luego realizar la determinación por LC-MS/MS. Corresponde al método 8095UY (Versión 1) del Manual de Procedimientos Analíticos para Muestras Ambientales del Laboratorio Ambiental del Ministerio de Ambiente.

iii.5 Plaguicidas en apiaros

Se emplearon las metodologías analíticas reportadas previamente por el grupo de trabajo (Niell et al., 2014, 2015, 2018). Recientemente en abejas, cera y miel, se logró ampliar el alcance de las metodologías a un total entre 80 y 100 plaguicidas dependiendo de la matriz, manteniendo los mismos métodos de preparación de muestra. Se obtuvieron porcentajes de recuperación entre 70 y 120 % y los límites de cuantificación para los nuevos compuestos estuvieron entre 0,001 y 0,020 $mg\ kg^{-1}$. En el caso de polen, el método de extracción debió ser modificado y finalmente, se validó la metodología de extracción de tipo QuEChERS con buffer citrato y 4 h de freeze-out obteniendo resultados aceptables para unos 100 compuestos por LC-MS/MS y GC-MS/MS con límites de cuantificación entre 0,001 y 0,050 $mg\ kg^{-1}$.

iii.5.a Plaguicidas en abejas

Se extrajo 2 g de muestra homogeneizada con agua y acetonitrilo (MeCN), agitando vigorosamente durante 1 minuto. Se agregaron sales buffer citrato (4 g de $MgSO_4$ anhidro, 1 g de NaCl, 1 g de citrato de sodio dihidratado y 0,5 g de citrato de sodio dibásico sesquihidratado), agitando nuevamente durante 1 minuto. El tubo se centrifugó 5 min a 5000 xg.

Purificación: Primero, se realizó *freeze-out* toda la noche. Luego, se realizó una extracción en fase sólida dispersiva (*d-SPE*) en un tubo de 15 ml con PSA y C18 25 mg/

ml y $\text{MgSO}_4\text{:GCB}$ (59:1) 150 mg/ml, se agitó en vortex durante 30 s y se centrifugó 5 minutos a 5000 xg. El extracto se filtró con filtro de PVDF de 0,45 μm y se acidifica con 10 $\mu\text{l/ml}$ de una solución de ácido fórmico 5% en MeCN.

Se tomó una alícuota de 1 ml y se transfiere a un vial para analizar por LC-MS/MS. Otra alícuota de 1 ml de extracto se lleva a sequedad bajo corriente de N_2 y se redisolvió en 200 μL de acetato de etilo (AcOEt); luego se transfiere a un vial con inserto para analizar en GC-MS/MS.

iii.5.b Plaguicidas en cera

Se extrae 2 g de muestra homogeneizada y se adicionan 10 ml de MeCN. Se coloca el tubo en un baño de agua a 80 $^\circ\text{C}$ hasta que la cera se funde. Se agita vigorosamente durante aproximadamente 10 segundos y se vuelve a colocar en el baño de agua; esta operación se repite 3-4 veces. Se retira el tubo del baño de agua y se espera a que alcance la temperatura ambiente. El tubo se centrifuga 5 min a 5000 xg.

Purificación: 1) *freeze-out* a -18 $^\circ\text{C}$ durante 2 h, 2) extracción L-L con 3 ml de hexano agitando en vortex durante 30 s, se toma la fase inferior correspondiente al extracto en MeCN, 3) *d-SPE* con PSA y C18 25 mg/ml agitando en vortex durante 30 s. El tubo se centrifuga 5 minutos a 5000 xg. El extracto se filtra y se acidifica con 10 $\mu\text{l/ml}$ de ácido fórmico 5% en MeCN.

Se toma una alícuota de 1 ml y se transfiere a un vial para analizar por LC-MS/MS. Otra alícuota de 1 ml de extracto se lleva a sequedad bajo corriente de N_2 y se redisuelve en 200 μL de acetato de etilo (AcOEt); luego se transfiere a un vial con inserto para analizar en GC-MS/MS.

iii.5.c Plaguicidas en miel

Extracción: Se pesan 5 g de muestra homogeneizada y se adicionan 10 ml de agua y 10 ml de MeCN, agitando vigorosamente durante 1 minuto. Se agregan sales buffer citrato, agitando durante 1 minuto. El tubo se centrifuga durante 5 min a 5000 xg.

Purificación: *freeze-out* toda la noche o *d-SPE* con PSA 25 mg/ml y MgSO_4 150 mg/ml agitando en vortex durante 30 s. El tubo se centrifuga 5 minutos a 5000 xg. El extracto se filtra y se acidifica con 10 $\mu\text{L/ml}$ de ácido fórmico 5% en MeCN.

Se toma una alícuota de 1 ml y se transfiere a un vial para analizar por LC-MS/MS. Otra alícuota de 1 ml de extracto se lleva a sequedad bajo corriente de N_2 y se redisuelve en 200 μL de acetato de etilo (AcOEt); luego se transfiere a un vial con inserto para analizar en GC-MS/MS.

iii.5.d Plaguicidas en polen

Extracción: Se pesan 5 g de muestra homogeneizada y se adicionan 5 ml de agua y 10 ml de MeCN, agitando vigorosamente durante 1 minuto. Se agregan sales buffer citrato, agitando nuevamente durante 1 minuto. El tubo se centrifuga durante 5 min a 5000 xg.

Purificación: 1) *freeze-out* a -18 °C durante al menos 4 h, 2) *d-SPE* con PSA y C18 50 mg/ml y MgSO₄ 150 mg/ml, agitando en vortex durante 30 s. Centrifugar 5 minutos a 5000 xg. El extracto se filtra y se acidifica con 10 µl/ml de ácido fórmico 5% en MeCN.

Se toma una alícuota de 1 ml y se transfiere a un vial para analizar por LC-MS/MS. Otra alícuota de 1 ml de extracto se lleva a sequedad bajo corriente de N₂ y se redisuelve en 200 µL de acetato de etilo (AcOEt); luego se transfiere a un vial con inserto para analizar en GC-MS/MS.

iii.6 Criterios para el reporte de datos entre laboratorios

El proyecto contempló campañas donde cada laboratorio tenía un compromiso asumido en cuanto a grupo de parámetros a ser informados, ver **Anexo 3**. Para la matriz agua en particular se superponen algunos parámetros debido a que el laboratorio de Facultad de Química y el Laboratorio Ambiental tenían scope con compuestos en común o era posible su incorporación en el corto plazo. Para la matriz peces ambos laboratorios complementan su scope y no hay comparación de resultados.

Para definir los criterios de cómo y qué informar se hicieron reuniones entre las partes vía zoom y varios intercambios por otras vías para reportar los datos de la primera campaña. De estas se definieron y utilizaron los siguientes criterios: cuando los resultados son No cuantificables en ambos laboratorios se informa como menor a LC del método más sensible. Cuando los resultados son cuantificables y están en el mismo orden se informa también los resultados del método/laboratorio más sensible. Cuando los resultados son cuantificables y no están en el mismo orden, en base al principio precautorio, se informa el mayor valor obtenido entre ambos laboratorios. En el último criterio puede haber sutilezas puntuales que se resolvieron en el laboratorio DINACEA, en el marco de su rol de laboratorio de referencia ambiental.

iii.7 Características poblacionales y comunitarias en peces

iii.7.a Análisis del desarrollo gonadal en peces

Los peces utilizados para la obtención de muestras para análisis de plaguicidas fueron separados por especie. Para la determinación de periodos reproductivos cada individuo fue medido (longitud estándar LS, cm) y pesado (peso fresco, precisión de 0,01 gr). Posteriormente, fueron extraídas y pesadas las gónadas (0,001 gr) y se realizó una



identificación macroscópica del grado de madurez gonadal (MG1: juvenil, MG2: en maduración, MG3: maduro, MG4: desove parcial, MG5: regresión gonadal). Finalmente, también se extrajo y se pesó el hígado (0,001 gr) para luego ser descartado. Este procesamiento se realizó en laboratorio acondicionado en campo.

iii.7.b Análisis de grupos tróficos en peces

Para la determinación de grupos tróficos se extrajo el estómago el cual fue fijado en formaldehído 4 % por una semana, para ser conservado en alcohol 70 % hasta realizar el análisis de contenido estomacal, en al menos 10 individuos (dependiente de la especie) por especie. Estas muestras fueron transportadas desde Mercedes a Maldonado en baldes con tapa para evitar pérdidas de formol. El análisis de contenido estomacal fue llevado a cabo en el laboratorio del CURE-Maldonado. Este análisis consistió en clasificar los ítems bajo lupa binocular hasta el menor nivel taxonómico posible. A estos ítems se les estimó su volumen mediante el uso de una gradilla milimetrada (Hyslop, 1980). Luego fueron agrupados en diferentes categorías para facilitar su análisis. Las agrupaciones se realizaron para separar los invertebrados y vegetales terrestres de los acuáticos, ya que esta separación brinda más información sobre los hábitos alimenticios de las especies. La proporción de cada ítem dentro de la dieta de las especies se calculó a partir del promedio del volumen relativo de las dietas de los individuos de la especie. Con el volumen relativo y la frecuencia de ocurrencia de cada categoría de ítems se calcularon los índices de importancia alimentaria (Kawakami & Vazzoler, 1980).

iii.7.c Análisis de isótopos estables en peces

El análisis de isótopos estables (SIA) de carbono y nitrógeno es una herramienta que nos permite analizar la red trófica del ecosistema. Para ello es necesario tener muestras de los componentes de la red y de las posibles fuentes de materia que ingresa al sistema (productores primarios). Una vez obtenidos los resultados, se puede utilizar la información de los isótopos de carbono para estimar el aporte de materia orgánica de cada fuente a la red. En el caso del Nitrógeno, cada paso trófico genera un fraccionamiento (diferenciación entre proporción de isótopos pesados/livianos), por lo que se utiliza la diferencia de Nitrógeno pesado entre la fuente y cada especie de pez para saber su posición trófica.

Para llevar a cabo el SIA se realizaron cuatro muestreos exhaustivos de todas las comunidades y recursos basales en todos los sitios. Los recursos basales muestreados fueron los bivalvos, el seston y el perifiton. También se tomaron muestras isotópicas de todas las especies de peces para las que se colectaron muestras de plaguicidas.

Para cada muestra se colectó una porción del músculo del flanco dorsal del pez. Una vez obtenidas las muestras, estas fueron conservadas en tubos Eppendorf de 1.5 ml a -20

°C. Todas las muestras se sacaron por triplicado como mínimo y luego según el tipo de muestra se procedió a diferentes métodos de procesamiento los cuales son descritos a continuación. Las muestras se secaron en la estufa a 60 °C durante 48 hs. Posteriormente las muestras se pulverizaron para guardar entre 1 y 1,5 mg en una cápsula de estaño.

Muestras extras necesarias para la determinación de la posición trófica en peces

Para la obtención de muestras de perifiton se rasparon tanto sustratos naturales como artificiales. Para las muestras de sedimento se tomaron pequeñas porciones de una draga o corer, según el sitio de origen. Las muestras de seston se obtuvieron utilizando una red < 70 µm de poro de malla y luego fueron pasadas por filtros GFC de 0,25 µm. Todas las muestras colectadas fueron secadas en estufa a 60 °C durante 48 hs y luego se guardaron entre 3,7 y 4,5 mg en cápsulas de estaño.

Las muestras de bivalvos se obtuvieron por reconocimiento visual directo o a partir de dragas tamizadas con poro de malla de 500 µm para luego ser identificadas. Estas fueron secadas en estufa a 60 °C durante 48 hs., para estas muestras se guardaron entre 1,0 y 1,5 mg en cápsulas de estaño.

Todas las muestras encapsuladas fueron enviadas al laboratorio Stable Isotope Facility de UC Davis para su análisis.

iii.7.d Análisis de lípidos en peces

El análisis de contenido lipídico se realizó según el método de Bligh y Dyer (Ramalhosa et al., 2012). Para ello, de todas las muestras obtenidas para plaguicidas se utilizó 5 g de músculo congelado molido. Una vez que alcanzó la temperatura ambiente se agregó 10 ml de Mezcla MeOH:CH₂Cl₂ (1:1). La muestra se agitó durante 5 minutos y se centrifugó por 5 minutos a 3000 rpm. Posteriormente se transfirió 1 ml de la fase orgánica a un vial vacío previamente pesado. El solvente se evapora a 35 °C con Nitrógeno gaseoso hasta peso constante. Luego el residuo se secó durante 1 hora en estufa a 80 °C. Una vez que alcanza la temperatura ambiente, se pesa el vial con el residuo graso. Los resultados se expresan como porcentaje del peso de los lípidos sobre el peso total de la muestra.

iv. Análisis de datos según matrices

iv.1 Plaguicidas en Agua

iv.1.a Frecuencia de Ocurrencia de plaguicidas

Los plaguicidas fueron clasificados de acuerdo con su ocurrencia a lo largo de los 4 muestreos en:

- Dominante: ocurrencia mayor al 75 %
- Frecuente: presentes entre el 75 % y el 50 % de los meses
- Ocasional entre el 50 % y el 25 %
- Raro: menor a 25 % de aparición.

Se evaluaron las épocas y los sitios con mayor y menor ocurrencia de plaguicidas. Los plaguicidas fueron clasificados según su uso: F: fungicida, H: herbicida, I: insecticida.

iv.1.b Análisis de similitud de los sitios de muestreo según la ocurrencia de plaguicidas

Para conocer el nivel de similitud entre los diferentes sitios de la cuenca se analizó la presencia y ausencia de plaguicidas a través de un análisis de clúster (análisis multivariado de clasificación), utilizando el algoritmo UPGMA y el índice de similaridad de Jaccard. Lo que permitió evaluar los cambios de plaguicidas según las áreas de drenaje de cada punto de muestreo.

iv.1.c Acumulación de plaguicidas en función del número de muestras

Para evaluar la representatividad del número de muestras de agua obtenidas en toda la cuenca en relación con el número de plaguicidas detectados, se realizó un análisis de acumulación de plaguicidas en función del número de muestras obtenidas para todo el período. Para ello, se aplicó un análisis de diversidad (donde cada plaguicida representa una especie) y un modelo no lineal utilizando la función de Michaelis-Menten, lo que nos permitió estimar el número de plaguicidas probables en la cuenca a través de la asíntota del modelo.

iv.1.d Relación entre plaguicidas y vida media en agua y suelos

Se realizó una clasificación de los plaguicidas detectados en agua según su vida media en agua y suelos. Las posibles relaciones entre las características fisicoquímicas de los plaguicidas y su frecuencia de aparición en agua se analizaron mediante modelos de regresión lineal.

iv.1.e Relación entre plaguicidas y su uso de la cuenca

Se realizó un análisis de los usos del suelo para cada subcuenca correspondiente al área de drenaje de cada sitio de muestreo. Para la clasificación del uso de suelo se utilizó el

mapa 2019 de la cuenca San Salvador (Div. Información Ambiental DINACEA-MA). Del modelo SWAT (Hastings et al., 2019) se extrajo el uso AGIR que corresponde a agricultura irrigada y luego se combinó para generar un nuevo mapa de uso de suelo que incluye a esa categoría. Las subcuencas se generaron con el primer paso “Delineate watershed” del plugin del modelo SWAT en QGIS v2.6.1 a partir del DEM del MGAP-Renare de resolución espacial de 30 x 30m. Como cierre de cuenca se dibujaron los inlets en los puntos de monitoreo.

Las posibles relaciones entre la presencia de plaguicidas y los usos del suelo en las diferentes subcuencas de los sitios de muestreo se analizaron mediante un análisis de redundancia (RDA; Legendre et al., 2011).

iv.1.f Evaluación de riesgo ecotoxicológico

Con el objetivo de evaluar los posibles riesgos ambientales de los plaguicidas detectados en agua, se realizó un análisis de riesgo ecotoxicológico basado en el método de Risk Quotient (RQ) (Peterson, 2006; Vryzas et al., 2011; Carazo-Rojas et al., 2018). Este método permite expresar cuantitativamente la toxicidad crónica, al relacionar la exposición y el efecto de los contaminantes en los organismos según la ecuación:

$$RQ = MEC/PNEC.$$

MEC representa la concentración del plaguicida en el medio. Para este trabajo se utilizó la concentración media (MEC medio) y máxima (MEC extremo) detectada en agua durante el período mayo del 2022 a febrero del 2023, para el cálculo del riesgo ecotoxicológico medio (RQm) y extremo (RQext) respectivamente.

Para la estimación de la concentración prevista sin efecto, PNEC (predicted non-effect concentration), se utilizaron los valores de NOEC (non-effect concentration) en peces, algas e invertebrados acuáticos para cada plaguicida obtenidos de PPBD (Pesticide Properties DataBase) creada especialmente para la evaluación y gestión de plaguicidas en Europa y que representa la base de datos más extensa en la actualidad (Footprint, 2021). Para aquellos casos en que los valores de NOEC no se encontraron disponibles se utilizó la concentración letal media (LC50) o la concentración efectiva (EC50) (**Anexo 4**).

Los valores de PNEC se calcularon dividiendo los valores más bajos de NOEC (o de CL50/EC50 según el caso), los cuales representan el grupo más sensible (entre algas, invertebrados o peces), por un factor de riesgo. Este factor fue de 1000 para el caso de contar solamente con datos de ensayos a corto plazo (LC50/EC50). Para el caso de contar con un valor de NOEC (ensayo a largo plazo) para cualquiera de los tres grupos, el factor fue de 100. Se utilizaron factores de evaluación de 50 y 10 en los casos de contar con información de dos o tres datos de NOEC respectivamente (Vryzas et al., 2011; Carazo-Rojas et al., 2018).

El riesgo ambiental se determinó en función de los valores de RQ; si $RQ > 1$ es probable que el pesticida implicado suponga un riesgo significativo para el medio ambiente; si $RQ < 0.1$, el riesgo ambiental esperado es bajo y si $0,1 < RQ < 1$ se espera un riesgo medio (Carazo-Rojas et al., 2018). Se determinó el nivel de riesgo que presentan los diferentes sitios por mes, mediante la sumatoria de RQ de todos los plaguicidas detectados por sitio y por mes y el nivel de riesgo mensual mediante el cálculo de la media de RQ mensual, considerando todos los valores de RQ estimados en ese mes.

iv.1.g Modelo lineal generalizado: análisis de variables como determinantes de las concentraciones de plaguicidas

Para analizar las relaciones entre las variables explicativas y la ocurrencia de plaguicidas en agua se llevaron a cabo dos abordajes, utilizando por un lado el número de plaguicidas detectados por muestra y por otro la concentración de plaguicidas de aquellas muestras donde se detectó al menos un plaguicida. El número de plaguicidas se modeló utilizando un modelo lineal generalizado (GLM) de la familia Poisson (función de enlace “log”). Cuando se trabajó con concentraciones el abordaje elegido fue el de los modelos lineales generalizados mixtos (GLMM) de la familia gaussiana (función de enlace “identidad”), utilizando la identidad del plaguicida como efecto aleatorio. Este tipo de modelos nos permite tener en cuenta la variabilidad generada por la similitud que algunas concentraciones tienen entre ellas debido a que pertenecen al mismo compuesto. De esta manera, este abordaje nos permite analizar la relación de las concentraciones de los plaguicidas con respecto a las variables fisicoquímicas del agua sin la interferencia generada por el parentesco existente entre las muestras del mismo compuesto.

Para llevar a cabo estos análisis se generaron dos bases de datos con las posibles variables explicativas. Por un lado, se formó una base de datos con todas las muestras analizadas donde además existiera una variable que reflejara el número de plaguicidas detectados para cada muestra. En segundo lugar, se generó una matriz donde se seleccionó para cada plaguicida solo aquellas muestras cuyos resultados de concentraciones detectadas fueran mayores al LC. Esta matriz nos permitió analizar de forma directa la relación entre las concentraciones detectadas y las variables de la matriz agua. Para evitar utilizar variables que no brindan información nueva se realizaron correlaciones de Pearson entre las variables explicativas, quedándonos solo con aquellas cuya correlación se encuentre entre 0,7 y -0,7 (Dormann et al., 2013). Las variables utilizadas en este caso fueron: temperatura, conductividad, ph, sólidos totales, oxígeno disuelto y precipitaciones.

Una vez elegidas las variables a utilizar se realizó la selección de modelos utilizando el criterio de mayor verosimilitud (“likelihood ratio test”, LRT) , intentando simplificar al máximo posible el modelo con todas las variables explicativas, quitando de este aquellas que no son significativas. A través de este método se fueron quitando variables hasta lograr un modelo final simplificado y equivalente al modelo con todas las variables

iv.2 Plaguicidas en Sedimentos

Debido a que no se detectaron plaguicidas en sedimentos, no se desarrollaron análisis estadísticos en esta matriz.

iv.3 Plaguicidas en peces, análisis poblacional y comunitario

iv.3.a Frecuencia de ocurrencia

Los plaguicidas fueron clasificados de acuerdo con su ocurrencia a lo largo de los 4 muestreos en:

- Dominante: ocurrencia mayor al 75 %.
- Frecuente: presentes entre el 75 % y el 50 % de los meses.
- Ocasional entre el 50 % y el 25 %.
- Raro: menor a 25 % de aparición.

Se evaluaron las épocas y los sitios con mayor y menor ocurrencia de plaguicidas. Los plaguicidas fueron clasificados según su uso: F: fungicida, H: herbicida, I: insecticida.

iv.3.b Análisis de similitud de los plaguicidas entre las especies y grupos tróficos

Para conocer el nivel de similitud en la presencia y ausencia de plaguicidas entre las diferentes especies y grupos tróficos se realizó un análisis de clúster (análisis multivariado de clasificación), utilizando el algoritmo UPGMA y el índice de similitud de Jaccard.

iv.3.c Acumulación de plaguicidas en función del número de muestras, especies y grupos tróficos

Para evaluar la representatividad del número de muestras de peces obtenidas en toda la cuenca en relación con el número de plaguicidas detectados en músculo, se realizó un análisis de acumulación de plaguicidas en función del número de muestras obtenidas para todo el período. Para ello, se aplicó un análisis de diversidad (donde cada plaguicida representa una especie) y un modelo no lineal utilizando la función de Michaelis-Menten, lo que permitió estimar el número de plaguicidas probables en la cuenca a través de la asíntota del modelo. También se evaluó el número de muestras necesarias según especies y grupos tróficos a modo de poder determinar el esfuerzo de muestreo

necesario para esta cuenca, así como generar propuestas para ser implementadas en otras cuencas del país.

iv.3.d Riesgo ecotoxicológico en peces

El riesgo ecotoxicológico en peces, se estimó en base a Unidades Tóxicas (UT) según la ecuación: (modificada de Ccanccapa et al., 2016; Sprague, 1971)

$$UT_i = C_i / EL50_i$$

Siendo UT_i la unidad tóxica del plaguicida i ; C_i el máximo de concentración en agua y $EL50_i$ concentración letal media en peces.

Para categorizar el nivel de riesgo que presentan los diferentes sitios por mes, se calculó la toxicidad acumulativa de todos los plaguicida detectados por sitio y por mes, en función de la suma de las unidades tóxicas individuales de cada plaguicida de acuerdo con la ecuación (Ccanccapa et al., 2016): $\sum UT_i \text{ sitio} = Ac. UT_i$

El nivel de riesgo mensual se determinó mediante el cálculo de UT media, considerando todos los valores de unidades tóxicas detectados en ese mes.

iv.3.e Priorización de plaguicidas por concentraciones y toxicidad

Se realizó un ranking de los residuos encontrados. Por un lado, priorizando los que se encontraban en concentraciones más altas y por otro los que eran más tóxicos de acuerdo con parámetros toxicológicos de peces (LC50).

iv.3.f Estructura y variabilidad espacio temporal de la comunidad

Se estimó la abundancia y biomasa relativas de las especies por muestreo y por sitios, tomando en cuenta el número de individuos y biomasa capturados por especie. Para determinar posibles diferencias temporales entre las variables analizadas (abundancia, biomasa), se aplicaron pruebas de normalidad (Shapiro & Wilk, 1965) y homogeneidad de varianza (Levene, 1960), evaluando de esta forma que test estadístico utilizar (ANOVA o Kruskal-Wallis). En el mismo sentido, también se analizó la variación de los grupos tróficos (tomando en cuenta la abundancia y biomasa relativa de cada grupo) a lo largo del año.

Para evaluar la riqueza de especies en cada sitio por muestreo se utilizaron tres métricas, el número de especies, índice de diversidad de Shannon-Wiener y el índice de dominancia de Simpson (Simpson, 1949; Shannon & Weaver, 1949). A la hora de estudiar la dominancia de las especies dentro de la comunidad también se trabajó con la abundancia relativa de cada especie para todo el periodo en función de su frecuencia de aparición durante los 4 muestreos (Amundsen et al., 1996).

iv.3.g Caracterización trófica de la comunidad

El comportamiento trófico de la comunidad fue analizado utilizando dos enfoques diferentes. Por un lado, se utilizó el análisis de contenido estomacal para evaluar las relaciones tróficas de las especies de peces, pudiendo con este método describir la dieta de las especies y a través de ello definir sus grupos tróficos y representar gráficamente la red de interacciones entre los diferentes componentes del sistema. Por otra parte, el análisis de isótopos estables permitió evaluar las posiciones tróficas de las especies antes mencionadas. Esta información es actualmente inexistente a nivel de cuencas por lo que además de proporcionar información valiosa para el análisis de plaguicidas representará una línea de base para nuestros sistemas acuáticos que será de gran relevancia para la comprensión de su funcionamiento.

iv.3.g.1 Análisis de contenido estomacal

Una vez identificado y cuantificado el contenido estomacal en laboratorio, se calculó la frecuencia de ocurrencia (FO) como la frecuencia relativa del consumo de determinado alimento por especie. A partir de la FO y la abundancia relativa se calcularon los índices de importancia alimentaria de cada ítem para cada especie de pez. Estos datos fueron posteriormente analizados mediante un análisis de ordenamiento (análisis de cluster). Este análisis de cluster jerárquico no supervisado fue realizado utilizando los paquetes “factoextra” “cluster” y “pvclust” del software R. La matriz de distancia se calculó utilizando la distancia Euclidiana y el cluster bajo el algoritmo de Ward. Esto a modo de clasificar las especies según la similitud en el consumo de sus presas y caracterizar sus hábitos tróficos.

iv.3.g.2 Análisis de Isótopos estables de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$

Las muestras animales que presentaron ratio de Carbono Nitrógeno mayor a 3,5 fueron corregidas utilizando la ecuación 3 propuesta por Post y colaboradores (2007). Este ratio indica correctamente las muestras que están enriquecidas en Lípidos por lo tanto la señal isotópica del carbono necesitó de estas correcciones matemáticas.

Las posiciones tróficas de los peces fueron calculadas a través de modelos de mezcla bayesianos utilizando el paquete ‘tRophicPosition’ del software R, considerando dos bases con igual posición trófica. Conociendo las posiciones tróficas y conociendo las dietas de las especies de peces, se utilizó la librería cheddar del software libre R (Hudson et al., 2018; R Core Team, 2020), para realizar una representación gráfica de las conexiones entre los diferentes componentes del sistema, generando finalmente un esquema de la red trófica de la cuenca.

iv.3.h Descriptores somáticos de los peces utilizados para análisis de plaguicidas

En el caso de las especies utilizadas para la medición de plaguicidas, se obtuvieron índices somáticos y medidas asociadas a cada muestra.

Para las especies analizadas se determinó la frecuencia de los estadios gonadales por mes y por sexo y se determinó el índice de actividad reproductiva (IAR) para cada muestreo:

$$\text{IAR} = \text{Individuos desovantes} * 100 / \text{Total de individuos maduros}$$

Se calculó el índice gonadosomático (IGS) según (Wootton, 1990):

$$\text{IGS} = \text{Peso Gónadas} * 100 / \text{Peso eviscerado}$$

Se calculó el índice hepatosomático (IHS) según:

$$\text{IHS} = \text{Peso Hígado} * 100 / \text{Peso eviscerado}$$

Finalmente, todos los individuos fueron medidos y pesados, incluyendo el peso eviscerado. La distribución de ambas variables no cumplió con los supuestos de normalidad del test de Shapiro-Wilk por lo que las comparaciones temporales se realizaron mediante el test no paramétrico de Kruskal Wallis y usando el test Dunn's post hoc.

iv.3.i Modelo lineal generalizado: análisis de variables como determinantes de la presencia y concentración de plaguicidas

El número y la concentración de plaguicidas en las muestras de peces se analizaron utilizando dos modelos lineales generalizados mixtos (GLMM) de la familia "Poisson" (función de enlace "log") en el caso del número de plaguicidas y de la familia "gaussiana" (función de enlace "identidad") en el caso de las concentraciones, determinando como efecto aleatorio la identidad de cada especie. Utilizar esta variable como efecto aleatorio nos permite tener en cuenta la variación generada por el mayor parentesco de aquellas muestras que provienen de la misma especie.

Las bases de datos utilizadas para peces son las mismas que se generaron para el análisis en agua, eligiendo aquellas que tuvieran un grado de correlación de entre 0,7 y -0,7. En este caso, las variables a usar son: estación del año, peso medio de los individuos que componen la muestra, largo estándar medio de los individuos que componen la muestra, índices gónado y hepato-somáticos, grupo trófico, posición trófica (calculada utilizando análisis de isótopos estables) y porcentaje de lípidos en músculo.

Una vez elegidas las variables a utilizar se realizó la selección de modelos utilizando el criterio de mayor verosimilitud (“likelihood ratio test”, LRT), intentando simplificar al máximo posible el modelo con todas las variables explicativas, quitando de este aquellas que no son significativas. A través de este método se fueron quitando variables hasta lograr un modelo final simplificado y equivalente al modelo con todas las variables

iv.4 Plaguicidas en bivalvos

iv.4.a Frecuencia de Ocurrencia

Los plaguicidas fueron clasificados de acuerdo con su ocurrencia a lo largo de los 4 muestreos en:

- Dominante: ocurrencia mayor al 75 %
- Frecuente: presentes entre el 75 % y el 50 % de los meses
- Ocasional entre el 50 % y el 25 %
- Raro: menor a 25 % de aparición.

Se evaluaron las épocas y los sitios con mayor y menor ocurrencia de plaguicidas. Los plaguicidas fueron clasificados según su uso: F: fungicida, H: herbicida, I: insecticida.

iv.4.b Análisis de similitud de los plaguicidas entre las dos especies de bivalvos

Para conocer el nivel de similitud entre los diferentes sitios de la cuenca se analizó la presencia y ausencia de plaguicidas a través de un análisis de clúster (análisis multivariado de clasificación), utilizando el algoritmo UPGMA y el índice de similitud de Jaccard. Lo que permitió evaluar los cambios de plaguicidas según las áreas de drenaje de cada punto de muestreo.

iv.4.c Acumulación de plaguicidas en función del número de muestras y especies

Para evaluar la representatividad del número de muestras de bivalvos obtenidas en toda la cuenca en relación con el número de plaguicidas detectados en músculo de bivalvos, se realizó un análisis de acumulación de plaguicidas en función del número de muestras obtenidas para todo el período. Para ello, se aplicó un análisis de diversidad (donde cada plaguicida representa una especie) y un modelo no lineal utilizando la función de Michaelis-Menten, lo que nos permitió estimar el número de plaguicidas probables en la cuenca a través de la asíntota del modelo. También se evaluó el número de muestras necesarias según especies a modo de poder determinar el esfuerzo de muestreo necesario para esta cuenca, así como generar propuestas para ser implementadas en otras cuencas del país.

iv.4.d Riesgo ecotoxicológico en bivalvos

El riesgo toxicológico de la concentración de plaguicidas en músculo por especie se estimó en base a Unidades Tóxicas (UT) según la ecuación (modificada de Ccanccapa et al., 2016; Sprague, 1971):

$$UT_i = C_i / EL50_i$$

Siendo UT_i la unidad tóxica del compuesto i ; C_i concentración en agua y $EL50_i$ concentración letal media en bivalvos.

Para el cálculo de unidades tóxicas (UT) se tomó en cuenta el LC50 de diferentes especies de bivalvos de agua dulce según la disponibilidad bibliográfica. Se seleccionaron los valores de ensayos agudos de 96 hs. en juveniles y adultos. Los compuestos que no presentan valor de UT, fue debido a que no se encontró información o no se detectó el plaguicida en agua.

Para categorizar el nivel de riesgo que presentan los diferentes sitios por mes, se calculó la toxicidad acumulativa de todos los plaguicidas detectados por sitio y por mes, en función de la suma de las unidades tóxicas individuales de cada plaguicida de acuerdo con la ecuación (Ccanccapa et al., 2016): $\sum UT_i \text{ sitio} = Ac. UT_i$

El nivel de riesgo mensual se determinó mediante el cálculo de UT media, considerando todos los valores de unidades tóxicas detectados en ese mes.

iv.4.e Priorización de plaguicidas por concentraciones y toxicidad

Se realizó un ranking de los plaguicidas encontrados. Por un lado, priorizando los que se encontraban en concentraciones más altas y por otro los que eran más tóxicos de acuerdo con parámetros toxicológicos de abejas (dosis letal media aguda oral y de contacto (DL50)).

iv.4.f Modelo lineal generalizado: análisis de variables como determinantes de la presencia y concentración de plaguicidas

La concurrencia de plaguicidas en bivalvos se analizó de forma similar a lo realizado para la matriz de agua. En este caso se generó un modelo GLM que relaciona el número de plaguicidas (familia "Poisson", enlace "log") y un GLMM (familia "gaussiana", enlace "identidad") para la concentración de estos utilizando la identidad del plaguicida como variable aleatoria. Las variables utilizadas para este análisis fueron el largo medio de los bivalvos que componen la muestra (variable numérica) y la especie (variable categórica). Para estos análisis se utilizaron las dos bases de datos creadas durante el análisis de agua. Al igual que en los casos anteriores, el modelo fue evaluado utilizando el criterio de mayor verosimilitud ("likelihood ratio test", LRT), manteniéndose en este caso las dos variables en el modelo final.

iv.5 Plaguicidas en polinizadores

iv.5.a Frecuencia de ocurrencia

Los plaguicidas fueron clasificados de acuerdo con su ocurrencia a lo largo de los 4 muestreos en:

- Dominante: ocurrencia mayor al 75 %
- Frecuente: presentes entre el 75 % y el 50 % de los meses
- Ocasional entre el 50 % y el 25 %
- Raro: menor a 25 % de aparición.

Se evaluó cuáles son las épocas y sitios con mayor y menor ocurrencia de plaguicidas según el tipo de matriz (polen, cera, abejas o miel). Los plaguicidas fueron clasificados según su uso: F: fungicida, H: herbicida, I: insecticida.

iv.5.b Análisis de similitud de los plaguicidas entre las matrices de la colmena

Para conocer el nivel de similitud en la presencia y ausencia de plaguicidas entre matrices de la colmena se realizó un análisis de clúster (análisis multivariado de clasificación), utilizando el algoritmo UPGMA y el índice de similaridad de Jaccard.

iv.5.c Riesgo ecotoxicológico para abejas

Se continuó en la línea de trabajo con indicadores a partir de los datos de plaguicidas en la colmena (Niell et al., 2018). El riesgo ecotoxicológico de la concentración de plaguicidas en abejas por sitio y mes, se estimó en base a Unidades Tóxicas (UT) según la ecuación (modificada de Ccanccapa et al., 2016; Sprague, 1971):

$$UT_i = C_i / CL_{50i}$$

Siendo UT_i la unidad tóxica del plaguicida i ; C_i el máximo de concentración en músculo y CL_{50i} concentración letal media en abejas del compuesto i .

Los valores de dosis letal media (LD50) fueron obtenidos de Pesticides Properties Database, la cual incluye datos de agencias regulatorias de Estados Unidos y Europa (Lewis et al., 2016). Los valores de LD50 ($\mu\text{g}/\text{bee}$) fueron convertidos en LC50 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) asumiendo que una abeja obrera de la especie *Apis mellifera* pesa en promedio 0,1 g (Alonso-Prados et al., 2020). Se estimó la toxicidad acumulativa de todos los plaguicidas detectados, para categorizar el nivel de riesgo que presentan los distintos sitios y épocas del año, en función de la suma de las unidades tóxicas individuales de cada compuesto detectado de acuerdo con la ecuación (Ccanccapa et al., 2016): $Ac.UT_i = \sum UT_i$

iv.5.d Priorización de plaguicidas por concentraciones y toxicidad

Se realizó un ranking de los residuos encontrados. Por un lado, priorizando los que se encontraban en concentraciones más altas y por otro los que eran más tóxicos de acuerdo con parámetros toxicológicos de abejas (dosis letal media aguda oral y de contacto (DL50)).

iv.5.e Evaluación de parámetros poblacionales de las colmenas

Las siguientes mediciones se realizaron de forma individual en las 5 colmenas que conforman un apiario, siguiendo los métodos estandarizados del BEEBOOK (Dietemann et al. 2013):

- Población adulta*: se estimó visualmente como el número de cuadros cubiertos por abejas.
- Área de cría*: se estimó como caras de panal completas.
- Reservas de miel y polen*: se estimó como caras de panal completas
- Viabilidad de la cría*: se colocó sobre un panal con cría cerrada un molde que encierra 100 celdas y se contó el número de celdas operculadas. Esta medida se tomó en al menos dos panales por colmena.

v. Detalle de los recursos humanos efectivamente empleados

El desarrollo de este proyecto representó un gran desafío para las capacidades técnicas y logísticas de nuestro país. Incluyó grupos de técnicos especializados en diferentes áreas y una coordinación interinstitucional importante, con la participación de seis laboratorios. En cuanto a metodologías se trabajó sobre un número diversos de matrices (agua, sedimentos, peces, bivalvos, abejas, polen, miel y cera) con el análisis total de más de 200 principios activos. Para el análisis de plaguicidas se procesaron un total de 448 muestras, repartidas en 52 muestras de agua, 12 de sedimento, 158 muestras de peces, 146 de bivalvos, 20 de abejas, 20 de polen, 20 de miel y 20 de cera. Para porcentaje de lípidos en músculo de peces se procesaron 158 muestras, para análisis de grupos tróficos se analizó contenido estomacal de 1285 peces y 1300 muestras de isótopos estables. En resumen, considerando estos análisis se procesaron 3191 muestras, sin considerar los análisis comunitarios de peces y polinizadores. Este proceso implicó ampliar las capacidades de trabajo de todos los laboratorios implicados.

El análisis realizado implicó un gran esfuerzo de obtención de muestras en campo (ej. muestreo de peces, y bivalvos implican 28 días totales de un equipo de 8 personas).

Posteriormente, en el laboratorio se llevaron a cabo diversas actividades por parte de técnicos contratados, que involucraron el análisis de plaguicidas en las diferentes muestras, ajustes de metodología, validación de datos intra e inter-laboratorios y reporte de la información. El trabajo implicó además del estudio de plaguicidas, el



estudio de las comunidades de peces y de polinizadores generando información inédita para la cuenca, aspecto relevante a la hora de la evaluación ambiental. Esto implicó contar también con expertos en taxonomía de diversos grupos. Además, se generó un análisis inédito de la alimentación y clasificación trófica de las diferentes especies de peces presentes en la cuenca. También se generó información inédita de índices somáticos y porcentaje de lípidos en músculo para todas las especies de peces analizadas para plaguicidas.

Para todo el desarrollo del proyecto se contó con la participación directa de un total de 41 técnicos de la siguiente manera:

10 técnicos del laboratorio de Ecología y Monitoreo de Sistemas Acuáticos del Centro Universitario Regional del Este-Maldonado, las tareas incluyeron coordinación general del proyecto; obtención de muestras de peces, bivalvos, sedimentos y agua; clasificación taxonómica de peces; análisis de alimentación de peces; análisis de isótopos estables para toda la comunidad de peces; escritura de informes intermedios; análisis de toda la información generada y escritura de informe final.

1 técnico del Centro Universitario Regional del Este-Rocha, las tareas incluyeron análisis de glifosato, AMPA y glufosinato de amonio en agua y análisis de lípido en las muestras de peces.

11 técnicos del Instituto de Biología de Facultad de Ciencias (UDELAR), las tareas incluyeron obtención de muestras de miel, polen, cera y abejas; análisis del origen botánico de la miel y el polen colectado por abejas; evaluación de parámetros poblacionales de las colmenas; análisis de la comunidad de polinizadores y escritura informes intermedios y final de polinizadores.

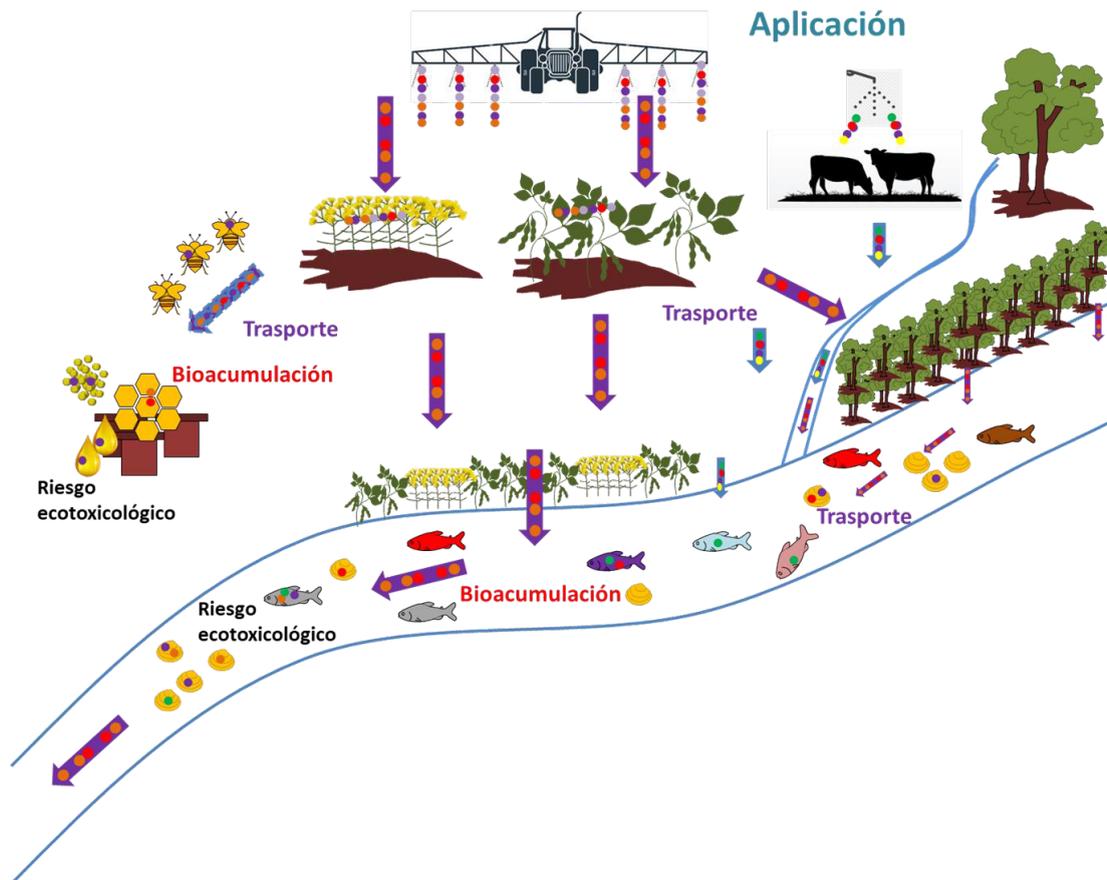
7 técnicos del laboratorio de Química de CENUR-Litoral Norte y Facultad de Química (UDELAR), las tareas incluyeron análisis de muestras de agua, sedimentos, miel, polen, cera y abejas; ajustes de metodología; validación de datos intra e inter-laboratorios y reporte de la información.

7 técnicos del laboratorio DINACEA (Ministerio de Ambiente), las tareas incluyeron trazabilidad en el silado, análisis de muestras de agua y peces; ajustes de metodología; validación de datos intra e inter-laboratorios y reporte de la información.

5 técnicos de la División Calidad Ambiental (DINACEA) del Ministerio de Ambiente, las tareas incluyeron coordinación de los muestreos, toma de parámetros fisicoquímicos en agua; colaboración en la obtención de muestras de peces, bivalvos, agua y sedimentos.

TOMO 2: Evaluación e interpretación global de las campañas de monitoreo.

i. Modelo conceptual de la cuenca en base a los resultados y observaciones de campo



En la cuenca del río San Salvador donde coexisten diversos usos del suelo con especial desarrollo de la agricultura intensiva se resaltan los siguientes puntos:

1. Aplicación de plaguicidas durante las diferentes estaciones del año con diferentes objetivos.
2. Llegada de plaguicidas a diferentes compartimentos ambientales que no son objetivo de la aplicación. Esta llegada se puede dar por diferentes vías de transporte entre las diferentes matrices ambientales.
3. Se detectaron zonas donde los cultivos no respetaban áreas buffer favoreciendo la llegada de plaguicidas a los cursos de agua.
4. Bioacumulación y biomagnificación en organismos acuáticos y bioacumulación en las diferentes matrices de los apiarios.
5. Existe un riesgo sobre la biota asociado a las concentraciones encontradas en agua.

ii. Análisis y discusión de la evaluación de plaguicidas en las diferentes matrices analizadas.

ii.1 Plaguicidas en Agua: resultados y discusión

ii.1.a Frecuencia de ocurrencia de plaguicidas

Para el periodo **mayo** 2022- **febrero** 2023 se detectaron 41 plaguicidas en agua superficial (15 insecticidas, 13 herbicidas y 13 fungicidas). Todas las 52 muestras analizadas presentaron al menos nueve compuestos cada una, con un máximo de 25 en la cuenca alta del San Salvador (sitio XSSA020S) durante **mayo** de 2022. Por mes, la mayor ocurrencia se observó en mayo de 2022 con 31 plaguicidas, y la menor en febrero de 2023 con 19 (**Tabla 5**).

A lo largo de este estudio destaca la presencia de 17 compuestos considerados Plaguicidas Altamente Peligrosos (PAP) debido a que presentan altos niveles de peligro agudo o crónico para la salud o el medio ambiente (**Anexo 5**). Destaca la presencia de 16 compuestos (39%) en todos los meses analizados (**Fig. 14**), aunque en principio no conocemos los retrasos temporales entre las aplicaciones de los plaguicidas en los cultivos y su llegada a los cursos de agua, la presencia de determinados plaguicidas en los diferentes meses sugiere la aplicación continua a lo largo de todo el año. Además, de estos 15 plaguicidas, 9 son herbicidas, entre ellos 3 productos de degradación. Este resultado confirma la predominancia de este tipo de compuestos en términos de volúmenes de importación (DGSA, 2022) y en cantidades aplicadas por hectárea, las cuales en Uruguay aumentaron de 2,58 a 7,97 kg/ha en el período 2000-2020 (Palladino et al., 2023).

De los 31 plaguicidas detectados en **mayo** (12 herbicidas, 10 fungicidas y 9 insecticidas), 25 presentan importancia máxima para los monitoreos de DINACEA en calidad de agua (criterio 3) (Ministerio de Ambiente, 2020). Durante este mes, caracterizado por operativas de cosecha de cultivos estivales y siembra de cultivos invernales se encontró la mayor cantidad de plaguicidas raros (presentes únicamente durante este muestreo) con ocho, lo que explica en parte el máximo detectado. Algunos de estos son de uso exclusivo en cultivos de verano (e.g. boscalid y trifluralina) y otros con un uso potencial a lo largo de todo el año (eg. lambda-cialotrina, trifluralina).

En este mes se detectó la presencia de o,p'-DDD (Río San Salvador, XSSA040S), un metabolito del insecticida DDT, prohibido hace décadas (1968) en Uruguay (Boroukhovitch, 1998). Su presencia en la cuenca podría estar relacionada a las propiedades físico-químicas de este plaguicida (**Anexo 6**). Su alta persistencia ambiental y alto coeficiente de adsorción en suelo (Koc), determinan su presencia en sistemas

acuáticos de todo el mundo, incluso después de décadas de prohibición (Kurek et al., 2019). Trabajos previos en Uruguay, han detectado una alta frecuencia de ocurrencia de este metabolito en la Laguna del Cisne (Canelones) (Rodríguez-Bolaña et al., 2023).

Los sitios con mayor ocurrencia de plaguicidas fueron XSSA020S (27), seguido por XSSA040S (23, Cuenca alta y media respectivamente del río San Salvador). Por el contrario, XMAG110S (arroyo Magallanes, afluente de la zona baja) fue el sitio con menor presencia de plaguicidas con 10 (**Fig. 14**). Algunos plaguicidas se asocian con sitios específicos de la cuenca, indicativo de un uso espacial restringido, como es el caso del clomazone, boscalid, lambda-cialotrina y pirimetanil en cuenca alta; trifluralina en cuenca baja y cipermetrina. Todos los demás plaguicidas ocurren simultáneamente a lo largo de toda la cuenca, sin encontrarse patrones espaciales claros de distribución.

Las mayores concentraciones fueron detectadas para el metabolito AMPA, con un valor medio de 1,79 $\mu\text{g/L}$ y máximo de 2,8 $\mu\text{g/L}$ en XSSA010S, siendo la parte alta de la cuenca la que presentó los mayores valores (**Anexo 5**). El glifosato representó el segundo compuesto de mayor concentración (media de 0,33 $\mu\text{g/L}$ y máximo de 0,51 $\mu\text{g/L}$ en la cuenca alta del San Salvador XSSA020S) siendo igualmente la cuenca alta la que presentó los sitios con los valores más altos. Tiametoxam representó el tercer compuesto (y primer insecticida) con mayor concentración media con 0,21 $\mu\text{g/L}$ (y máxima de 0,32 $\mu\text{g/L}$ en arroyo Maciel en cuenca media XMAC090).

Tabla 5. Frecuencia de ocurrencia (FO%) de plaguicidas en agua superficial en función de los 13 sitios analizados por mes en la cuenca del río San Salvador. Uso: H: herbicida; I: insecticida; F: fungicida; P.d: Producto de degradación. Oc: Ocurrencia de los plaguicidas en base a su detección en los cuatro muestreos analizados (D) Dominante (presente en los cuatro meses); (F) Frecuente (tres meses); (O) Ocasional (dos meses); (R) Raro (un mes).

	USO	OC	Mayo	Agosto	Noviembre	Febrero
Atrazina desetil	P.d	D	100	100	100	100
Azoxiestrobina	F	D	100	92,3	100	100
Ciproconazol	F	D	100	100	100	100
Clorraniliprol	I	F	100	100	100	
Imidacloprid	I	R	100			
Metolaclo	H	D	100	100	100	100
Tiametoxam	I	D	100	100	84,6	53,8
2-fenilfenol	F	R	92,3			
Epoxiconazol	F	D	92,3	23,1	46,2	7,7
Metoxifenocida	I	D	92,3	84,6	30,8	46,2
Atrazina desisopropil	P.d	D	84,6	76,9	100	100
Metribuzina	H	D	84,6	53,8	69,2	76,9
AMPA(a)	P.d	D	76,9	23,1	38,5	76,9
Etión	I	O	76,9	7,7		
Glifosato(a)	H	D	76,9	92,3	61,5	100
Metalaxil	F	D	76,9	84,6	69,2	92,3
Simazina	H	D	69,2	100	92,3	61,5
Carbendazim	F	R	61,5			
Diuron	H	D	61,5	84,6	38,5	53,8
Imazalil	F	D	61,5	69,2	30,8	
Iprodione	F	F	53,8		30,8	7,7
Clorpirifos	I	R	30,8			
Atrazina	H	D	15,4	92,3	100	92,3
Cipermetrina	I	F	15,4		23,1	69,2
Permetrina	I	R	15,4			
Boscalid	F	R	7,7			
Clomazone	H	F	7,7		23,1	
Lambda-Cialotrina, trifl	I	R	7,7			
o,p DDD	P.d	R	7,7			
Pirimetanil	F	F	7,7	69,2		
Trifluralina	H	R	7,7			
2,4 D	H	R			30,8	
Acetamiprid	I	R			30,8	
Bifentrina	I	R				15,4
Carbaril	I	R			7,7	
Diazinon	I	R				15,4
Fluroxipir meptil	I	R			7,7	
Glufosinatodeamonio	H	R			7,7	
Piraclostrobina	F	O		7,7	7,7	
Propiconazol	F	R			7,7	
Tebuconazol	F	R		7,7		

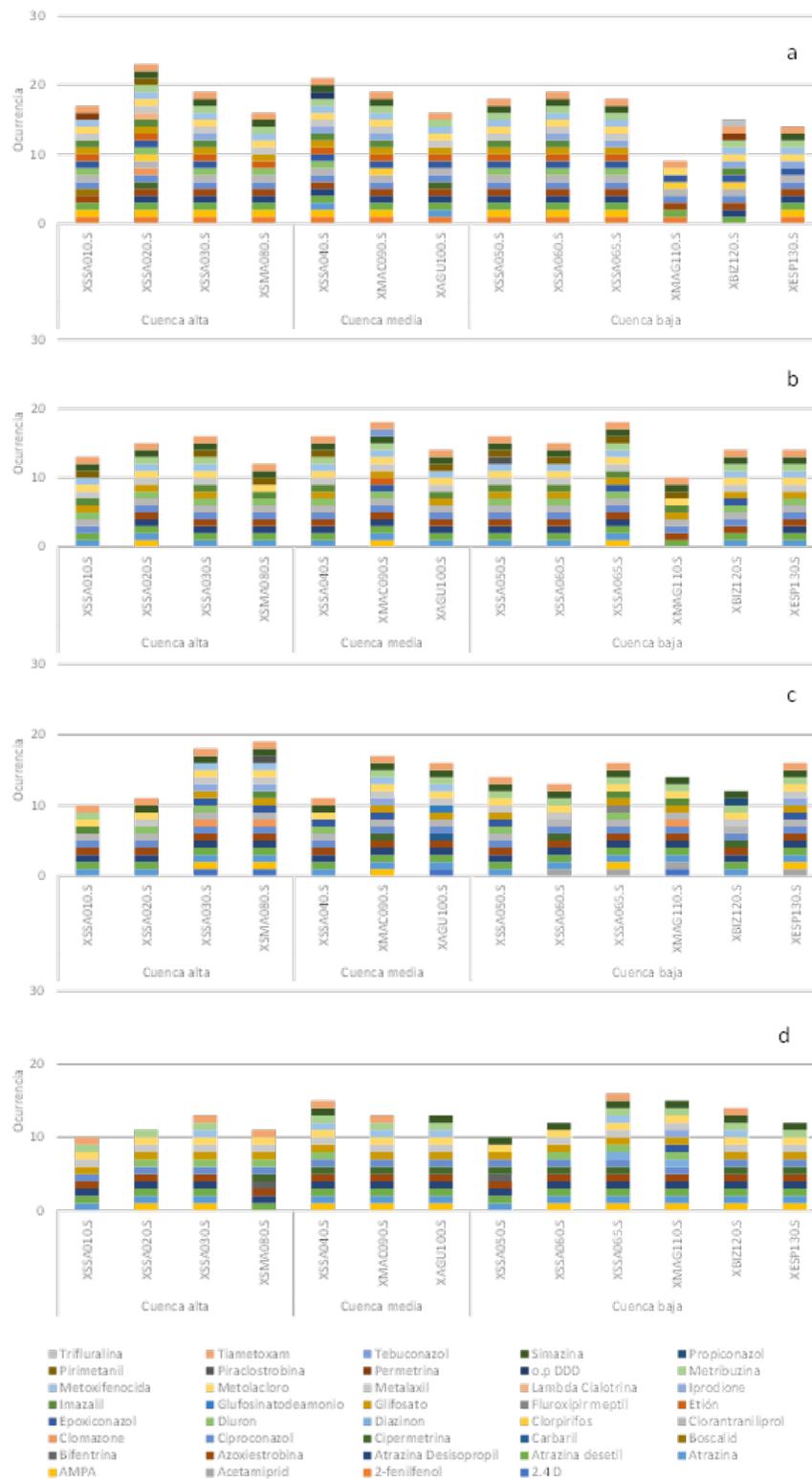


Figura 14. Número de plaguicidas en agua por sitio en la cuenca del río San Salvador. a) mayo 2022; b) agosto 2022; c) noviembre 2022; d) febrero 2023.

En **agosto** se detectaron en agua superficial 21 plaguicidas (9 herbicidas, 8 fungicidas y 4 insecticidas). Los fungicidas piraclostrobina y tebuconazol son los únicos compuestos que no se detectaron en **mayo**; y salvo para el caso de metalaxil (criterio 2), todos los plaguicidas presentan importancia máxima para los monitoreos de calidad de agua de DINACEA (criterio 3). Esta disminución sustancial de compuestos con respecto a lo observado durante el muestreo de **mayo** podría estar relacionado al calendario de siembra en la cuenca. Durante **mayo** se observó la presencia simultánea de una gran variedad de cultivos, mayormente soja, maíz y en menor medida sorgo, en etapa de cosecha. Por su parte, en **agosto**, el cultivo predominante fue el de colza (*Brassica napus*) en etapa de floración (y en menor medida barbecho invernal). Esta situación restringiría el número de plaguicidas usados en la cuenca a aquellos que se encuentren relacionados a este tipo de cultivo. Si bien los plaguicidas encontrados en **agosto** son utilizados en varios tipos de cultivo de verano, todos ellos son recomendados para el cultivo de colza. En este sentido, existe la necesidad de profundizar en el conocimiento del paquete tecnológico asociado a este cultivo, sobre todo, dada su creciente relevancia en la agricultura invernal de secano en nuestro país.

Nuevamente, las mayores concentraciones medias se corresponden con AMPA (1,3 $\mu\text{g/L}$) y glifosato (0,68 $\mu\text{g/L}$) (**ANEXO 5**). Los siguen con valores muy inferiores el herbicida simazina y el insecticida tiametoxam (0,08 $\mu\text{g/L}$ y 0,05 $\mu\text{g/L}$ respectivamente). Salvo AMPA que está restringido al tramo alto (XSSA020S) y bajo del río (XSSA065S) y el arroyo Maciel (XMAC090), los tres restantes están presentes en todos los sitios. Esto indicaría su uso generalizado en la cuenca. Para los otros plaguicidas, se logró determinar un uso más restringido en diferentes zonas de la cuenca. En este sentido, la ocurrencia del metolacloro únicamente en el afluente Magallanes (XMAG110S) y en el tramo inferior del río San Salvador (XSSA065S), indicaría un uso de este plaguicida en el norte de la cuenca baja. Además, la mayor concentración observada en el afluente sugeriría que su uso principal estaría ocurriendo en la cuenca del Magallanes (**Anexo 5**). Para el caso de la simazina, su ocurrencia se encuentra restringida a la cuenca media, en el afluente El Águila (XAGU100S) y en el tramo bajo del río (sin presencia en los afluentes de la parte baja: Magallanes, Bizcocho y Espinillo). Las concentraciones tienen su máximo en El Águila y disminuyen hacia el sitio XSSA065S (río San Salvador en la cuenca baja) (**Anexo 5**), lo que posiblemente estaría indicando un uso mayor de este herbicida en la cuenca de este afluente. En este y en los casos antes mencionados, serían necesarios cálculos de carga considerando los caudales del río para poder identificar áreas de uso restringidos para determinados plaguicidas.

Noviembre fue el mes con la segunda mayor cantidad de plaguicidas con 27 (12 herbicidas, 8 fungicidas y 7 insecticidas). Aparte de los compuestos dominantes descritos más arriba, se observó la ocurrencia del insecticida clorantraniliprol y el fungicida imazalil, ambos presentes también en **mayo** y **agosto**. Por su parte, se

encontraron seis compuestos únicos: dos insecticidas (acetamiprid y carbaril), tres herbicidas (2,4-D, glufosinato de amonio y fluroxipir metil) y un fungicida (propiconazol). De estos plaguicidas, salvo acetamiprid que es usado en cultivos de soja y maíz, los demás son aplicados en diferentes tipos de cultivos a lo largo del año. En este sentido, el período **octubre-noviembre** se caracteriza por operativas de siembra de cultivos estivales y de cosecha de cultivos invernales, así como de forrajeras en Uruguay, lo que podría estar explicando la composición de compuestos en este mes.

La menor cantidad de plaguicidas se encontró en los sitios XSSA010 con 10 y XSSA020 con 11 (ambos pertenecientes al tramo alto del río). Sin embargo, la mayor ocurrencia se dio en los otros dos sitios de cuenca alta: XSMA080 (arroyo San Martín) con 19 plaguicidas, seguido de XSSA030 (arroyo San Salvador) con 18. En estos sitios también se encontraron las concentraciones máximas de metolacloro (6 $\mu\text{g/L}$ y 4,5 $\mu\text{g/L}$), glifosato (2,5 $\mu\text{g/L}$ y 0,9 $\mu\text{g/L}$), AMPA (2,4 $\mu\text{g/L}$ y 1,3 $\mu\text{g/L}$) y 2.4-D (2 $\mu\text{g/L}$ y 3 $\mu\text{g/L}$ respectivamente) (**Anexo 5**). Sin embargo, las mayores concentraciones medias corresponden al herbicida 2.4-D (2,5 $\mu\text{g/L}$), seguido de AMPA (1,4 $\mu\text{g/L}$) y metribuzina y metolacloro con 0,97 $\mu\text{g/L}$ ambos.

Finalmente, en **febrero** se detectaron 19 plaguicidas, de los cuales únicamente 4 no estuvieron presentes en todos los meses analizados (iprodone, cipermetrina, bifentrina y diazinon). Estos dos últimos solamente ocurrieron en este mes y se encuentran asociados a cultivos de soja y maíz, característicos de esta fecha. El sitio próximo a la ciudad de Dolores en el río San Salvador (XSSA065) fue el que más cantidad de plaguicidas presentó (16), mientras que los sitios XSSA010 (río San Salvador, cuenca alta) y XSSA050 (río San Salvador, cuenca baja) fueron los de menor ocurrencia con 10 compuestos cada uno. Por su parte, las mayores concentraciones se corresponden nuevamente con AMPA con un máximo de 3 $\mu\text{g/L}$ en el sitio XSSA030 (cuenca alta) y una concentración media de 1,7 $\mu\text{g/L}$, seguido por el glifosato que presentó un máximo de 2,3 $\mu\text{g/L}$ en el sitio XESP130 (arroyo El Espinillo, afluente de la cuenca baja) y una media 0,8 $\mu\text{g/L}$ (**ANEXO 5**).

Las altas frecuencias de detección de glifosato y su metabolito AMPA a lo largo de todo el estudio estaría indicando la relevancia en el uso de este compuesto en la cuenca.

ii.1.b Análisis de similitud de los sitios de muestreo según la ocurrencia de plaguicidas

En **mayo**, el análisis de similitud en función de la ocurrencia de plaguicidas registrados en agua en los diferentes puntos de muestreo evidenció agrupaciones espaciales solamente entre los sitios XSSA050, XSSA060 y XSSA065 (tramo del río San Salvador en cuenca baja). Estos a su vez, están más relacionados con el sitio XSSA040 y arroyo Maciel (XMAC90) en cuenca media y con el sitio XSSA030 y XSMA080 (arroyo San Martín) en

cuenca alta, que con los afluentes de cuenca baja (arroyo Espinillo y sobre todo Magallanes y Bizcocho). Esto se debe a la presencia de diferentes plaguicidas en estos afluentes (**Fig. 15**), posiblemente asociado a un uso diferencial de compuestos previo al muestreo. También la presencia de plaguicidas en la parte baja del río San Salvador es más homogénea, esto puede ser debido a que en la parte baja de la cuenca pueden llegar varios plaguicidas por transporte desde la cuenca, homogeneizando esta zona reduciendo la importancia del uso a nivel local.

En **agosto** los patrones son más claros, con los sitios ubicados en el río XSSA050 y XSSA060 (cuenca baja del río San Salvador) agrupados por un lado y XSSA030 y XSSA040 (de la cuenca media) por otro, mostrando una mayor homogeneidad de plaguicidas entre sitios más cercanos. Por su parte, los afluentes presentan mayor similitud con sitios de cuenca alta, que con los de cuenca baja más próximos. Este patrón podría estar indicando usos similares del suelo entre estas dos zonas y al efecto de mezcla que es esperable que ocurra en el cauce principal.

Por su parte en **noviembre**, sí se observó un agrupamiento entre los afluentes de cuenca baja y los sitios más próximos del río San Salvador. En este sentido, el punto más cercano a la desembocadura (XSSA065S) y su afluente más próximo el arroyo Magallanes (XMAG110S), así como el sitio del río cercano a la ciudad de Dolores (XSSA060) y el arroyo Bizcocho (XBIZ120), presentan una mayor similitud de compuestos entre ellos que con el resto. En cuenca alta los puntos XSSA030 (río San Salvador) y XSSA080 (arroyo San Martín) presentaron una composición similar de plaguicidas lo que sugeriría un manejo y cultivos similares en esta región.

Finalmente, en **febrero**, solamente se observan similitudes entre los sitios de la cuenca baja. En cuenca alta y media no hay agrupamientos claros entre sitios próximos y en general se observa que los afluentes presentan una ocurrencia de compuestos más parecida a los sitios de cuenca media que a los de cuenca alta más próximos. La presencia simultánea de múltiples plaguicidas en la gran mayoría de los sitios de la cuenca (**Anexo 7**) determina que no se encuentren patrones claros de similitud entre sitios próximos en las 3 partes de esta. Este resultado sugiere un uso generalizado de estos compuestos en toda la cuenca y por lo tanto un uso similar del suelo, que como se describió más arriba consiste básicamente en cultivo de soja, maíz y sorgo en verano y trigo, canola y cebada en invierno. Este sistema de doble cultivo utiliza paquetes tecnológicos similares y en general en la misma época del año.

Sin embargo, en general se observó que los afluentes ubicados en la cuenca baja (arroyos Espinillo, Magallanes y Bizcocho) presentaron una mayor heterogeneidad con respecto a los puntos del río San Salvador más próximos a ellos. Esto podría estar

indicando un uso diferencial en sus cuencas y la presencia de plaguicidas en la parte baja del río San Salvador refleja la llegada de compuestos desde otras zonas de la cuenca.

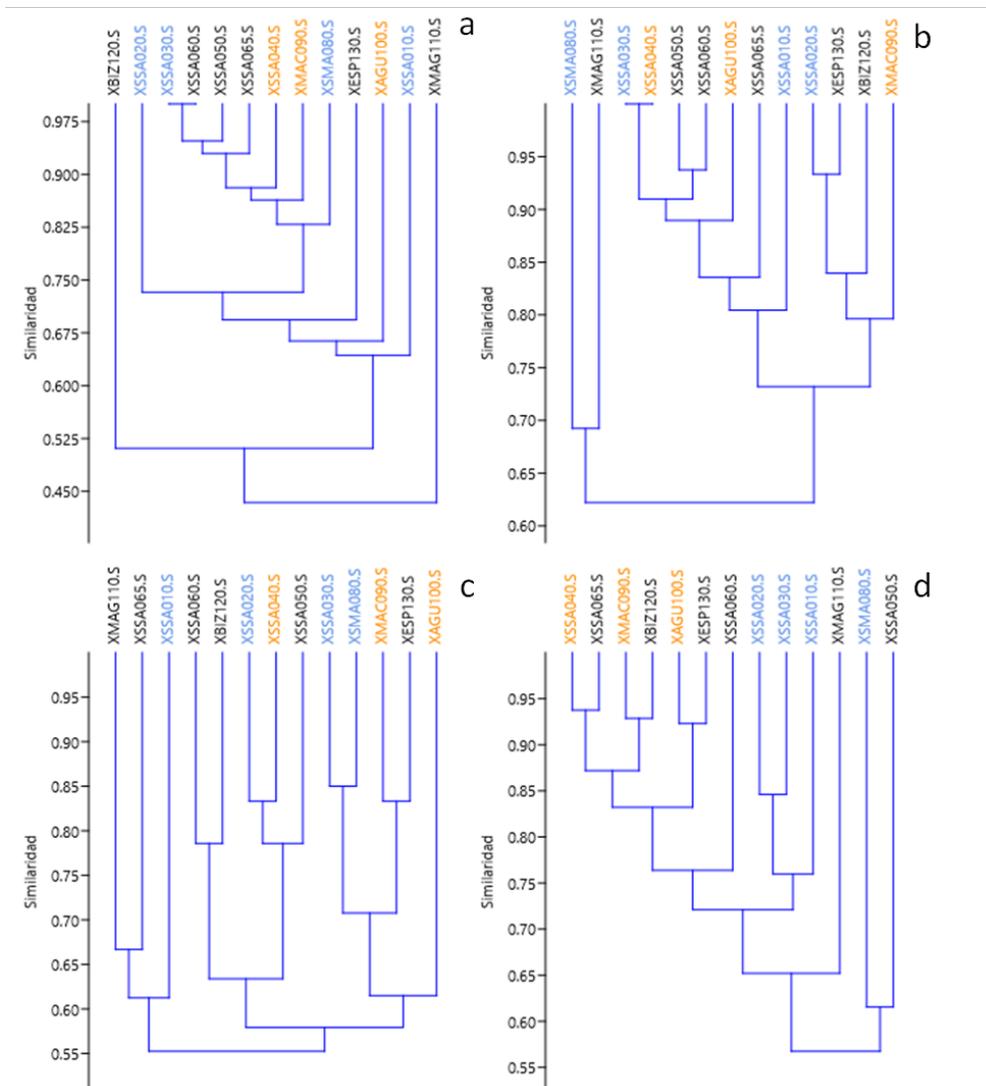


Figura 15. Diagrama de clasificación para los sitios de la cuenca en función de la ocurrencia de plaguicidas en el agua. Algoritmo UPGMA y el índice de similitud de Jaccard. Celeste: cuenca alta; Naranja: cuenca media; Negro: cuenca baja. a) mayo 2022; b) agosto 2022; c) noviembre 2022; d) febrero 2023.

ii.1.c Acumulación de plaguicidas en función del número de muestras

Considerando el número de muestras analizadas en agua superficial (52 muestras, 13 por muestreo) y la frecuencia de ocurrencia de plaguicidas, se realizó una curva de acumulación como medida para conocer el esfuerzo de muestreo realizado en esta matriz. En este sentido, el modelo estimó que existirían 41 plaguicidas de los 41 detectados, por lo que la cantidad de muestras obtenidas para este trabajo fue muy satisfactoria, confirmando un esfuerzo de muestreo representativo de la cuenca. Por su

parte, el porcentaje acumulado evidenció que 42 muestras son suficientes para detectar más del 95% de los compuestos (**Fig. 16**).

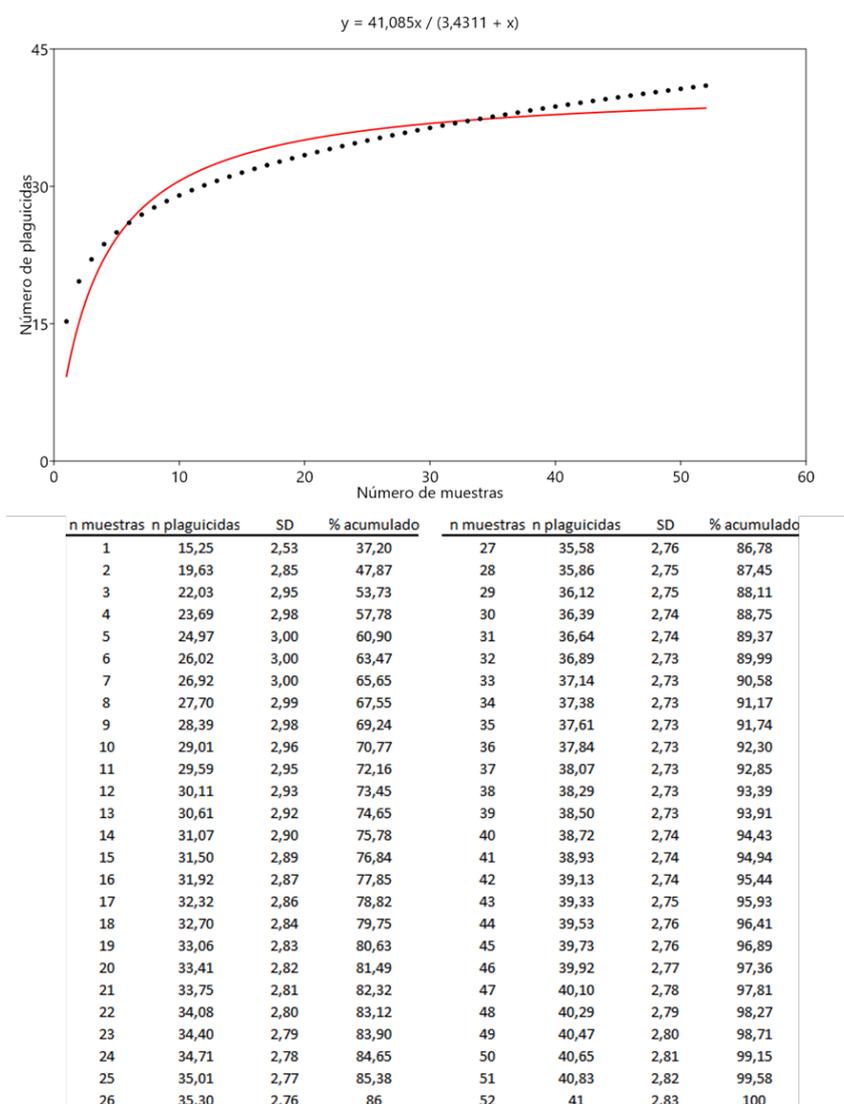


Figura 16. Curvas de acumulación de plaguicidas en agua. Arriba se presenta la curva de acumulación y su ecuación. Abajo, la tabla muestra el número de plaguicidas detectados en relación con el número de peces muestreados y el desvío estándar (SD), así como porcentaje de valor acumulado.

ii.1.d Relación entre plaguicidas y vida media en agua y suelos

La agrupación de los plaguicidas según su vida media en agua mostró una prevalencia inversa, siendo el 43,9% (18) compuestos no persistentes ($DT_{50} < 30$ días) y 39,0% (16) moderadamente persistentes ($30 < DT_{50} < 100$). El único compuesto muy persistente fue el DDD, por su parte no se encontraron datos para 5 plaguicidas (AMPA, atrazina desisopropil, atrazina desetil, boscalid y etión) (**Fig. 17**).

Al analizar la relación entre el logaritmo de la vida media en agua y la frecuencia de aparición de los plaguicidas no se observó una correlación significativa ($R^2= 0,04$; $p=0,31$).

De los 15 plaguicidas presentes todos los meses, 5 son no persistentes y 7 moderadamente persistentes en agua (para los 3 metabolitos, AMPA, atrazina desisopropil y atrazina desetil no se obtuvieron resultados por encima del LC). Teniendo en cuenta que los muestreos presentaron una frecuencia trimestral, este resultado podría sugerir un uso relativamente reciente de estos compuestos en la cuenca previa a la toma de muestras.

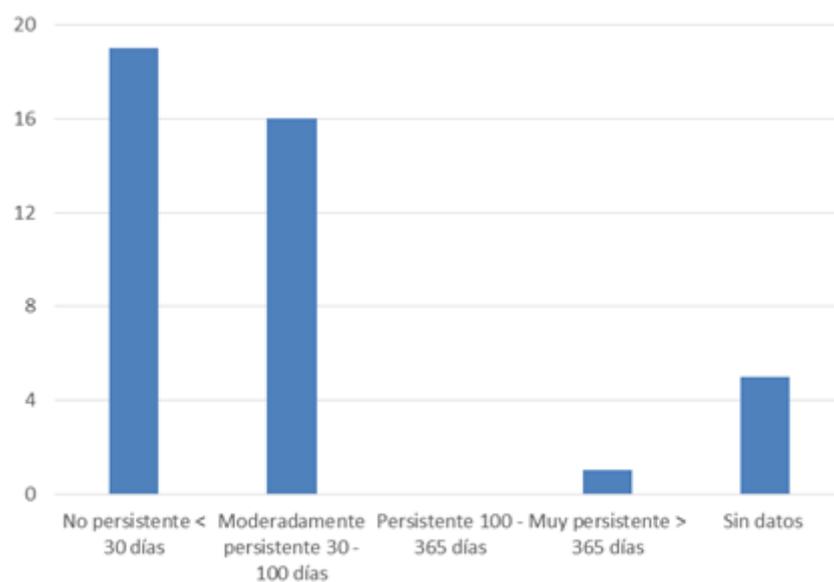


Figura 17. Ocurrencia de plaguicidas según su vida media en agua.

Considerando la vida media en suelo (**Fig. 18**) la mayoría de los plaguicidas detectados ($n=28$) presentan una persistencia menor a 100 días. Contrariamente, se encontraron solamente cuatro compuestos muy persistentes ($DT_{50} > 365$). Cinco de los plaguicidas clasificados como dominantes (presentes en al menos tres muestreos) son persistentes (AMPA, ciproconazol y diuron) y dos muy persistentes en suelo (epoxiconazol y metoxifenocida). Esta alta permanencia en suelo podría representar un reservorio en esta matriz, los cuales podrían alcanzar los cuerpos de agua por escorrentía o lixiviación, principalmente luego de eventos de precipitación (Rodríguez-Bolaña et al., 2023). Sin embargo, dado que la persistencia de los plaguicidas en el suelo de la cuenca no solo se encuentra determinada por sus características fisicoquímicas, sino por diversos factores, entre ellos el tipo de suelo (contenido materia orgánica, temperatura, humedad, pH) (Pérez-Parada et al., 2018), futuras investigaciones deberán analizar esta matriz para conocer el comportamiento de los principales plaguicidas utilizados en la cuenca y analizar sus posibles relaciones con su ocurrencia en agua superficial y biota acuática.

No se observó una relación entre el logaritmo de la vida media en suelo y la frecuencia de aparición de los plaguicidas ($R^2= 0,10$; $p=0,51$).

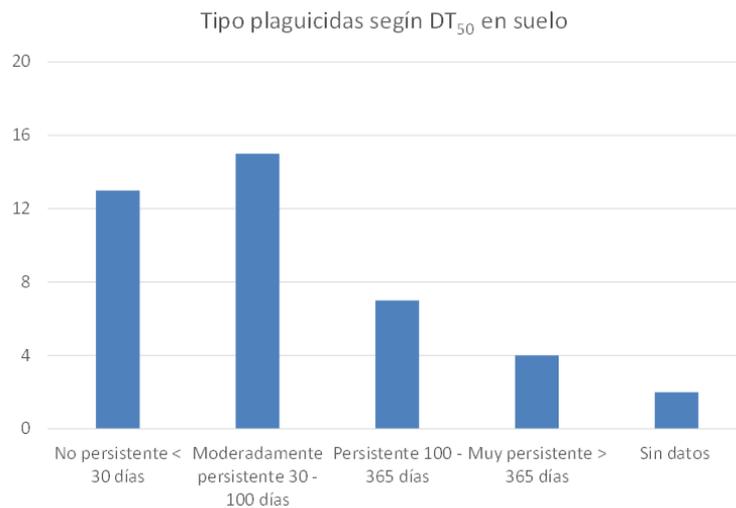


Figura 18. Ocurrencia de plaguicidas según su vida media en suelo.

Además de los análisis anteriores, no se observaron relaciones significativas entre el incremento de plaguicidas en agua y otras características fisicoquímicas como la solubilidad ($R^2=0,09$; $p=0,29$) y coeficiente de partición octanol/agua ($R^2= 0,05$; $p=0,12$). En función de estos resultados, la presencia de plaguicidas en agua estaría determinada por las características fisicoquímicas de los compuestos, como su alta solubilidad (casos glifosato, AMPA, glufosinato, 2,4 D, metabolitos de atrazina)(PPDB, 2023).

Asimismo, la mayoría de los compuestos presentaron bajos valores de DT_{50} en agua (rápida degradación), lo que sugiere que la presencia de estos compuestos está fuertemente vinculada a sus usos recientes en la cuenca.

ii.1.e Plaguicidas y su uso de la cuenca

La cuenca del río San Salvador se caracteriza fundamentalmente por su uso agrícola y ganadero, con una mayor predominancia de agricultura de secano en su parte baja y de ganadería en la cuenca alta. La forestación representa la tercera mayor actividad, aunque muy por debajo de ellas, con un mayor desarrollo en cuenca alta y media (**Tabla 6**).

Tabla 6. Uso del suelo (%) en la cuenca del río San Salvador en los diferentes sitios muestreados.

Sitio	Forestal	Monte nativo	Cuerpos de agua	Ganadero	Agrícola	Ag. Irrigada	Urbano
XSSA010	1,71	0,05	0,02	52,24	45,98	0,00	0,00
XSSA020	5,03	2,49	0,22	53,28	37,84	1,12	0,09
XSSA030	4,06	2,04	0,16	52,85	39,99	0,81	0,08
XSMA080	1,30	1,24	0,02	51,43	45,67	0,00	0,34
XSSA040	4,05	2,38	0,18	51,21	42,13	0,00	0,06
XMAC090	1,26	1,78	0,08	44,72	51,15	0,98	0,03
XAGU100	7,15	1,94	0,12	33,51	55,30	1,97	0,00
XSSA050	3,23	2,58	0,13	42,63	50,21	1,19	0,03
XSSA060	3,10	2,61	0,14	41,85	51,02	1,22	0,06
XSSA065	3,09	2,65	0,15	41,83	50,95	1,22	0,11
XMAG 110S	0,40	3,29	0,01	24,28	71,26	0,75	0,00
XBIZ 120S	0,98	6,90	0,01	24,05	68,05	0,02	0,00
XESP 130S	0,57	3,22	0,22	26,66	69,32	0,01	0,00

En el **Anexo 7** se presentan los meses de aplicación para los diferentes plaguicidas detectados en agua, así como sus cultivos asociados.

La presencia de una gran variedad de compuestos (16) en todos los meses analizados sugiere que existe un conjunto de plaguicidas que son usados de forma continua en el sistema independientemente de la época del año y el tipo de cultivo predominante en la cuenca.

La mayoría de estos compuestos son herbicidas. Dentro de este grupo existen algunos de uso extendido en el manejo de malezas pre y post emergencia de cultivos de verano e invierno como el glifosato, la atrazina (prohibida en 2016 por MGAP. Res. 104 12/16) y su sustituto simazina. Sin embargo, otros están registrados para uso en cultivos de verano (metolacoloro, metribuzina) o de invierno (diuron). La alta ocurrencia de estos en todos los meses analizados y en varios sitios de la cuenca (**Anexo 5**) podría indicar su uso sobre cultivos para los cuales no están registrados. Este mal uso de compuestos no es nuevo en nuestro país (Tarán et al., 2013; Basso et al., 2020; Palladino et al., 2023) y en la cuenca del San Salvador se podría estar frente al mismo patrón. En este sentido, durante agosto se encontraron diversos envoltorios del herbicida REDEX (sobres de 200 gr) dispersos en el sitio del arroyo Maciel (XMAC090) y en zanjas aledañas (**Fig. 19**). Esto no solo representa una inadecuada disposición final de los envases vacíos de agroquímicos, sino que este producto comercial, perteneciente al grupo de las imidazolinonas se encuentra registrado en Uruguay para su uso exclusivo en cultivos de arroz, el cual no está presente en la cuenca del San Salvador. Posiblemente su aplicación se encuentre asociada a los cultivos de colza invernal en la región, puntualmente a las nuevas semillas con tecnología tolerante a las imidazolinonas, como el híbrido Phoenix CL. Estas semillas fueron lanzadas recientemente al mercado, y su fecha de inscripción ante el RNC (INASE) se obtuvo recién el 10/01/2023 (<https://www.inase.uy/EvaluacionRegistro/RNC-RPC.aspx?v=y>), por lo que en esa fecha (en agosto 2022) su registro todavía estaba pendiente. En este sentido, futuras investigaciones deberán profundizar en este tipo de aspectos, principalmente el paquete tecnológico asociado al cultivo de colza. Las malas prácticas agrícolas y el alto

dinamismo que presentan los paquetes tecnológicos asociados al agro, exigen una actualización constante de los plaguicidas a analizar, los que principalmente se basan en el análisis de los paquetes asociados a los cultivos que se realizan en la zona de estudio.

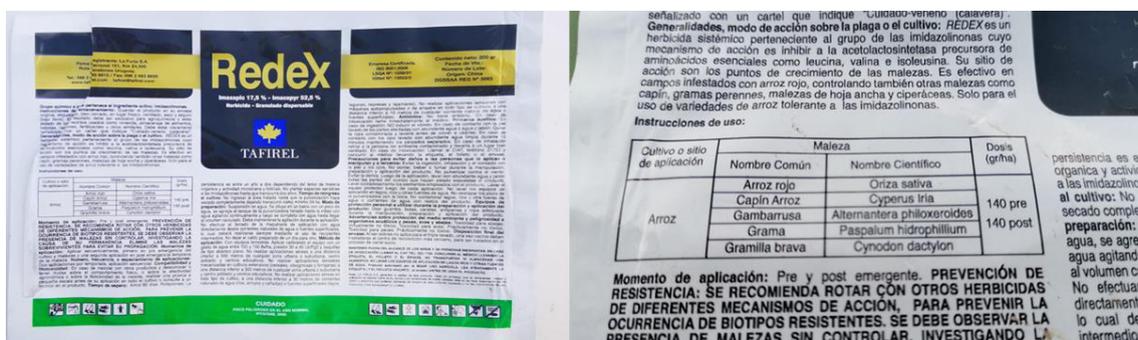


Figura 19. Producto comercial Redex (DGSSAA REG N 3663). Firma registrante La Forja S.A. Canelones, Uruguay. www.tarifel.com.

La presencia de atrazina, prohibida en 2016 pero con venta permitida hasta marzo de 2018 se detectó en todos los sitios y todos los meses analizados. La vida media de este producto es de 80 días en agua y 75 días en suelo (PPDB, 2023) , lo que sugeriría un uso actual y por lo tanto es otro indicador de manejos inadecuados de plaguicidas en la cuenca. Su aplicación podría deberse a la existencia de reservas sobrantes del producto, o bien a un ingreso ilegal al país. En este sentido, en Argentina y Brasil, la atrazina es uno de los mayores principios activos utilizados actualmente.

Por su parte, los cinco fungicidas presentes en todos los muestreos (azoxiestrobina, ciproconazol, epoxiconazol, metalaxil e imazalil) y los dos insecticidas (tiametoxam y metoxifenocida) se usan tanto en cultivos de verano como de invierno, por lo que su aplicación puede ocurrir a lo largo de todo el año (**Anexo 7**).

La presencia de permetrina (prohibido como producto fitosanitario desde 2004, pero actualmente con uso extensivo en ganadería) en la parte alta de la cuenca estaría indicando su uso en esta zona, caracterizada por presentar la mayor actividad ganadera en la cuenca. En esta zona también se detectó la presencia de otro piretroide (cipermetrina), el cuál si bien está registrado para uso en cultivos de soja y maíz, también se utiliza en la ganadería como insecticida/acaricida.

En noviembre de 2022 también registramos la presencia de una zona de disposición inadecuada de una gran cantidad de envases vacíos en la ruta 105 sobre la cuenca del arroyo Magallanes (**Fig. 20**).



Figura 20. Zona de acopio inadecuado de envases vacíos de varios plaguicidas, localizado sobre la ruta 102 en la cuenca del arroyo Magallanes. Fotografía tomada el 17 de noviembre de 2022.

El análisis de redundancia (RDA) realizado para analizar posibles relaciones entre la ocurrencia de plaguicidas y los usos del suelo en los diferentes sitios de muestreo no evidenció asociaciones significativas ($R^2 = 0,084$; $F = 0,894$; $p = 0,7$). Cabe resaltar que este análisis se basa en usos del suelo genéricos por ejemplo área agrícola, forestal, ganadera etc., por lo que no incorpora la dinámica intra-anual por ejemplo de cultivos. Otro aspecto que puede afectar estas relaciones es la mala disposición de envases y los usos de plaguicidas que no están habilitados para determinados cultivos.

ii.1.f Evaluación de riesgo ecotoxicológico

En **mayo**, los mayores valores de riesgo ecotoxicológico se encontraron en el sitio XSSA020 (cuenca alta del río; $\Sigma RQ= 322,64$), debido principalmente a las altas concentraciones del insecticida lambda-cialotrina, cuyo $RQ= 267,5$ (**Tabla 7**). Por su parte, el afluente XAGU100 ($\Sigma RQ= 47,9$) y el sitio XSSA065, ubicado aguas abajo de la ciudad de Dolores ($\Sigma RQ= 43,4$), presentaron los valores acumulados más altos en zona media y baja de la cuenca respectivamente.

Los plaguicidas que presentaron mayor riesgo durante este mes fueron los insecticidas: lambda-cialotrina, etión, cipermetrina, permetrina y clorpirifos y el herbicida simazina. El compuesto lambda-cialotrina, permetrina y cipermetrina son piretoides de amplio espectro y resultan altamente tóxicos para peces, invertebrados acuáticos y abejas (He et al., 2008; Pashte & Patil., 2018; Farag et al., 2021). Por su parte, etión y clorpirifos son organofosforados con restricciones de uso (etión) y de venta bajo receta profesional (clorpirifos). Simazina es un herbicida selectivo que actúa de forma pre-emergente y en barbecho para los cultivos de sorgo y maíz y se utiliza para controlar la mayoría de los pastos anuales en germinación y las plantas de hoja ancha. Puede emplearse como sustituto de la Atrazina. Tiene una alta persistencia en el suelo.

Por otro lado, clorantroliprol, 2-fenilfenol, carbendazin y diuron presentaron riesgo medio en varios puntos de la cuenca. Es de esperar que los compuestos de carácter fúngico aparezcan en **mayo** ya que acompaña el periodo húmedo y de lluvias propias del territorio, por ende, el desarrollo de la funga tiende a ser mayor (Gottlieb, 1950).

Tabla 7. Riesgo ecotoxicológico (RQ) de los plaguicidas detectados en la cuenca del río San Salvador, en función de las concentraciones determinadas durante mayo de 2022. RQ > 1 riesgo significativo (rojo); 0,1 < RQ < 1 riesgo medio (amarillo) y RQ < 0.1 riesgo ambiental bajo (verde). Se presentan los valores de RQ totales para cada sitio. ND: no hay datos de toxicidad para el compuesto.

Compuesto	XSSA 010S	XSSA 020S	XSSA 030S	XSMA 080S	XSSA 040S	XMAC 090S	XAGU 100S	XSSA 050S	XSSA 060S	XSSA 065S	XMAG 110S	XBIS 120S	XESP 130S
Atrazina desetil	5,10E-02	5,10E-02	4,00E-02	8,80E-02	3,20E-02	3,50E-02	6,80E-02	5,40E-02	4,80E-02	4,80E-02	6,30E-02	6,20E-02	3,20E-02
Azoxiestrobina	1,36E-03	3,41E-03	2,95E-03	1,95E-03	3,18E-03	4,32E-03	2,23E-03	2,73E-03	2,95E-03	3,86E-03	2,73E-03	5,23E-03	6,59E-03
Ciproconazol	9,52E-03	1,86E-02	1,95E-02	1,10E-02	1,90E-02	2,14E-02	1,71E-02	1,62E-02	1,57E-02	2,10E-02	7,14E-03	1,71E-02	2,24E-02
Clorantraniliprol	0,36	0,60	0,45		0,64	0,83	0,84	0,64	0,58	0,77	0,25	0,77	0,82
Imidacloprid		1,33E-04	7,22E-05	6,11E-05	8,33E-05	7,78E-05	3,83E-04	1,17E-04	1,11E-04	1,28E-04		5,17E-05	2,83E-05
Metolaclo	3,25E-04	5,37E-04	8,49E-04	6,36E-04	1,12E-03	5,66E-04	6,93E-04	1,56E-03	1,84E-03	1,56E-03			2,97E-04
Tiametoxam	4,75E-04	5,50E-04	6,25E-04	2,50E-04	7,25E-04	8,00E-04	7,75E-04	6,00E-04	6,25E-04	6,50E-04			
2-fenilfenol	-	0,73	0,51	0,26	0,60	0,18		0,22	0,38	0,19			0,15
Epoxiconazol	3,33E-03	3,33E-03	5,64E-03		3,46E-03			3,33E-03	3,72E-03	3,97E-03			
Etión	25,00	26,79	25,00	27,68	16,96	13,39	22,32	23,21	16,96	40,18			
Metoxifenocida		9,87E-04				1,28E-03						2,56E-03	
Atrazina		-											
Metribuzina		6,90E-03					9,29E-03						
AMPA(a)	1,25E-02	-											
Glifosato(a)	-	2,55E-03											
Metalaxil	-	-			3,95E-04								
Simazina	-	2,30	3,20	0,75	3,30	0,57		1,90	2,50	2,00			0,73
Carbendazim	0,20	0,20	0,14	-	0,17	0,15		0,16	0,10	0,14			
Diuron	6,50E-03	3,52E-02	0,15	4,44E-02	0,19			8,52E-02	7,78E-02	7,78E-02			
Imazalil	6,67E-03												
Iprodione			1,59E-04		1,53E-04	1,53E-04			2,24E-04	1,65E-04	0,00E+00	1,88E-04	1,82E-04
Clorpirifos		1,71				0,46					0,60	2,29	
Atrazina					4,90E-04		3,70E-04						
Cipermetrina		22,67					24,67						
Permetrina	2,83											2,89	
Boscalid	7,60E-03												
Clomazone		7,80E-03											
Lambda-Cialotrina		267,51											
o,p DDD					1,35E-03								
Pirimetanil		2,39E-04											
Trifluralina												2,20E-02	
ΣRQ x SITIO	28,49	322,64	29,52	28,83	21,92	15,63	47,93	26,29	20,68	43,44	0,92	6,06	1,76
RQ MEDIA X MES	45,70												

En **agosto** el mayor riesgo ecotoxicológico se encontró en el arroyo Maciel (XMAC090) en la cuenca media ($\Sigma RQ=6,35$), principalmente debido a la presencia de etión ($RQ=5,27$). Este compuesto fué el único que presentó valores de riesgo alto (superiores a 1), mientras que atrazina desetil y clorantraniliprol, diuron e imazalil presentaron riesgo medio (**Tabla 8**).

Tabla 8. Riesgo ecotoxicológico (RQ) de los plaguicidas detectados en la cuenca del río San Salvador, en función de las concentraciones determinadas durante agosto de 2022. RQ > 1 riesgo significativo (rojo); 0,1 < RQ < 1 riesgo medio (amarillo) y RQ < 0.1 riesgo ambiental bajo (verde). Se presentan los valores de RQ totales para cada sitio. ND: no hay datos de toxicidad.

Compuesto	XSSA 010S	XSSA 020S	XSSA 030S	XSMA 080S	XSSA 040S	XMAC 090S	XAGU 100S	XSSA 050S	XSSA 060S	XSSA 065S	XMAG 110S	XBIS 120S	XESP 130S
Atrazina desetil	0,13	0,13	0,13	0,16	0,14	0,15	0,16	0,13	0,14	0,13	0,12	0,11	8,50E-02
Ciproconazol	4,76E-03	1,48E-02	1,14E-02	7,62E-03	1,14E-02	2,29E-02	9,05E-03	9,52E-03	1,24E-02	2,57E-02	3,57E-03	9,05E-03	9,05E-03
Clorraniliprol	0,25	0,38	0,26	0,11	0,25	0,75	0,30	0,36	0,43	0,74	0,11	0,50	0,31
Metolacoloro	4,81E-04	4,38E-04	6,22E-04	3,54E-04	6,93E-04	8,06E-04	7,21E-04	9,05E-04	9,34E-04	1,84E-03	9,34E-05	1,70E-04	1,29E-04
Simazina	1,23E-04	1,38E-04	1,38E-04	1,30E-04	1,25E-04	4,00E-04	9,00E-03	2,33E-03	2,33E-03	1,48E-03	1,13E-04	6,17E-05	2,67E-04
Tiametoxam	7,75E-05	8,50E-05	7,25E-05	6,00E-05	8,25E-05	2,50E-04	1,78E-04	1,28E-04	1,68E-04	3,00E-04	9,00E-06	9,00E-05	2,75E-05
Atrazina	5,10E-04	3,60E-04	4,40E-04	1,00E-03	4,40E-04	6,80E-04	7,20E-04	4,50E-04	5,10E-04	5,80E-04		3,00E-04	4,30E-04
Azoxiesterobina		2,14E-03	1,34E-03	1,09E-03	1,57E-03	2,73E-03	2,27E-03	1,52E-03	1,80E-03	2,73E-03	1,70E-03	2,16E-03	1,91E-03
Glifosato(a)	4,60E-03	4,10E-03	3,25E-03		3,70E-03	4,95E-03	2,35E-03	3,30E-03	3,45E-03	4,70E-03	1,90E-03	2,40E-03	2,35E-03
Diuron	3,22E-02	0,59	0,19	6,30E-02	9,26E-02	0,12	0,00E+00	9,26E-02	0,10	0,11		8,52E-02	1,48E-02
Metalaxil	2,75E-04	6,50E-04	3,05E-04	-	3,25E-04	0,0018	6,50E-04	6,50E-04	7,00E-04	8,00E-04		1,60E-04	2,35E-04
Metoxifenocida	7,18E-04	4,36E-04	4,74E-04	-	5,90E-04	0,00114	3,97E-04	7,05E-04	9,49E-04	1,19E-03		9,10E-04	4,10E-04
Atrazina desisop.	ND												
Imazalil	4,42E-02		0,40	3,95E-02	1,98E-02		6,74E-03	9,30E-02	3,72E-02	1,58E-02	1,72E-02		
Pirimetanil	2,07E-04		3,09E-03	3,94E-04	3,14E-04		1,44E-04	1,81E-03	5,85E-04	2,13E-04	1,76E-04		
Metribuzina		6,19E-03	1,17E-02		5,95E-03	1,00E-02				9,29E-03		8,33E-03	7,86E-03
AMPA(a)		5,50E-03				9,00E-03				5,00E-03			
Epoxiconazol						3,85E-03				3,33E-03		3,33E-03	
Piraclostrobina						-		5,25E-02					
Etión						5,27							
Tebuconazol						6,75E-03							
ΣRQ x SITIO	0,46	1,14	1,00	0,39	0,52	6,35	0,49	0,75	0,73	1,05	0,26	0,73	0,44
RQ MEDIA X MES	1,10												

En **noviembre** los valores altos de riesgo se deben principalmente a la presencia de cipermetrina (zona media y baja) y metribuzina (zona baja) (**Tabla 9**). Ésta última es un herbicida de pre y post emergencia que se utiliza para el control de herbáceas en cereales y cultivos de secano. Es esperable su utilización en esta época ya que acompaña los cultivos de sorgo, maíz y soja. Por su parte, el insecticida clorraniliprol y el metabolito atrazina desetil arrojaron valores de riesgo medio, este último a lo largo de toda la cuenca.

Al igual que lo observado en **agosto**, el sitio con mayor valor de riesgo acumulado fué nuevamente XMAC090 ($\Sigma RQ=31,3$), seguido de XESP130 ($\Sigma RQ=11,47$) y XBIZ ($\Sigma RQ=10,15$), ambos afluentes ubicado en cuenca baja. por su parte, en la cuenca alta todos los sitios presentaron riesgo medio.

Tabla 9. Riesgo ecotoxicológico (RQ) de los plaguicidas detectados en la cuenca del río San Salvador, en función de las concentraciones determinadas durante noviembre de 2022. RQ > 1 riesgo significativo (rojo); 0,1 < RQ < 1 riesgo medio (amarillo) y RQ < 0.1 riesgo ambiental bajo (verde). Se presentan los valores de RQ totales para cada sitio y para la cuenca total. ND: no hay datos de toxicidad.

Compuesto	XSSA 0105	XSSA 0205	XSSA 0305	XSSA 0805	XSSA 0405	XMAC 0905	XAGU 1005	XSSA 0505	XSSA 0605	XSSA 0655	XMAG 1105	XBIS 1205	XESP 1305
Atrazina	1,30E-03	1,20E-03	2,20E-03	1,40E-03	1,50E-03	1,40E-03	1,30E-03	2,40E-03	2,00E-03	1,10E-03	6,50E-04	7,30E-04	1,30E-03
Atrazina desetil	0,26	0,30	0,40	0,25	0,31	0,29	0,27	0,43	0,34	0,21	0,14	0,14	0,17
Atrazina desisop.													
Azoxiestrobina	2,50E-03	5,23E-03	3,64E-03	3,86E-03	2,95E-03	2,73E-03	3,18E-03	4,32E-03	4,32E-03	3,41E-03	2,50E-02	4,77E-03	2,27E-03
Ciproconazol	2,48E-02	3,57E-02	2,62E-02	2,86E-02	1,86E-02	1,76E-02	1,67E-02	2,10E-02	2,33E-02	2,57E-02	5,24E-02	1,67E-02	1,43E-02
Clorantpriliprol	0,16	0,29	0,40	0,29	0,34	0,28	0,26	0,37	0,62	0,31	8,28E-02	0,25	0,31
Metolaclo	3,68E-04	4,53E-04	6,36E-02	7,50E-04	9,05E-04	1,41E-03	8,63E-04	8,49E-02	1,12E-02	1,02E-02	2,83E-04	7,07E-04	2,97E-03
Simazina		1,17E-04	1,43E-03	5,17E-04	6,50E-04	6,50E-04	8,33E-04	3,17E-04	5,67E-05	1,63E-03	1,55E-04	4,33E-05	3,33E-03
Tiametoxam	3,25E-05	3,25E-05	4,25E-05	2,50E-05	1,75E-05	1,28E-05	2,18E-05	4,25E-04	6,75E-05	1,35E-05	0,00E+00	0,00E+00	8,00E-06
Metaxil		1,75E-04	3,60E-03		1,55E-04	1,40E-04		1,65E-03	2,85E-04	1,25E-04		1,45E-04	2,35E-04
Metribuzina	1,02E-02				2,62E-02	4,05E-02	8,81E-02		7,38E-03	9,52	8,81E-02	7,62E-02	10,95
Glifosato			4,60E-03		1,50E-03		1,40E-03	1,08E-02	5,50E-03	1,90E-03	1,25E-03		1,60E-03
Epoxiconazol			4,10E-03	3,46E-03	3,21E-03			9,10E-03	4,87E-03				4,74E-03
AMPA(a)			6,50E-03				5,00E-03	1,20E-02	8,50E-03				5,00E-03
Diuron		3,41E-02	1,85E-02	2,07E-02	1,85E-02		1,22E-02						
2,4 D		1,10E-03						7,35E-04		1,10E-03	7,35E-04		
Acetamiprid						3,60E-05	1,20E-04				7,60E-04		7,00E-04
Imazalil	1,51E-02						2,79E-02	6,28E-02			1,40E-02		
Iprodione			1,47E-04					3,53E-04	1,94E-04				1,88E-04
Metoxifenocida			3,72E-04					4,36E-04	4,36E-04	6,54E-04			
Cipermetrina						30,67			2,67			9,67	
Clomazone			8,00E-04					1,26E-03			1,90E-03		
Carbaryl										3,80E-02			
Fluroxipir meptil							2,50E-03						
Glufosinatodeamonio(a)										7,22E-04			
Piraclostrobina								5,00E-02					
Propiconazol												3,97E-04	
ΣRQ x SITIO	0,47	0,67	0,94	0,60	0,72	31,30	0,69	1,06	3,69	10,13	0,41	10,15	11,47
RQ MEDIA X MES	5,56												

En **febrero** los piretorides cipermetrina y bifentrina fueron los únicos compuestos que presentaron valores de riesgo alto (**Tabla 10**). Para el caso de la cipermetrina, el valor más alto se encontró en el sitio XMAC090 (RQ=66,6), seguido del sitio XSSA 050 (RQ=60). En este lugar también se registró el valor para la bifentrina (RQ= 1,43) y el mayor valor acumulado (ΣRQ= 61,55).

Los compuestos, metribuzina y el metabolito AMPA, presentaron valores medios de riesgo, este último debido a las altas concentraciones detectadas, puesto que su toxicidad reportada es baja para los organismos acuáticos.

Tabla 10. Riesgo ecotoxicológico (RQ) de los plaguicidas detectados en la cuenca del río San Salvador, en función de las concentraciones determinadas durante febrero de 2023. RQ > 1 riesgo significativo (rojo); 0,1 < RQ < 1 riesgo medio (amarillo) y RQ < 0.1 riesgo ambiental bajo (verde). Se presentan los valores de RQ totales para cada sitio y para la cuenca total. ND: no hay datos de toxicidad.

Compuesto	XSSA 010S	XSSA 020S	XSSA 030S	XSSA 080S	XSSA 040S	XMAC 090S	XAGU 100S	XSSA 050S	XSSA 060S	XSSA 065S	XMAG 110S	XBIS 120S	XESP 130S
Atrazina desetil	0,15	7,30E-02	9,90E-02	0,22	0,21	0,15	0,17	0,11	9,50E-02	0,12	8,00E-02	0,12	0,16
Atrazina desisop.	ND												
Azoxiesterobina	9,77E-04	1,66E-03	1,84E-03	1,70E-03	1,11E-03	1,57E-03	2,50E-03	6,82E-04	1,48E-03	1,07E-03	2,73E-03	1,95E-03	1,98E-03
Ciproconazol	7,62E-03	8,57E-03	1,14E-02	6,67E-03	4,76E-03	4,67E-03	6,67E-03	2,05E-03	8,10E-03	4,52E-03	5,24E-03	7,14E-03	7,62E-03
Glifosato	3,00E-03	4,00E-03	6,00E-03	3,50E-03	3,00E-03	4,00E-03	6,00E-03	2,50E-03	4,00E-03	3,00E-03	3,50E-03	3,00E-03	1,15E-02
Metolacloro	1,07E-03	7,21E-04	4,67E-03	1,56E-02	7,64E-04	7,92E-04	1,56E-03	2,12E-03	1,27E-02	1,06E-03	7,64E-04	6,08E-03	1,12E-03
Atrazina	3,10E-04	3,90E-04	6,10E-04	1,50E-03	9,40E-04	1,10E-03	1,50E-03		5,40E-04	7,70E-04	1,40E-03	6,70E-04	2,20E-03
Metalaxil	1,60E-03	1,50E-03	1,25E-02	1,30E-03	0,00E+00	1,75E-04	2,95E-04	2,60E-04	2,05E-03	2,65E-04	3,45E-04	7,50E-04	4,65E-04
AMPA(a)	0,00E+00	9,50E-02	0,15	0,11		6,30E-02	8,75E-02	0,00E+00	0,13	5,25E-02	5,70E-02	7,30E-02	5,50E-02
Metribuzina	8,81E-03	6,90E-03	4,76E-02	1,50E-02			2,02E-02		9,76E-02	3,10E-02	7,86E-03	0,29	1,40E-02
Cipermetrina				16,00	5,00	66,67	8,67	60,00	7,67	19,67	0,00E+00	20,33	9,00
Simazina				1,83E-04	1,62E-04	1,00E-04	1,10E-04			1,67E-04	9,17E-05	4,50E-05	7,83E-05
Diuron		3,26E-02	1,52E-02	9,63E-03		1,26E-02	3,00E-02	1,00E-02			1,00E-02		
Tiametoxam	7,00E-06		1,50E-05	7,75E-06			7,25E-06	6,50E-06	1,45E-05			1,30E-05	1,25E-05
Metoxifenocida			3,59E-04	4,36E-04			3,21E-04		5,77E-04	5,38E-04		4,36E-04	
Bifentrina					0,63			1,43					
Diazinon							6,96E-02				6,79E-02		
Epoxiconazol											4,74E-03		
Iprodione											1,59E-04		
Σ RQ x SITIO	0,17	0,22	0,35	16,38	5,85	66,90	9,06	61,55	8,02	19,88	0,24	20,83	9,25
RQ MEDIA X MES	16,83												

La sumatoria mensual de los valores medios de RQ evidencian un riesgo ecotoxicológico alto en todos los meses analizados (**Tabla 11**). Sin embargo, estos valores fueron muy dispares con un riesgo acumulado máximo en el mes de mayo (Σ RQ media mensual = 45,7) y mínimo en agosto (Σ RQ media mensual= 1,1).

La presencia de altos valores de riesgo en mayo y noviembre (Σ RQ media mensual= 5,6) podría estar asociado a las operativas de siembra y cosecha que se llevan a cabo en estas fechas y que involucran la utilización de una gran cantidad de compuestos.

Tabla 11. Media mensual de riesgo ecotoxicológico (Σ RQ) en agua.

	Media RQ mensual
Mayo	45,7
Agosto	1,1
Noviembre	5,6
Febrero	16,8

Con respecto a los diferentes sitios, los valores medios anuales (media RQ sitio anual), salvo el arroyo Magallanes (XMAG110), todos presentan valores superiores a 1 (**Tabla 12**). El sitio XSSA020, ubicado en cuenca alta, el afluente XMAC090 (arroyo Maciel) en cuenca media y XSSA050 en cuenca baja presentaron los valores medios anuales más altos.

A nivel de cuenca, el mayor riesgo ecotoxicológico se observó en la zona alta de la misma, con una media anual de 27, seguido de los sitios ubicados en la cuenca media con 17,3. Los altos valores observados en cuenca alta podrían estar determinados por los valores extremos de ΣRQ_{sitio} encontrados en el mes de mayo en el sitio XSSA020.

Tabla 12. Promedios de riesgo ecotoxicológico en agua para los sitios ubicados en la zona alta, media y baja de la cuenca por mes.

	RIESGO MEDIO POR SITIO Y MES												
	XSSA 010S	XSSA 020S	XSSA 030S	XSMA 080S	XSSA 040S	XMAC 090S	XAGU 100S	XSSA 050S	XSSA 060S	XSSA 065S	XMAG 110S	XBIS 120S	XESP 130S
Mayo	28,5	322,6	29,5	28,8	21,9	15,6	47,9	26,3	20,7	43,4	0,9	6,1	1,8
Agosto	0,5	1,1	1,0	0,4	0,5	6,4	0,5	0,7	0,7	1,0	0,3	0,7	0,4
Noviembre	0,5	0,7	0,9	0,6	0,7	31,3	0,7	1,1	3,7	10,1	0,4	10,2	11,5
Febrero	0,2	0,2	0,4	16,4	5,8	66,9	9,1	61,6	8,0	19,9	0,2	20,8	9,3
Media RQ sitio anual	7,4	81,2	8,0	11,6	7,3	30,0	14,5	22,4	8,3	18,6	0,5	9,4	5,7
Media RQ cuenca anual	27,0			17,3				10,8					

A lo largo de este estudio, los plaguicidas que generan mayor riesgo ecotoxicológico en su mayoría fueron insecticidas organofosforados (etión y clorpirifos) y piretorides (cipermetrina, lambda-cialotrina, bifentrina, permetrina); y en menor medida clorantraniliprol.

ii.1.g Modelo lineal generalizado: análisis de variables como determinantes de la presencia y concentración de plaguicidas

Para analizar las relaciones entre las variables explicativas y la ocurrencia de plaguicidas en agua se llevaron a cabo dos abordajes, utilizando por un lado el número de plaguicidas detectados por muestra y por otro la concentración de plaguicidas de aquellas muestras donde se detectó al menos un compuesto. El número de plaguicidas se modeló utilizando un modelo lineal generalizado (GLM) de la familia Poisson (función de enlace “log”). Cuando se trabajó con concentraciones el abordaje elegido fue el de los modelos lineales generalizados mixtos (GLMM) de la familia gaussiana (función de enlace “identidad”), utilizando la identidad (nombre del plaguicida) como efecto aleatorio. Este tipo de modelos nos permite tener en cuenta la variabilidad generada por la similitud que algunas concentraciones tienen entre ellas debido a que pertenecen al mismo compuesto. De esta manera, este abordaje nos permite analizar la relación de las concentraciones de los plaguicidas con respecto a las variables fisicoquímicas del

agua sin la interferencia generada por el parentesco existente entre las muestras del mismo compuesto. Las variables utilizadas en ambos casos fueron: temperatura, conductividad, pH, sólidos totales, oxígeno disuelto y precipitaciones.

Para el análisis del número de compuestos el modelo se pudo simplificar hasta dos variables explicativas que resultaron significativas: temperatura y sólidos totales. La relación de ambas variables con el número de plaguicidas en agua fué inversa y significativa (**Tabla 13**). La variación explicada por este modelo (similar al R² de los modelos lineales) fue de 0,54 (**Fig. 21**).

Tabla 13. Variables y coeficientes del modelo GLMM ajustado para el número de plaguicidas en agua.

Variable explicativa	Estimado	ES	z	p
Temperatura	0,98	0,0056	-1,99	0,047
Sólidos Totales	0,99	0,00056	-3,92	<0,0001

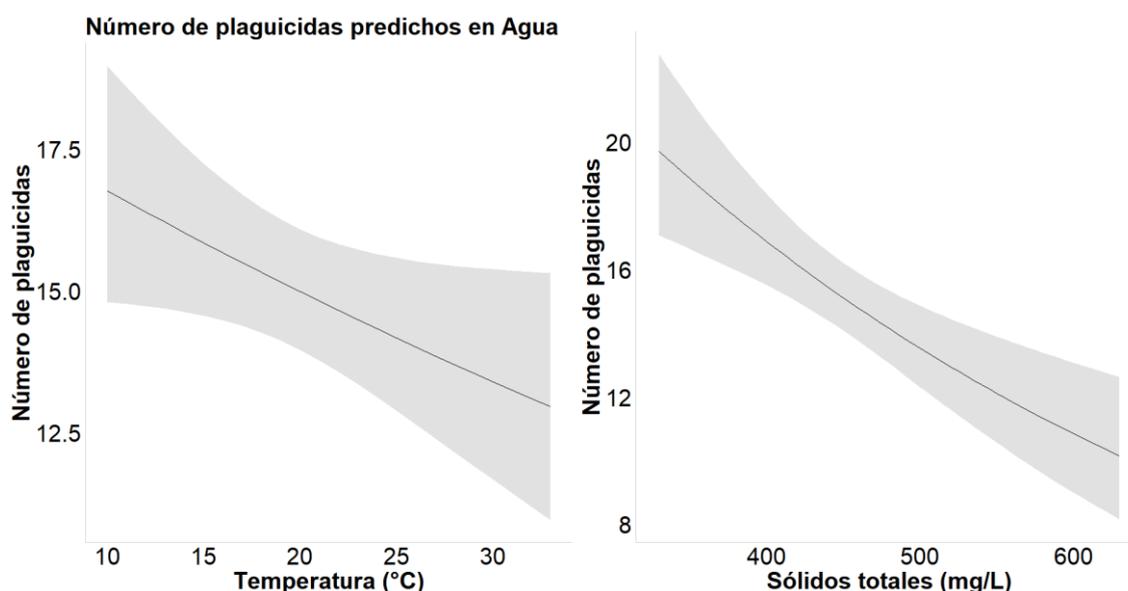


Figura 21. Relación entre la presencia de plaguicidas (número de plaguicidas detectados) en agua con A) la temperatura y B) sólidos totales en suspensión. La zona gris corresponde al intervalo de confianza.

Estos resultados son consistentes con una mayor ocurrencia de plaguicidas en **mayo**, con respecto a meses más cálidos como **noviembre**, en donde se observó la menor presencia de compuestos.

Con respecto a los sólidos totales, la mayoría de los plaguicidas con presencia en todos los meses y sitios analizados (compuestos dominantes), como los casos de la atrazina

desetil, atrazina desisopropil, glifosato y su metabolito AMPA, presentan una solubilidad muy alta en agua (**Tabla 14**). Asimismo, la mayoría de los plaguicidas clasificados como raros presentan una solubilidad baja (51% del total de los compuestos presenta una solubilidad menor a 50 mg/L). En este sentido, dada su naturaleza, estos plaguicidas son más susceptibles de estar disueltos en la columna de agua y no asociados a partículas en suspensión (Perez-Parada et al., 2018). Sin embargo, la bifentrina, compuesto dominante tiene una baja solubilidad en agua (0,001), por lo que su ocurrencia no estaría explicada por esta variable.

El modelo lineal generalizado mixto (GLMM) con la identidad de los plaguicidas como efecto aleatorio fue simplificado hasta quedar con tres variables explicativas significativas: ph, oxígeno disuelto y sólidos totales, la primera relacionada de manera positiva y las otras de forma negativamente (**Tabla 15, Fig. 22**). En este caso el modelo explica el 72% de la variación de los datos.

Tabla 14. Solubilidad (mg/L) de los diferentes plaguicidas detectados en agua y su ocurrencia (OC) en base a su detección en los cuatro muestreos analizados (D) Dominante (presente en los cuatro meses); (F) Frecuente (tres meses); (O) Ocasional (dos meses); (R) Raro (un mes).

Compuesto	OC	Solubilidad en agua (20° C, mg/L)
AMPA	R	1466561
Glufosinato de amonio	R	500000
2,4 D	R	24300
Metribuzina	D	10700
Glifosato	D	10500
Metalaxil	D	8400
Tiametoxan	D	4100
Acetamiprid	D	2950
Atrazina desethyl	R	2700
Clomazone	R	1212
Atrazina desisopropyl	R	980
Imidacloprid	R	610
2-fenilfenol	F	560
Metolaclo	D	530
Imazalil	F	184
Propiconazol	F	150
Pirimetaniil	R	110
Ciproconazol	R	93
Diazinon	D	60
Tebuconazol	D	36
Diuron	O	35,6
Atrazina	R	35
Carbaril	D	9,1
Carbendazim	R	8
Epoxiconazol	D	7,1
Iprodione	R	6,8
Azoxiestrobina	F	6,7
Simazina	R	5
Boscalid	D	4,6
Metoxifenocida	D	3,3
Etión	D	2
Piraclostrobina	D	1,9
Clorpirifos	R	1,05
Clorantriliprol	R	0,88
Trifluralina	O	0,221
Permetrina	F	0,2
Fluroxipir meptil	R	0,136
Cipermetrina	D	0,009
Lambda cialotrina	R	0,005
Bifentrina	D	0,001
o,p DDD	R	

Tabla 15. Variables y coeficientes del modelo GLMM ajustado para la concentración de plaguicidas en agua.

Variable explicativa	Estimado	ES	t	p
pH	1,82	0,16	3,78	0,0002
OD	0,91	0,027	-3,97	< 0,0001
ST	0,99	0,00067	-2,70	0,007

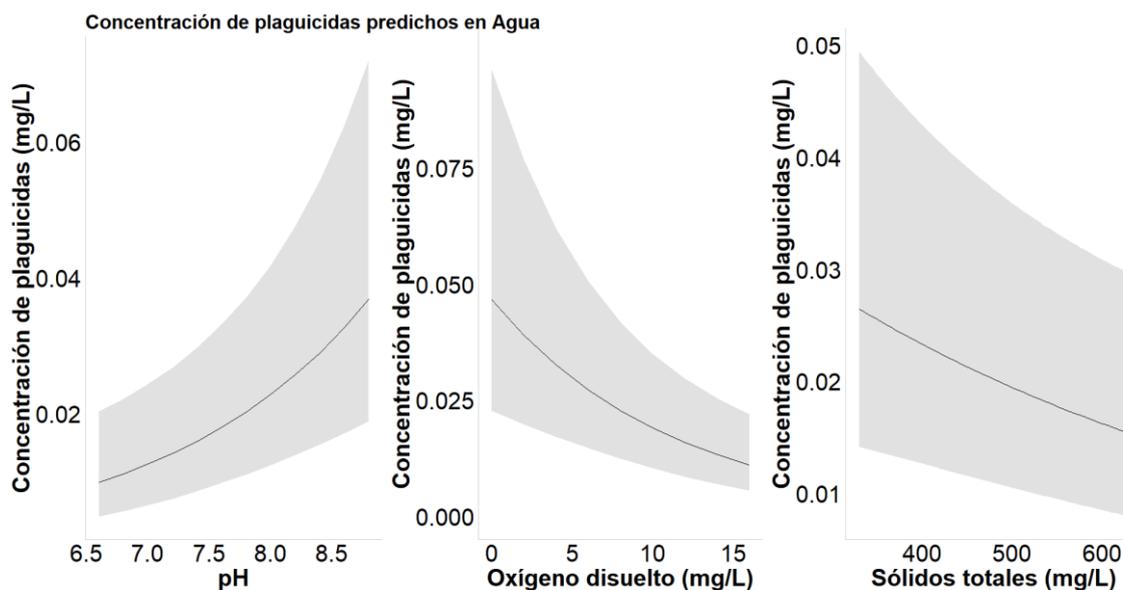


Figura 22. Relación entre ocurrencia de plaguicidas en agua y el pH (A); oxígeno disuelto (B) y sólidos totales en suspensión (C) basados en el modelo mixto lineal generalizado ajustado para la concentración de plaguicidas en agua. La zona gris corresponde al intervalo de confianza.

ii.2 Plaguicidas en peces: resultados y discusión

ii.2.a Frecuencia de ocurrencia de plaguicidas

Para el periodo **mayo-febrero** se detectaron 30 plaguicidas en peces (16 insecticidas, 8 herbicidas, 6 fungicidas). La mayor ocurrencia se observó en noviembre de 2022 con 18 compuestos, seguido por **mayo** y **agosto** de 2022 con 14 plaguicidas y la menor ocurrencia fue en **febrero** de 2023 con 12 compuestos detectados (**Tabla 16**). El 83.3% de estos plaguicidas fueron detectados en la matriz agua.

Tabla 16. Frecuencia de ocurrencia (FO%) de plaguicidas en peces en función de los 9 sitios analizados por mes en la cuenca del río San Salvador. Uso: H: herbicida; I: insecticida; F: fungicida; P.d: Producto de degradación; P.h: Protector de herbicida. Oc: Ocurrencia de los plaguicidas en base a su detección en los cuatro muestreos analizados (D) Dominante (presente en los cuatro meses); (F) Frecuente (tres meses); (O) Ocasional (dos meses); (R) Raro (un mes). Los datos se encuentran ordenados de mayor a menor frecuencia de ocurrencia en el primer mes.

	USO	OC	Mayo	Agosto	Noviembre	Febrero
Clorpirifos	I	D	77,8	66,7	44,4	66,7
Bifentrina	I	D	66,7	66,7	55,6	33,3
Cipermetrina	I	D	55,6	11,1	11,1	11,1
Permetrina	I	F	55,6	33,3		55,6
Propiconazol	F	F	55,6		88,9	66,7
Simazina	H	D	44,4	33,3	33,3	11,1
Atrazina desisopropil	P.d	R	22,2			
Deltametrina	I	D	22,2	11,1	11,1	11,1
Etión	I	O	22,2			11,1
Trifluralina	H	R	22,2			
Clorantraniliprol	I	R	11,1			
Lambda Cialotrina	I	R	11,1			
Metolacoloro	H	F	11,1		100	77,8
Piraclostrobina	F	O	11,1		55,6	
Atrazina	H	R			11,1	
Carbaril	I	R			44,4	
Carbendazim	F	R		33,3		
Diazinon	I	O			11,1	11,1
Endosulfan sulfato	I	R			33,3	
Fenazaquin	I	R		11,1		
Flumetsulam	H	O		11,1		11,1
Imazalil	F	O		22,2	22,2	
Imidacloprid	I	R		11,1		
Isoxadifen - ethyl	P.h	R		11,1		
Metalaxil	F	R			11,1	
Metribuzina	H	O		11,1	22,2	
Pirimifos metil	I	R			11,1	
Propiconazol	F	R		55,6		
Tiametoxan	I	R			11,1	
Triflumuron	I	O			11,1	11,1

De los 30 plaguicidas registrados, 4 (13,3 %) estuvieron presentes en todos los muestreos (**Fig. 23**): 3 insecticidas (clorpirifos, bifentrina y cipermetrina) y 1 herbicida (simazina). Los compuestos clorpirifos y bifentrina fueron detectados solamente en un mes para la matriz agua. Esto estaría relacionado al elevado valor de kow de estos compuestos (4,7 y 6,6 respectivamente), lo que los hace muy susceptibles de ser bioacumulados en tejidos orgánicos.

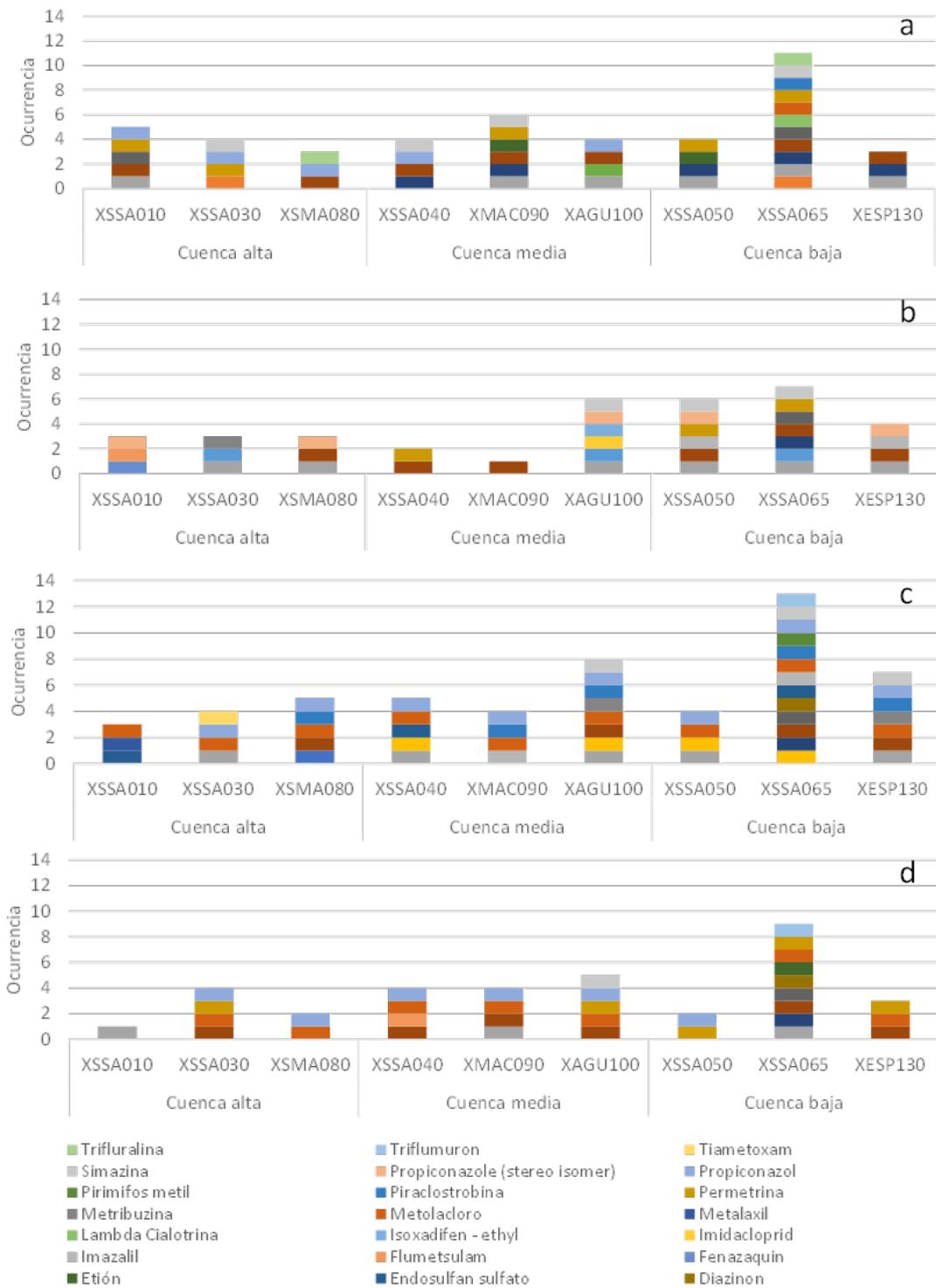


Figura 23. Número de plaguicidas totales encontrados en peces por sitio sin discriminar por especie o grupo trófico en la cuenca del río San Salvador. A) mayo 2022; b) agosto 2022; c) noviembre 2022; d) febrero 2023.

De los 14 plaguicidas detectados en mayo (8 insecticidas, 4 herbicidas y 2 fungicidas), 11 presentan importancia máxima para los monitoreos de DINACEA en calidad de agua (criterio 3) y 3 son de criterio 2 (Ministerio de Ambiente, 2020). Para este mismo mes, se detectaron de forma exclusiva 4 compuestos: los insecticidas clorfaniliprol y lambda-cialotrina, el herbicida trifluralina y el producto de degradación atrazina desisopropyl. La trifluralina es de uso exclusivo de cultivo de verano, en cuanto a los otros 3 plaguicidas tienen un uso potencial a lo largo de todo el año.

El máximo valor de ocurrencia de plaguicidas (11 plaguicidas) para el mes de mayo ocurrió en el río San Salvador cercano a la ciudad de Dolores (XSSA065), ubicado en la región de la cuenca baja. Le siguen en la zona media de la cuenca el sitio XAGU100 (arroyo El Águila) con 8 plaguicidas, y en la cuenca alta el sitio XSSA010 (nacientes del río San Salvador) con 5 compuestos. El resto de los sitios presentaron una ocurrencia entre 3 y 4 plaguicidas. El sitio del curso principal frente a la ciudad de Dolores (XSSA065) presentó de forma exclusiva los compuestos lambda-cialotrina, metolacloro y piraclostrobina. Por otro lado, el arroyo el Águila (XAGU100) presentó de forma exclusiva el insecticida clorfaniliprol.

Las máximas concentraciones detectadas fueron para el insecticida piretroide bifentrina, con una concentración de 60 µg/Kg de peso húmedo (**Anexo 8**) en el sitio XSSA065 (cuenca baja), seguido por el insecticida organofosforado (50 µg/ Kg) en el sitio XSSA040 (cuenca media) y en tercer lugar el herbicida trifluralina (46,2 µg/ Kg) en el arroyo San Martín (XSMA080, cuenca alta).

En **agosto** se detectaron, al igual que en mayo, un total de 14 plaguicidas de los cuales 7 fueron insecticidas, 4 herbicidas y 3 fungicidas. Diez de estos compuestos presentan importancia máxima para los monitoreos de DINACEA en calidad de agua (criterio 3) y cuatro criterios 2. Por más que el número total de plaguicidas detectados sea igual al mes de mayo, solo 6 compuestos se repitieron en ambos meses (bifentrina, cipermetrina, clorpirifos, deltametrina, permetrina y simazina), indicando (al igual que en agua) diferencias temporales en la ocurrencia de compuestos. Los plaguicidas que fueron detectados de forma exclusiva en el mes de **agosto** fueron los insecticidas fenazaquin e imidacloprid, el fungicida propiconazol y el protector de herbicida Isoxadifen-etil.

Al igual que en todas las campañas de muestreo, el sitio de la región baja de la cuenca XSSA065 presentó la mayor ocurrencia de plaguicidas en **agosto** (7 compuestos), seguido por los sitios XSSA050 (región baja de la cuenca) y el arroyo el Águila (XAGU100, región media de la cuenca) con 5 compuestos cada sitio. El resto de los sitios presentaron ocurrencias menores a 4 plaguicidas, destacándose el arroyo Maciel (XMAC090), con un solo compuesto detectado (clorpirifos).

Las máximas concentraciones detectadas en el mes de **agosto** fueron menores a las detectadas en **mayo**. Se destaca como máximo el insecticida clorpirifos ($29 \mu\text{g}/\text{Kg}$) en la cuenca baja (XSSA065), seguido por el fungicida propiconazol ($25\mu\text{g}/\text{Kg}$) en el sitio XSSA010 (región alta de la cuenca) y por los insecticidas permetrina ($10 \mu\text{g}/\text{Kg}$) y bifentrina ($4,3 \mu\text{g}/\text{Kg}$) en el sitio XSSA065 (cuenca baja).

El mes de **noviembre** presentó los máximos niveles de ocurrencia (18 plaguicidas), detectándose 10 insecticidas, 4 herbicidas y 4 fungicidas. Del total de plaguicidas, 12 presentan el criterio máximo de importancia y los restantes 6 presentan el segundo criterio de importancia para los monitoreos de agua según DINACEA. Los compuestos detectados de forma exclusiva en el muestreo de **agosto** fueron los insecticidas carbaril, endosulfan sulfato, pirimifos metil y tiametoxam, el herbicida atrazina y el fungicida metalaxil.

A nivel espacial, el curso principal frente a la ciudad de dolores (XSSA065) presentó el máximo nivel de ocurrencia de todos los meses de muestreo (13 plaguicidas), seguido por el arroyo el Aguila (XAGU100) con 8 y el arroyo Espinillo de la región baja de la cuenca (XESP130) con 7. De los compuestos detectados, se destaca el herbicida metolacloro, presente en los 9 sitios y el fungicida propiconazol, presente en 8 de los 9 sitios de muestreo.

Las máximas concentraciones detectadas fueron para el compuesto metolacloro en el arroyo San Martín de la región alta de la cuenca (XSMA080) con $67 \mu\text{g}/\text{Kg}$, seguido por el compuesto clorpirifos ($40 \mu\text{g}/\text{Kg}$) en la cuenca baja (XSSA065) y el compuesto bifentrina ($11 \mu\text{g}/\text{Kg}$) en la cuenca media (XSSA040).

En el mes de **febrero** se detectó un total de 12 plaguicidas a lo largo de la cuenca (8 insecticidas, 3 herbicidas y 1 fungicida), representando el mes con menor ocurrencia de plaguicidas. De estos compuestos, 8 son considerados muy importantes (criterio 3) y 4 son considerados importantes (criterio 2) para los monitoreos de plaguicidas en agua de DINACEA. En este mes no se detectaron plaguicidas de forma exclusiva con respecto a los anteriores meses de muestreo.

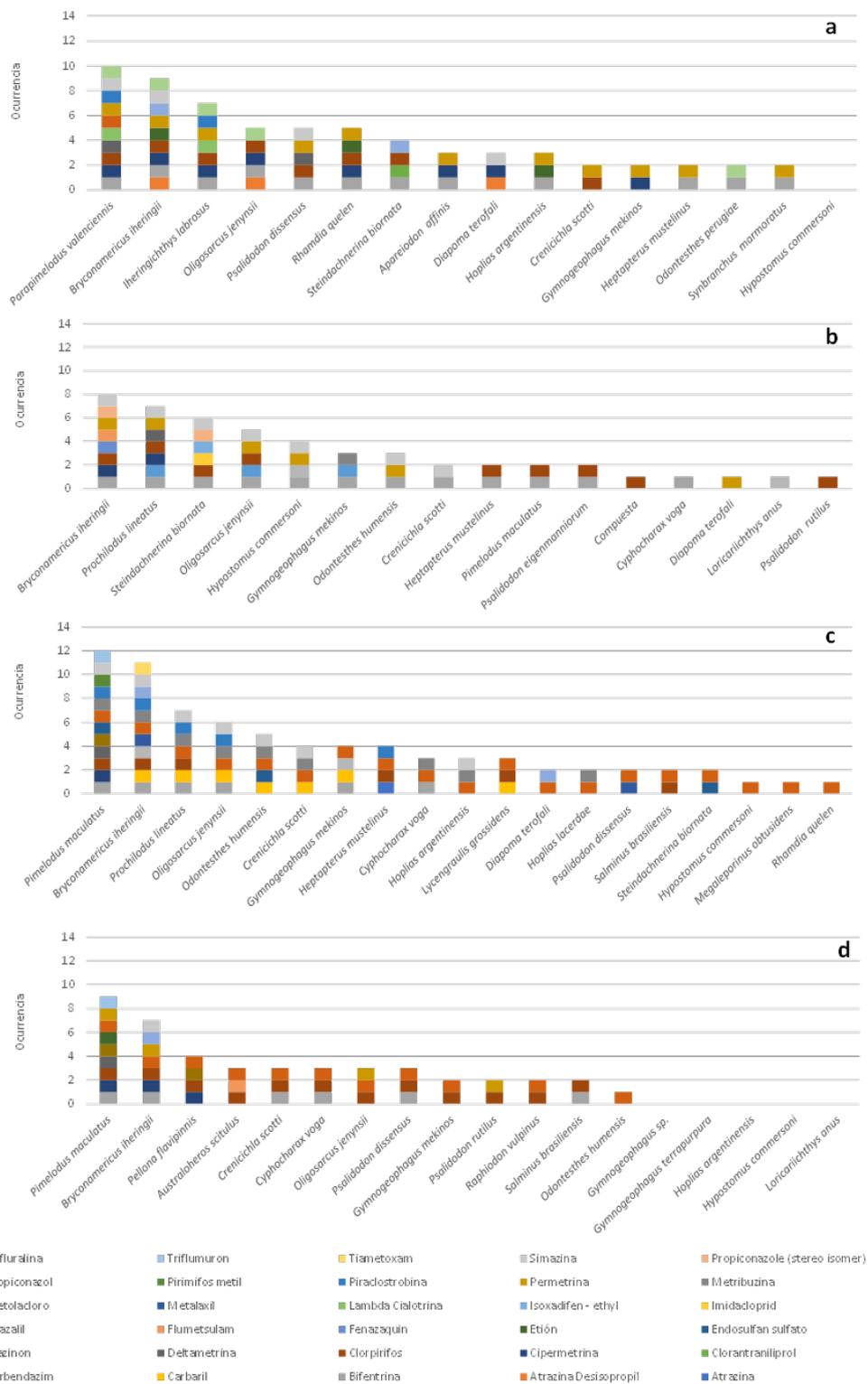
A nivel espacial, el plaguicida con mayor ocurrencia en la cuenca fue el herbicida metolacloro, detectándose en 7 de los 9 sitios de muestreo. Le siguen en ocurrencia el insecticida clorpirifos y el fungicida propiconazol, ambos compuestos presentes en 6 de los 9 sitios. Al igual que los anteriores meses, el sitio que presentó mayor ocurrencia de plaguicidas fue el curso principal en cuenca baja (XSSA065) con 9 compuestos, seguido por el arroyo el Aguila (XAGU100) con 5 compuestos. El resto de los sitios presenta menos de 4 plaguicidas, destacándose el mínimo de ocurrencia en el sitio de la región alta de la cuenca XSSA010 (1 compuesto).

Las máximas concentraciones fueron detectadas en el curso principal en la cuenca baja (XSSA065) para los insecticidas clorpirifos (35 $\mu\text{g}/\text{Kg}$), bifentrina (15 $\mu\text{g}/\text{Kg}$) y cipermetrina ($\mu\text{g}/\text{Kg}$), destacándose también las concentraciones de metolacoloro (10 $\mu\text{g}/\text{Kg}$) detectadas en el sitio de la región media de la cuenca XSSA040.

ii.2.b Análisis de similitud de las especies y grupos tróficos según los plaguicidas registrados

La mojarra *B. iheringii* fue la especie que más plaguicidas acumuló a lo largo de los diferentes meses de muestreo, alcanzando un total de 19 compuestos. Las especies que le siguen en ocurrencia de plaguicidas, considerando los 4 meses de muestreo, son *P. maculatus* (14 compuestos), *O. jenynsii* (12 compuestos), *P. lineatus* (11 compuestos), *P. valenciennis* (10 compuestos) y *S. biornata* (10 compuestos). En el mes de **mayo (Fig. 24a)**, *P. valenciennis* fue la especie que más plaguicidas acumuló (10), seguido por *B. iheringii* (9) e *I. labrosus* (7). En **agosto (Fig. 24b)**, la especie con mayor ocurrencia de plaguicidas fue *B. iheringii* (8), seguido por *P. lineatus* (7) y *S. biornata* (6). En **noviembre (Fig. 24c)**, la especie que acumuló más plaguicidas fue *P. maculatus* (12), seguido por *B. iheringii* (11) y *P. lineatus* (7). Por último, en el mes de **febrero (Fig. 24d)**, la especie con mayor ocurrencia de plaguicidas fue nuevamente *P. maculatus* (9), seguido por *B. iheringii* (7) y *P. flavipinnis* (4).

El número de plaguicidas detectados en cada especie fue diferente a lo largo de los 4 meses de muestreo (**Fig. 25**). Las muestras analizadas por especie tienen relación con su representatividad en los diferentes sitios de muestreo. La mojarra *B. iheringii* fue la especie con mayor número de muestras (31 muestras) y mayor número de plaguicidas acumulados (19 en total), le sigue en número de muestras *O. jenynsii* (22 muestras) también con un alto número de compuestos acumulados (12 en total). Las especies *P. dissensus* y *C. scotti* presentaron un alto número de muestras (17 y 13 muestras, respectivamente), sin embargo, el número de plaguicidas acumulados fue menor (7 y 4 compuestos en total, respectivamente). En este sentido, se destacan las especies *P. maculatus*, *P. lineatus*, *P. valenciennis*, *S. biornata* e *I. labrosus*, representadas con menos de 5 muestras, presentaron un alto número de plaguicidas acumulados (14, 11, 10, 10 y 7 compuestos en total, respectivamente).



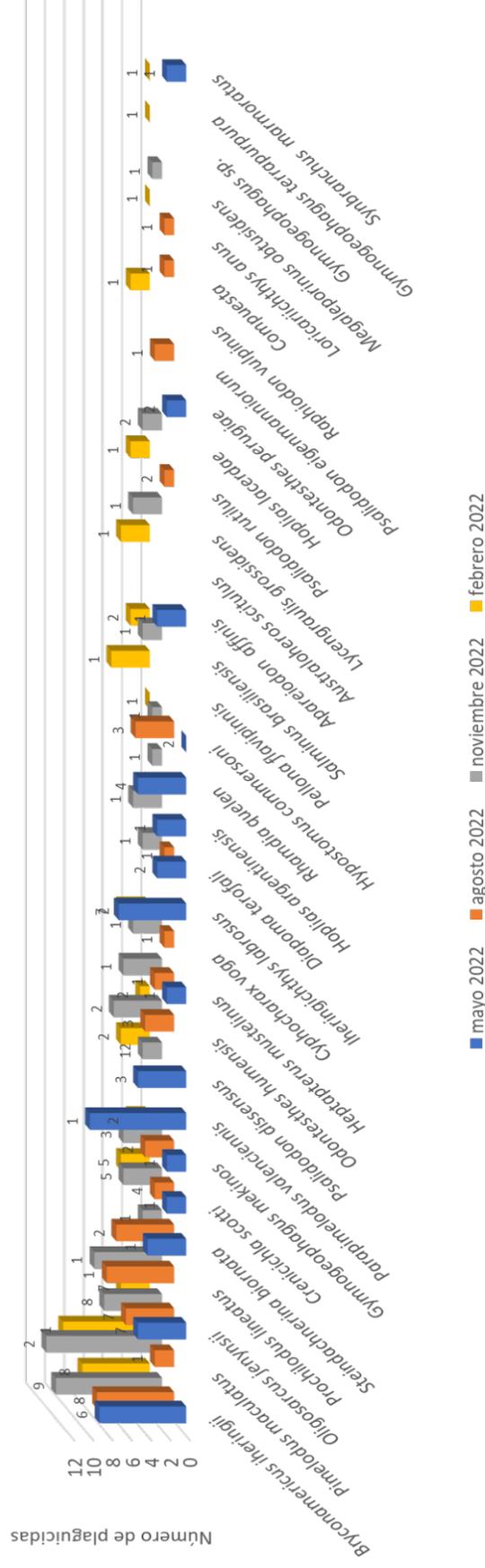


Figura 25. Número total de plaguicidas detectado en cada especie discriminado por mes de muestreo. En los casos donde alguna especie no fue muestreada se observa un espacio en blanco. El número por encima de las columnas indica el número de muestras analizadas para cada especie.

El grupo trófico que acumuló mayor número de plaguicidas a lo largo del año fue el omnívoro (21 compuestos), seguido por el herbívoro (19 compuestos), el detritívoro (18 compuestos), el piscívoro (16 compuestos) y por último el invertívoro (10 compuestos). En **mayo (Fig. 26a)**, el grupo trófico con mayor ocurrencia de plaguicidas fue el piscívoro (12), seguido por el omnívoro (9) y herbívoros (10). En **agosto (Fig. 26b)**, los detritívoros presentaron el máximo de ocurrencia de plaguicidas (11), seguido por herbívoros (8) y omnívoros (6). En **noviembre (Fig. 26c)**, los omnívoros presentan el máximo de ocurrencia de plaguicidas (16), seguido por herbívoros (11) y detritívoros (8). En el mes de **febrero (Fig. 26d)**, nuevamente en omnívoros se registra la mayor ocurrencia de plaguicidas (9), seguido por los herbívoros (7) y piscívoros (6).

El número de muestras por grupo trófico presentó grandes diferencias, siendo los omnívoros y piscívoros los grupos más muestreados (57 y 41 muestras en total respectivamente) (**Fig. 27**). El grupo invertívoro fue el menos muestreado (10 muestras en total) y los grupos detritívoro y herbívoro presentaron valores intermedios (19 y 31 muestras en total). Sin embargo, las diferencias en el número de plaguicidas acumulados por cada grupo trófico no fueron tan grandes. Los omnívoros presentaron la mayor ocurrencia (21 compuestos en total), seguido por los herbívoros (19), detritívoros (18), piscívoros (16) e invertívoros (10).

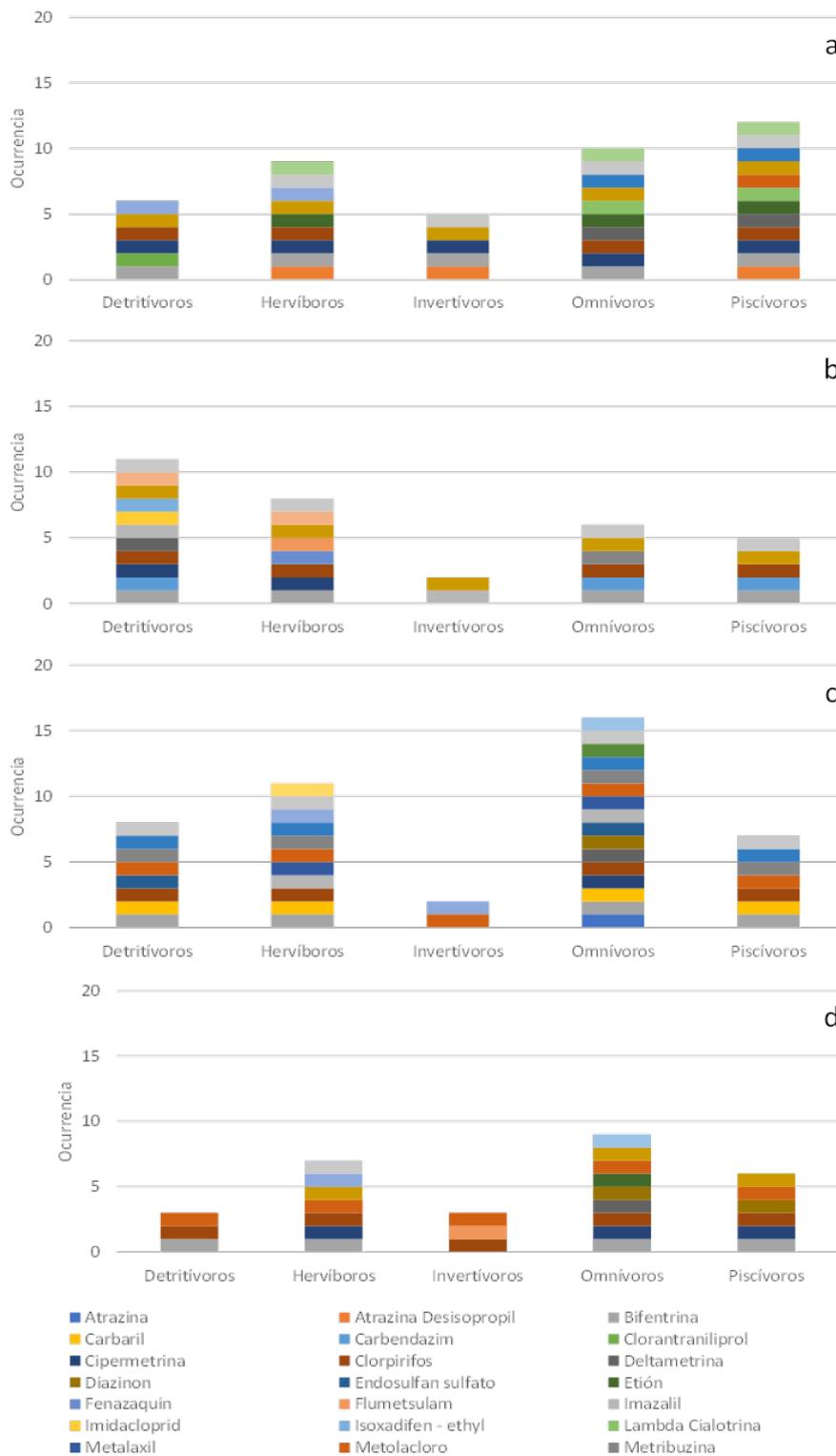


Figura 26. Ocurrencia de plaguicidas por grupo trófico de peces en la cuenca del río San Salvador sin discriminar por sitio. a) mayo 2022; b) agosto 2022; c) noviembre 2022; d) febrero 2023.

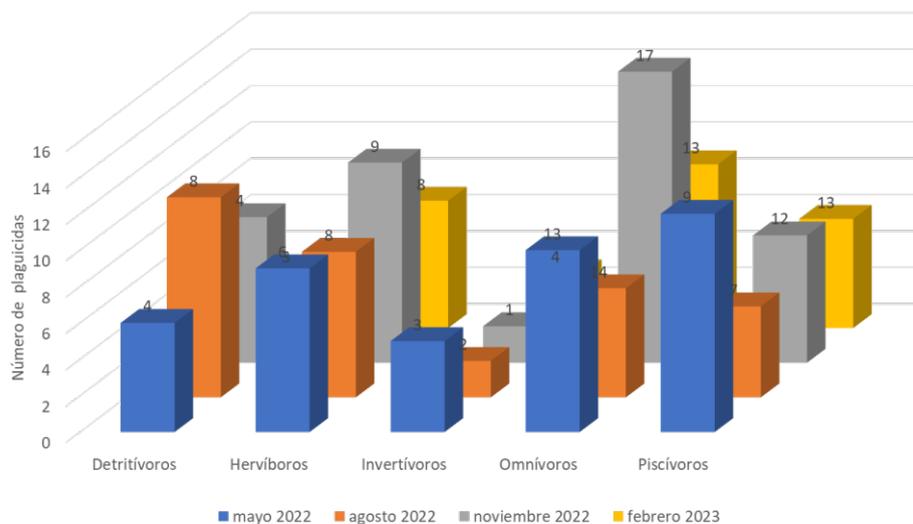


Figura 27. Número total de plaguicidas detectado en cada grupo trófico discriminado por mes de muestreo. El número por encima de las columnas indica el número de muestras analizadas para cada grupo trófico.

El análisis de similitud en función de la ocurrencia de plaguicidas en peces evidenció diferencias en las agrupaciones de las especies y grupos tróficos (**Fig. 28**). Para el mes de **mayo**, la primera especie en diferenciarse del resto fue *H. commersoni*, debido a la ausencia de plaguicidas detectados. Esta ausencia de bioacumulación, también se repite en el mes de **febrero**. Para el resto de las especies, no existe una agrupación clara en función del grupo trófico al que pertenecen. Se puede destacar la agrupación entre *I. labrosus*, *P. valenciennis*, *O. jenynsii* y *B. iheringii*. Especies que comparten un gran número de plaguicidas.

En el mes de **agosto** *L. anus* y *D. terofali*, son las primeras especies en separarse del resto debido a su baja acumulación de plaguicidas (1 compuesto). Las especies *B. iheringii* y *O. jenynsii*, nuevamente se agrupan juntas, sumadas a *P. lineatus*, con un gran número de plaguicidas en común. El resto de las especies tampoco se agruparon en función de su grupo trófico.

En **noviembre**, se observan 2 grandes grupos de especies sin una clara relación con los grupos tróficos. Por un lado, están las especies mayor número de plaguicidas acumulados y por otro, las especies que acumularon menos de 3 compuestos. Por último, el mes de **febrero**, no presentó grandes diferencias entre las especies, agrupándose en primer lugar *H. commersoni*, *Gymnogeophagus sp.*, *G. terrapura* y *L. anus*, ya que todas estas especies no acumularon plaguicidas. En el otro extremo, se agrupan nuevamente las especies con mayor número de plaguicidas: *O. jenynsii*, *P. rutilus*, *P. maculatus*, *B. iheringii*, *P. flavipinnis* y *H. argentinensis*.

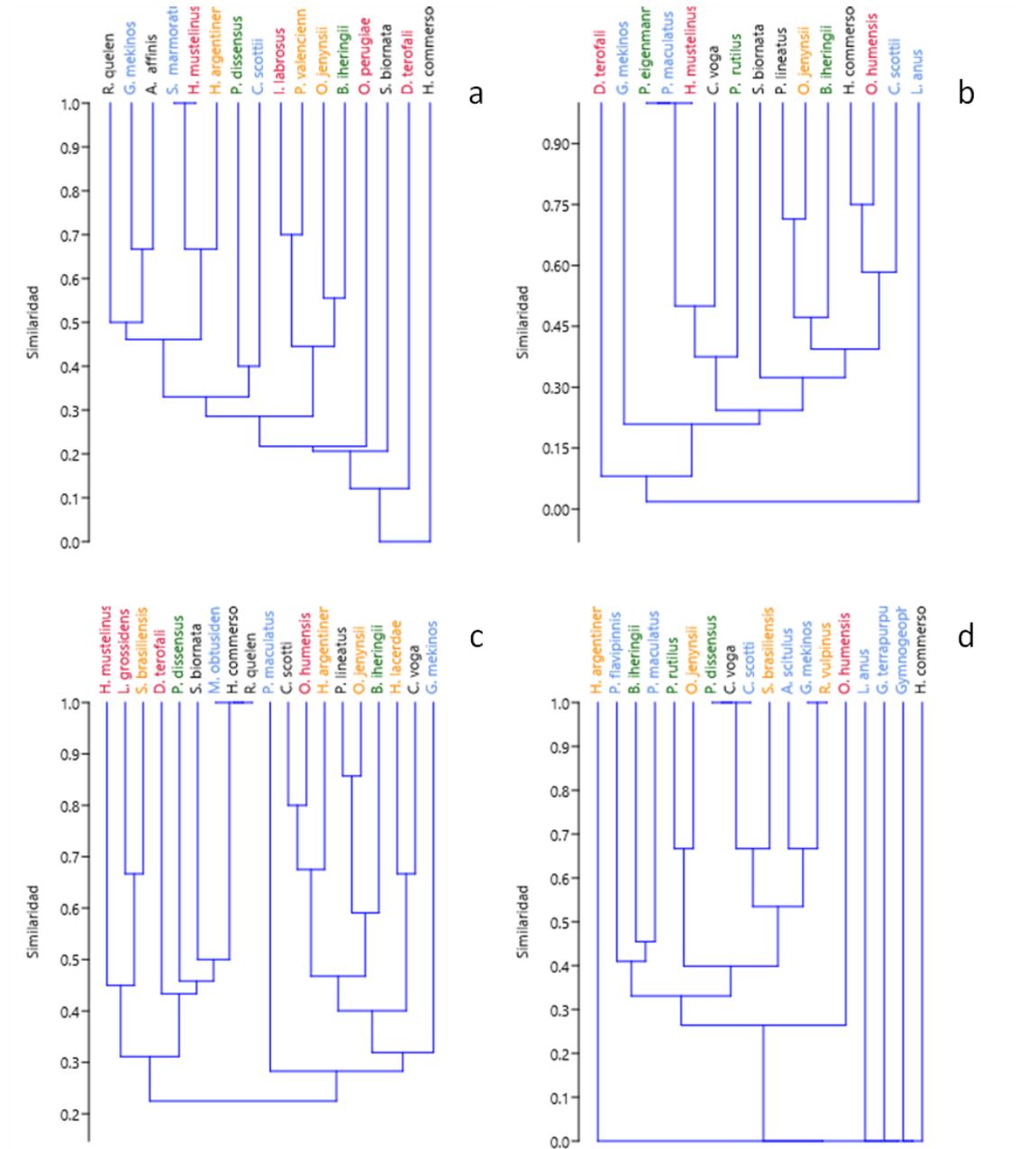


Figura 28. Diagrama de clasificación de la ocurrencia de plaguicidas para las especies de peces capturados en los 4 meses de muestreo. Algoritmo UPGMA y el índice de similaridad de Jaccard. Los colores indican al grupo trófico que pertenecen las especies: rojo: omnívoros; naranja: piscívoros; verde: herbívoros; negro: detritívoros; celeste: invertívoros. a) mayo 2022; b) agosto 2022; c) noviembre 2022; d) febrero 2023.

ii.2.c Análisis de similitud de los sitios de muestreo según los plaguicidas registrados

El análisis de similitud de los sitios en función de la ocurrencia de plaguicidas en peces evidenció diferencias en las agrupaciones de los sitios en las diferentes campañas a lo largo del año (**Fig. 29**). En la campaña de **mayo (Fig. 29a)**, el sitio XSSA030, perteneciente a la zona alta de la cuenca (celeste) es el primero en separarse del resto de los sitios. Los 4 plaguicidas detectados para este sitio en **mayo** fueron: atrazina desisopropil, permetrina, propiconazol y simazina. Todos los sitios de la zona baja de la cuenca (negro) se encuentran dentro de un mismo grupo, junto con el sitio XMAC090 perteneciente a la zona media de la cuenca (naranja). Los compuestos que comparten estos 4 sitios son la bifentrina y la cipermetrina. En el otro grupo, están presentes los restantes 4 sitios pertenecientes a la zona alta y media de la cuenca.

Para la campaña de **agosto (Fig. 29b)**, el primer grupo en separarse es el conformado por los sitios de la zona media: XSSA040 y el arroyo Maciel (XMAC090), debido a su baja ocurrencia de plaguicidas. A su vez, se observan mayores niveles de semejanza entre afluentes de la región alta y baja de la cuenca, como el grupo formado por arroyo San Martín (XSMA080, región alta) y el arroyo Espinillo (XESP130, región baja), donde comparten la ocurrencia de 4 compuestos: bifentrina, clorpirifos, piraclostrobina y propiconazol. Para el mes de **noviembre (Fig. 29c)**, no se evidencia una clara agrupación por región de la cuenca. El primer sitio en separarse del resto de los sitios es el XSSA010 (región alta de la cuenca), seguido por el sitio XSSA065 (región baja de la cuenca). Esta separación se produce principalmente por la baja ocurrencia de plaguicidas en el primer caso, y por la alta ocurrencia y presencia exclusiva de determinados plaguicidas en el segundo caso. Dentro de los plaguicidas exclusivos del sitio frente a la ciudad de Dolores (XSSA065) se encuentran cipermetrina, deltametrina, diazinon, pirimifos metil, y triflumuron. Por último, se observa una gran agrupación con los afluentes del río San Salvador, donde el arroyo Espinillo (XESP130) y el arroyo el Águila (XAGU100) presentan mayor similitud, al igual que el arroyo Maciel XMAC090 con el arroyo San Martín (XSMA080). En el mes de **febrero (Fig. 29d)**, tampoco se observa una clara agrupación de los sitios por su región en la cuenca. El sitio de las nacientes del San Salvador (XSSA010), al igual que en los meses de **agosto y noviembre**, es el primero en separarse del resto de sitios. Esto se debe a la baja ocurrencia de plaguicidas en el sitio, detectándose únicamente el compuesto bifentrina. Los sitios del curso principal en la región baja (XSSA050 y XSSA065) son los siguientes en separarse, por la baja y alta ocurrencia de plaguicidas, respectivamente. Dentro de los plaguicidas exclusivos detectados en el sitio XSSA065, se encuentra cipermetrina, deltametrina, diazinon, etión y flumetsulam. Del resto de los sitios, se destaca la agrupación del arroyo Maciel (XMAC090) y el arroyo el Águila (XAGU100) ambos de la región media, principalmente por la presencia en común de clorpirifos, metolaclo y propiconazol.

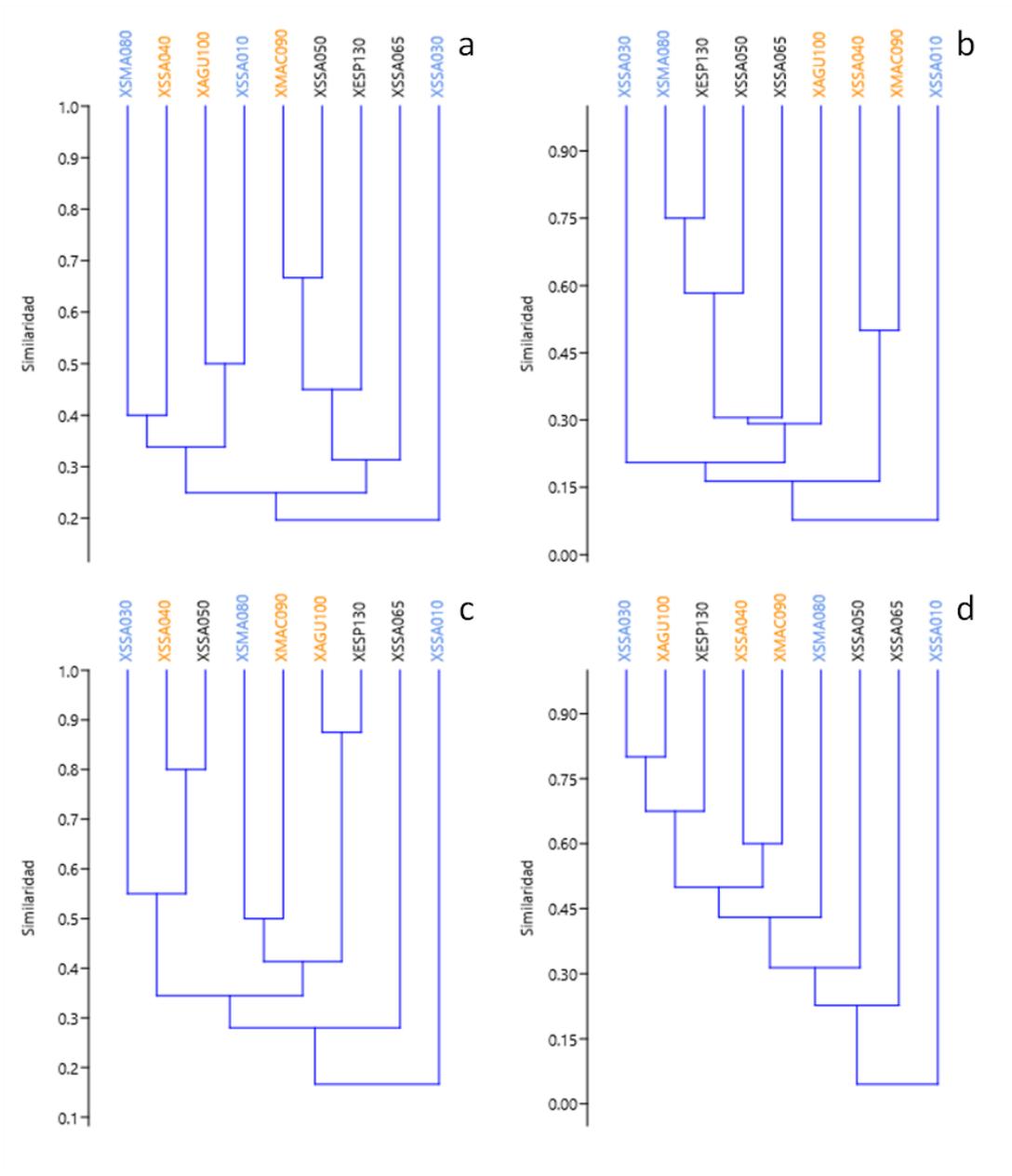


Figura 29. Diagrama de clasificación de la ocurrencia de plaguicidas para las especies de peces capturados. Algoritmo UPGMA y el índice de similitud de Jaccard. Celeste: cuenca alta; Naranja: cuenca media; Negro: cuenca baja. a) mayo 2022; b) agosto 2022; c) noviembre 2022; d) febrero 2023.

ii.2.d Acumulación de plaguicidas en función del número muestras por especies y por grupos tróficos

Considerando el número de muestras analizadas en peces y la frecuencia de ocurrencia de plaguicidas, se realizaron curvas de acumulación como medida para conocer el esfuerzo de muestreo realizado. Para esto se tomaron en cuenta las tres especies con mayor número de muestras colectadas: *Bryconamericus iheringii* (31); *Oligosarcus jenynsii* (22) y *Crenicichla scotti* (13).

Para *Bryconamericus iheringii*, especie con el mayor número de plaguicidas detectados, y la especie con mayor número de muestras analizadas, el modelo estimó que en esta especie se podrían coleccionar hasta 25 plaguicidas. Este valor es superior a los 19 que se encontraron en la especie. El porcentaje acumulado evidenció que el análisis de 28 muestras (integradas cada una por varios individuos) permitiría detectar más del 95% de los compuestos (**Fig. 30**).

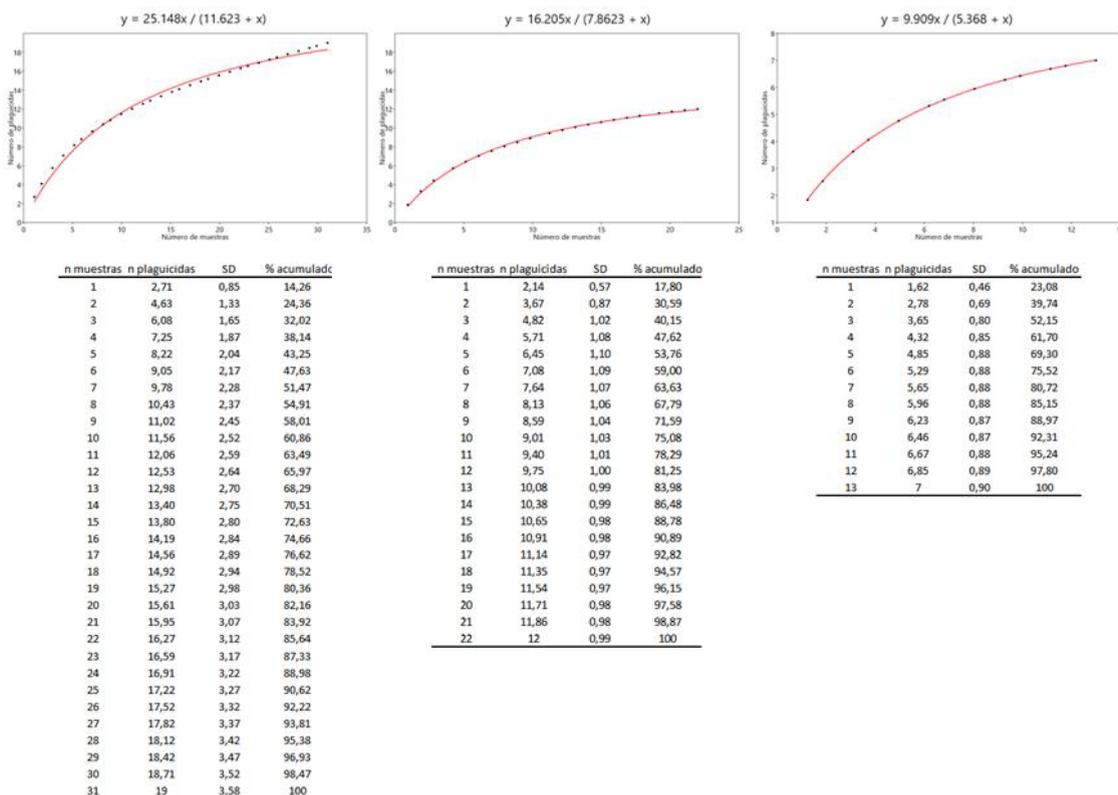


Figura 30. Análisis de acumulación de plaguicidas en músculo de *B. iheringii* (A), *O. jenynsii* (B) y *C. scotti* (C). Arriba se presenta la curva de acumulación y su ecuación. Abajo, la tabla muestra el número de plaguicidas detectados en relación al número de peces muestreados y el desvío estándar (SD), así como porcentaje de valor acumulado.

Para *Oligosarcus jenynsii* el análisis predice la existencia de 16 plaguicidas de los 12 detectados (75%). Sin embargo, el análisis de 19 muestras sería suficiente para detectar más del 95 % de los plaguicidas.

En *Crenicichla scotti* el modelo estimó 9 plaguicidas de los 7 que se encontraron (77,7%). Por otra parte, el análisis permite identificar que con el muestreo de 110 individuos sería suficiente para detectar más del 95% de los plaguicidas.

Con respecto a los diferentes grupos tróficos, se observó en todos los casos una estimación mayor de plaguicidas que los compuestos realmente detectados. Esta diferencia fue mayor para los invertívoros, donde el modelo estimó 36 compuestos y solamente se detectaron 10; seguido por los detritívoros con apenas 18 de los 31 estimados (**Fig. 31**). Estos resultados pueden estar asociados a que los grupos tróficos involucran diferentes especies por lo que las mismas pueden ser más heterogéneas en cuanto a los plaguicidas que acumulan. Esta heterogeneidad entre muestras genera que se necesite un mayor número de muestras (**Tabla 17**).

Para el caso de herbívoros y omnívoros la diferencia fue de 5 plaguicidas. Para el primer caso el número estimado de compuestos fue de 24 (se encontraron 19) y para el segundo de 26 (21 encontrados). El porcentaje acumulado evidenció que el análisis de 28 y 49 muestras respectivamente permitiría detectar más del 95% de los compuestos.

En piscívoros el modelo estimó que existirían 20 plaguicidas, valor superior a los 16 que se encontraron, y el porcentaje acumulado evidenció que el análisis de 36 muestras sería suficiente para detectar el 95 % de los plaguicidas.

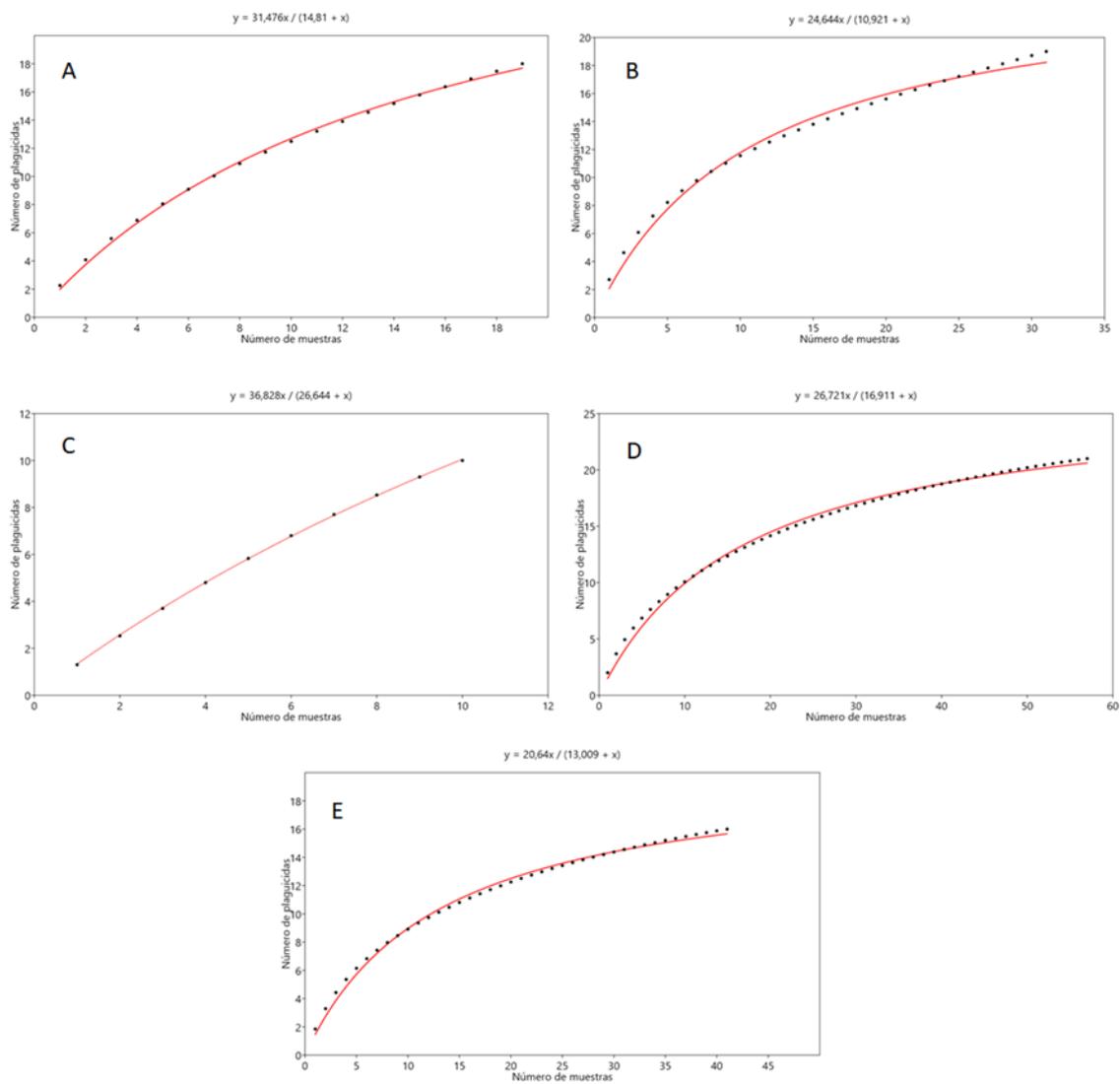


Figura 31. Curvas de acumulación de plaguicidas en músculo de especies detritívoras (A); herbívoras (B); invertívoras (C); omnívoras (D) y piscívoras (E).

Tabla 17. Número de plaguicidas detectados en relación al número de peces muestreados, desvío estándar (SD) y porcentaje valor acumulado para los diferentes grupos tróficos.

Detritívoros				Omnívoro				Invertívoros			
n muestras	n plaguicidas	SD	% acumulado	n muestras	n plaguicidas	SD	% acumulado	n muestras	n plaguicidas	SD	% acumulado
1	2,26	0,63	12,57	1	2	0,59	9,94	1	1,30	0,30	13,00
2	4,08	1,02	22,64	2	3,68	0,95	17,52	2	2,53	0,58	25,33
3	5,59	1,29	31,05	3	4,94	1,17	23,51	3	3,70	0,83	37,00
4	6,89	1,49	38,29	4	5,97	1,31	28,44	4	4,80	1,06	48,00
5	8,05	1,65	44,70	5	6,85	1,40	32,63	5	5,83	1,27	58,33
6	9,09	1,78	50,47	6	7,62	1,46	36,31	6	6,80	1,45	68,00
7	10,04	1,90	55,75	7	8,32	1,50	39,60	7	7,70	1,62	77,00
8	10,91	2,00	60,62	8	8,95	1,52	42,60	8	8,53	1,78	85,33
9	11,73	2,09	65,14	9	9,53	1,55	45,38	9	9,30	1,92	93,00
10	12,49	2,18	69,39	10	10,07	1,56	47,97	10	10	2,06	100
11	13,21	2,26	73,41	11	10,58	1,58	50,40				
12	13,90	2,34	77,22	12	11,07	1,59	52,69				
13	14,55	2,42	80,85	13	11,52	1,60	54,86				
14	15,18	2,50	84,34	14	11,95	1,61	56,92				
15	15,79	2,58	87,69	15	12,36	1,62	58,88				
16	16,37	2,66	90,93	16	12,76	1,63	60,74				
17	16,93	2,74	94,06	17	13,13	1,63	62,52				
18	17,47	2,82	97,08	18	13,49	1,64	64,23				
19	18	2,90	100	19	13,83	1,64	65,86				
				20	14,16	1,64	67,42				
				21	14,47	1,64	68,91				
				22	14,78	1,65	70,36				
				23	15,07	1,65	71,74				
				24	15,35	1,65	73,07				
				25	15,61	1,65	74,35				
				26	15,87	1,65	75,59				
				27	16,12	1,65	76,78				
				28	16,37	1,65	77,94				
				29	16,60	1,65	79,05				
				30	16,83	1,65	80,13				
				31	17,05	1,65	81,17				
				32	17,26	1,65	82,18				
				33	17,46	1,65	83,16				
				34	17,66	1,65	84,11				
				35	17,86	1,65	85,04				
				36	18,05	1,65	85,93				
				37	18,23	1,65	86,80				
				38	18,41	1,65	87,65				
				39	18,58	1,65	88,47				
				40	18,75	1,66	89,27				
				41	18,91	1,66	90,04				
				42	19,07	1,66	90,80				
				43	19,22	1,66	91,54				
				44	19,37	1,67	92,25				
				45	19,52	1,67	92,95				
				46	19,66	1,67	93,63				
				47	19,80	1,68	94,29				
				48	19,94	1,68	94,93				
				49	20,07	1,69	95,56				
				50	20,20	1,69	96,17				
				51	20,32	1,70	96,77				
				52	20,44	1,70	97,34				
				53	20,56	1,71	97,90				
				54	20,68	1,72	98,45				
				55	20,79	1,72	98,98				
				56	20,90	1,73	99,50				
				57	21	1,74	100				

Piscívoro			
n muestras	n plaguicidas	SD	% acumulado
1	1,85	0,52	11,59
2	3,29	0,86	20,55
3	4,43	1,07	27,68
4	5,36	1,21	33,51
5	6,15	1,29	38,42
6	6,83	1,35	42,67
7	7,43	1,39	46,42
8	7,97	1,41	49,80
9	8,46	1,43	52,89
10	8,92	1,44	55,75
11	9,35	1,45	58,41
12	9,74	1,46	60,90
13	10,12	1,47	63,24
14	10,47	1,47	65,46
15	10,81	1,48	67,56
16	11,13	1,48	69,54
17	11,43	1,48	71,44
18	11,72	1,48	73,24
19	11,99	1,48	74,96
20	12,26	1,49	76,61
21	12,51	1,49	78,18
22	12,75	1,49	79,69
23	12,98	1,49	81,14
24	13,21	1,49	82,53
25	13,42	1,49	83,88
26	13,63	1,50	85,16
27	13,83	1,50	86,41
28	14,02	1,50	87,61
29	14,20	1,51	88,78
30	14,38	1,51	89,89
31	14,56	1,52	90,98
32	14,72	1,52	92,03
33	14,89	1,53	93,04
34	15,04	1,53	94,02
35	15,20	1,54	94,97
36	15,34	1,55	95,88
37	15,48	1,56	96,77
38	15,62	1,57	97,63
39	15,75	1,58	98,44
40	15,88	1,59	99,24
41	16	1,60	100

Lo expuesto anteriormente sugiere que, para asegurar la representatividad de las muestras obtenidas, resulta necesario desarrollar una campaña de monitoreo con una mayor frecuencia de muestreo a lo largo de la cuenca.

Por otro lado, el agrupamiento de especies en función de su grupo trófico exige un mayor número de muestras, sobre todo si el grupo trófico está compuesto por varias especies, donde otras variables como el porcentaje de lípidos en músculo puede afectar la acumulación de plaguicidas, posiblemente dada la gran heterogeneidad del número y tipo de plaguicidas detectados entre las diferentes especies que los conforman.

Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de seleccionar especies indicadoras que pertenezcan a diferentes grupos tróficos, siendo recomendable mantener las mismas especies a lo largo del tiempo en los diferentes sitios.

En este sentido, y considerando que existe una relación directa entre el número de plaguicidas por muestra y el contenido lipídico y posición trófica de las especies, resulta importante trabajar con más de una especie. Por lo que, además de *B. iheringii*, también es recomendable incorporar a *Oligosarcus jenynsii* (especie clasificada como piscívora, con contenido graso medio-alto; y de gran abundancia en la cuenca). Un aumento en la intensidad de muestreo sobre esta última podría aportar positivamente al número de plaguicidas detectados. Cabe destacar que estas dos especies acumularon 20 de los 30 plaguicidas en peces, resaltando la importancia de incorporar un mayor número de especies, o especies que acumulen un importante número de plaguicidas. Por ejemplo, el gran número de plaguicidas encontrados en *P. maculatus*, *P. lineatus*, *P. valenciennis*, *S. biornata* e *I. labrosus* a pesar del bajo número de muestras colectadas. Contrariamente, si bien *C. scotti* resultó una especie abundante en la cuenca, la escasa cantidad de plaguicidas acumulados no la convierte en una especie idónea para biomonitoreo.

ii.2.e Riesgo ecotoxicológico en peces

Se determinaron los valores de riesgo ecotoxicológico para los cuatros muestreos, basado en las concentraciones máximas de los diferentes plaguicidas en agua y sus respectivos valores de LC50 en peces. La sumatoria de las Unidades tóxicas (UT) por sitio de muestreo (**Tabla 18**) demostró que no hay riesgo ecotoxicológico significativo ($UT > 1$) para los diferentes sitios, a lo largo de los 4 meses de muestreo para peces. Sin embargo, se detectó un riesgo ecotoxicológico medio ($1 > UT > 0,1$) para el curso principal en cuenca baja (XSSA020) en el mes de **mayo** y para el arroyo San Martín (XSMA080) y el curso principal en cuenca baja (XSSA060) para el mes de **febrero**. En el resto de los sitios, el riesgo ecotoxicológico para los diferentes meses de muestreo fue bajo ($UT < 0,1$).

Tabla 18. Valores de UT, riesgo ecotoxicológico para peces en los sitios muestreados por mes, determinado con las máximas concentraciones de plaguicidas detectadas en agua y sus correspondientes valores de LC50 para peces. Los valores de UT anuales fueron determinados a través del promedio de los valores mensuales.

	XSSA010	XSSA020	XSSA030	XSSA080	XSSA040	XMA030	XAGU100	XSSA050	XSSA060	XSSA065	XMA0110	XBIS110	XESP130
MAYO	5,92E-04	3,27E-01	1,91E-04	1,27E-04	1,89E-04	3,89E-04	4,99E-02	1,80E-04	1,75E-04	2,29E-04	3,67E-04	1,89E-03	9,48E-05
AGOSTO	5,90E-05	9,78E-05	1,86E-04	3,59E-05	7,33E-05	1,44E-04	7,47E-05	7,71E-04	9,20E-05	1,33E-04	3,52E-05	5,94E-05	4,59E-05
NOVIEMBRE	4,18E-05	7,16E-05	2,09E-03	2,90E-03	6,28E-05	5,60E-03	1,15E-03	6,76E-05	6,10E-02	8,45E-05	7,80E-04	1,99E-02	1,67E-04
FEBRERO	7,87E-05	8,71E-05	4,04E-04	1,43E-01	3,24E-02	1,57E-02	3,94E-02	2,18E-02	1,33E-01	1,74E-02	7,80E-05	4,08E-02	1,81E-02
UT anual	1,99E-04	8,18E-02	7,18E-04	3,65E-02	8,18E-03	5,46E-03	2,25E-02	5,69E-03	4,86E-02	4,46E-03	3,15E-04	1,55E-02	4,60E-03
UT según cuenca anual		2,58E-02				1,21E-02				1,32E-02			

Las diferencias en la evaluación de riesgo ecotoxicológico ambiental (presentado en la matriz agua) con los resultados de riesgo en peces, se debe a las diferencias en los valores de LC50 utilizados para cada plaguicida. Los LC50 utilizados en los análisis de riesgo en la matriz agua corresponden, en su mayoría a invertebrados, los cuales generalmente presentan una sensibilidad mayor a los plaguicidas en comparación a los peces (Schäfer et al., 2011). De cualquier manera, se observan similitudes temporales con el análisis realizado en agua, donde los máximos valores de riesgo corresponden a los meses de **mayo** y **febrero**. Eso posiblemente se encuentre asociado al calendario agrícola antes mencionado.

En el mes de **mayo**, el único plaguicida que presentó valores medios de riesgo ecotoxicológico (**Tabla 19**) fue el insecticida piretroide lambda-cialotrina (UT = 0,281) en el sitio XSSA020 (región alta de la cuenca). Este insecticida de amplio espectro es muy utilizado en cultivos de verano y presenta gran toxicidad en peces (Çavaş & Ergene-Gözükara, 2003; Salako et al., 2020).

En los meses de **agosto** y **noviembre** las concentraciones de los plaguicidas detectados en agua representaron un riesgo ecotoxicológico bajo para los peces (**Tabla 20** y **Tabla 21**).

Tabla 19. Valores de UT, riesgo ecotoxicológico para peces en el mes de mayo para los diferentes sitios de muestreo, determinado con las máximas concentraciones de plaguicidas detectadas en agua y sus correspondientes valores de LC50 para peces. También se presenta el riesgo total por sitio y para la cuenca del río San Salvador (UT promedio de todos los sitios).

	XSSA010	XSSA020	XSSA030	XSMA080	XSSA040	XMAC090	XAGU100	XSSA050	XSSA060	XSSA065	XMAG110	XBIS120	XESP130
2-fenilfenol	2,05E-05	2,18E-05	1,53E-05	7,75E-06	1,80E-05	5,25E-06	1,88E-05	6,50E-06	1,13E-05	5,75E-06	1,05E-05	-	4,50E-06
AMPA(a)	4,81E-06	4,23E-06	5,38E-06	2,31E-06	3,85E-06	3,85E-06	-	2,12E-06	2,88E-06	3,08E-06	-	-	1,92E-06
Atrazina	-	-	-	-	1,11E-06	-	8,89E-07	-	-	-	-	-	-
Azoxiestrobina	1,28E-05	3,19E-05	2,77E-05	1,91E-05	2,98E-05	4,04E-05	2,13E-05	2,55E-05	2,77E-05	3,62E-05	2,55E-05	4,89E-05	6,17E-05
Boscalid	7,04E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbendazim	3,16E-05	3,16E-05	2,11E-05	-	2,63E-05	2,11E-05	-	2,63E-05	1,58E-05	2,11E-05	-	-	-
Cipermetrina	-	4,53E-02	-	-	-	-	4,93E-02	-	-	-	-	-	-
Ciproconazol	1,05E-06	2,05E-06	2,16E-06	1,21E-06	2,11E-06	2,37E-06	1,89E-06	1,79E-06	1,74E-06	2,32E-06	7,89E-07	1,89E-06	2,47E-06
Clomazone	-	2,71E-06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorantraniliprol	2,67E-06	4,50E-06	3,33E-06	1,17E-06	4,75E-06	6,17E-06	6,25E-06	4,75E-06	4,33E-06	5,75E-06	1,83E-06	5,75E-06	6,08E-06
Clorpirifos	-	9,60E-04	-	-	-	2,40E-04	-	-	-	-	3,20E-04	1,28E-03	-
Diuron	4,48E-07	1,49E-06	6,12E-06	1,79E-06	7,61E-06	-	-	3,43E-06	3,13E-06	3,13E-06	-	-	-
Epoxiconazol	3,26E-06	3,26E-06	4,35E-06	-	3,26E-06	4,35E-06	4,35E-06						
Etión	5,60E-05	6,00E-05	5,60E-05	6,20E-05	3,80E-05	3,00E-05	5,00E-05	5,20E-05	3,80E-05	9,00E-05	-	-	-
Glifosato	8,42E-06	1,34E-05	1,11E-05	6,84E-06	6,58E-06	7,11E-06	6,58E-06	8,16E-06	1,16E-05	8,68E-06	-	-	-
Imazalil	2,03E-06	9,46E-06	3,38E-06	-	2,70E-06	2,03E-06	-	2,03E-06	2,70E-06	-	-	4,73E-06	-
Imidacloprid	1,81E-07	2,89E-07	1,57E-07	1,33E-07	1,81E-07	1,69E-07	8,31E-07	2,53E-07	2,41E-07	2,77E-07	3,61E-08	1,08E-07	6,02E-08
Iprodione	-	-	8,11E-07	-	8,11E-07	8,11E-07	-	-	1,08E-06	8,11E-07	-	8,11E-07	8,11E-07
Lambda-cialotrina	-	2,81E-01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metalaxil	3,23E-05	7,29E-06	8,33E-06	4,17E-06	8,33E-06	7,29E-06	4,17E-06	5,21E-06	5,21E-06	5,21E-06	-	-	-
Metolacolor	5,90E-06	9,74E-06	1,54E-05	1,15E-05	2,03E-05	1,03E-05	1,26E-05	2,82E-05	3,33E-05	2,82E-05	4,87E-06	9,74E-06	5,38E-06
Metoxifenocida	1,43E-06	1,90E-06	1,19E-06	7,14E-07	1,67E-06	2,38E-06	3,10E-06	2,14E-06	2,38E-06	2,86E-06	-	4,76E-06	2,38E-06
Metribuzina	0,00E+00	3,13E-06	4,17E-06	6,25E-06	6,25E-06	3,13E-06	4,17E-06	4,17E-06	5,21E-06	5,21E-06	-	3,13E-06	3,13E-06
o,p DDD	-	-	-	-	1,20E-06	-	-	-	-	-	-	-	-
Permetrina	4,00E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E-04	-
Pirimetaniil	-	4,73E-07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Simazina	-	2,56E-06	3,56E-06	8,33E-07	3,67E-06	6,33E-07	-	2,11E-06	2,78E-06	2,22E-06	-	-	8,11E-07
Tiametoxam	1,52E-06	1,76E-06	2,00E-06	8,00E-07	2,32E-06	2,56E-06	2,48E-06	1,92E-06	2,00E-06	2,08E-06	2,08E-07	1,44E-06	1,20E-06
Trifluralina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,25E-04	-
UT POR SITIO	5,92E-04	3,27E-01	1,91E-04	1,27E-04	1,89E-04	3,89E-04	4,95E-02	1,80E-04	1,75E-04	2,26E-04	3,67E-04	1,89E-03	9,48E-05
UT CUENCA	2,93E-02												

Tabla 20. Valores de UT, riesgo ecotoxicológico para peces en el mes de agosto para los diferentes sitios de muestreo, determinado con las máximas concentraciones de plaguicidas detectadas en agua y sus correspondientes valores de LC50 para peces. También se presenta el riesgo total por sitio y para la cuenca del río San Salvador (UT promedio de todos los sitios).

	XSSA010	XSSA020	XSSA030	XSMA080	XSSA040	XMAC090	XAGU100	XSSA050	XSSA060	XSSA065	XMAG110	XBIS120	XESP130
AMPA(a)	-	2,12E-06	-	-	-	3,46E-06	-	-	-	1,92E-06	-	-	-
Atrazina	1,11E-06	8,89E-07	8,89E-07	2,22E-06	8,89E-07	1,56E-06	1,56E-06	1,11E-06	1,11E-06	1,33E-06	-	6,67E-07	8,89E-07
Azoxiestrobina	-	1,91E-05	1,28E-05	1,06E-05	1,49E-05	2,55E-05	2,13E-05	1,49E-05	1,70E-05	2,55E-05	1,70E-05	2,13E-05	1,70E-05
Ciproconazol	5,26E-07	1,63E-06	1,26E-06	8,42E-07	1,26E-06	2,53E-06	1,00E-06	1,05E-06	1,37E-06	2,84E-06	4,21E-07	1,00E-06	1,00E-06
Clorantniliprol	1,83E-06	2,83E-06	1,92E-06	8,33E-07	1,83E-06	5,58E-06	2,25E-06	2,67E-06	3,17E-06	5,50E-06	8,33E-07	3,75E-06	2,33E-06
Diuron	1,34E-06	2,39E-05	7,61E-06	2,54E-06	3,73E-06	4,78E-06	-	3,73E-06	4,03E-06	4,33E-06	-	3,43E-06	5,97E-07
Epoxiconazol	-	-	-	-	-	3,26E-06	-	-	-	3,26E-06	-	3,26E-06	-
Etión	-	-	-	-	-	1,20E-05	-	-	-	-	-	-	-
Glifosato	2,42E-05	2,16E-05	1,71E-05	-	1,95E-05	2,61E-05	1,24E-05	1,74E-05	1,82E-05	2,47E-05	1,00E-05	1,26E-05	1,24E-05
Imazalil	1,28E-05	-	1,15E-04	1,15E-05	6,08E-06	-	2,03E-06	2,70E-05	1,08E-05	4,73E-06	4,73E-06	-	-
Metalaxil	6,25E-06	1,35E-05	6,25E-06	-	7,29E-06	3,75E-05	1,35E-05	1,35E-05	1,46E-05	1,67E-05	-	3,13E-06	5,21E-06
Metolacoloro	8,72E-06	7,95E-06	1,13E-05	6,41E-06	1,26E-05	1,46E-05	1,31E-05	1,64E-05	1,69E-05	3,33E-05	1,79E-06	3,08E-06	2,31E-06
Metoxifenocida	1,43E-06	7,14E-07	9,52E-07	-	1,19E-06	2,14E-06	7,14E-07	1,43E-06	1,67E-06	2,14E-06	-	1,67E-06	7,14E-07
Metribuzina	-	3,13E-06	5,21E-06	-	3,13E-06	4,17E-06	-	-	-	4,17E-06	-	4,17E-06	3,13E-06
Piraclostrobina	-	-	-	-	-	-	-	6,67E-04	-	-	-	-	-
Pirimetanil	3,79E-07	-	5,49E-06	6,63E-07	5,68E-07	-	2,84E-07	3,22E-06	1,04E-06	3,79E-07	2,84E-07	-	-
Simazina	7,78E-08	8,89E-08	8,89E-08	8,89E-08	8,89E-08	2,67E-07	6,00E-06	1,56E-06	1,56E-06	9,89E-07	7,78E-08	4,44E-08	1,78E-07
Tiametoxam	2,48E-07	2,72E-07	2,32E-07	1,92E-07	2,64E-07	8,00E-07	5,68E-07	4,08E-07	5,36E-07	9,60E-07	3,20E-08	2,88E-07	8,80E-08
UT POR SITIO	5,90E-05	9,78E-05	1,86E-04	3,59E-05	7,33E-05	1,44E-04	7,47E-05	7,71E-04	9,20E-05	1,33E-04	3,52E-05	5,84E-05	4,58E-05
UT CUENCA	1,39E-04												

Tabla 21. Valores de UT, riesgo ecotoxicológico para peces en el mes de noviembre para los diferentes sitios de muestreo, determinado con las máximas concentraciones de plaguicidas detectadas en agua y sus correspondientes valores de LC50 para peces. También se presenta el riesgo total por sitio y para la cuenca del río San Salvador (UT promedio de todos los sitios).

	XSSA010	XSSA020	XSSA030	XSMA080	XSSA040	XMAC090	XAGU100	XSSA050	XSSA060	XSSA065	XMAG110	XBIS120	XESP130
2,4 D	-	-	3,00E-05	2,00E-05	-	-	3,00E-05	-	-	-	2,00E-05	-	-
2-fenilfenol	-	-	7,50E-04	5,00E-04	-	-	7,50E-04	-	-	-	5,00E-04	-	-
Acetamiprid	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00E-08	1,20E-07	7,60E-07	-	7,00E-07
AMPA(a)	-	-	2,50E-06	4,62E-06	-	3,27E-06	-	-	-	1,92E-06	-	-	1,92E-06
Atrazina	2,89E-06	2,67E-06	4,89E-06	5,33E-06	3,11E-06	4,44E-06	2,44E-06	3,33E-06	3,11E-06	2,89E-06	1,56E-06	1,56E-06	2,89E-06
Azoxiestrobina	2,34E-05	4,89E-05	3,40E-05	4,04E-05	3,62E-05	4,04E-05	3,19E-05	2,77E-05	2,55E-05	2,98E-05	2,34E-04	4,47E-05	2,13E-05
Carbaril	-	-	-	-	-	-	7,31E-05	-	-	-	-	-	-
Cipermetrina	-	-	-	-	-	5,30E-03	-	-	6,09E-02	-	-	1,92E-02	-
Ciproconazol	2,74E-06	3,95E-06	2,89E-06	2,32E-06	3,16E-06	2,58E-06	2,84E-06	2,05E-06	1,95E-06	1,84E-06	5,79E-06	1,84E-06	1,58E-06
Clomazone	-	-	2,78E-07	4,17E-07	-	-	-	-	-	-	6,94E-07	-	-
Clorantniliprol	1,17E-06	2,17E-06	3,00E-06	2,75E-06	2,17E-06	4,58E-06	2,33E-06	2,50E-06	2,08E-06	1,92E-06	5,83E-07	1,83E-06	2,33E-06
Diuron	-	1,34E-06	7,46E-07	-	8,96E-07	-	-	7,46E-07	-	4,48E-07	-	-	-
Epoxiconazol	-	-	3,26E-06	7,61E-06	3,26E-06	4,35E-06	-	3,26E-06	-	-	-	-	4,35E-06
Fluroxipir meptil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,33E-05	-	-	-
Glifosato	-	-	2,42E-05	5,66E-05	-	2,89E-05	1,00E-05	7,89E-06	-	7,37E-06	6,58E-06	-	8,42E-06
Glufosinato de amonio	-	-	-	-	-	-	1,83E-06	-	-	-	-	-	-
Imazalil	4,73E-06	-	-	1,82E-05	-	-	-	-	-	8,11E-06	4,05E-06	-	-
Iprodione	-	-	8,11E-07	1,62E-06	-	8,11E-07	-	-	-	-	-	-	8,11E-07
Metalaxil	-	4,17E-06	7,50E-05	3,44E-05	-	6,25E-06	3,13E-06	3,13E-06	3,13E-06	-	-	3,13E-06	5,21E-06
Metolacoloro	6,67E-06	8,21E-06	1,15E-03	1,54E-03	1,36E-05	2,03E-04	1,85E-04	1,64E-05	2,56E-05	1,56E-05	5,13E-06	1,28E-05	5,38E-05
Metoxifenocida	-	-	7,14E-07	7,14E-07	-	7,14E-07	1,19E-06	-	-	-	-	-	-
Metribuzina	5,36E-08	-	-	-	-	4,02E-08	5,36E-05	1,47E-07	2,28E-07	4,96E-07	4,96E-07	4,29E-07	6,17E-05
Piraclostrobina	-	-	-	6,67E-04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Propiconazol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,15E-06	-
Simazina	-	7,78E-08	9,56E-07	2,11E-07	3,44E-07	3,33E-08	1,09E-06	4,33E-07	4,33E-07	5,56E-07	1,00E-07	3,33E-08	2,22E-06
Tiametoxam	1,04E-07	1,04E-07	1,36E-07	1,36E-06	8,00E-08	2,16E-07	4,00E-08	5,60E-08	4,00E-08	7,20E-08	-	-	2,40E-08
UT POR SITIO	4,18E-05	7,16E-05	2,09E-03	2,90E-03	6,28E-05	5,60E-03	1,15E-03	6,76E-05	6,10E-02	8,45E-05	7,80E-04	1,93E-02	1,67E-04
UT CUENCA	7,18E-03												

En el mes de **febrero** el compuesto cipermetrina presentó valores medios de riesgo ecotoxicológico en el arroyo san Martín (XSMA080) (UT = 0,12) de la región alta de la cuenca y en el curso principal (XSSA060) (UT = 0,13) de la región baja de la cuenca (**Tabla 22**). Este insecticida piretroide, al igual que lambda-cialotrina, también es de amplio espectro y es utilizado en cultivos de verano. Su alta toxicidad en peces es ampliamente detallada en la bibliografía (Carrquiriborde et al., 2007; Ullah et al., 2018; Salako et al., 2020).

Tabla 22. Valores de UT, riesgo ecotoxicológico para peces en el mes de febrero para los diferentes sitios de muestreo, determinado con las máximas concentraciones de plaguicidas detectadas en agua y sus correspondientes valores de LC50 para peces. También se presenta el riesgo total por sitio y para la cuenca del río San Salvador (UT promedio de todos los sitios).

	XSSA010	XSSA020	XSSA030	XSMA080	XSSA040	XMAC090	XAGU100	XSSA050	XSSA060	XSSA065	XMAG110	XBIS120	XESP130
AMPA(a)	-	3,65E-06	5,88E-06	-	4,13E-06	4,96E-06	2,02E-06	-	2,42E-06	3,37E-06	2,19E-06	2,81E-06	2,12E-06
Atrazina	6,67E-07	8,89E-07	1,33E-06	-	3,33E-06	1,11E-06	1,78E-06	2,00E-06	2,44E-06	3,33E-06	3,11E-06	1,56E-06	4,89E-06
Azoxiestrobina	8,51E-06	1,49E-05	1,70E-05	6,38E-06	1,70E-05	1,49E-05	1,06E-05	1,06E-05	1,49E-05	2,34E-05	2,55E-05	1,91E-05	1,91E-05
Bifentrina	-	-	-	2,31E-02	-	-	-	1,15E-02	-	-	-	-	-
Cipermetrina	-	-	-	1,20E-01	3,20E-02	1,53E-02	3,93E-02	1,00E-02	1,33E-01	1,73E-02	-	4,07E-02	1,80E-02
Ciproconazol	8,42E-07	9,47E-07	1,26E-06	2,11E-07	7,37E-07	8,95E-07	5,26E-07	5,26E-07	5,26E-07	7,37E-07	5,79E-07	7,89E-07	8,42E-07
Diazinon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,29E-06	1,29E-06	-	-
Diuron	-	1,34E-06	5,97E-07	4,48E-07	4,48E-07	-	-	-	4,48E-07	1,19E-06	4,48E-07	-	-
Epoxiconazol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,35E-06	-	-
Glifosato	1,58E-05	2,11E-05	3,16E-05	1,32E-05	1,84E-05	2,11E-05	1,58E-05	1,58E-05	2,11E-05	3,16E-05	1,84E-05	1,58E-05	6,05E-05
Iprodione	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,11E-07	-	-
Metalaxil	3,33E-05	3,13E-05	2,60E-04	5,21E-06	2,71E-05	4,27E-05	5,21E-06	-	4,17E-06	6,25E-06	7,29E-06	1,56E-05	9,38E-06
Metolacoloro	1,95E-05	1,31E-05	8,46E-05	3,85E-05	2,82E-04	2,31E-04	1,92E-05	1,38E-05	1,44E-05	2,82E-05	1,38E-05	1,10E-04	2,03E-05
Metoxifenocida	-	-	7,14E-07	-	7,14E-07	1,19E-06	9,52E-07	-	-	7,14E-07	-	7,14E-07	-
Metribuzina	5,36E-08	4,02E-08	2,68E-07	-	8,04E-08	5,50E-07	1,74E-07	-	-	1,21E-07	4,02E-08	1,61E-06	8,04E-08
Simazina	-	-	-	-	1,22E-07	-	1,11E-07	1,11E-07	6,67E-08	7,78E-08	6,67E-08	3,33E-08	5,56E-08
Tiametoxam	2,40E-08	-	4,80E-08	2,40E-08	2,40E-08	4,80E-08	-	-	-	2,40E-08	-	4,00E-08	4,00E-08
UT POR SITIO	7,87E-05	8,71E-05	4,04E-04	1,43E-01	3,24E-02	1,57E-02	3,94E-02	2,16E-02	1,33E-01	1,74E-02	7,80E-05	4,08E-02	1,81E-02
UT CUENCA	3,55E-02												

ii.2.f Priorización de plaguicidas por concentraciones y toxicidad

Dada la gran variabilidad de plaguicidas detectados en peces se realizó una lista de aquellos compuestos que por sus concentraciones o toxicidad representen mayor riesgo para los organismos y el ambiente, posibilitando así una gestión ambientalmente adecuada de los mismos.

En este sentido, en función de las concentraciones medianas detectadas en músculo destacan los herbicidas trifluralina y el fungicida propiconazole (**Tabla 23**). Con valores sensiblemente más bajos se listan el herbicida isoxadifen etil y los insecticidas neonicotinoides: imidacloprid y tiametoxam. Sin embargo, salvo propiconazole todos estos plaguicidas fueron observados únicamente durante un muestreo (compuestos raros), y presentan valores de Log_{kow} bajos (negativos en el caso de los neonicotinoides). Para el caso de propiconazole se ha reportado la acumulación de este pesticida en varias especies de peces en la laguna del Cisne asociada positivamente con la condición nutricional de los individuos (Rodríguez-Bolaña et al., 2023).

Los siguientes plaguicidas con mayor concentración como fenazaquim y metribuzina también son compuestos raros u ocasionales. En este sentido, y considerando además que las concentraciones varían sustancialmente entre las diferentes especies, la toxicidad de los compuestos podría representar una herramienta más apropiada para su priorización en la cuenca.

Tabla 23. Categorización de los plaguicidas detectados en peces analizados en función de su concentración ($\mu\text{g}/\text{kg}$) en toda la cuenca del río San Salvador durante el período mayo 2022 - febrero 2023.

Plaguicida	Concentración ($\mu\text{g}/\text{Kg}$)		
	Mediana	Máxima	Mínima
1 Trifluralina	41,4	46,2	12,8
2 Propiconazol (estereoisómero)	8,3	25	1,9
3 Isoxadifen - etil	4,5	4,5	4,5
4 Imidacloprid	3,4	3,4	3,4
5 Tiametoxam	3,2	3,2	3,2
6 Fenazaquin	2,7	2,7	2,7
7 Metribuzina	2,7	13	0,62
8 Permetrina	2,7	17	0,68
9 Triflumuron	2,2	3	1,4
10 Clorpirifos	2,15	44	0,5
11 Cipermetrina	1,9	15	0,59
12 Pirimifos metil	1,9	1,9	1,9
13 Deltametrina	1,6	6,3	0,81
14 Lambda Cialotrina	1,6	2,2	1
15 Metolaclo	1,5	67	0,5
16 Bifentrina	1,4	61	0,58
17 Propiconazol	1,4	9,1	0,52
18 Metalaxil	1,3	1,3	1,3
19 Simazina	0,96	2,5	0,53
20 Flumetsulam	0,93	1,2	0,66
21 Carbaril	0,9	0,97	0,5
22 Endosulfan sulfato	0,85	9,7	0,85
23 Piraclostrobina	0,835	6,6	0,51
24 Atrazina	0,83	0,83	0,83
25 Etión	0,735	2,3	0,53
26 Diazinon	0,71	2,2	0,5
27 Atrazina Desisopropil	0,68	0,74	0,5
28 Imazalil	0,61	0,68	0,51
29 Clorantraniliprol	0,58	0,58	0,58
30 Carbendazim	0,52	0,72	0,51

En este sentido, en función de los valores de LC50 de cada plaguicida para peces, los insecticidas piretroides bifentrina, lambda-cialotrina, deltametrina y cipermetrina

representan los compuestos de mayor toxicidad (**Tabla 24**). Todos ellos están incluidos en los programas de monitoreo de DINACEA con criterio 3 de importancia.

Tomando en consideración los resultados del riesgo ecotoxicológico en agua descrito más arriba, la presencia de piretroides en múltiples matrices y estos resultados basados en toxicidad en peces, se recomienda profundizar en el conocimiento de los usos de estos plaguicidas en la cuenca (tipos de cultivos aplicados, dosis aplicada, períodos de aplicación, frecuencia de aplicación, entre otros), lo cual representaría una herramienta muy importante para la gestión de este tipo de plaguicidas, sobre todo considerando el riesgo significativo que representan para el ambiente acuático y la salud humana (Chrustek et al., 2018; Pérez-Parada et al., 2018; Rodríguez et al., 2023).

Tabla 24. Categorización de los plaguicidas detectados en peces de toda la cuenca del río San Salvador durante el período mayo 2022 - febrero 2023 analizados en función de su valor de LC50 para peces ($\mu\text{g/L}$). SD: Sin datos.

Plaguicida	LC50 ($\mu\text{g/L}$)
Bifentrina	0,01
Lambda-cialotrina	0,03
Deltametrina	0,15
Cipermetrina	1,50
Carbedanzim	3,20
Fenzaquin	3,80
Piraclastrobina	5
Endosulfan sulfato	10
Permitrina	12
Triflumuron	21
Clorpirifod	25
Imazil	43
Propiconazole (estereoisomero)	68
Propiconazole	68
Clorantraniliprol	110
Pirimifos metil	200
Etión	500
Simazina	700
Diazinon	700
Metalaxyl	960
Atrazina	2000
Carbaril	2600
Metolacloro	3900
Imidacloprid	9020
Trifluralia	10000
Tiametoxan	20000
Metribuzina	74600
Flumetsulam	300000
Isoxiadifen-etil	SD
Atrazina desisopropil	SD

ii.2.g Modelo lineal generalizado: análisis de variables como determinantes de la presencia y concentración de plaguicidas

Para analizar las relaciones entre las variables explicativas numéricas y la ocurrencia de plaguicidas en peces se llevaron a cabo dos abordajes, uno utilizando la presencia/ausencia de plaguicidas y el segundo su concentración en músculo. Las variables utilizadas en ambos casos fueron: peso y largo promedios, índices gonadosomático y hepatosomático, grupo trófico, posición trófica y porcentaje de lípidos (detalle de los análisis poblacionales y comunitarios que permitieron obtener esta información se presentan más abajo en Descripción de la comunidad de peces).

Mediante el uso de modelos lineales generalizados mixtos se encontró que existe una relación positiva significativa entre el número de plaguicidas encontrados y la posición trófica de los peces, así como también la concentración de plaguicidas con su porcentaje de lípidos en músculo (**Tabla 25; Fig. 32**). Estos resultados son concordantes con trabajos previos donde se ha encontrado que la posición trófica está relacionada con la bioacumulación de plaguicidas en niveles tróficos superiores asociado a la transferencia trófica (Deribe et al., 2011; Derby, et al., 2021). La correlación positiva con el porcentaje de lípidos puede estar asociada a la relación entre los plaguicidas y su coeficiente octanol/agua (KOW), cuanto mayor es este coeficiente tiene una mayor tendencia a ser acumulado en tejidos lipídicos (Pérez-Parada et al., 2018; Kumar et al., 2021, Rodríguez-Bolaña et al., 2023).

Tabla 25. Variables y coeficientes de los dos modelos GLMM ajustados.

Modelo	Variante de respuesta	Variante explicativa	Estimado	ES	z	p
GLMM Poisson	Número de plaguicidas	Posición trófica	2,27	0,37	2,195	0,028
GLMM Gaussiano	Concentración de plaguicidas	% Lípidos	1,13	0,057	2,11	0,035

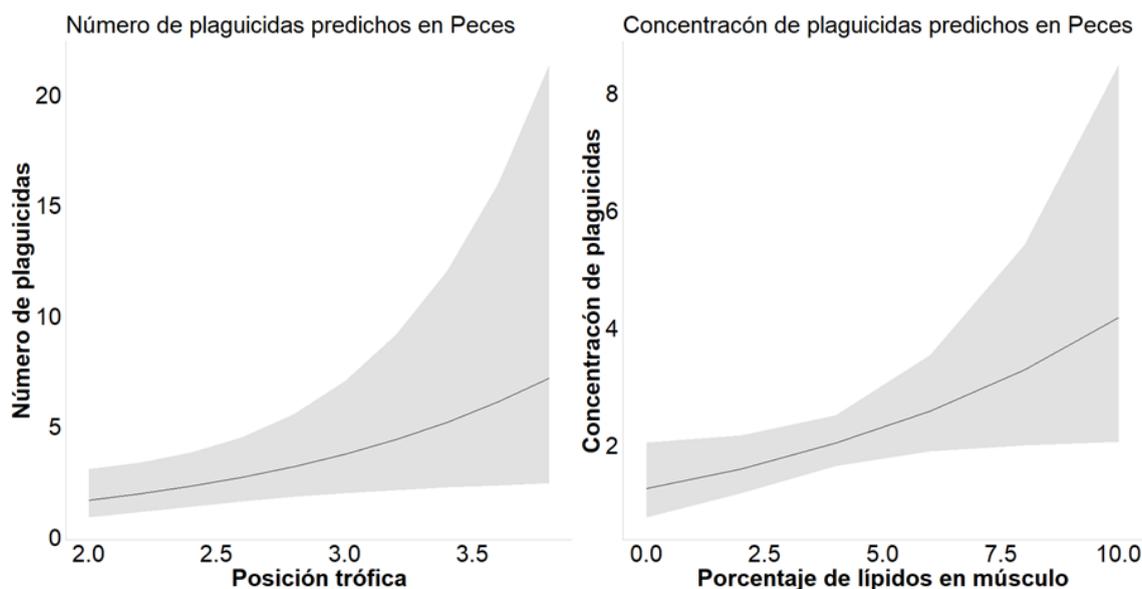


Figura 32. Representación gráfica de ambos modelos generalizados mixtos: relación de la posición trófica de los peces con la cantidad de plaguicidas detectados (Izquierda) y relación de la concentración de plaguicidas detectados con el porcentaje de lípidos en músculo (Derecha). La zona gris corresponde al intervalo de confianza.

ii.3 Plaguicidas en Bivalvos: resultados y discusión

ii.3.a Frecuencia de ocurrencia de plaguicidas

Entre **mayo 2022** y **febrero 2023** se detectaron 13 plaguicidas en músculo de bivalvos (4 insecticidas, 4 herbicidas, 4 fungicidas y un producto de degradación). Bifentrina fue el único plaguicida que se detectó en la totalidad de los análisis realizados, este se clasifica como dominante con un 100 % de ocurrencia. La frecuencia de ocurrencia del resto de los compuestos detectados osciló entre frecuente y no detectado (**Tabla 26**). Clorpirifos y metolacloro se clasifica como frecuente con una presencia del 50 %. Para el resto de los plaguicidas detectados (acetoclor, difenoconazol, ciproconazol, fipronil, fipronil sulfona, fludioxonil, metil paratión, metribuzin, piraclostrobina y simazina) presentaron una ocurrencia de 25 % clasificándose como raros. En el **Anexo 9** y **Anexo 10** se detalla las concentraciones promedio por sitio y por especie en los 4 periodos muestreados.

Tabla 26. Frecuencia de ocurrencia (FOC %) de plaguicidas en músculo de bivalvos en función de los 9 sitios analizados por mes en la cuenca del río San Salvador. Uso: H: herbicida; I: insecticida; F: fungicida; P.d: Producto de degradación. Oc: Ocurrencia de los plaguicidas en base a su detección en los cuatro muestreos analizados (D) Dominante (presente en los cuatro meses); (F) Frecuente (tres meses); (O) Ocasional (dos meses); (R) Raro (un mes).

	USO	OC	Mayo	Agosto	Diciembre	Febrero
Bifentrina	I	D	100	100	77,8	88,9
Simazina	H	R	44,4			
Fipronil	I	R	11,1			
Fipronil sulfona	P.d	R	11,1			
Difenoconazol	F	R		33,3		
Acetochlor	H	R			22,2	
Ciproconazol	F	R			33,3	
Clorpirifos	I	O			11,1	22,2
Metolacloro	H	O			100	33,3
Metribuzin	H	R			22,2	
Piraclostrobina	F	R			22,2	
Fludioxonil	F	R				11,1
Metil paration	I	R				11,1

En la campaña de **mayo** se detectaron en la matriz bivalvos un total de 4 plaguicidas correspondientes a 2 insecticidas (bifentrina y fipronil), 1 metabolito de insecticida (fipronil sulfona), y 1 herbicida (simazina). El uso de fipronil está restringido en el país y solo se comercializa para control de hormigas en cebo granulado y para uso como curasemillas en arroz (resolución 1.010/009 DGSA 30/09). Las formulaciones líquidas están prohibidas (resolución 27 DGSA 3/09, resolución 24 DGSA 12/13 y resolución MGAP 7/014).

Bifentrina estuvo presente en todos los bivalvos de los sitios analizados (excepto en el curso principal frente a la ciudad de Dolores (XSSA065) donde no se pudo colectar bivalvos en **mayo**). En el caso de fipronil, se detectó únicamente en bivalvos presente en el arroyo San Martín en la cuenca alta (XSMA080); mientras que fipronil sulfona fue detectado en el arroyo Maciel en la cuenca media (XMAC090; **Fig. 33**). El herbicida simazina (utilizado en cultivos de maíz y sorgo) fue detectado en diferentes sitios del río San Salvador, en la cuenca alta (XXSA030), cuenca media (XSSA040) y en la cuenca baja (XSSA050) y en el arroyo Espinillo afluente de la cuenca baja (XESP130; **Fig. 33**).

Al igual que en la matriz agua, se detectó una reducción en el número de plaguicidas para la campaña del mes de **agosto**, acumulando únicamente bifentrina y difenoconazol (fungicida triazol), el cual es utilizado para el cultivo de soja. Bifentrina fue detectado a lo largo de toda la cuenca a excepción del arroyo El Águila (XAGU100) en la cuenca media y el arroyo Espinillo (XESP130) en la cuenca baja. Por otro lado, difenoconazol fue detectado en los sitios del río San Salvador XXSA010 y XSSA030 de la cuenca alta y XSSA040 de la cuenca media (**Fig. 33**).

En el mes de **noviembre** se observó un aumento en el número de plaguicidas en músculo de bivalvos con respecto a los otros meses, registrándose un total de 7 compuestos: 2 insecticidas (bifentrina y clorpirifos), 3 herbicidas (acetoclor, metolacloro y metribuzin) y 2 fungicidas (ciproconazol y piraclostrobina). Bifentrina fue detectado a lo largo de toda la cuenca: cuenca alta, baja y media. Sin embargo, en la cuenca media no se registró bifentrina en el arroyo El Águila (XAGU100) y en la cuenta baja en el arroyo el Espinillo (XESP130, **Fig. 33**). El uso de clorpirifos está asociado a cultivos de cereales como trigo y cebada, este fue cuantificado solamente en la cuenca alta en el arroyo San Martín XSMA080. Dentro de los plaguicidas cuantificados en músculo de bivalvos, acetoclor y metolacloro fueron detectados en la parte alta de la cuenca (acetoclor para el río San Salvador, XSSA030, y el arroyo San Martín, XSMA080, y metolacloro en el río San Salvador XSSA030, **Fig. 33**). Por otro lado, el herbicida metribuzin que es utilizado en cultivo de soja, solo fue detectado en el arroyo El Águila (cuenca media) XAGU100 y en la cuenca baja en el arroyo Espinillo (XESP130, **Fig. 33**). Cabe resaltar que en el mes de **noviembre** en el arroyo El Águila (XAGU100, cuenca media) se encontraron ejemplares de la especie invasora *Limnoperna fortunei*. En el análisis de esta muestra se detectó metribuzin (**Fig. 33**). A su vez metribuzin dentro de la matriz biota solo fue detectado en bivalvos. Tanto ciproconazol como piraclostrobina son plaguicidas utilizados para cultivos de trigo, cebada, centeno y avena, entre otros. Ciproconazol fue detectado en la cuenca media en el río San Salvador (XSSA040) y en el arroyo Maciel (XMAC090), y en la cuenca baja XSSA050 del río San Salvador (**Fig. 33**). Mientras que el fungicida piraclostrobina fue hallado en la cuenca alta en el arroyo San Martín (XSMA080) y en la cuenca media en el arroyo El Águila (XAGU100) en individuos de *L. fortunei*.

En la campaña de **febrero** se detectaron 5 plaguicidas, 3 insecticidas (bifentrina, clorpirifos y metil paratión), 1 herbicida (metolacloro) y 1 fungicida, fludioxonil. Como se observó a lo largo de todas las campañas, bifentrina fue detectada a lo largo de toda la cuenca: en la cuenca alta, en cuenca media a excepción del arroyo El Águila (XAGU100) y en la cuenca baja a excepción del arroyo Espinillo (XESP130, **Fig. 33**). Sin embargo, clorpirifos, metolacloro y metil paratión fueron detectados en cuenca alta y media. Clorpirifos se registró en el río San Salvador en el sitio XSSA030 de la cuenca alta y el sitio XSSA040 de la cuenca media (**Fig. 33**). Metolacloro fue encontrado en el río San Salvador en la cuenca alta (XSSA030) y cuenca media (XSSA040), y en el arroyo Maciel (XMAC090) en la cuenca media. Mientras tanto, metil paratión fue observado solo en la cuenta alta en el río San Salvador (XSSA010, **Fig. 33**).

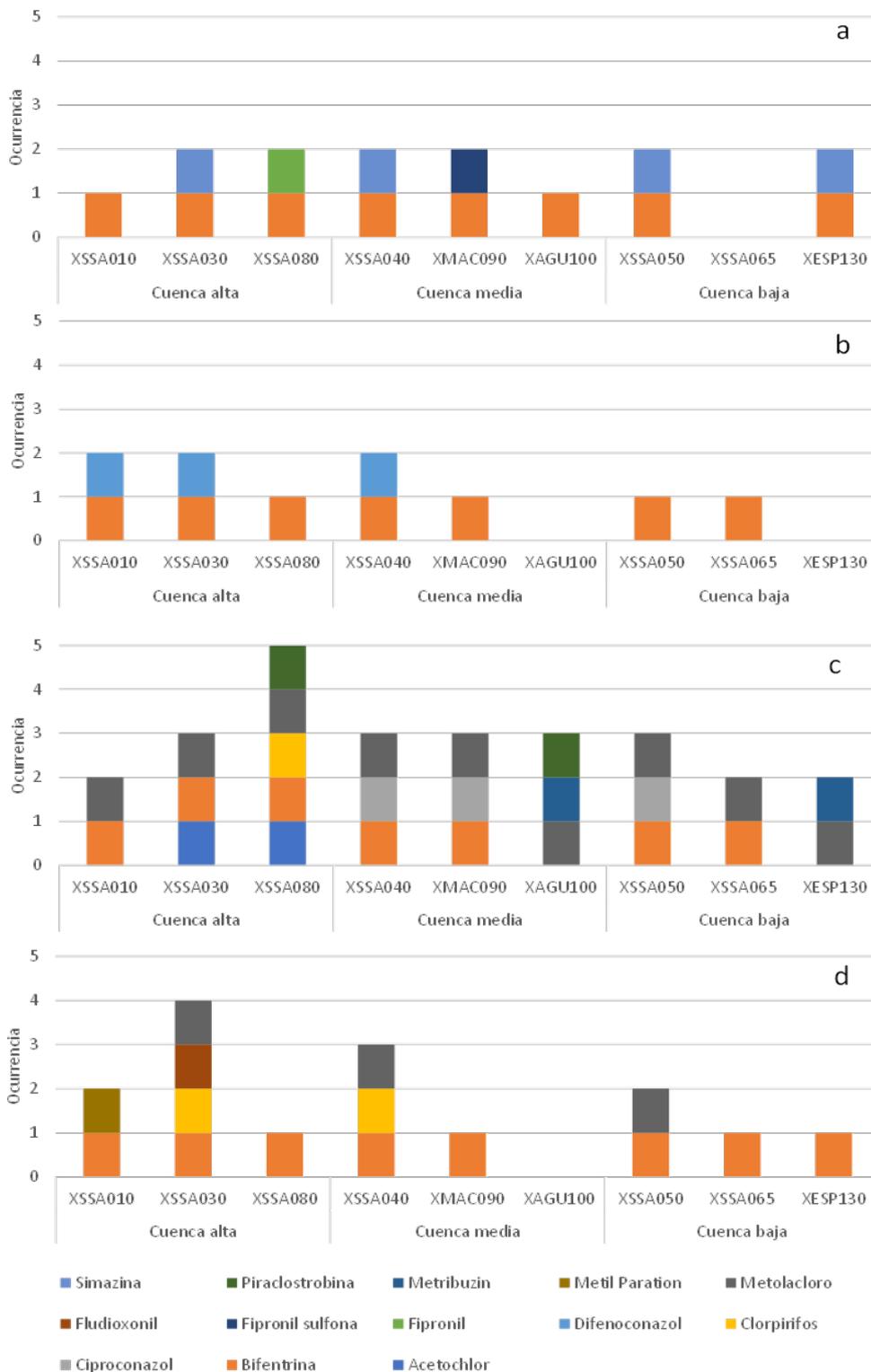


Figura 33. Plaguicidas totales encontrados en bivalvos por sitio, sin discriminar por especie, en la cuenca del río San Salvador. a) mayo 2022; b) agosto 2022; c) noviembre 2022; d) febrero 2023.

Para la matriz bivalvos, bifentrina se clasifica como dominante ya que presenta una ocurrencia del 100 % a lo largo de todos los periodos analizados; mientras que clorpirifos

y metolaclo se clasifica como ocasional con una presencia del 50 %. Para el resto de los plaguicidas detectados (acetoclor, difenoconazol, ciproconazol, fipronil, fipronil sulfona, fludioxonil, metil paratión, metribuzin, piraclostrobina y simazina) presentaron una ocurrencia de 25 % clasificándose como raros.

ii.3.b Análisis de similitud de los plaguicidas entre especies

Se evidenció la presencia de acetoclor en ejemplares de *C. fluminea* únicamente en el mes de **noviembre** para el río San Salvador (XSSA030) y el arroyo San Martín (XSMA080, **Fig. 34**). Se observó la presencia de bifentrina en *C. fluminea* en todos los sitios analizados para todo el periodo de muestreo (**mayo 2022, agosto 2022, noviembre 2022 y febrero 2023**). El arroyo El Águila (XAGU100), y el sitio XSSA065 del río San Salvador quedaron por fuera de la evaluación en **mayo** y en el arroyo El Águila (XAGU100) y el arroyo Espinillo (XESP130) para los meses de **agosto y noviembre** ya que no se encontraron ejemplares de *C. fluminea*. Bifentrina también fue detectado en todas las muestras de *Diplodon sp.* para el mes de **mayo** a excepción del sitio XSSA010 en las nacientes del río San Salvador, tampoco se detectó en el sitio XSSA065 (del curso principal en la zona baja) debido a que no se encontraron ejemplares de esta especie. Para el resto de los meses, bifentrina no fue encontrada en ninguna de las muestras analizadas de *Diplodon sp.* a lo largo de toda la cuenca (**Fig. 34**).

Difenoconazol fue detectado principalmente en *Diplodon sp.* para el mes de **agosto** en el río San Salvador (XSSA010 y XSSA030) en la cuenca alta y en la cuenca media (XSSA040). Este plaguicida no fue detectado en el resto de los meses analizados (**Fig. 34**). En el caso de ciproconazol fue detectado en el mes de **noviembre** en individuos de *C. fluminea* en el río San Salvador (XSSA040), el arroyo Maciel (XMAC090) en la cuenca media y en la cuenca baja del río San salvador (XSSA050). Este compuesto no fue detectado en ejemplares de *Diplodon sp.* (**Fig. 34**).

Se detectó clorpirifos en el mes de **noviembre** para ejemplares de *C. fluminea* en el arroyo San Martín (XSMA080) en la cuenca alta y para el mes de **febrero** en el río San Salvador (XSSA030) en la cuenca alta y XSSA040 en la cuenca media. Sin embargo, el clorpirifos fue detectado en individuos de *Diplodon sp.* únicamente en el mes de **febrero** en el río San Salvador (XSSA040) en la cuenca media (**Fig. 34**).

Fipronil estuvo presente para el mes de **mayo** en ejemplares de *C. fluminea* en el arroyo San Martín (XSMA080) en la cuenca alta y no se evidencio este plaguicida en el resto de los meses muestreados. Este compuesto no fue detectado en ejemplares de *Diplodon sp.* (**Fig. 34**). Al igual que fipronil, fipronil sulfona fue cuantificado únicamente en músculo de *C. fluminea* en la cuenca media (arroyo Maciel, XMAC090) y no se observó en los otros meses analizados.

Fludioxonil solo fue detectado para el mes de **febrero** en individuos de *C. fluminea* en el río San Salvador (XSSA030) de la cuenca alta. Este plaguicida no fue observado en individuos de *Diplodon* sp. (**Fig. 34**). En el caso de metolacoloro, estuvo presente en ambas especies de bivalvos *C. fluminea* y *Diplodon* sp. en el mes de **noviembre** en todos los sitios de la cuenca alta, media y baja, a excepción del sitio XSSA065 del río San Salvador. Sin embargo, este plaguicida fue detectado para el mes de **febrero** en individuos de *C. fluminea* únicamente en el sitio XSSA030 de la cuenca alta, y los sitios XSSA040 del río San Salvador y el arroyo Maciel (XMAC090) de la cuenca media y para *Diplodon* sp. en el sitio XSSA040 también perteneciente a la cuenca media.

Metil paratión fue detectado en el mes de **febrero** para individuos de *C. fluminea* en el sitio XSSA010 en la cuenca alta del río San Salvador (**Fig. 34**). Se observó metribuzin en el mes de **noviembre** en individuos de *L. fortunei* en el arroyo El Águila (XAGU100) para la zona de la cuenca media y en el arroyo Espinillo (XESP130) en *Diplodon* sp. para la zona de la cuenca baja. Este plaguicida no fue detectado en ninguno de los otros meses analizados (**Fig. 34**).

Piraclostrobina fue detectada únicamente en el mes de **noviembre** en el arroyo San Martín (XSMA080) en la cuenca alta en individuos de *C. fluminea* y *Diplodon* sp., y en el arroyo El Águila (XAGU100) en la cuenca media en individuos de *L. fortunei*. En contraparte, este plaguicida no fue detectado en el mes de **mayo, agosto, y febrero** a lo largo de toda la cuenca (**Fig. 34**).

Por último, Simazina fue detectado principalmente en *C. fluminea* para el mes de **mayo** en el río San Salvador en la cuenca alta (XSSA030), cuenca media (XSSA040) y baja en el cauce del San salvador (XSSA050) y en el arroyo Espinillo (XESP130). Adicionalmente, este plaguicida fue detectado en *Diplodon* sp. en la cuenca media del río San Salvador (XSSA040). En contraparte, este compuesto no fue cuantificado en el mes de **agosto, noviembre y febrero** a lo largo de toda la cuenca (**Fig. 34**).

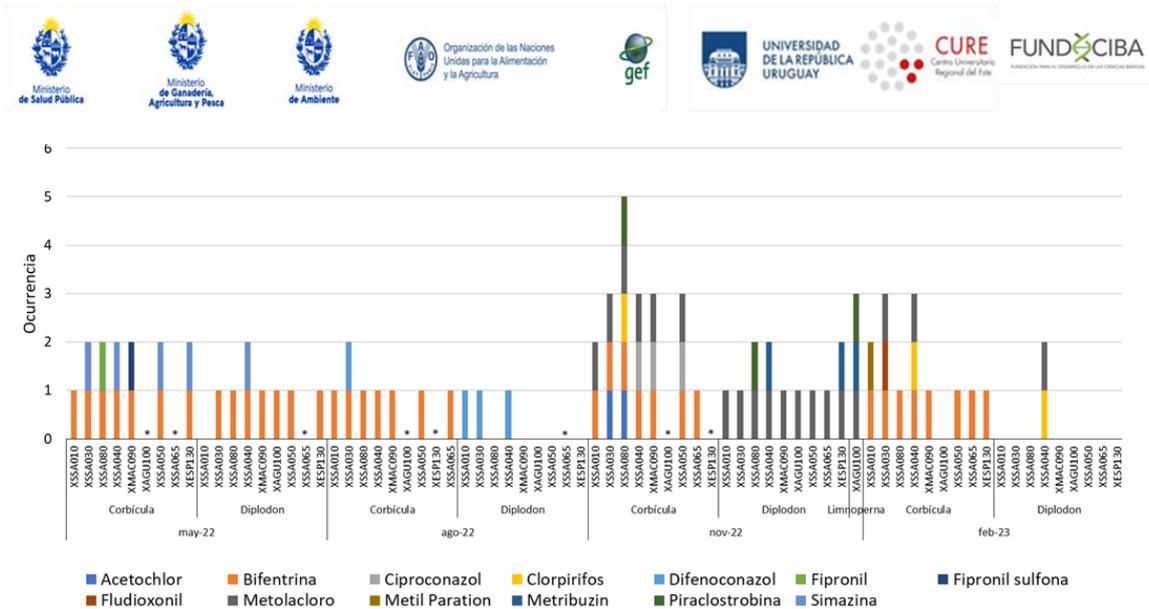


Figura 34. Presencia de plaguicidas detectados en *C. fluminea*, *Diplodon* sp. y *L. fortunei* en la cuenca de San Salvador: cuenca alta, media y baja, en el período mayo 2022, agosto 2022, noviembre 2022 y febrero 2023. * no se encontraron individuos.

El número de plaguicidas detectados para *C. fluminea* comprende de un total de 12, 6 para *Diplodon* sp. y tres para *L. fortunei*. El número de muestras analizadas en el caso de *C. fluminea* fue de 84, para *Diplodon* sp. fue de 52, mientras que en el caso de *L. fortunei*, se procesó una 1 muestra. Esta diferencia en el número de muestras se debe a que se hizo énfasis en la colecta de *C. fluminea* por ser una especie exótica invasora muy abundante, en contraposición a *Diplodon* sp. que son organismos nativos de mayor tamaño que no se conoce su estatus de conservación. *Limnoperna fortunei* solo fue detectada en el mes de **noviembre** en el arroyo el Águila (XAGU100) con baja abundancia. La selección de estas tres especies nos permitió detectar que son complementarias en cuanto a los plaguicidas que acumulan.

ii.3.c Análisis de similitud de los sitios de muestreo según los plaguicidas registrados

En el diagrama de agrupación para la campaña de **mayo**, se observaron dos grandes grupos: uno comprendido por los sitios XSSA030, XXSA040, XSSA050 del río San Salvador y el arroyo Espinillo (XESP130) debido a la presencia de bifentrina y simazina. Estos sitios pertenecen a la cuenca alta, media y baja respectivamente (**Fig. 35 a**). El segundo grupo está comprendido por los sitios XXSA010, XSMA080 del río San Salvador y el arroyo El Águila (XAGU100). Este grupo se caracterizó por la ausencia de simazina e incluye sitios de la cuenta alta y media (**Fig. 35 a**). Para la campaña de **agosto**, no se observaron grandes diferencias entre los sitios debido a que solamente se detectaron dos plaguicidas en toda la campaña (bifentrina y difenoconazol) (**Fig. 35 b**). Ambos compuestos estuvieron presentes en los sitios XSSA010, XSSA030 y XSSA040 del río San Salvador. Por otro lado, el arroyo San Martín (XSMA080), el arroyo Maciel (XMAC090),

y los sitios XSSA050 y XSSA065 de la cuenca baja del río San Salvador fueron agrupados debido a que se detectó el compuesto bifentrina.

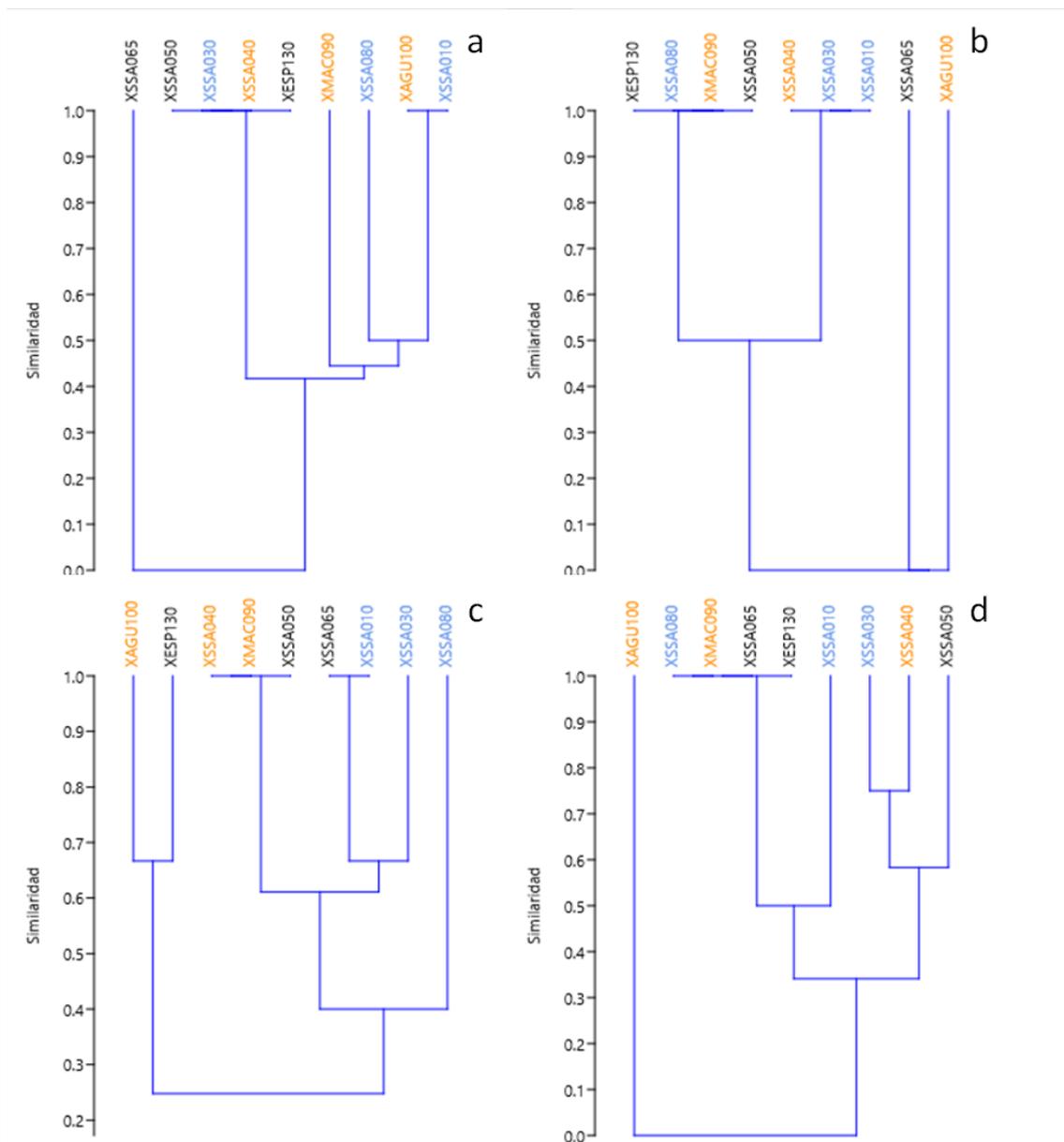


Figura 35. Diagrama de clasificación de la ocurrencia de plaguicidas para los bivalvos capturados. Algoritmo UPGMA y el índice de similaridad de Jaccard. Celeste: cuenca alta; Naranja: cuenca media; Negro: cuenca baja. a) mayo 2022; b) agosto 2022; c) noviembre 2022; d) febrero 2023.

En la campaña de **noviembre** se observaron dos grandes grupos. Uno comprendido por el río San Salvador en cuenca media (XSSA040) y el arroyo Maciel (XMAC090) y el río San Salvador en cuenca baja (XSSA050), esta agrupación se debe a la presencia de bifentrina (**Fig. 35 c**). El segundo grupo se caracterizó por la presencia de bifentrina y metolaclo, este grupo está comprendido por los sitios XSSA010, XSSA030 y XSSA065 pertenecientes al curso principal a la cuenca alta, media y baja respectivamente (**Fig. 35 c**). Por último,

el arroyo el Águila (XAGU100) y el arroyo Espinillo (XESP130) se agruparon debido a la presencia de metolaclo (Fig. 35 c).

En la campaña de febrero se observaron dos grandes grupos. Uno comprendido por los sitios XSSA050, XSSA030 y XSSA040 del curso principal debido a la presencia de bifentrina y clorpirifos. Mientras que el otro grupo se caracterizó por la presencia de bifentrina está integrado por el arroyo San Martín (XSMA080), el río San Salvador (XSSA065), el arroyo Maciel (XMAC090) y el arroyo Espinillo (XESP130) (Fig. 35 d).

ii.3.d Acumulación de plaguicidas en función del número de muestras por especies

Considerando el número de muestras analizadas en bivalvos y la frecuencia de ocurrencia de plaguicidas en estos, se realizó una curva de acumulación como medida para conocer el esfuerzo de muestreo realizado en esta matriz para ambas especies.

En *C. fluminea* el modelo estimó que existirían 13 plaguicidas, de los 12 detectados. El porcentaje acumulado evidenció que el muestreo de solamente 53 individuos permitiría detectar más del 95% de los compuestos (Fig. 36).

Por su parte, si bien en *Diplodon sp.* el número de individuos analizados fué inferior a *C. fluminea* los resultados entre valores observados y esperados fueron similares, ya que el modelo estimó ocho plaguicidas y se detectaron siete (Fig. 37). Los resultados también evidencian que la colecta de 44 individuos es suficiente para detectar más del 95% de los compuestos.

Por último, el análisis de ambas especies determina que el análisis de 91 individuos permitiría detectar más del 95% de los plaguicidas.

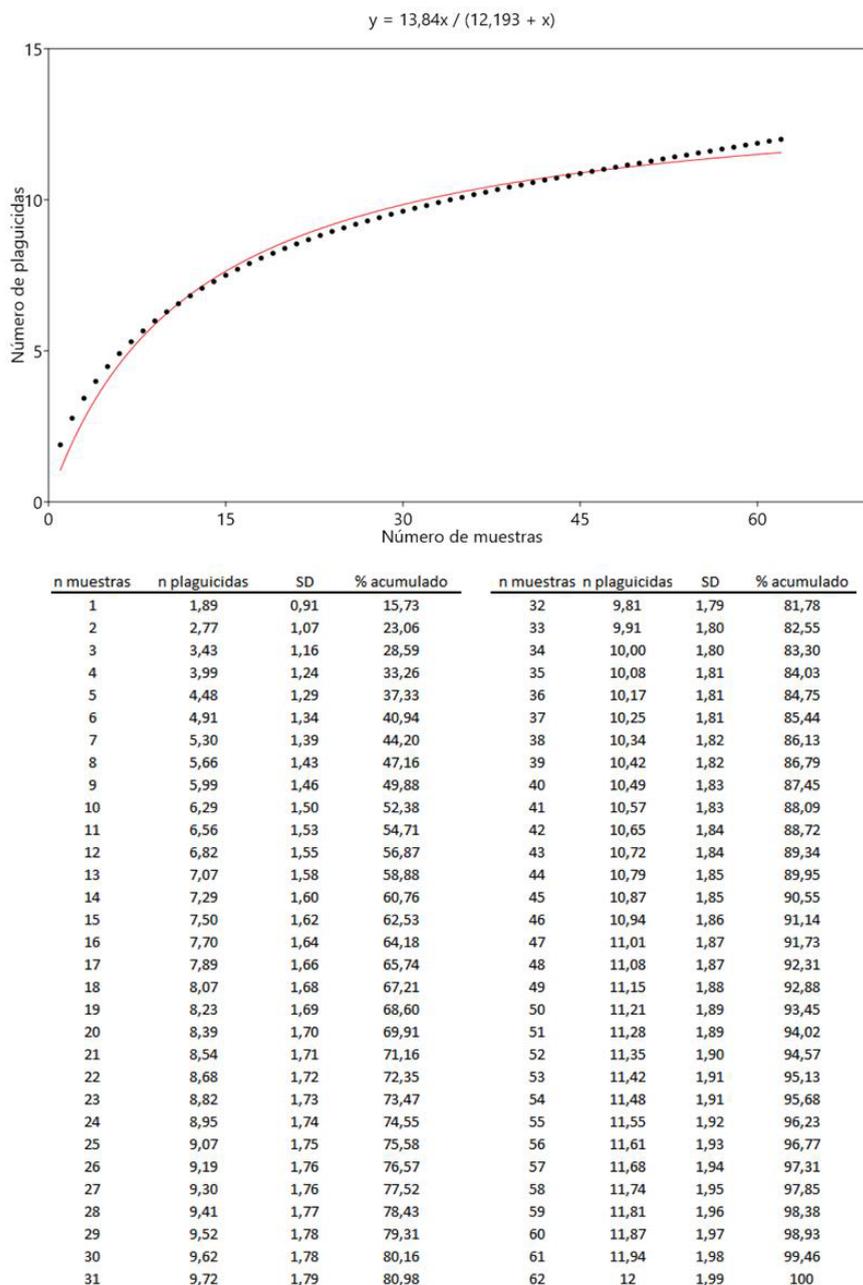
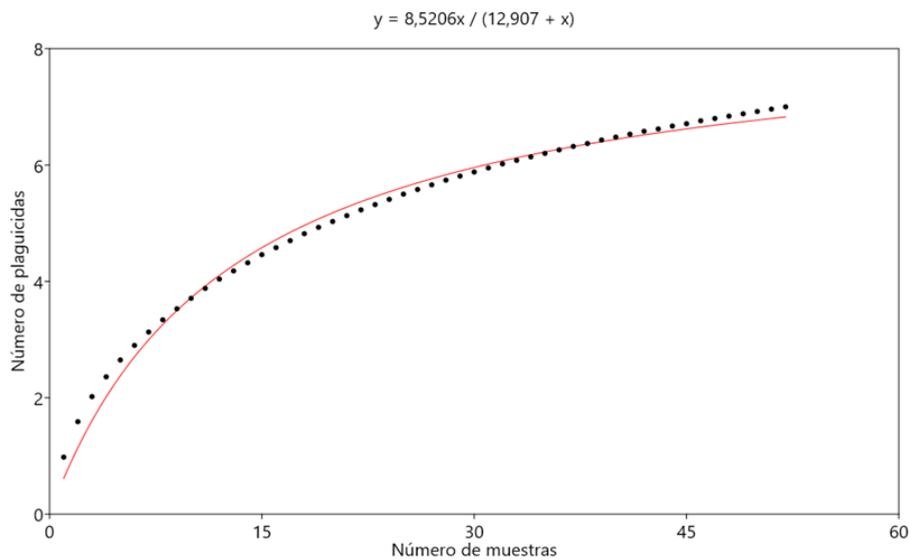


Figura 36. Análisis de acumulación de plaguicidas en músculo de *C. fluminea*. Arriba se presenta la curva de acumulación y su ecuación. Abajo, la tabla muestra el número de plaguicidas detectados en relación al número de peces muestreados y el desvío estándar (SD), así como porcentaje de valor acumulado.



n muestras	n plaguicidas	SD	% acumulado	n muestras	n plaguicidas	SD	% acumulado
1	0,98	0,52	14,01	27	5,66	1,13	80,87
2	1,59	0,75	22,74	28	5,74	1,13	81,97
3	2,02	0,86	28,90	29	5,81	1,14	83,02
4	2,36	0,91	33,73	30	5,88	1,14	84,04
5	2,65	0,94	37,82	31	5,95	1,14	85,02
6	2,90	0,97	41,42	32	6,02	1,15	85,97
7	3,13	0,99	44,68	33	6,08	1,15	86,89
8	3,34	1,00	47,66	34	6,14	1,15	87,77
9	3,53	1,02	50,42	35	6,20	1,16	88,63
10	3,71	1,03	52,99	36	6,26	1,16	89,46
11	3,88	1,04	55,39	37	6,32	1,16	90,26
12	4,04	1,05	57,64	38	6,37	1,17	91,04
13	4,18	1,06	59,77	39	6,43	1,17	91,79
14	4,32	1,06	61,77	40	6,48	1,18	92,53
15	4,46	1,07	63,67	41	6,53	1,18	93,24
16	4,58	1,08	65,48	42	6,58	1,18	93,93
17	4,70	1,08	67,20	43	6,62	1,19	94,61
18	4,82	1,09	68,84	44	6,67	1,19	95,26
19	4,93	1,09	70,41	45	6,71	1,20	95,90
20	5,03	1,10	71,91	46	6,76	1,20	96,53
21	5,13	1,10	73,35	47	6,80	1,21	97,14
22	5,23	1,11	74,73	48	6,84	1,21	97,73
23	5,32	1,11	76,06	49	6,88	1,22	98,32
24	5,41	1,12	77,33	50	6,92	1,22	98,89
25	5,50	1,12	78,56	51	6,96	1,23	99,45
26	5,58	1,12	79,74	52	7	1,24	100,00

Figura 37. Análisis de acumulación de plaguicidas en músculo de *Diplodon sp.* Arriba se presenta la curva de acumulación y su ecuación. Abajo, la tabla muestra el número de plaguicidas detectados en relación al número de peces muestreados y el desvío estándar (SD), así como porcentaje de valor acumulado.

ii.3.e Riesgo ecotoxicológico en bivalvos

Se determinaron los valores de riesgo ecotoxicológico basado en las concentraciones de los diferentes plaguicidas en agua y sus respectivos valores de LC50 en bivalvos. Se presentan únicamente los valores de UT para los meses de **noviembre** y **febrero** debido a que para los compuestos presentes en **mayo** y **agosto** no se encontraron valores de LC50 en la bibliografía.

La sumatoria de las Unidades tóxicas (ΣUT) por sitio de muestreo evidenció que no hay riesgo ecotoxicológico significativo ($UT > 1$) en ningún sitio del sistema (**Tabla 27 y Tabla 28**). Asimismo, el cálculo de UT media por mes no mostró riesgo ecotoxicológico para bivalvos durante **noviembre y febrero**.

Tabla 27. Valores de UT, riesgo ecotoxicológico para bivalvos en el mes de noviembre para los diferentes sitios de muestreo, determinado con las concentraciones de plaguicidas detectadas en agua y sus correspondientes valores de LC50 para bivalvos.

	XSSA010	XSSA030	XSMA080	XSSA040	XMAC090	XAGU100	XSSA050	XSSA065	XESP130
Clorpirifos			1,5E-03						
Metolacloro	1,6E-06	2,8E-04	3,7E-04	3,3E-06	4,8E-05	4,4E-05	3,9E-06	3,7E-06	1,3E-05
$\Sigma UT \times SITIO$	1,6E-06	2,8E-04	1,9E-03	3,3E-06	4,8E-05	4,4E-05	3,9E-06	3,7E-06	1,3E-05
UT MEDIA X MES	2,5E-04								

Tabla 28. Valores de UT, riesgo ecotoxicológico para bivalvos en el mes de febrero para los diferentes sitios de muestreo, determinado con las concentraciones de plaguicidas detectadas en agua y sus correspondientes valores de LC50 para bivalvos.

	XSSA010	XSSA030	XSMA080	XSSA040	XMAC090	XAGU100	XSSA050	XSSA065	XESP130
Clorpirifos		1,5E-03		1,5E-03					
Metolacloro		2,0E-05		6,7E-05	5,5E-05				
$\Sigma UT \times SITIO$		1,5E-03		1,6E-03	5,5E-05				
UT MEDIA X MES	1,0E-03								

Cabe resaltar que existe muy poca información sobre riesgo ecotoxicológico para bivalvos considerando los plaguicidas detectados en agua, ya que no se cuenta con información del LC50 para dichos compuestos. Debido a estas diferencias, se optó por elegir los valores de exposición de 96 hs. en juveniles o adultos de bivalvos de agua dulce (Bejarano et al., 2005). Esta situación plantea dos puntos relevantes, el primero es que el riesgo ecotoxicológico para el caso de los bivalvos está muy subestimado. El segundo punto resalta la importancia de generar a nivel país información de LC50 para bivalvos a modo de poder mejorar la estimación de riesgo ecotoxicológico para bivalvos.

ii.3.f Priorización de plaguicidas por concentraciones y toxicidad

El fungicida difenoconazol presentó mayores concentraciones medianas en músculo de bivalvos (**Tabla 29**), sin embargo, solo se detectó en el mes de agosto clasificado como compuesto raro. Los siguientes plaguicidas con mayor concentración fueron metolacloro y clorpirifos (**Tabla 29**), estos plaguicidas fueron clasificados como frecuentes ya que fueron detectados en el mes de **noviembre y febrero**. Bifentrina estuvo presente en todos los meses clasificado como dominante, sin embargo, éste presenta la misma concentración mediana que fludioxonil el cual solo estuvo presente en el mes de **febrero** (compuesto raro, **Tabla 29**). Los plaguicidas acetolaclor, metil

paration, simazina y piraclostrobina presentaron concentraciones menores a los plaguicidas anteriormente nombrados. Con valores sensiblemente más bajos se listan los plaguicidas ciproconazol, metribuzin, fipronil y fipronil sulfona. Todos estos plaguicidas fueron observados únicamente durante un muestreo (compuestos raros, **Tabla 29**).

Tabla 29. Categorización de los plaguicidas detectados en bivalvos analizados en función de su concentración ($\mu\text{g}/\text{kg}$) en toda la cuenca del río San Salvador durante el período mayo 2022 - febrero 2023.

Plaguicida	Concentración($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
	Mediana	Máxima	Mínima
1 Difenoconazol	98,5	112,0	32,0
2 Metolacloro	36,0	87,0	6,0
3 Clorpirifos	31,0	122,0	11,0
4 Bifentrina	20,0	244,0	1,0
5 Fludioxonil	20,0	21,0	15,0
6 Acetochlor	15,0	20,0	9,0
7 Metil paration	12,0	12,0	12,0
8 Simazina	11,5	28,0	6,0
9 Piraclostrobina	11,0	14,0	6,0
10 Ciproconazol	6,5	8,0	5,0
11 Metribuzin	5,0	76,0	5,0
12 Fipronil	1,0	1,0	1,0
13 Fipronil sulfona	1,0	1,0	1,0

ii.3.g Modelo lineal generalizado: análisis de variables como determinantes de la presencia y concentración de plaguicidas

Para analizar las relaciones entre el largo estándar de los individuos y la ocurrencia de plaguicidas en músculo se aplicaron dos modelos, uno utilizando la presencia/ausencia de plaguicidas y un segundo con valores de concentración.

Para el primer caso el modelo lineal generalizado evidenció una relación negativa significativa ($p=0.0001$; $R^2=0.12$), mientras que, en el segundo, dicha relación también fue significativa pero positiva ($p=0.0001$; $R^2=0.15$) (**Fig. 38**).

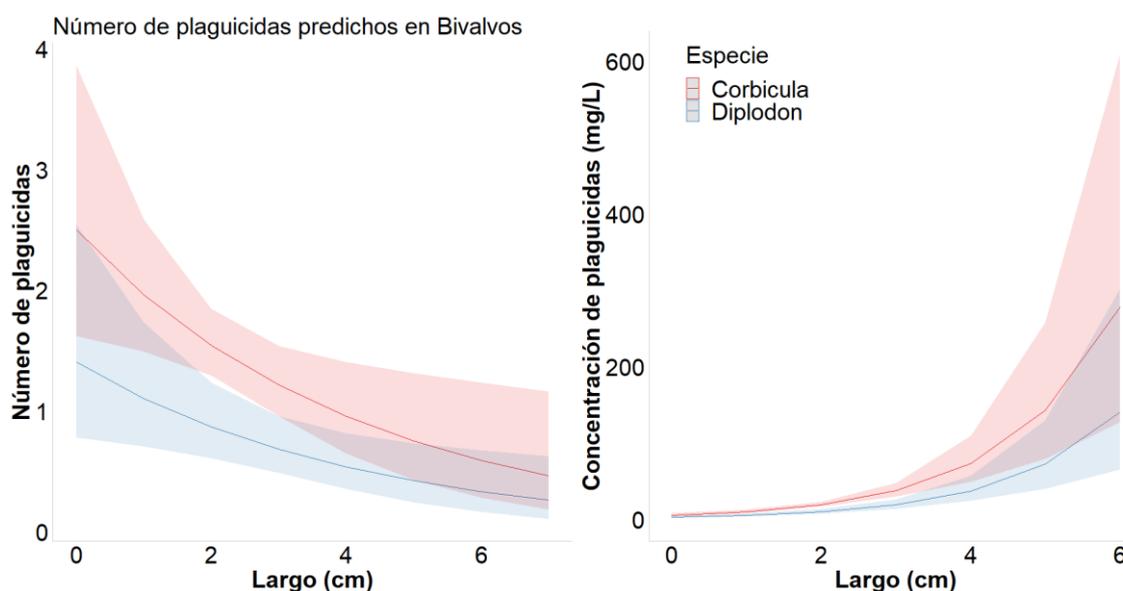


Figura 38. Relación entre ocurrencia de plaguicidas en músculo de bivalvos y el largo estándar de los individuos basados en el modelo lineal generalizado ajustado para el número (A) y la concentración (B) de plaguicidas. La zona roja (para *Corbicula fluminea*) y azul (para *Diplodon*) corresponde al intervalo de confianza.

Estos resultados sugieren que los individuos más chicos acumulan más cantidad de plaguicidas, mientras que los más grandes presentan mayores concentraciones. En este sentido, durante este estudio se colectaron individuos en el rango de 0,54-5,22 cm. Los ejemplares de hasta 2 cm presentaron 12 compuestos diferentes, con una concentración media en músculo de 26 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Por otro lado, en individuos mayores a 4 cm se lograron detectar solamente 2 compuestos (difenoconazole y metolacoloro) y la concentración media fue de 52,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (**Anexo 11**). Ambos plaguicidas presentan un valor de k_{ow} igual a 4,3 y 3,4 respectivamente, por lo que tienen potencial de bioacumularse en los tejidos biológicos (Pérez-Parada et al., 2018). En este sentido, la relación positiva encontrada entre concentración y largo de los individuos podría estar evidenciando este proceso en los individuos más grandes en el sistema.

ii.4 Plaguicidas en Colmenas: resultados y discusión

Los muestreos de polinizadores para análisis de plaguicidas se llevaron a cabo en varias jornadas de campo (20 al 24 de mayo; 23 de agosto y 6 de diciembre de 2022 y el 24 de febrero de 2023) en 5 apiarios de la cuenca.

ii.4.a Plaguicidas en Miel

ii.4.a.1 Frecuencia de ocurrencia de plaguicidas en miel

En esta matriz se detectaron plaguicidas únicamente en los muestreos de **mayo** y **agosto**. **Mayo**, con 3 compuestos fue el mes de mayor ocurrencia, encontrándose 2 fungicidas (azoxistrobina y carbendazim) y 1 insecticida (tiametoxam). Sus presencias se restringieron a los apiarios ubicados en zona baja (1) y media (2 y 3) (**Fig. 39**).

La ocurrencia de tiametoxam (en apiario 3) es particularmente preocupante, ya que este compuesto tiene un potencial muy alto de toxicidad en abejas (PPDB, 2023). En base a esto, su venta está restringida a la presentación de Receta Profesional del MGAP y actualmente presenta un criterio de monitoreo en la cuenca de nivel 3. Este plaguicida presentó la mayor concentración media de plaguicidas con 7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (**Anexo 12**). Si bien este valor es inferior al LMR (límite máximo de residuos) en miel, que es de 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$, la exposición de los individuos a este neonicotinoide podría representar un gran riesgo para la salud de las abejas, incluso a dosis bajas (Jaramillo-Zárte et al., 2023). En este sentido, debido a sus características su uso no se encuentra aprobado a nivel EU. En Uruguay se encuentra registrado para cultivos de verano, particularmente soja, maíz y sorgo; y su aplicación ocurre principalmente durante el período **enero – marzo**. El carbendazim presentó una concentración máxima de 0,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$, seguido por la azoxistrobina con 0,1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (apiario 5) (**Anexo 12**).

Por su parte, en **agosto** se detectó la ocurrencia de 2 fungicidas, ambos ausentes en **mayo**, y ambos pertenecientes a la familia de las estrobirulinas (piraclostrobina y trifloxistrobina). Estos plaguicidas son de criterio 3 de importancia para monitoreo ambiental y están asociados tanto a cultivos de verano, como a cultivos de invierno (colza y trigo). Al igual que lo observado en **mayo**, se observa la ocurrencia de plaguicidas en apiarios de la cuenca media. Sin embargo, mientras que en **mayo** no había registros en cuenca alta, en **agosto** ocurre lo contrario, no hay registros en cuenca baja. La Piraclostrobina se detectó en el apiario 4 y la trifloxistrobina en la cuenca media y alta (apiarios 3 y 5 respectivamente), con una mayor concentración en este último.

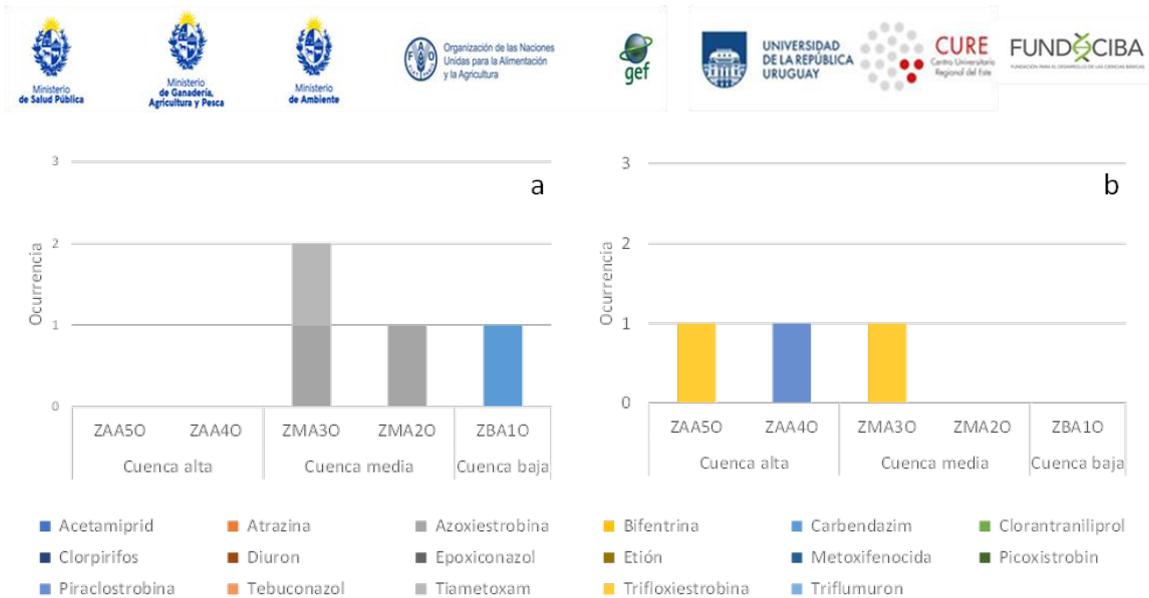


Figura 39. Plaguicidas totales encontrados en miel por apiario en la cuenca del río San Salvador. a) mayo 2022; b) agosto 2022. No están representadas las figuras de diciembre 2022 y febrero 2023 debido a la no detección de plaguicidas en esta matriz.

Ambos plaguicidas detectados presentaron mayores concentraciones que lo observado en **mayo**. El fungicida piraclostrobina, con ocurrencia solo en apiario 4, presentó los mayores valores con 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$, seguido por la trifloxistrobina con concentración máxima de 9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y una media de 8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ entre los apiarios 3 y 5. Como se mencionó más arriba, ambos compuestos se utilizan durante este mes en la cuenca, por lo que aplicaciones recientes podrían estar explicando estos valores.

Si consideramos ambos meses analizados, la presencia de fungicidas pertenecientes a la familia de las estrobirulinas representa el grupo químico más abundante en miel. Este grupo es frecuentemente detectado en esta matriz (Jaramillo-Zárate et al., 2023) y si bien su toxicidad directa es baja en abejas, se ha reportado que tiene importantes consecuencias en la nutrición y en la prevalencia de enfermedades en estos organismos (Zhang et al., 2020; Rondeau & Raine, 2022). Sin embargo, debido a que la frecuencia de ocurrencia de todos los plaguicidas detectados en miel a lo largo del estudio fue menor al 25%, estos se categorizan como compuestos raros para esta matriz (**Tabla 30**).

Tabla 30. Frecuencia de ocurrencia (FOC %) de plaguicidas en miel en función de los 5 sitios analizados por mes en la cuenca del río San Salvador. Uso: H: herbicida; I: insecticida; F: fungicida; P.d: Producto de degradación. Oc: Ocurrencia de los plaguicidas en base a su detección en los cuatro muestreos analizados (D) Dominante (presente en los cuatro meses); (F) Frecuente (tres meses); (O) Ocasional (dos meses); (R) Raro (un mes).

	USO	OC	Mayo	Agosto	Diciembre	Febrero
Azoxiestrombina	F	R	40			
carbendazim	F	R	40			
Tiamotexan	I	R	20			
Piraclostrobina	F	R		20		
Trifloxiestrobina	F	R		40		

Los cuatro fungicidas detectados son usados tanto en cultivos de verano (principalmente soja y maíz) como de invierno (trigo y colza). Los resultados obtenidos se relacionan con este calendario, para el caso de azoxistrobina y carbendazim encontrados en **mayo**, su aplicación se da entre abril y junio (sin uso en invierno). Por otro lado, piraclostrobina y trifloxistrobina hallados únicamente en **agosto**, su aplicación ocurre entre **junio** y **noviembre**.

Si bien en miel no se observan plaguicidas durante las épocas de primavera-verano, cuando azoxistrobina, trifloxistrobina y piraclostrobina son aplicados, como se verá más adelante si ocurren en las otras matrices. Esto podría estar relacionado con una mayor transferencia de estos compuestos hacia matrices más hidrofóbicas, particularmente la cera (Calatayud-Vernich et al., 2018).

ii.4.a.2 Análisis de similitud de los sitios según la ocurrencia de plaguicidas

En **mayo**, el análisis de similitud en función de la ocurrencia de plaguicidas en la miel de los distintos apiarios de la cuenca evidenció una agrupación espacial entre los apiarios 2 y 3 pertenecientes a la zona media (**Fig. 40**). Por su parte, en **agosto** se observa una mayor similitud entre los apiarios 3 y 5 de la cuenca media y alta respectivamente (posiblemente asociado a la presencia de trifloxistrobina en ambos sitios).

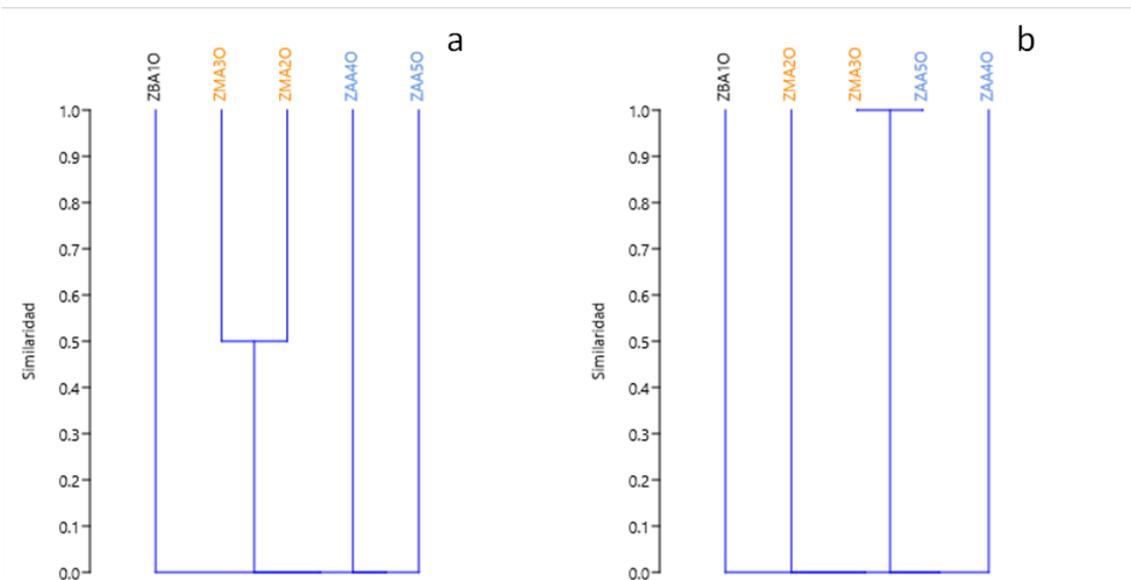


Figura 40. Diagrama de clasificación para apiarios de la cuenca en función de la ocurrencia de plaguicidas en miel en a) mayo y b) agosto de 2022. Algoritmo UPGMA y el índice de similaridad de Jaccard. Celeste: Cuenca alta; Naranja: cuenca media; Negro: Cuenca baja

ii.4.b Plaguicidas en cera

ii.4.b.1 Frecuencia de ocurrencia de plaguicidas en cera

De todas las matrices analizadas, las muestras de cera presentaron la mayor cantidad y diversidad de plaguicidas. Esto estaría relacionado a la naturaleza hidrofóbica de la mayoría de estos compuestos, que los hacen fácilmente transferibles a la cera mediante las interacciones de las abejas melíferas con esta (Harriet et al., 2017; Calatayud-Vernich et al., 2018). En este sentido, aunque los niveles de plaguicidas en la miel sean bajos, éstos tienden a contaminar la cera por su naturaleza lipofílica (Murcia-Morales et al., 2022).

Por otro lado, la estabilidad de estos compuestos en el tiempo determina que la cera represente un indicador histórico del uso de plaguicidas en la cuenca (Niell et al., 2015). Sin embargo, esta ventana temporal puede variar en función del manejo de la colmena, como las tasas de reemplazo y del reciclaje de cera.

La mayor ocurrencia de plaguicidas se observó en **diciembre** (11), mientras que en **febrero** se detectaron solamente dos, un insecticida y un fungicida (**Fig. 41**). Salvo para el compuesto picoxistrobin (criterio 1) y trifloxistrobina (criterio 2) todos los plaguicidas presentan criterio de monitoreo máximo (3).

En general, durante los dos primeros muestreos la presencia de plaguicidas fue similar, con los fungicidas azoxistrobina, carbendazim y tebuconazole ocurriendo en ambos

meses. Como se mencionó más arriba, estos compuestos se encuentran asociados a cultivos de verano en la cuenca.

En este sentido, debido a su presencia en más del 75% de los meses analizados, azoxistrobina, carbendazim, clorpirifos, piraclostrobina y trifloxistrobina representan plaguicidas frecuentes en matriz cera (**Tabla 31**). Por su parte, diuron y tebuconazole son compuestos ocasionales (Frecuencia de detección entre el 75% y el 50% de los meses analizados).

En **mayo** los 2 fungicidas presentes en miel (azoxistrobina y carbendazim) también estuvieron presentes en cera (**Fig. 41**). No se encontraron residuos del insecticida tiametoxam, posiblemente asociado a su bajo valor de Log kow (-0,13) que lo hace poco lipofílico. Si bien en Uruguay este compuesto ha sido detectado en cera por Harriet et al., (2017) y Niell et al., (2017); estos últimos encontraron una relación lineal inversa entre la transferencia de neonicotinoides desde los cultivos hacia la cera y su valor de Kow, lo que también podría explicar su ausencia en esta matriz. Los insecticidas clorpirifos y diuron, y los fungicidas piraclostrobina y tebuconazol son los restantes plaguicidas presentes en cera durante este mes.

Con respecto a las concentraciones, el insecticida clorpirifos presentó el valor más alto (38 µg/kg), seguida por tebuconazol (17 µg/kg) y azoxistrobina (14 µg/kg). Por apiarios, la mayor concentración detectada para un compuesto se observó en el apiario 1 (**Anexo 12**).

En **agosto**, los dos fungicidas encontrados en miel también fueron encontrados en cera. En diciembre se detectó la aparición de cinco nuevos plaguicidas, en su mayoría insecticidas (**Tabla 31**) y restringidos únicamente a este mes (compuestos raros). Todos ellos además se encuentran asociados a cultivos de verano, y salvo para picoxistrobin todos tienen sus épocas de aplicación a partir de **diciembre** y hasta **febrero**.

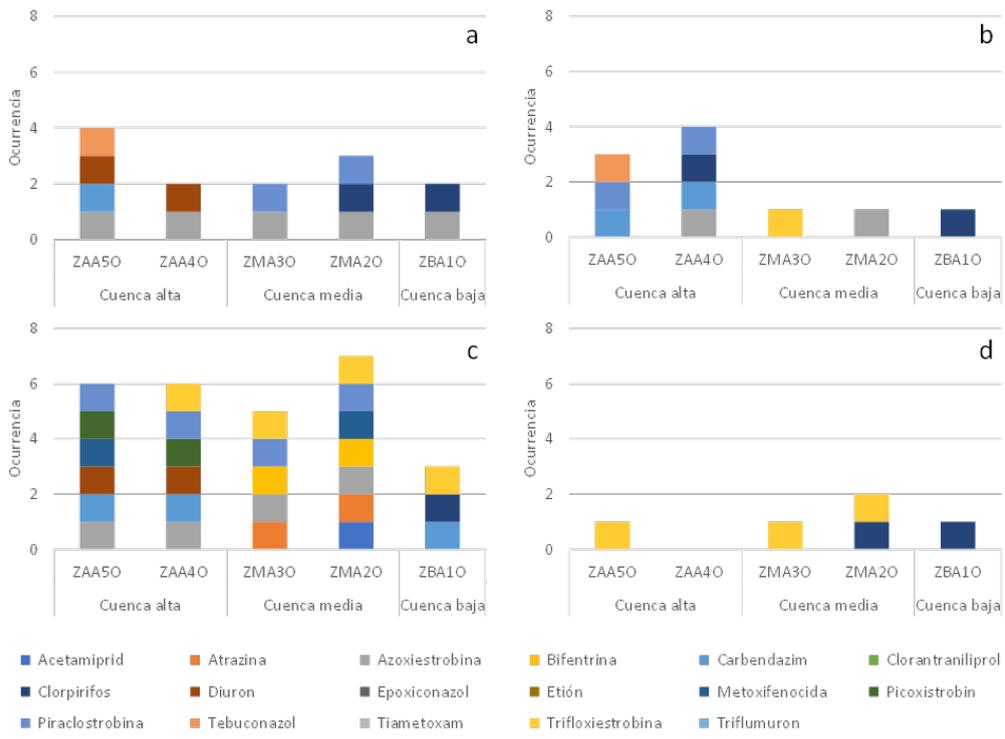


Figura 41. Plaguicidas totales encontrados en cera por apiario en la cuenca del río San Salvador. a) mayo 2022; b) agosto 2022; c) diciembre 2022; d) febrero 2023.

Tabla 31. Frecuencia de ocurrencia (FOC %) de plaguicidas en cera en función de los 5 sitios analizados por mes en la cuenca del río San Salvador. Uso: H: herbicida; I: insecticida; F: fungicida; P.d: Producto de degradación. Oc: Ocurrencia de los plaguicidas en base a su detección en los cuatro muestreos analizados (D) Dominante (presente en los cuatro meses); (F) Frecuente (tres meses); (O) Ocasional (dos meses); (R) Raro (un mes).

	USO	OC	Mayo	Agosto	Diciembre	Febrero
Azoxiestrobin	F	F	100	40	80	
Carbendazim	F	F	20	40	60	
Clorpirifos	I	F	40		20	40
Diuron	H	O	40		40	
Piraclostrobina	F	F	40	40	80	
Tebuconazol	F	O	20	20		
Trifloxiestrobin	F	F		20	80	60
Acetamiprid	I	R			20	
Atrazina	H	R			40	
Bifentrina	I	R			40	
Metoxifenocida	I	R			40	
Picoxistrobin	F	R			40	

En **agosto**, trifloxiestrobin con 23 µg/kg, representó la mayor concentración detectada en cera (apiario 3), seguida de azoxiestrobin (15 µg/kg) y carbendazim (13 µg/kg) ambos

en apiario 4 (**Anexo 12**). Por su parte, en **diciembre** la concentración del organofosforado clorpirifos presentó los valores más altos registrados en cera para todas las campañas analizadas (90 $\mu\text{g}/\text{kg}$), seguido de los fungicidas picoxistrobin con 30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y piraclostrobina (22 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Además, si bien la concentración de acetamiprid fue de 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y ocurrió solamente en apiario 2. Harriet et al., (2017) reportan un efecto sinérgico entre fungicidas y neonicotinoides en cera, que incrementan la toxicidad de estos plaguicidas en las abejas representando un riesgo potencial para la colonia. Finalmente, en **febrero**, nuevamente clorpirifos fue el compuesto con mayor concentración (15 $\mu\text{g}/\text{kg}$), seguido de trifloxistrobina (10 $\mu\text{g}/\text{kg}$) (**Anexo 12**).

En función del riesgo potencial a las abejas, resulta preocupante la presencia de los insecticidas: clorpirifos con altas concentraciones en los apiarios 1 y 2 (cuenca baja) durante **mayo**, **diciembre** y **febrero**; el piretroide bifentrina y el neonicotinoide acetamiprid detectados en **diciembre** en cuenca media. Todos estos compuestos presentan alta toxicidad para las abejas (Sánchez-Bayo et al., 2016; Niell et al., 2017; Blettler et al., 2022).

ii.4.b.2 Análisis de similitud de los sitios según la ocurrencia de plaguicidas

En **mayo**, el análisis de similitud entre apiarios según los plaguicidas registrados en cera mostró una gran similaridad entre sitios ubicados en la cuenca alta (posiblemente asociado al compuesto diuron). Para los restantes, la presencia de clorpirifos en apiarios 2 y 3 determinan un mayor agrupamiento entre ellos, que con respecto al apiario 1 (**Fig. 42**).

En **agosto** se observa igualmente una separación entre sitios de cuenca alta, posiblemente asociado a la presencia de carbendazim y piraclostrobina en sitios 4 y 5.

En **diciembre**, los apiarios 4 y 5 mostraron una mayor similitud entre ellos, posiblemente asociado a la presencia de cinco plaguicidas en común (**Fig. 42 c**), mientras que los apiarios de cuenca media (2 y 3) formaron otro grupo asociado a la coocurrencia de cinco compuestos, de los cuales dos están presentes únicamente en ellos. El apiario de cuenca baja se encuentra separado del resto.

Por último, durante **febrero**, no se observa una agrupación espacial clara entre los apiarios. El herbicida diuron es usado en rotación agrícola ganadera, como cobertura y pastoreo, y su fecha de aplicación en la cuenca va de **marzo** a **mayo** y de **septiembre** a **noviembre**. Como se mencionó más arriba, las praderas y la actividad ganadera en la cuenca por lo general se desarrolla en la parte alta de la misma, aunque este resultado indicaría un uso en esta parte de la cuenca.

Salvo para **febrero**, los resultados demuestran que los sitios más próximos presentan las mayores similitudes en cuanto a la presencia de plaguicidas en cera. Durante este mes, la ocurrencia de trifloxistrobina en los sitios 3 y 5 determinan que estos alejados espacialmente se ordenen de manera similar en este análisis.

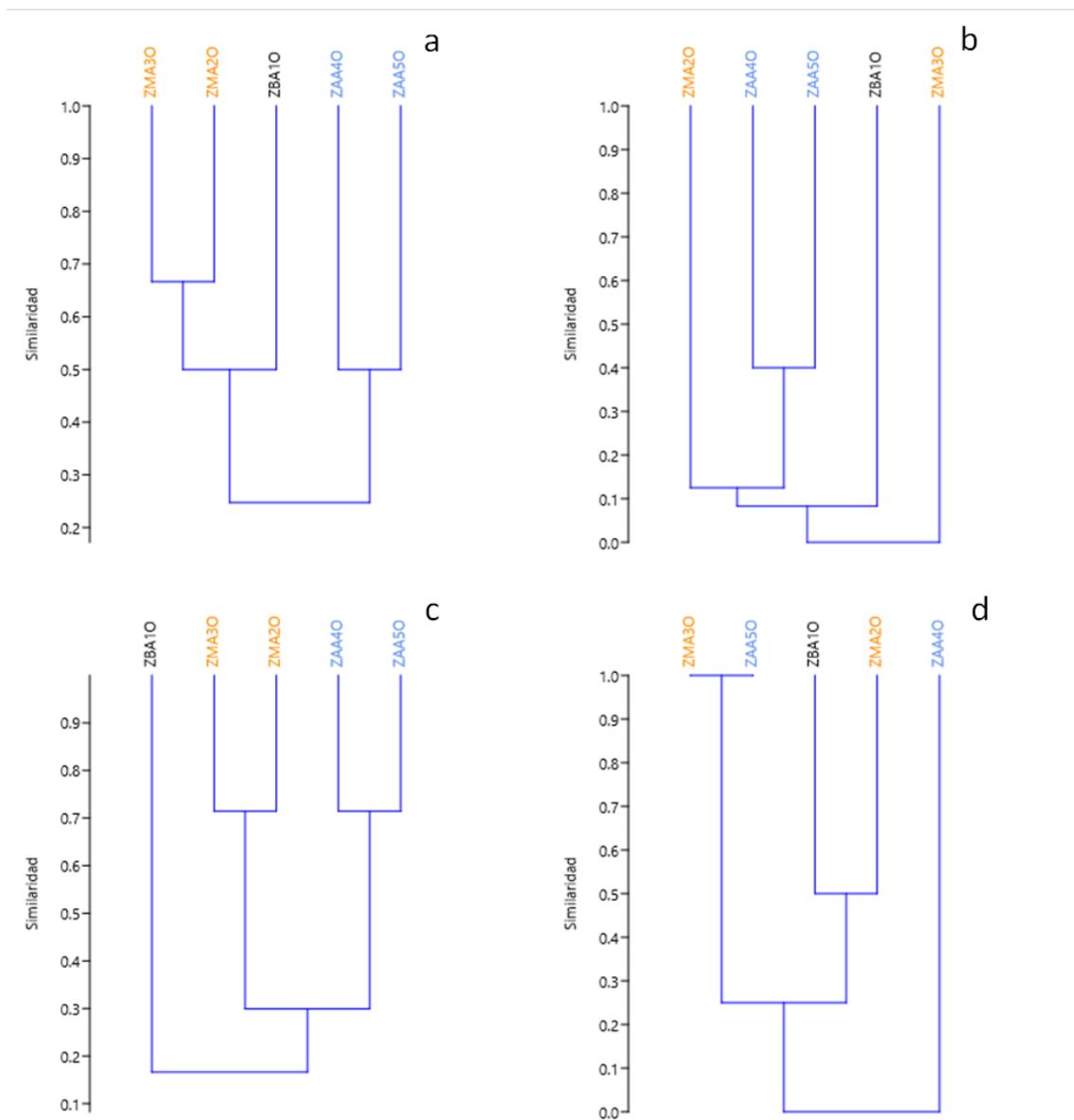


Figura 42. Diagrama de clasificación para apiarios de la cuenca en función de la ocurrencia de plaguicidas en cera en mayo (a), agosto (b) y diciembre de 2022 (c) y febrero de 2023 (d). Algoritmo UPGMA y el índice de similitud de Jaccard. Celeste: Cuenca alta; Naranja: cuenca media; Negro: Cuenca baja.

ii.4.c Plaguicidas en Abejas

ii.4.c.1 Frecuencia de ocurrencia de plaguicidas en abejas

Las abejas presentan características biológicas y ecológicas que las convierten en excelentes bioindicadores de calidad ambiental (Niell et al., 2017; Cunningham et al., 2022) y la ocurrencia de plaguicidas en esta matriz es indicativo de los compuestos que se están aplicando al momento de obtener las muestras (Niell et al., 2015).

Durante el mes de **mayo** se detectó solamente el herbicida diuron, presente en apiarios de la cuenca media (3) y alta (5) (**Fig. 43**). Su aparición en esta matriz estaría indicando un uso reciente de este compuesto. La mayor concentración se observó en el apiario 3 (3,5 µg/kg) (**Anexo 12**). Esta concentración es sustancialmente más baja a la toxicidad reportada para abejas (IUPAC) que registra valores de 101,7 µg/abeja vía contacto oral y 86,7 µg/abeja via oral (PPDB, 2023).

En **agosto** se observaron 4 plaguicidas: 2 insecticidas y 2 fungicidas (**Tabla 32**). La ocurrencia de ambos insecticidas se observó únicamente en el apiario 1 (cuenca baja), y los fungicidas en cuenca alta (apiario 4 y 5). El único compuesto que se detectó en más de una muestra fue piraclostrobina (**Fig. 43**), el cual también ocurre en miel y cera. Las mayores concentraciones fueron para los fungicidas piraclostrobina (24 µg/kg) y epoxiconazole (23 µg/kg). Ambos valores están por debajo de los niveles de toxicidad reportada, que son de 100 µg/abeja por contacto para ambos compuestos y de 83 µg/abeja y 100 µg/abeja por vía oral para el epoxiconazole y la piraclostrobina respectivamente.

Como se mencionó, el mayor riesgo toxicológico lo representan los insecticidas. Clorpirifos y etión presentaron concentraciones de 6 µg/kg y 10 µg/kg en apiario 1 respectivamente, mientras que en apiario 4 se logró detectar una concentración de bifentrin de 12 µg/kg (**Anexo 12**). La caracterización de los posibles riesgos asociados a estos plaguicidas en abejas se presenta en la sección Riesgo Ecotoxicológico.

Por su parte en **diciembre** y **febrero** se detectaron solamente un plaguicida por mes, correspondientes al fungicida trifloxistrobina en cuenca media y el insecticida bifentrina en cuenca alta respectivamente. Ambos compuestos están asociados a cultivos de verano.

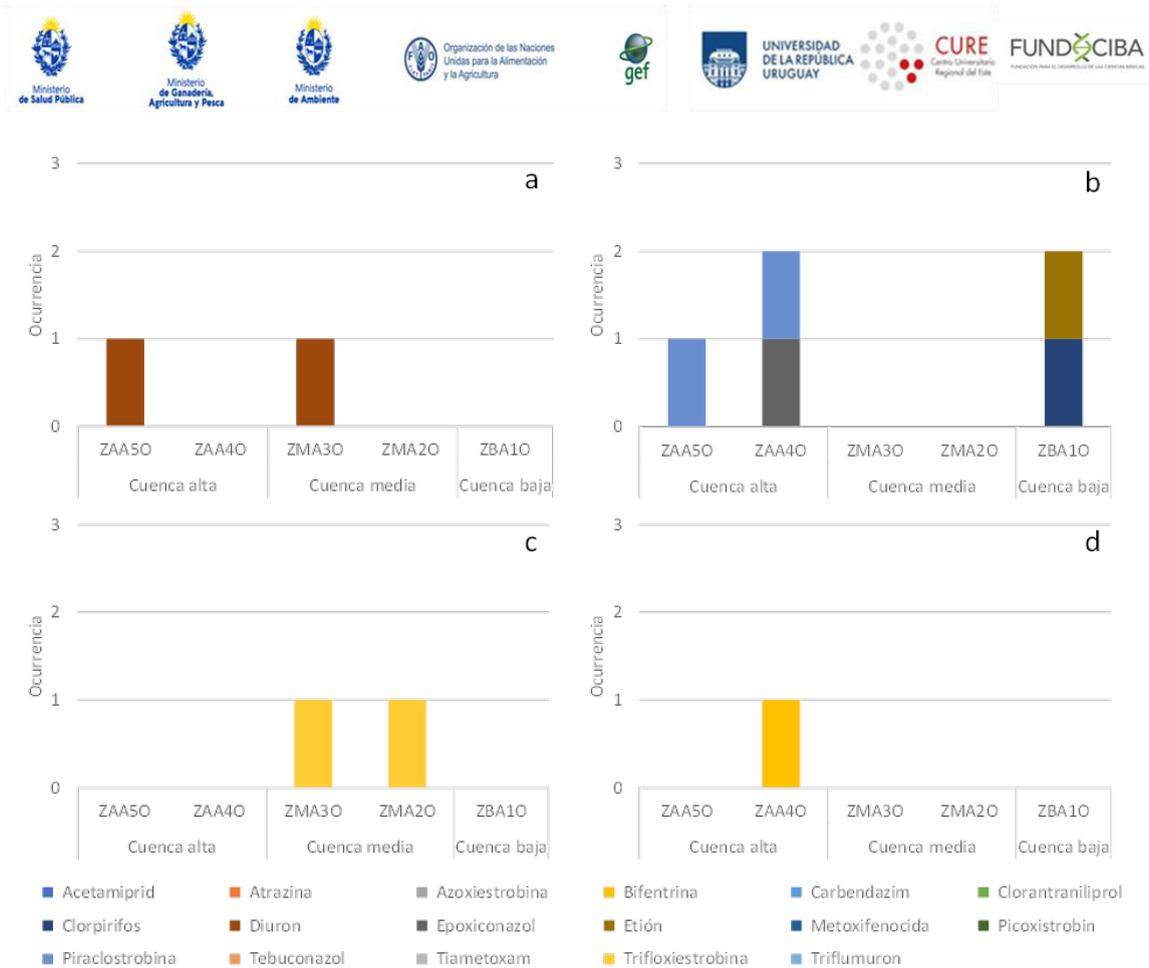


Figura 43. Plaguicidas totales encontrados en abejas por apiario en la cuenca del río San Salvador. a) mayo 2022; b) agosto 2022; c) diciembre 2022; d) febrero 2023.

Salvo bifentrina, el cual se detectó en **diciembre** y **febrero**, todos los demás plaguicidas ocurrieron únicamente durante un muestreo por lo que se categorizan como compuestos raros para esta matriz (**Tabla 32**).

Sin embargo, la presencia de insecticidas organofosforados y piretroides (los cuales también se encontraron en cera) resultan preocupantes, debido a sus efectos potenciales en las abejas (Tome et al., 2020; Blettler et al., 2022). De estos plaguicidas únicamente el etión presenta uso no agrícola (hormiguicida y garrapaticida). Esto último podría estar relacionado a la actividad ganadera en la región, aunque evaluaciones previas determinan que es la cuenca alta la que se caracteriza por una mayor actividad vinculada a la ganadería.

Tabla 32. Frecuencia de ocurrencia (FOC %) de plaguicidas en abeja en función de los 5 sitios analizados por mes en la cuenca del río San Salvador. Uso: H: herbicida; I: insecticida; F: fungicida; P.d: Producto de degradación. Oc: Ocurrencia de los plaguicidas en base a su detección en los cuatro muestreos analizados (D) Dominante (presente en los cuatro meses); (F) Frecuente (tres meses); (O) Ocasional (dos meses); (R) Raro (un mes).

	USO	OC	Mayo	Agosto	Diciembre	Febrero
Diuron	H	R	40			
Clorpirifos	I	R		20		
Etion	I	R		20		
Epoconazol	F	R		20		
Piraclostrobina	F	R		40		
Trifloxiestrobina	F	R			40	
Bifentrina	I	O			60	20

ii.4.c.2 Análisis de similitud de los sitios según la ocurrencia de plaguicidas

Debido a la presencia de un solo compuesto en **mayo**, el análisis de similitud según los plaguicidas registrados en abejas mostró un agrupamiento entre los 2 sitios en los que se detectó diuron (apiarios 3 y 5). Los restantes sitios caracterizados por la ausencia de plaguicidas, formaron un grupo separado (**Fig. 44**).

Por su parte, en **agosto** los sitios 4 y 5 en cuenca alta, presentaron mayor similitud entre ellos, posiblemente asociado a la ocurrencia de la piraclostrobina en estos apiarios. En **diciembre**, al igual que lo observado en **mayo**, la presencia del único compuesto detectado (trifloxiestrobina) en apiarios de cuenca media, determinó una mayor similitud entre estos sitios. La escasa ocurrencia de plaguicidas en abejas, determinan que los agrupamientos están más determinados por la ausencia de compuestos en vez de la coocurrencia de estos entre los diferentes puntos de la cuenca.

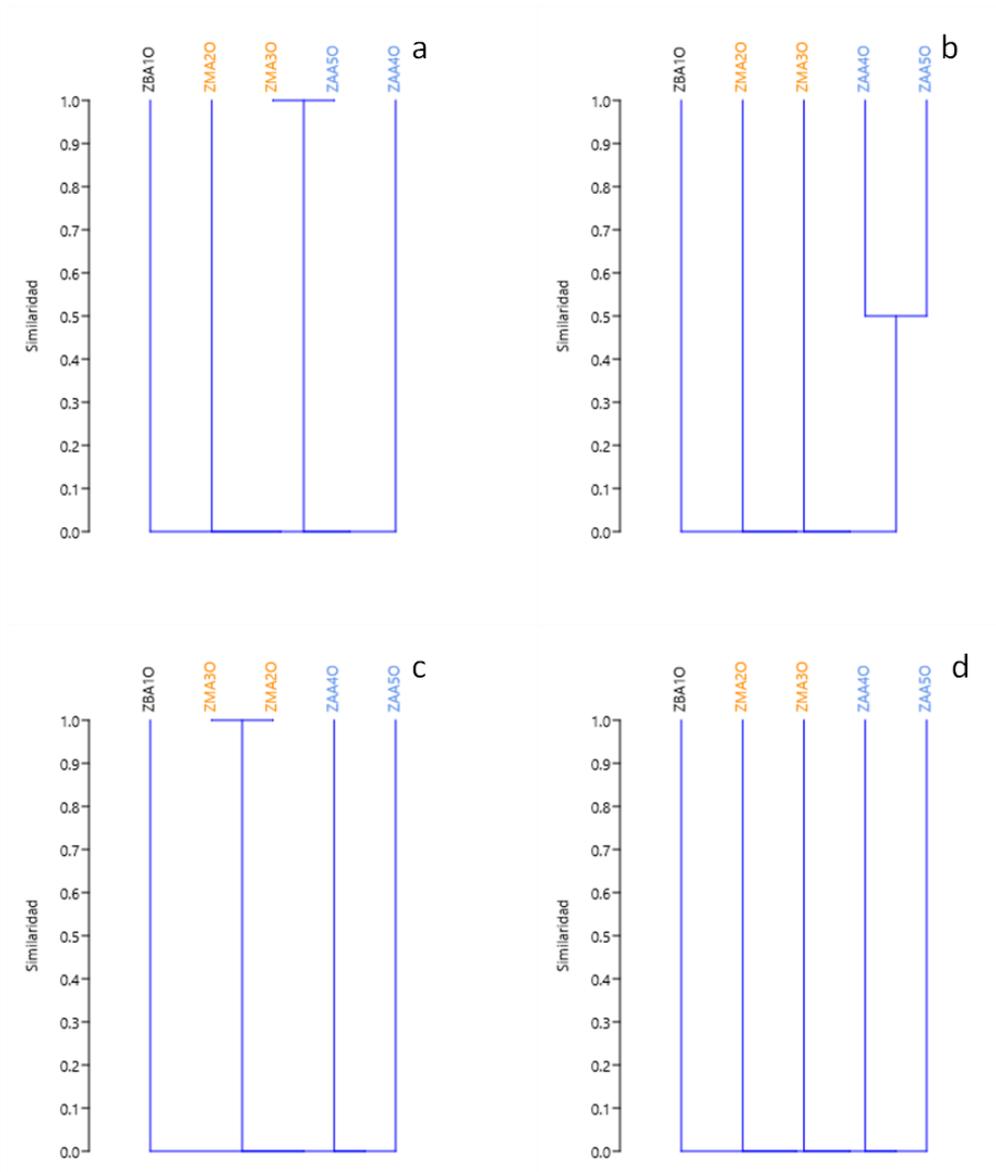


Figura 44. Diagrama de clasificación para apiarios de la cuenca en función de la ocurrencia de plaguicidas en abejas en mayo (a), agosto (b) y diciembre de 2022 (c) y febrero de 2023 (d). Algoritmo UPGMA y el índice de similitud de Jaccard. Celeste: Cuenca alta; Naranja: cuenca media; Negro: Cuenca baja

ii.4.d Plaguicidas en polen

ii.4.d.1 Frecuencia de ocurrencia de plaguicidas en polen

La matriz polen, al igual que las abejas, representan los usos de la cuenca en el momento del muestreo (Niell et al., 2015; Calatayud-Vernich et al., 2018). Sin embargo, la ventana temporal es muy corta, en el orden de 20 días. Esto se pone de manifiesto cuando se compara la cantidad y diversidad de plaguicidas encontrados en polen con respecto a la matriz cera (de mayor temporalidad) sobre todo en el mes de **diciembre**. En nuestro país el paquete tecnológico asociado a los cultivos de verano, particularmente la soja,

comienzan a ser utilizados intensamente a partir de **noviembre** (Céspedes-Payret et al., 2009; Rizzo et al., 2021; Rodríguez-Bolaña et al., 2023). Durante **diciembre**, si bien se continúa con la aplicación de plaguicidas como medidas de prevención de plagas y en casos de siembra tardía, su utilización es sustancialmente menor. Esto podría determinar que al contrario que lo observado en cera, durante **diciembre** se encuentra la menor ocurrencia de compuestos en polen, con solamente tres plaguicidas en tres ocasiones (igual que en **mayo**, mes de cosecha de cultivos estivales) (**Fig. 45**)

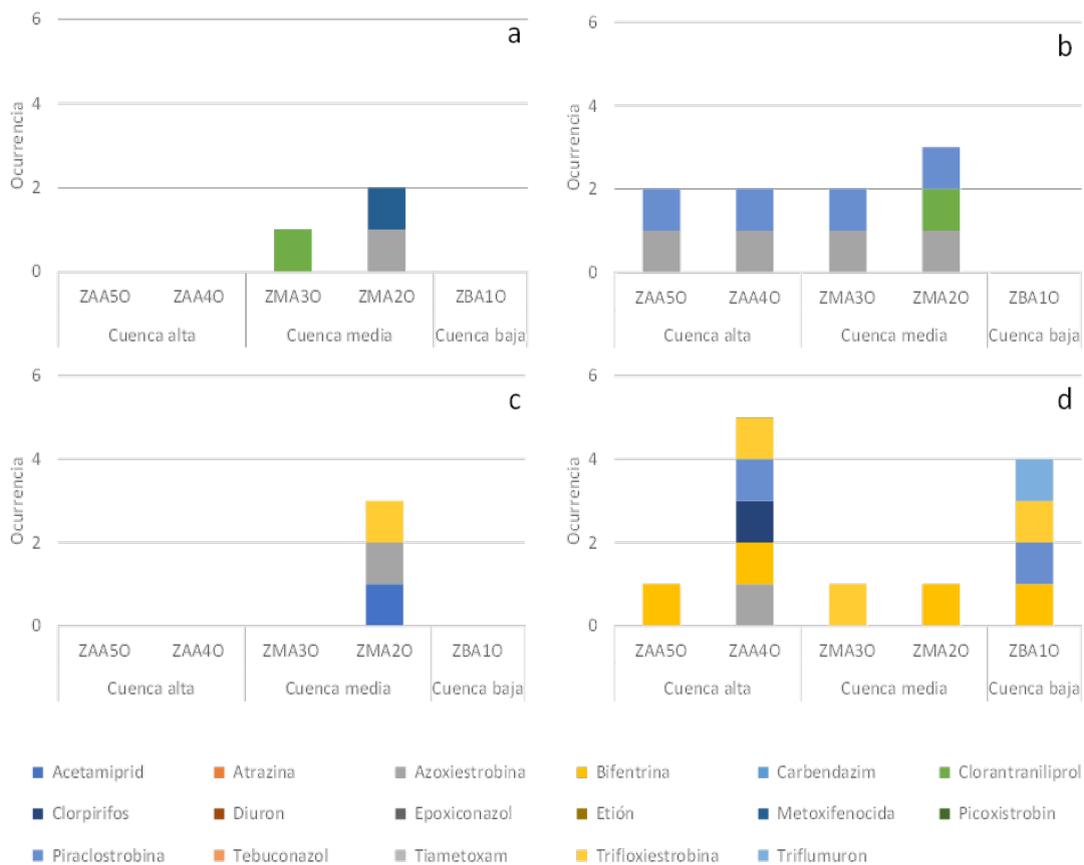


Figura 45. Plaguicidas totales encontrados en polen por apiario en la cuenca del río San Salvador. a) mayo 2022; b) agosto 2022; c) diciembre 2022; d) febrero 2023.

Por otro lado, el máximo de ocurrencia en **febrero** podría estar relacionado con un período de intensa aplicación durante esta etapa (Rodríguez-Bolaña et al., 2023), y es solamente en este mes que se observa mayor cantidad de plaguicidas en polen que en cera.

Con respecto a las concentraciones, en **mayo** los mayores valores se corresponden a los insecticidas clorantraniliprol y metoxifenocida con 7 $\mu\text{g}/\text{kg}$. En **agosto**, se encontraron concentraciones muy altas de azoxiestrobina (de hasta 110 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en apiario 3), y

piraclostrobina (58 µg/kg apiario 5) (**Anexo 12**). Estos altos valores podrían estar indicando una aplicación reciente de estos compuestos.

En **diciembre** nuevamente la azoxistrobina es el plaguicida con mayor concentración junto al neonicotinoide acetamiprid, ambos con 13 µg/kg. En **febrero**, las mayores concentraciones se dan en el apiario 4 y los insecticidas bifentrina y clorpirifos son los que presentan los valores más altos (28 µg/kg y 23 µg/kg respectivamente) (**Anexo 12**).

En polen, azoxiestrobina se detectó en todos los muestreos, por lo que representa un compuesto dominante en esta matriz (**Tabla 33**). Este resultado, junto a lo observado en las demás matrices, pone de manifiesto su uso extendido en la cuenca. En este sentido, Harriet et al., (2017) reportan la alta ocurrencia de este plaguicida en colonias de Uruguay y alertan sobre posibles implicancias en el estado de salud de las colmenas.

En **agosto**, se encontró nuevamente otra estrobirulina, la piraclostrobina, presente en todas las zonas de la cuenca (excepto en la zona baja) y cuya presencia también fue detectada en todas las demás matrices analizadas en este mes. Este compuesto, junto a trifloxistrobina y clorantraniliprol presentaron una frecuencia ocasional en la cuenca.

En **diciembre** los plaguicidas se encontraron únicamente en el apiario 2, mientras que en febrero la mayoría de los plaguicidas se detectaron en los apiarios 1 y 4. Durante este mes es cuando también se encontró dos insecticidas de gran riesgo potencial para las colmenas (clorpirifos y bifentrina).

Tabla 33. Frecuencia de ocurrencia (FOC %) de plaguicidas en polen en función de los 5 sitios analizados por mes en la cuenca del río San Salvador. Uso: H: herbicida; I: insecticida; F: fungicida; P.d: Producto de degradación. Oc: Ocurrencia de los plaguicidas en base a su detección en los cuatro muestreos analizados (D) Dominante (presente en los cuatro meses); (F) Frecuente (tres meses); (O) Ocasional (dos meses); (R) Raro (un mes).

	Uso	Oc	Mayo	Agosto	Diciembre	Febrero
Azoxiestrobina	F	D	20	80	20	20
Clorantraniliprol	I	F	20	20		
Metoxifenocida	I	R	20			
Piraclostrobina	F	F		80		40
Acetamiprid	I	R			20	
Trifloxiestrobina	F	F			20	60
Bifentrina	I	R				80
Clorpirifos	I	R				20
Triflumuron	F	R				20

ii.4.d.2 Análisis de similitud de los sitios según la ocurrencia de plaguicidas

El análisis de similitud en función de la ocurrencia de plaguicidas en el polen de los distintos apiarios de la cuenca para los meses de **diciembre** y **mayo** se observó un único agrupamiento entre los sitios sin distinguir entre las diferentes regiones de la cuenca (**Fig. 46**).

En **agosto** se observa un agrupamiento entre los 2 apiarios de la cuenca alta y el apiario 3, hecho asociado a la presencia de azoxistrobina y piraclostrobina en todos estos sitios. Se observa además una similitud de este grupo con en el apiario 2, en el cual además de estos dos compuestos ocurre el clorantraniliprol. Todos estos están separados del apiario 1, en el cual no se encontraron plaguicidas, por lo que dichos plaguicidas se estarían utilizando en cuenca alta y media.

En **febrero**, los apiarios 1 y 4 presentaron mayor similitud dada la ocurrencia de piraclostrobina, trifloxistrobina y bifentrina en ambos, por su parte en sitios 2 y 5 ocurre bifentrina. Esto indicaría que dicho insecticida es utilizado a lo largo de toda la cuenca en esta época del año.

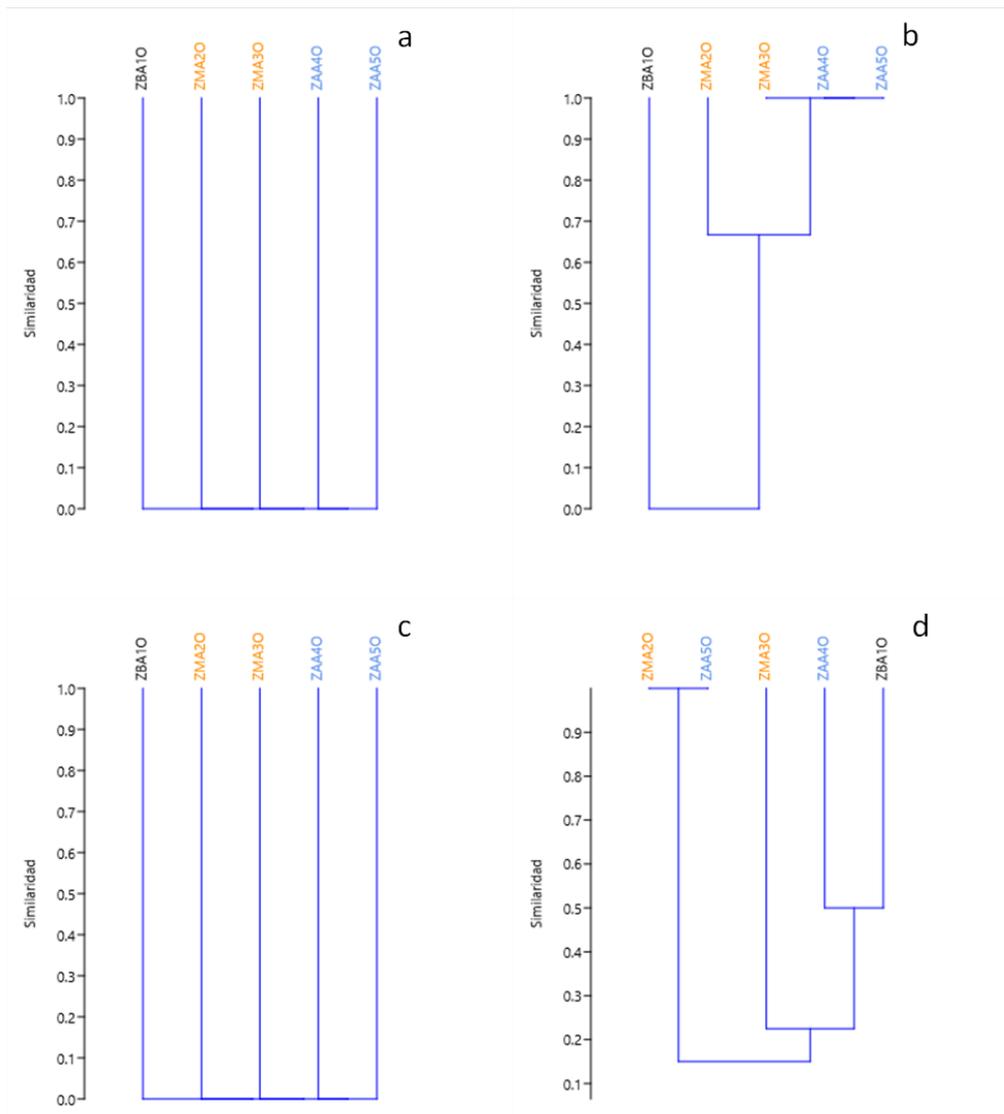


Figura 46. Diagrama de clasificación para apiarios de la cuenca en función de la ocurrencia de plaguicidas en polen en a) mayo b), agosto c) diciembre de 2022, y d) febrero de 2023. Algoritmo UPGMA y el índice de similaridad de Jaccard. Celeste: Cuenca alta; Naranja: cuenca media; Negro: Cuenca baja

ii.4.e Ocurrencia de plaguicidas en función del tipo de matriz en Colmenas

En cera se detectó la mayor cantidad de plaguicidas diferentes (12) (**Fig. 47**), posiblemente asociado a su naturaleza lipofílica que facilita una mayor retención de compuestos y a que su manejo implica una baja tasa de reemplazo (alrededor de dos años) lo que permite una mayor acumulación (Calatayud-Vernich et al., 2018; Murcia-Morales et al., 2022). Esta alta ocurrencia y temporalidad determinan que la inclusión de esta matriz resulte de gran importancia en estudios de monitoreo ambiental, y que además sea la mejor para evaluar los usos históricos de la cuenca (siempre que se asegure que los apiarios han permanecido en el mismo lugar y se utilice cera nueva).

El polen fue la segunda matriz con mayor ocurrencia de plaguicidas (9). Esta ha sido frecuentemente señalada como la ideal para determinar los usos actuales de plaguicidas en la cuenca al momento del muestreo (Smodiš Škerl et al., 2009; Niell et al., 2015). De esta manera, su análisis permite determinar contaminaciones agudas post-aplicación (Sánchez-Bayo et al., 2016). Sin embargo, el polen presenta una baja temporalidad, por lo que coordinar el momento de muestreo con el calendario de aplicación de plaguicidas en la cuenca resulta fundamental para una correcta evaluación. Este aspecto quedó de manifiesto durante el muestreo de **diciembre**, como fué detallado previamente.

La matriz abeja presentó relativamente menos plaguicidas (7) (**Fig. 47**). Si bien son consideradas muy buenos bioindicadores, el hecho de que sean indicativos de los compuestos que se aplican al momento de realizar los muestreos, hacen que sea indispensable obtener las muestras en el momento correcto para una correcta evaluación, al igual que lo observado en polen.

La matriz miel fue la de menor ocurrencia de plaguicidas con cinco, no observándose plaguicidas en la segunda parte de este estudio (**Fig. 47**). En este sentido, las características más hidrofóbicas de la cera la convierten en una mejor alternativa a la miel para el análisis de ocurrencia de plaguicidas (con la desventaja de que los compuestos muy polares tienen una alta probabilidad de no ser detectados).

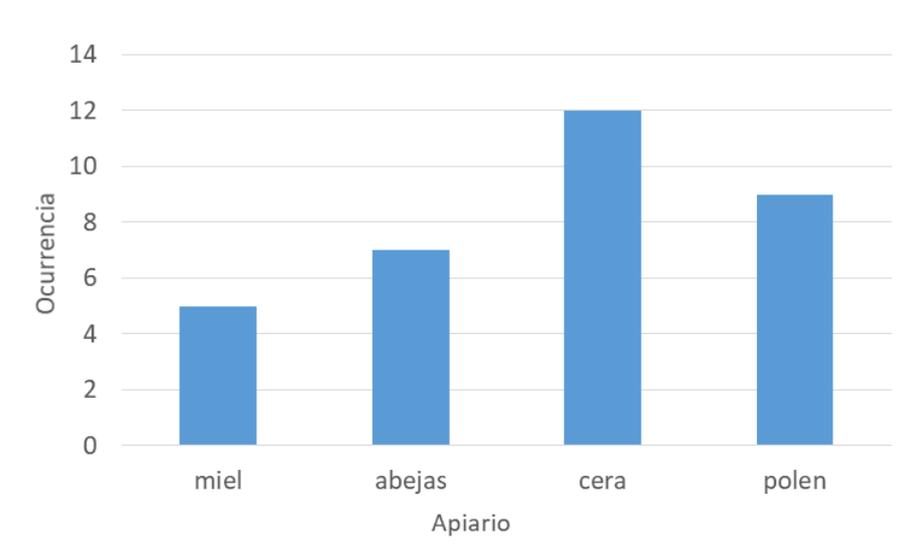


Figura 47. Ocurrencia de plaguicidas en las diferentes matrices analizadas en la cuenca del río San Salvador durante el período mayo 2022 – febrero 2023.

ii.4.f Ocurrencia de plaguicidas en función de los Apiarios

El apiario 2 presentó la mayor cantidad de plaguicidas (24); seguido de los sitios ubicados en cuenca alta (apiarios 4 y 5) y la menor cantidad se observó en el apiario 1 (cuenca baja) con 14 (**Fig. 48**).

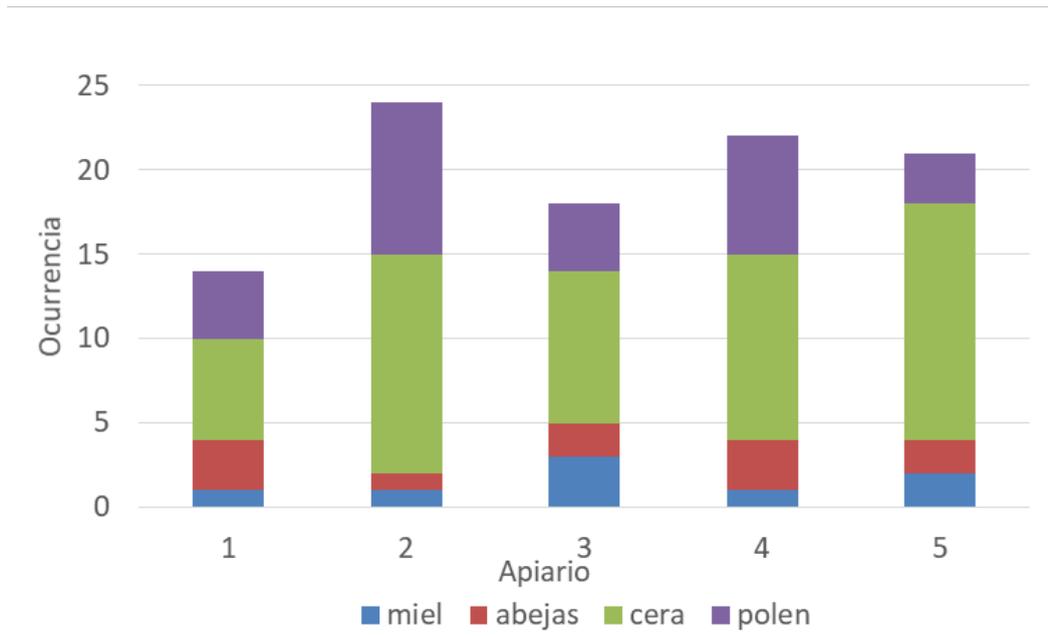


Figura 48. Ocurrencia de plaguicidas en los diferentes apiarios según la matriz analizada durante el período mayo 2022 – febrero 2023. Cuenca baja: apiario 1, cuenca media: apiario 2 y 3, cuenca alta apiarios 4 y 5.

En todos los casos la matriz cera es la que más aporta al total de plaguicidas detectados. Los resultados en la matriz cera evidencian que los sitios más próximos presentan una mayor similitud entre apiarios (**Fig. 42**). Esto determina que dicha matriz represente la mejor opción para analizar los usos de la cuenca.

ii.4.g Riesgo ecotoxicológico para Abejas

La toxicidad de cada plaguicida detectado en abejas, medidas en unidades tóxicas (UT) se presenta en la **Tabla 34**.

Los valores de dosis letal media (LD50) fueron obtenidos de Pesticides Properties Database, la cual incluye datos de agencias regulatorias de Estados Unidos y Europa (Lewis et al., 2016). En función de estos valores, clorpirifos y bifentrina presentan una alta toxicidad potencial para abejas ($LD50 \leq 2 \mu\text{g}/\text{abeja}$), mientras que para los restantes compuestos su riesgo toxicológico es bajo ($LD50 \geq 11 \mu\text{g}/\text{abeja}$). (USEPA, 2017; Farrugia et al., 2022).

Para el cálculo de UT los valores de LD50 ($\mu\text{g}/\text{bee}$) fueron convertidos en LC50 ($\mu\text{g}/\text{kg}$) asumiendo que una abeja obrera de la especie *Apis mellifera* pesa en promedio 0,1 g (Alonso-Prados et al., 2020).

En base a la concentración detectada en abejas, bifentrin representa el compuesto con mayor valor de UT con 0,075; seguido de clorpirifos (0,0102) y los fungicidas epoxiconazol y piraclostrobina con 0,000024.

La toxicidad de las mezclas de plaguicidas detectados en abejas generalmente se puede predecir satisfactoriamente mediante la suma de unidades tóxicas (Taenzler et al., 2023). Sin embargo, las abejas en un apiario se encuentran expuestas a múltiples plaguicidas en simultáneo mediante distintas vías como son oral y contacto a través de los compuestos detectados en miel, polen y cera.

Si se consideran únicamente las detecciones en abejas, el mayor riesgo potencial se observa en **mayo** en los apiarios 3 y 5, únicos en los que se detectó un plaguicida (diuron); y en **febrero** en apiario 4 (bifentrina) (**Tabla 34**). Por su parte, en **diciembre** se logró detectar la presencia de Trifloxistrobina, el cual co-ocurre en apiarios 4 y 5. El único apiario en el cual se observan 2 plaguicidas diferentes es en el 4 durante **agosto**, aunque la presencia de clorpirifos en el apiario 1, determina que sus toxicidades acumulativas sean menores. Esto es consecuencia de la baja toxicidad directa de fungicidas, aunque como se mencionó más arriba, estos tienen importantes consecuencias en la nutrición y en la prevalencia de enfermedades en abejas, así como un papel modulador en el efecto de piretroides y neonicotinoides (Alonso-Prados et al., 2020; Zhang et al., 2020; Rondeau & Raine, 2022).

Los resultados permiten determinar que los insecticidas representan los plaguicidas con mayor riesgo para las abejas en la cuenca.

Tabla 34. Toxicidad de plaguicidas detectados en abeja, medida en unidades tóxicas para los diferentes apiarios analizados en la cuenca del río San Salvador durante el período mayo 2022 – febrero 2023. ND: No hay datos.

Compuesto	Mayo					Agosto					Diciembre					Febrero				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Diuron			1,60E-06		2,90E-06															
Clorpirifos					0,01															
Etion					ND															
Epoxiconazol									2,30E-05											
Piraclostrobina									2,40E-05	5,00E-06										
Trifloxistrobina														1,00E-06	1,00E-06					
Bifentrina																				0,075
ΣUT x SITIO			3,60E-06		2,90E-06	0,01			4,70E-05	5,00E-06				1,00E-06	1,00E-06					0,075
UT MEDIA X	3,25E-06													1,00E-06					7,50E-02	

ii.4.h Priorización de plaguicidas por concentraciones y toxicidad

El análisis de las cuatro matrices permitió detectar 17 plaguicidas diferentes (ocho insecticidas; siete fungicidas y dos herbicidas). La gran mayoría corresponden a compuestos de criterio de monitoreo ambiental nivel 3 por parte de DINACEA. Las excepciones son etión, metoxifenocida y trifloxistrobina (criterio de monitoreo 2) y picoxistrobin (criterio 1).

Los criterios de monitoreo se basan entre otras cosas, en los volúmenes de importación. Para picoxistrobin los últimos datos de importación registrados en el MGAP son del año 2014 con 2000 kg. Si bien la matriz cera donde fué encontrado este compuesto es un indicador histórico del uso de plaguicidas en la cuenca (Niell et al., 2015) el manejo al que están sometidas las colmenas no permitiría registrar una temporalidad tan larga. Por lo tanto, se debería profundizar en el origen de este compuesto en la cuenca y a que paquete tecnológico se encuentra asociado.

Dada la gran variabilidad de plaguicidas detectados resulta imprescindible priorizar aquellos que por sus concentraciones o toxicidad representen las mayores amenazas para el ambiente, posibilitando así una gestión ambientalmente adecuada de los mismos.

En este sentido, en función de las concentraciones detectadas (**Tabla 35**) destacan los fungicidas epoxiconazol y picoxistrobin; y el insecticida clorpirifos. Sin embargo, salvo clorpirifos, los primeros cinco plaguicidas categorizados presentan muy bajas frecuencias de ocurrencias (epoxiconazol y etión se detectaron en una sola muestra y picoxistrobin y tebuconazol en dos). Esto, junto a los valores extremos encontrados para azoxistrobina (110 $\mu\text{g}/\text{kg}$); clorpirifos (89,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$) y piraclostrobina (58 $\mu\text{g}/\text{kg}$) (**Tabla 35**), indican eventos de aplicación recientes antes de los muestreos (Cunningham et al., 2022). Por lo tanto, y considerando además que las concentraciones varían sustancialmente entre el tipo de matriz analizada (Farruggia et al., 2022) la toxicidad de los plaguicidas podría representar una herramienta más apropiada para su priorización en la cuenca.

En este sentido, en función de la toxicidad LD50 de contacto y LD50 oral, los insecticidas representan los plaguicidas de mayor prioridad. Bifentrina, tiametoxam, clorpirifos, acetamiprid y el fungicida carbendazim; y el herbicida atrazina son los seis plaguicidas que representan el mayor riesgo para las abejas (**Tabla 36**). De estos, solamente acetamiprid no está incluido en el listado de plaguicidas altamente peligrosos elaborado por la Red de Acción contra los Pesticidas (PAN Internacional) (Network, 2021). Además, atrazina y clorpirifos están incluidos en la Directiva 2008/105/CE como contaminantes prioritarios, por el significativo riesgo que suponen para el medio acuático (Medina, 2013). En este sentido, y considerando que la mayoría de estos plaguicidas estuvieron presentes en casi todas las matrices, se deberían considerar como compuestos de alta prioridad para la gestión ambiental en la cuenca.

Si bien los fungicidas y herbicidas presentan una toxicidad aguda menor que los insecticidas, existe cada vez mayor evidencia internacional y nacional que tienen otros efectos en abejas que causan diferentes problemas a largo plazo (Liao et al., 2017; Vázquez et al., 2020; Castell et al., 2021).

Tabla 35. Categorización de los plaguicidas detectados en todas matrices analizadas en función de su concentración ($\mu\text{g}/\text{kg}$) en todas las matrices analizadas y apiarios, en la cuenca del río San Salvador durante el período mayo 2022 – febrero 2023.

Plaguicida	Concentración ($\mu\text{g}/\text{Kg}$)		
	Mediana	Máxima	Mínima
1 Epoxiconazol	23,0	23,0	23,0
2 Picoxistrobin	18,0	30,0	6,0
3 Clorpirifos	15,0	89,6	6,0
4 Tebuconazol	13,5	17,0	10,0
5 Etion	10,0	10,0	10,0
6 Piraclostrobina	8,0	58,0	1,0
7 Azoxiestrobina	7,5	110,0	0,1
8 Acetamiprid	7,0	13,0	1,0
9 Tiametoxam	7,0	7,0	7,0
10 Triflumuron	7,0	7,0	7,0
11 Clorantraniliprol	6,5	7,0	6,0
12 Bifentrina	6,0	28,0	6,0
13 Trifloxiestrobina	5,0	23,0	1,0
14 Carbendazim	4,0	13,0	0,7
15 Metoxifenocida	3,0	7,0	1,0
16 Diuron	2,4	3,6	1,0
17 Atrazina	2,0	2,0	2,0

Tabla 36. Categorización de los plaguicidas detectados en todas matrices analizadas y apiarios en función de su toxicidad LD50 ($\mu\text{g}/\text{abeja}$) de contacto y oral, en la cuenca del río San Salvador durante el período mayo 2022 – febrero 2023. Etión no se encontraron valores de toxicidad.

Toxicidad LD50 ($\mu\text{g}/\text{abeja}$)			
Contacto		Oral	
1 Bifentrina	0,016	1 Tiametoxan	0,005
2 Tiametoxan	0,024	2 Bifentrina	0,1
3 Clorpirifos	0,059	3 Clorpirifos	0,25
4 Acetamiprid	8,09	4 Acetamiprid	14,53
5 Carbendazim	>50	5 Atrazina	>100
6 Epoxiconazol	100	6 Clorantraniliprol	>104,1
7 Trifloxiestrobina	100	7 Trifloxiestrobina	>110
8 Diuron	101,7	8 Piraclostrobina	>110
9 Clorantraniliprol	>100	9 Picoxistrobin	>200
10 Atrazina	>100	10 Metoxifenocida	>2000
11 Metoxifenocida	>100	11 Triflumuron	>226
12 Piraclostrobina	>100	12 Azoxiestrobina	>25
13 Azoxiestrobina	>200	13 Carbendazim	>756
14 Picoxistrobin	>200	14 Epoxiconazol	>83
15 Tebuconazol	>200	15 Tebuconazol	>83,05
16 Triflumuron	>200	16 Diuron	>86,75
17 Etión	SD	17 Etión	SD

ii.4.i Análisis de la variabilidad de descriptores de las colmenas.

La población adulta y de cría, así como las reservas de miel y polen de las 5 colmenas muestreadas en cada apiario en las 4 estaciones se muestran en la **Figura 49**. El apiario 1 se encontraba en la zona baja de la cuenca del río San Salvador, los apiarios 2 y 3 en la zona media y los apiarios 4 y 5 en la zona alta. Los apiarios 1, 3 y 5 se encontraban cercano al río San Salvador mientras que los apiarios 4 y 5 estaban alejados de cursos de agua importantes.

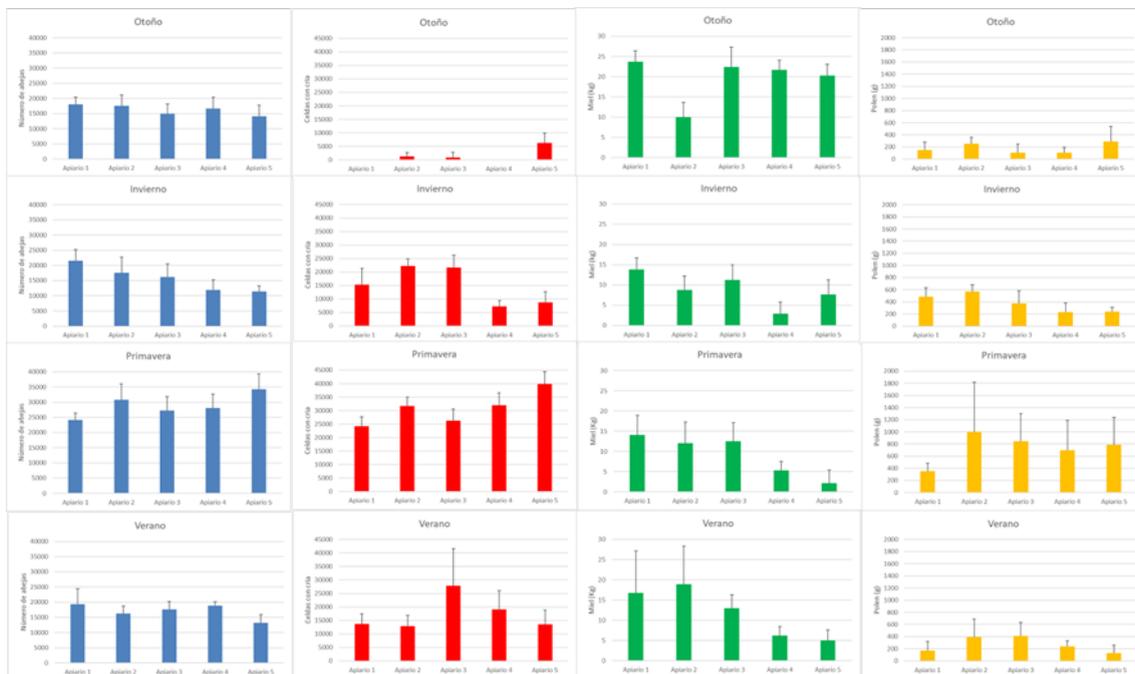


Figura 49. Población de abejas (azul), celdas con cría (rojo), reservas de miel (verde) y reservas de polen (naranja) de las 5 colmenas muestreadas en los 5 apiarios en las 4 estaciones del año.

La población media de las colmenas en otoño (**mayo**) varió entre 14000 (apiario 5) y 18000 abejas (apiario 1), valores normales de población durante el otoño. Llama la atención la interrupción total de la postura de huevos de las colmenas de los apiarios 1 y 4. Incluso en los restantes tres apiarios, de 15 colmenas 7 interrumpieron la postura de huevos. Solo en el apiario 5, cuatro colmenas tenían cría, pero ésta era muy poca (aprox. 6000 celdas en promedio). Esta respuesta generalizada de las colmenas responde a la escasa oferta de recursos de néctar y polen. Las reservas de miel de los apiarios 1, 3, 4 y 5 no bajaron de los 20 kg en promedio, suficientes para asegurar la alimentación de las abejas hasta el inicio de un nuevo flujo de néctar, especialmente porque las colmenas con poca o ninguna cría reducen fuertemente el consumo ya que no requieren mucha energía para generar calor en el área de cría (34°C). Las colmenas del apiario 2 contaban con menos reservas de miel (10 kg en promedio). Las reservas con que las colmenas iniciaron la invernada dependieron en buena medida de la cantidad de miel que el productor decidió cosechar de las colmenas y la fecha en que lo hizo. En cuanto a las reservas de polen, éstas eran muy escasas y se debe a que las abejas no las necesitan si no tienen larvas para alimentar.

En el invierno (**agosto**) se apreciaron cambios significativos respecto a la situación en que se encontraban en otoño. Estos cambios obedecen a la enorme disponibilidad de

néctar y polen de colza (*Brassica napus*). Los análisis palinológicos mostraron que las abejas prácticamente explotan este cultivo en exclusividad.

La población de abejas se incrementa levemente en el apiario 1 mientras se mantiene en los apiarios 2 y 3, y disminuye en los apiarios 4 y 5. Justamente los tres primeros apiarios se encontraban rodeados de grandes extensiones de colza mientras que en los restantes dos apiarios los cultivos de colza eran menores y no estaban cercanos (desde el apiario 5 no se alcanzaba a ver ningún cultivo). El área de cría, como era de esperar, tuvo un incremento notorio en los apiarios 1, 2 y 3, especialmente en los dos últimos con más de 20000 celdas ocupadas por cría. En cambio, las colmenas de los apiarios 4 y 5 tuvieron una respuesta menor, no superando las 9000 celdas con cría. Las reservas de miel tuvieron un descenso respecto a los valores de otoño, especialmente marcado en los apiarios 4 y 5. En los apiarios 1, 2 y 3 es posible que la fuerte entrada de néctar de colza compensara una caída previa de reservas. Las reservas de polen (100% colza) se incrementaron de forma importante en las colmenas de los apiarios 1, 2 y 3 y casi se mantuvieron en los apiarios 4 y 5. Estas diferencias, al igual que con las reservas de miel estuvieron determinadas por el acceso a los cultivos de colza.

En primavera (**diciembre**), la población de abejas de las colmenas tuvo un incremento importante en los apiarios 2, 3, 4 y 5, superando en todos los casos las 25000 abejas. En el caso de las colmenas del apiario 1 el crecimiento de la población fue más modesto. Llama la atención el incremento de población de las colmenas de los apiarios 4 y 5 que prácticamente se triplicó respecto a la de **agosto**. El área de cría se incrementó en las colmenas de todos los apiarios pero los mayores valores se registraron en las colmenas de los apiarios 4 y 5. Una explicación para el incremento de población y cría de las colmenas de estos dos apiarios pudo haber sido el uso de mirtáceas nativas del monte ribereño y la borraja (*Echium plantagineum*) como fuentes de néctar y polen en las colmenas del apiario 5 y de la leguminosa forrajera lotus (*Lotus spp.*) como fuentes de néctar y polen en las colmenas del apiario 4. Tanto la borraja, una maleza presente en algunas praderas artificiales, como el lotus son reconocidas por su valor apícola. Sin embargo, mientras las reservas de miel se mantuvieron por encima de los 10 kg en los apiarios 1, 2 y 3, en los apiarios 4 y 5 estaban en valores críticos (5 y 2 kg promedio en las colmenas de los apiarios 4 y 5, respectivamente). La cantidad de polen en las colmenas alcanzó los mayores valores del año, con más de 600 g en las colmenas de todos los apiarios, salvo en las del apiario 1 que no alcanzó los 400 g. De todos modos, es destacable la enorme variabilidad entre colmenas en la cantidad de polen acumulado. Las reservas de miel y polen de las colmenas distan de lo esperado para el final de primavera y podrían explicarse por la fuerte sequía que para entonces ya estaba transitando la región.

En el verano (**febrero**) la población de las colmenas tuvo un descenso marcado respecto a los valores de **diciembre** en todos los apiarios. En ninguno de ellos la población promedio alcanzó a 20000 abejas (una cámara de cría completa contiene 22000 abejas). En especial llama la atención la reducción de la población de las colmenas del apiario 5, los mismos que presentaba en invierno. El área de cría también sufrió una reducción marcada en todas las colmenas de los apiarios a excepción de las del apiario 3 que se mantuvo con iguales valores que en **diciembre** (aunque con una variabilidad grande entre las colmenas). Justamente las colmenas de este apiario fueron las únicas que explotaron la soja (*Glycine max*), la especie más cultivada en la cuenca en verano, como recurso nectarífero y polinífero. También el lotus (*Lotus spp.*) estuvo presente de forma importante en las muestras de polen de este apiario. Las reservas de miel no presentaron mayores cambios respecto a **diciembre**. En el caso de las colmenas de los grupos 4 y 5 (6 y 5 kg, respectivamente) las reservas de miel fueron muy bajas, e insuficientes para iniciar la invernada un mes después. Las reservas de polen estaban muy bajas, especialmente en las colmenas de los apiarios 1 y 5, que no alcanzaban a 200 g. La sequía de la región, que para entonces llevaba varios meses, seguramente conspiró contra el desarrollo de las colonias, lo que se reflejó en valores de población por debajo de los esperados al final del verano.

Durante la inspección de las colmenas se estimó la compactación de la cría operculada como un estimador de la viabilidad de ésta. Se hicieron 87 estimaciones (no se hicieron en las colmenas sin cría de otoño) dando un valor promedio de 92%, que se encuentra dentro de lo normal. Solamente en 5 estimaciones los valores estuvieron entre 70 y 80%, de los cuales 3 corresponden a colmenas del apiario 5 en el verano. Dado que estas colmenas estaban con reservas críticas de polen es muy probable que las abejas canibalizaran algunas larvas, comportamiento al que recurren en casos de estrés nutricional severo.

Análisis general

La dinámica que siguieron las colmenas de los diferentes apiarios en cuanto a su fortaleza (población y cría) así como a las reservas de miel y polen, estuvieron dentro de lo observado normalmente en la actividad apícola: cambios estacionales dependientes de la disponibilidad de recursos, y apiarios que se diferencian en diferentes periodos en la capacidad de crecimiento y acumulación de reservas de sus colmenas.

Históricamente en Uruguay las colmenas pasaban durante el otoño e invierno, un periodo de condiciones climáticas adversas para los vuelos de pecoreo y con pocos recursos de alimento disponibles, con una población reducida y manteniendo un área de cría reducida o directamente sin cría. En primavera, con una creciente oferta de fuentes de néctar y polen las colonias se desarrollaron y alcanzaron su pico poblacional

entre diciembre y enero. Esta dinámica se ha visto modificada en los últimos años, como se constató en este relevamiento, por el incremento sustancial del área plantada con colza (*Brassica napus*), especialmente en las regiones de aptitud agrícola, como es la cuenca del río San Salvador, y ha traído profundos cambios en las prácticas de manejo apícolas, muchas de las cuales están en debate (por ej. los manejos para evitar la enjambración o la preparación previa de las colmenas para aprovechar mejor la oferta de néctar). Desde un punto de vista biológico, es impactante el desarrollo que provoca en las colmenas en un periodo donde las condiciones ambientales son las más adversas y donde históricamente las colmenas alcanzaban su menor tamaño. En este estudio los cambios en las colmenas por la explotación de la colza fueron especialmente destacados en los apiarios 1, 2 y 3, los que contaban con extensiones importantes del cultivo a su alrededor.

Respecto a la respuesta de las colmenas de diferentes apiarios en diferentes periodos, es destacable cómo las colmenas del apiario 5 son las menos pobladas en el invierno pero esta situación se invierte en primavera para luego volver a ser las más despobladas al final del verano. Estos cambios rápidos, con diferencias de algo más de 100 días, suelen ser determinados por ofertas de néctar y polen de recursos botánicos puntuales, especialmente valiosos para las abejas. Estos pueden ser permanentes, como las mirtáceas nativas de los montes ribereños, o depender de la producción agrícola, como el lotus o la maleza borraja. En este último caso, los recursos dependen del manejo del productor. No es lo mismo para las abejas que una pradera de lotus sea pastoreada con ganado de forma permanente, o enfardada, a que se deje florecer para trillar semillas. Un flujo de néctar importante durante varios días puede generar cambios importantes en la población de abejas. Basta pensar que los apicultores estimulan el crecimiento de sus colonias agregando en una o dos oportunidades 2 litros de jarabe de azúcar.

Finalmente, un aspecto importante a considerar es que la identificación de pólenes de diferente origen en muestras de polen y néctar no pueden ser asociados positivamente con la cantidad de reservas de ambos alimentos en las colmenas. A modo de ejemplo, en las colmenas del apiario 5 se encontró en verano que tanto el néctar como el polen provenían de 9 especies botánicas. Sin embargo, la cantidad de miel y polen que almacenaban las colmenas en ese periodo era de 5 kg y 200 g, respectivamente. La situación inversa se registró en invierno solamente con los aportes de la colza.

Las colmenas de abejas melíferas como biomonitores ambientales

Las colmenas de abejas melíferas, insectos sociales fácilmente gestionados, son consideradas buenos biomonitores ambientales debido a que, en condiciones climáticas favorables, como se presentan normalmente en primavera y verano, pueden coleccionar néctar y polen de recursos botánicos que se encuentran a 3 km de distancia (las abejas

pueden volar en casos extremos hasta 6 km). De este modo, las abejas de una colmena pueden cubrir en sus vuelos de pecoreo si es necesario más de 25 km². Las abejas explotan recursos botánicos variados que incluye flora silvestre, cultivos y malezas, pudiendo encontrar en los análisis polínicos más de 10 fuentes de néctar o polen en un muestreo puntual, y varias decenas de recursos a lo largo de todo el año. Así, la primera información relevante que se puede obtener es la diversidad de recursos botánicos que aportan néctar y polen en una zona y asociarlo con actividades antrópicas, especialmente la actividad agrícola. Por otro lado, las abejas pueden ingresar a la colmena (o entrar de forma pasiva) una amplia variedad de plaguicidas que se emplean en las actividades agrícolas (funguicidas, insecticidas y herbicidas). Estos plaguicidas pueden detectarse en las abejas adultas, en la miel, en el polen o en la cera. Cada una de estas matrices puede retener moléculas de características diferentes que permanecen en ellas tiempos diferentes.

Sin embargo, al buscar asociar la presencia de un plaguicida con los indicadores convencionales de la condición de una colmena (población, área de cría, acopio de alimento) se presentan dificultades inherentes a la biología de las abejas que dificultan este análisis. Así, los indicadores señalados suelen variar mucho entre colmenas de un mismo apiario debido a factores genéticos (ej. la tendencia a interrumpir la postura o consumir reservas de alimento entre diferentes subespecies de abejas), a la edad y prolificidad de la reina, la variabilidad genética intracolonia (depende del número de apareamiento de la reina), aspectos sanitarios, capacidad de explotar un recurso (por ejemplo, limitaciones por el largo de la probóscide), el manejo de las colmenas, entre otros factores. Estos aspectos, sumamente difíciles de controlar, aportan un “ruido” que, salvo casos claros de intoxicación, no dejan ver los efectos de los plaguicidas en las abejas. Por otro lado, los plaguicidas pueden afectar a las colmenas de forma indirecta, por ejemplo, no comprometer la expectativa de vida de las abejas, pero si afectar su fisiología limitando las posibilidades de enfrentar a un patógeno.

El efecto de un plaguicida puede afectar funciones básicas de las abejas que terminan a un nivel superior incidiendo en el funcionamiento óptimo de la colonia (Sánchez-Bayo et al., 2016; Antúnez et al., 2017; Calatayud-Vernich et al., 2018; Niell et al., 2018; Cunningham et al., 2022; Invernizzi et al., 2022). Ejemplos estudiados de estos efectos son la reducción de las glándulas hipofaríngeas (Hatjina et al., 2013), con cuyo producto se alimentan las larvas; la alteración de la microbiota intestinal (Castelli et al., 2023), que expone a las abejas a patógenos oportunistas (Castelli et al., 2021; Balbuena et al., 2023); la alteración de los cuerpos grasos con múltiples consecuencias fisiológicas; los costos de activar mecanismos de detoxificación (Kwong et al., 2017; Raymann, 2018; Motta et al., 2022). En Uruguay existe capacidad y experiencia para abordar estos efectos en los organismos de forma experimental, que requieren diseños de muestreo

precisos y análisis de laboratorios con costos importantes (Antúnez et al., 2017; Invernizzi et al., 2022).

La información sobre el efecto de los plaguicidas en la expectativa de vida de las abejas (por ejemplo DL50) o en su fisiología y sanidad se obtiene normalmente de bioensayos en laboratorio con abejas confinadas. Si bien estos estudios han aportado información relevante sobre el impacto de los plaguicidas, adolecen del problema de usar abejas en condiciones sumamente alejadas de las que se presentan en una colonia (están sin su reina, sin panales, todas tienen la misma edad, no pueden madurar comportamentalmente, los cambios fisiológicos asociados a la edad están limitados, no se presentan estímulos que traen la pecoreadoras, no construyen panales, etc.). La posibilidad de realizar experimentos a nivel de campo es un importante desafío, pero daría información más realista sobre el efecto de los plaguicidas en las abejas y en las colmenas. Por ejemplo, se podría analizar los efectos en las abejas antes señalados luego de contaminar la cera, miel, polen o abejas con dosis conocidas, y a su vez determinar cómo varía la concentración de las moléculas en el tiempo.

Finalmente, el uso de colmenas de abejas como biomonitores permite hacer consideraciones sobre las condiciones ambientales que enfrentan otros insectos, especialmente las abejas solitarias y sociales de la familia Apoidea, que explotan los mismos recursos que las abejas melíferas.

vi. Distribución de los plaguicidas entre las diferentes matrices (agua, peces, bivalvos, abejas, cera, polen y miel). Análisis de complementariedad

De los 55 plaguicidas detectados, solamente cuatro ocurrieron en todas las matrices (piraclostrobina, diuron, clorpirifos y permetrina) lo que pone de manifiesto una gran complementariedad entre todas ellas (**Tabla 37**).

El análisis de componentes principales (PCA) realizado a partir de una matriz de presencia ausencia de cada compuesto por muestra, evidencia una separación entre las muestras biológicas y las de agua (Fig. 50), indicando diferencias en la ocurrencia de plaguicidas entre ambas. En general en agua estos compuestos se caracterizan por ser herbicidas (glifosato, AMPA, 2.4-D, clomazone, entre otros) mientras que en las matrices biológicas son insecticidas (triflumuron, deltametrina, endosulfan sulfato, fenazaquin, fipronil y pirimifos metil). Esto posiblemente se encuentre asociado a los mayores valores de kow que presentan los insecticidas, y que por lo tanto los convierten en más bioacumulables (Perez-Parada et al., 2018). Con respecto a los fungicidas, las estrobirulinas se observaron en ambos tipos de matriz, sin embargo aquellos

pertenecientes a la familia de los triazoles (e.g. difenoconazol, propiconazole y tebuconazol) ocurrieron principalmente en matrices biológicas. Este tipo de plaguicidas por lo general presentan mayores valores de kow (PPDB, 2023).

Tabla 37. Plaguicidas detectados en matriz agua superficial, peces, bivalvos, miel, cera, abejas y polen en la cuenca del río San Salvador en periodo mayo 2022 - febrero 2023. Uso: I insecticida; H herbicida; F fungicida. Oc: porcentaje de ocurrencia en las 7 matrices. C: Criterio de clasificación de plaguicidas prioritarios para la gestión ambiental DINACEA. PAN: Plaguicida altamente peligroso.

Compuesto	Uso	Oc	C	PAN	Agua	Peces	Bivalvos	Miel	Cera	Abeja	Polen
Clorpirifós	I	100%	3	SI							
Permetrina	I	100%	3	SI							
Bifentrina	I	86%	3								
Acetamiprid	I	43%	3								
Clorantraniliprol	I	43%	3	SI							
Etión	I	43%	2								
Metoxifenocida	I	43%	2								
Tiametoxam	I	43%	3								
Carbaril	I	29%	2	SI							
Cipermetrina	I	29%	3	SI							
Diazinon	I	29%	2	SI							
Imidacloprid	I	29%	3	SI							
Lambda - cialotrina	I	29%	2								
Triflumuron	I	29%	2								
Deltametrina	I	14%	3	SI							
Endosulfan sulfato	I	14%	2	SI							
Fenazaquin	I	14%	2	SI							
Fipronil	I	14%	2								
Fipronil sulfona	I	14%	2	SI							
o,p DDD	I	14%	2								
Pirimifos metil	I	14%	3								
Diuron	H	100%	3	SI							
Atrazina	H	43%	3	SI							
Metolacoloro	H	43%	2								
Metribuzina	H	43%	3								
Simazina	H	43%	2								
Atrazina Desisopropil	H	29%	3								
Trifluralina	H	29%	3								
2,4 D	H	14%	3								
Acetochlor	H	14%	3	SI							
AMPA(a)	H	14%	3								
Atrazina desetil	H	14%	3								
Clomazone	H	14%	3								
Flumetsulam	H	14%	3								
Fluroxipir meptil	H	14%	3								
Glifosato	H	14%	3								
Glufosinato de amonio	H	14%	3								
Isxadifen - etil	H	14%	3	SI							
Piraclostrobina	F	100%	2	SI							
Azoxiestrobina	F	57%	3								
Carbendazim	F	57%	3	SI							
Trifloxiestrobina	F	57%	3	SI							
Ciproconazol	F	29%	3								
Epoxiconazol	F	29%	3	SI							
Imazalil	F	29%	3								
Metalaxil	F	29%	3								
Propiconazol	F	29%	3								
2-fenilfenol	F	14%	2								
Boscalid	F	14%	2								
Difenoconazol	F	14%	3								
Iprodione	F	14%	3	SI							
Picoxistrobina	F	14%	1								
Pirimetanil	F	14%	3								
Propiconazole (estereoisómero)	F	14%	2	SI							
Tebuconazol	F	14%	3								

Si bien en peces, bivalvos y polinizadores también se observa complementariedad en función de los plaguicidas que acumulan, la mayor cantidad de compuestos presentes en peces determinó que todas se encuentren agrupadas en ella (**Fig. 50**).

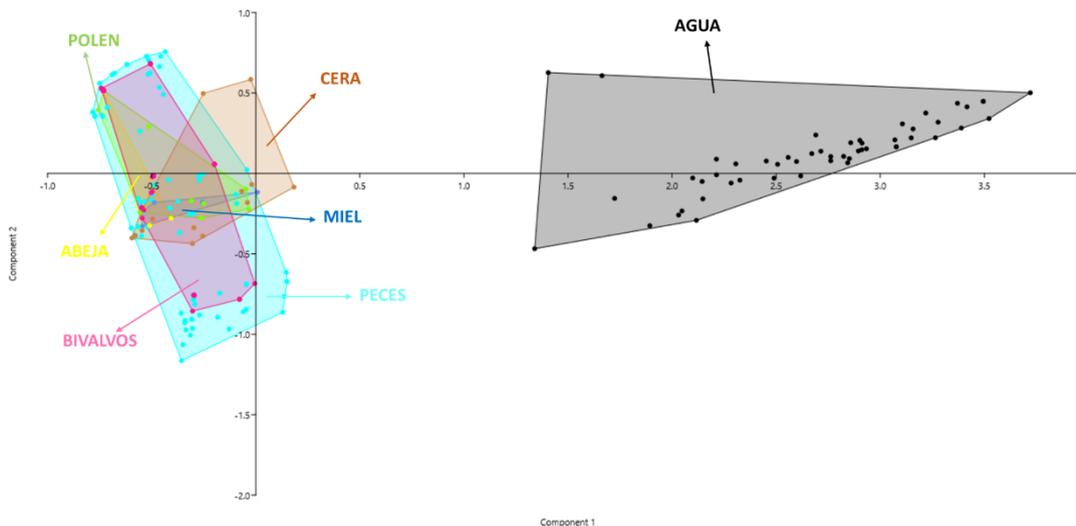


Figura 50. Resultado gráfico del análisis de componentes principales (PCA). Se observan los polígonos que representan el área ocupada por las matrices de Agua (gris), Peces (celeste), Cera (marrón), Polen (verde), Abejas (amarillo), Bivalvos (rosado) y Miel (azul).

Estos patrones de acumulaciones estarían determinando diferentes temporalidades entre las matrices. Mientras que en agua esta ventana temporal es corta, ya que indica las aplicaciones recientes de los plaguicidas en la cuenca (Fig. 14), las matrices biológicas reflejan mediante la bioacumulación de plaguicidas una temporalidad mayor. Este proceso permite estimar el posible impacto ecotoxicológico de los plaguicidas en los organismos. Como desventaja, la obtención de muestras de peces y bivalvos puede representar un gran esfuerzo de muestreo, por lo que la selección de unas pocas especies indicadoras resulta fundamental en estos casos.

Para el caso de la matriz polinizadores, cuyas diferentes temporalidades ya fueron previamente probadas (Niell et al., 2015; Niell et al., 2017; Cunningham et al., 2022), los resultados obtenidos reafirman el papel de la matriz cera como indicador de uso histórico de la cuenca, mientras que la ocurrencia de plaguicidas en la matriz polen es indicativo de los compuestos que se están aplicando al momento de obtener las muestras.

En resumen, la implementación de múltiples matrices biológicas y ambientales resultan herramientas muy importantes para fortalecer los planes de monitoreo de calidad de agua, y en este sentido deberían desarrollarse en las diferentes cuencas de nuestro país.

vii. Descripción biológica de la comunidad de peces

vii.1 Estructura y variabilidad espacio temporal de la comunidad

En los 9 sitios de muestreo en las 4 campañas de muestreo se colectaron un total de 73 especies (**Anexo 13**). Los sitios de muestreo presentaron variaciones en la riqueza específica para cada campaña (**Fig. 51, Tabla 38**). El arroyo Espinillo (XESP130) presentó una gran variabilidad en el número de especies a lo largo del año, con 33 especies en noviembre de 2022 y el mínimo de 5 especies en mayo del 2022.

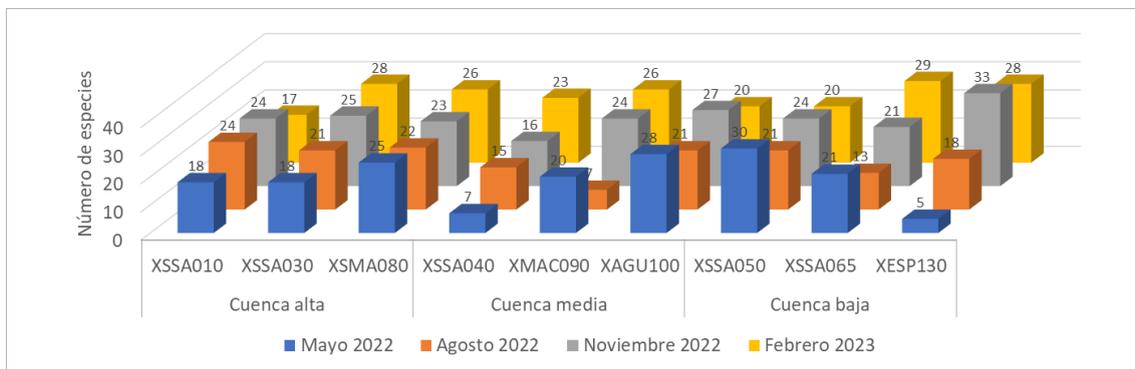


Figura 51. Riqueza específica por sitio y por campaña de muestreo.

Sumando las 4 campañas, los sitios de muestreo presentaron valores de riqueza específica similares, donde el río San Salvador (XSSA065, zona baja próxima a la ciudad de Dolores) presentó el máximo número de especies (42), también en el río San Salvador medio el sitio XSSA040 presentó el menor número de especies (31).

Tabla 38. Número de especies, índice de diversidad de Shannon-Wiener e índice de dominancia de Simpson, para los 9 sitios, en las 4 campañas de muestreo.

Sitio/Campaña	N especies					Shannon-Wiener				Simpson			
	May	Ago	Nov	Feb	Total	May	Ago	Nov	Feb	May	Ago	Nov	Feb
XSSA010	18	24	24	17	32	1,78	2,07	2,52	2,09	0,73	0,73	0,89	0,81
XSSA030	18	21	25	28	38	1,66	2,16	2,47	2,40	0,73	0,84	0,88	0,82
XSMA080	25	22	23	26	40	2,56	1,78	2,45	2,34	0,88	0,67	0,87	0,84
XSSA040	7	15	16	23	31	1,38	1,67	1,63	2,49	0,64	0,71	0,70	0,88
XMAC090	20	7	24	26	37	2,11	1,59	2,43	2,57	0,82	0,74	0,86	0,88
XAGU100	28	21	27	20	41	1,26	1,49	2,31	2,39	0,46	0,61	0,82	0,88
XSSA050	30	21	24	20	41	2,27	2,56	2,14	2,07	0,83	0,90	0,83	0,80
XSSA065	21	13	21	29	42	0,88	1,50	1,49	2,46	0,35	0,69	0,62	0,83
XESP130	5	18	33	28	41	1,22	1,76	2,20	2,67	0,67	0,69	0,77	0,90

Temporalmente se observó un aumento del número de especies desde la campaña de mayo hasta la campaña de febrero, lo que también se vio reflejado en un incremento de los índices de diversidad de Shannon-Wiener Simpson. Registrando el máximo valor para ambos índices en el arroyo Espinillo (XESP130) en la campaña de febrero (**Tabla 38**).

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) en abundancia, no demostró diferencias temporales entre las diferentes campañas (Kruskal-Wallis: $p = 0,322$) (**Fig. 52 A**). Para la CPUE de la biomasa si se registraron diferencias significativas entre las campañas de muestreo (ANOVA: $F = 3,817$, $p = 0,019$). Estas diferencias se encontraron entre las campañas de mayo y noviembre (Tukey: $p = 0,015$) (**Fig. 52 B**).

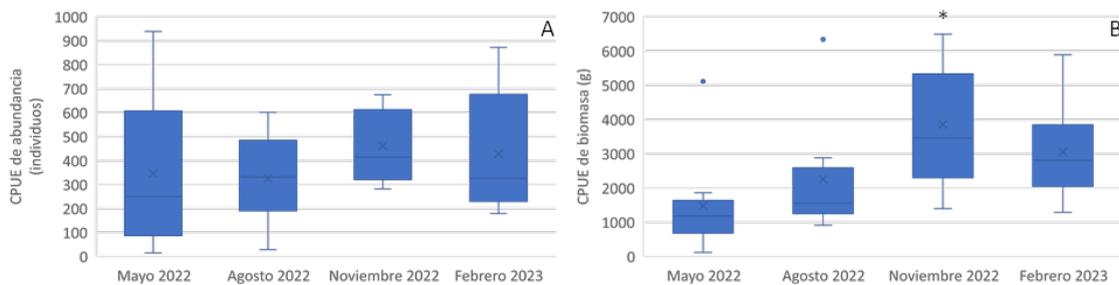


Figura 52. CPUE de las diferentes campañas de muestreo para todos los sitios juntos (A: CPUE de abundancia; B: CPUE de biomasa; * = diferencias significativas con mayo 2022).

Los máximos valores de CPUE en abundancia fueron registrados en la cuenca baja del cauce del río San Salvador (XSSA065), seguido por el arroyo San Martín (XSMA080) y nuevamente el curso principal en la parte baja (XSSA050). Los mínimos valores fueron registrados en el arroyo Espinillo (XESP130), en el arroyo Maciel (XMAC090) y en el curso del San Salvador en zona media (XSSA040) (**Fig. 53 A**). Por otro lado, la CPUE en biomasa presentó sus máximos valores en el sitio XSSA065 del río san salvador frente a la ciudad de Dolores, seguido por el arroyo Maciel (XMAC090) y el sitio XSSA030 perteneciente a la cuenca alta del San Salvador (**Fig. 53 B**). Los mínimos valores fueron registrados en los sitios XSSA065 y en el arroyo San Martín (XSMA080). Se observaron diferencias significativas (Dunn's post hoc) entre las CPUE de abundancia entre el arroyo Maciel (XMAC090) y los sitios XSMA080 (arroyo San Martín) ($p = 0,042$), XAGU100 (arroyo el Águila) ($p = 0,041$) y XSSA050 (Cauce principal cuenca baja) ($p = 0,016$).

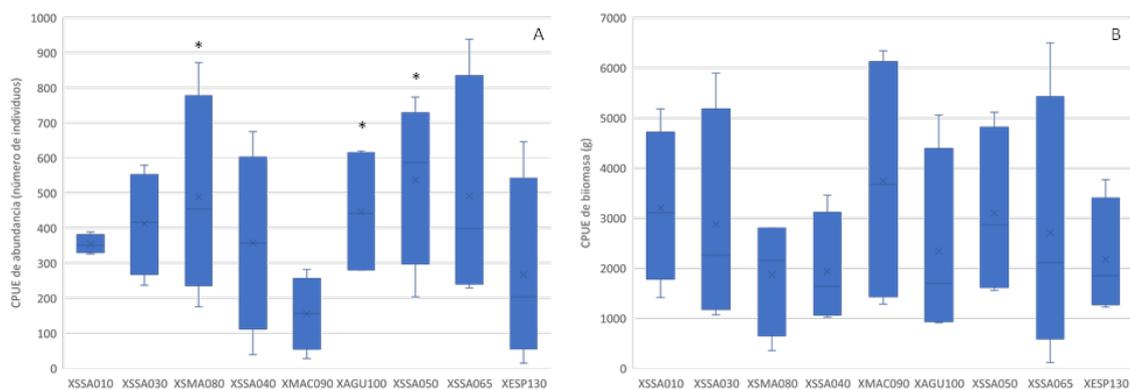


Figura 53. CPUE de los diferentes sitios de muestreo para todas las campañas juntas (A: CPUE de abundancia; B: CPUE de biomasa; * = diferencias significativas con el sitio XMAC090).

La especie *B. iheringii* fue la especie dominante tanto para la CPUE de individuos (27 %), como para la CPUE de biomasa (15 %) (Fig. 54). Las especies que le siguen en CPUE de abundancia son *Diapoma terofali* (15 %), *Psalidodon eigenmanniorum* (9 %) y *Gymnogeophagus terrapurpura* (4 %) (Fig. 54 A). En CPUE de biomasa, las especies que le siguen son *Oligosarcus jenynsii* (13 %), *Crenicichla scotti* (7 %) y *Psalidodon eigenmanniorum* (7 %) (Fig. 54 B).

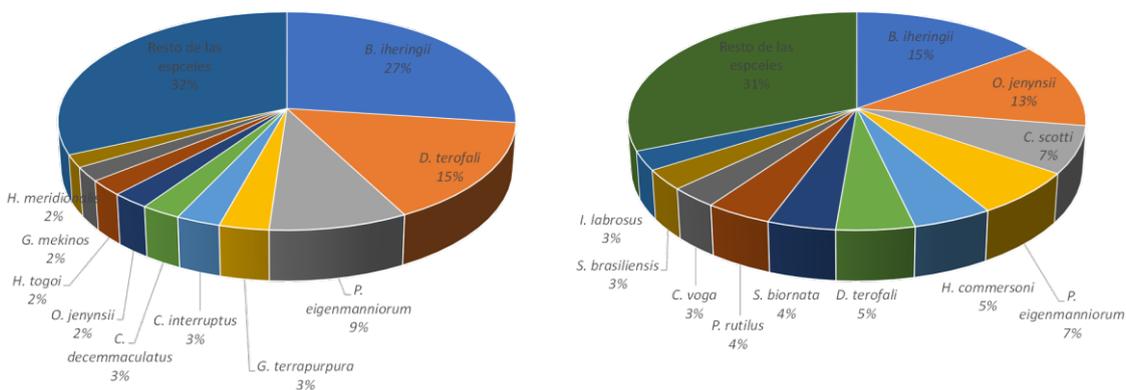


Figura 54. CPUE por especie considerando todos los sitios y todos los meses de muestreos. A: CPUE de abundancia; B: CPUE de biomasa.

vii.2 Caracterización trófica de la comunidad

vii.2.a Análisis de contenido estomacal

De acuerdo con el análisis de clúster y a las características de la dieta se determinó el índice de importancia alimentaria. En base a esto se determinó el grupo trófico de cada especie de pez. Estos grupos fueron denominados como Detritívoros, Invertívoros, Piscívoros, Herbívoros y Omnívoros (Fig. 55, Tabla 39).

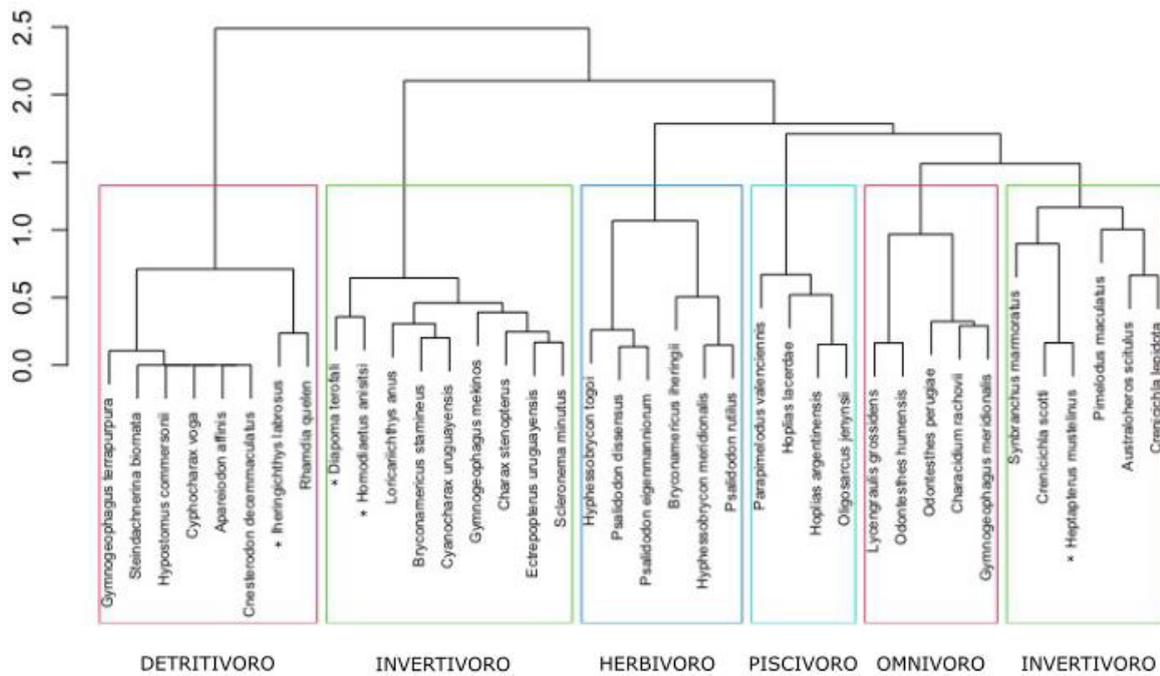


Figura 55. Clúster de las especies de peces muestreadas en las campañas de mayo, agosto y noviembre según sus hábitos alimenticios. Debajo los grupos tróficos asignados para cada grupo. * Las especies que consumen más del 10% de material vegetal en cuanto al volumen consumido y además incorporan otros niveles tróficos, fueron clasificados como omnívoros y están representados con un asterisco.

Tabla 39. Grupo trófico de las especies de peces analizadas. * especies cuya posición trófica se determinó en base a bibliografía (Stebniki, 2020; Serra et al., 2014).

Especie	Grupo trófico	Especie	Grupo trófico
<i>Apareiodon affinis</i>	Detritivoro	<i>Eigenmania virescens</i> *	Invertivoro
<i>Cnesterodon decemmaculatus</i>		<i>Heptapterus mustelinus</i>	
<i>Cyphocharax platanus</i> *		<i>Homodiaetus anisitsi</i>	
<i>Cyphocharax voga</i>		<i>Loricariichthys anus</i>	
<i>Gymnogeophagus terrapurpura</i>		<i>Megaleporinus obtusidens</i>	
<i>Hypostomus aspilogaster</i> *		<i>Pellona flavipinnis</i> *	
<i>Hypostomus commersonii</i>		<i>Pimelodus maculatus</i>	
<i>Iheringichthys labrosus</i>		<i>Psalidodon anisitsi</i> *	
<i>Loricariichthys melanochelius</i> *		<i>Pseudocorynopoma doriae</i> *	
<i>Prochilodus lineatus</i> *		<i>Scleronema minutus</i>	
<i>Rhambdia quelen</i>		<i>Synbranchus marmoratus</i>	
<i>Rhineloricaria longicauda</i> *		<i>Australoheros facetus</i> *	
<i>Steindachnerina biornata</i>		<i>Characidium rachovii</i>	
<i>Ancistrus taunayi</i> *	<i>Corydoras paleatus</i> *	Omnivoro	
<i>Andromakhe stenohalinus</i> *	<i>Deuterodon luetkenii</i> *		
<i>Bryconamericus iheringii</i>	<i>Gymnogeophagus meridionalis</i>		
<i>Hisonotus charrua</i> *	<i>Gymnogeophagus pseudolabiatius</i> *		
<i>Hyphessobrycon meridionalis</i>	<i>Heterocheiroidon yatai</i> *		
<i>Hyphessobrycon togoi</i>	<i>Jenynsia lineata</i> *		
<i>Otocinclus arnoldi</i> *	<i>Jenynsia onca</i> *		
<i>Psalidodon dissensus</i>	<i>Lycengraulis grossidens</i>		
<i>Psalidodon eigenmanniorum</i>	<i>Microglanis cottoides</i> *		
<i>Psalidodon rutilus</i>	<i>Odontesthes humensis</i>		
<i>Australoheros scitulus</i>	<i>Odontesthes perugiae</i>		
<i>Bryconamericus stramineus</i>	<i>Pimelodella australis</i> *		
<i>Catathyridium lorentzii</i> *	<i>Pimelodella gracilis</i> *		
<i>Charax stepnopterus</i>	<i>Platanichthys platana</i> *		
<i>Cheirodon ibicuihensis</i> *	<i>Rhamdella longiuscula</i> *		
<i>Cheirodon interruptus</i> *	<i>Hoplias argentinensis</i>	Piscivoro	
<i>Crenicichla lepidota</i>	<i>Hoplias lacerdae</i>		
<i>Crenicichla scotti</i>	<i>Oligosarcus jenynsii</i>		
<i>Cyanocharax uruguayensis</i>	<i>Oligosarcus oligolepis</i> *		
<i>Diapoma terofali</i>	<i>Parapimelodus valenciennis</i>		
<i>Ectreopopterus uruguayensis</i>	<i>Raphiodon vulpinus</i> *		
<i>Gymnogeophagus mekinos</i>	<i>Salminus brasiliensis</i> *		
<i>Gymnotus omarorum</i> *	<i>Serrasalmus maculatus</i> *		

Además, a partir de la dieta se construyó una red promedio representativa de la comunidad de peces y sus interacciones para toda la cuenca (**Fig. 56**). En esta red se observan en la parte inferior los principales recursos basales que sustentan a este ecosistema, en niveles intermedios se observan a los diferentes invertebrados que son presa de los peces (así como también peces que son consumidos por otros peces) mientras que en posiciones superiores se encuentran los peces. Estos individuos son consumidores topos del sistema y son buenos integradores de los diferentes flujos de energía (Correa & Winemiller, 2018).

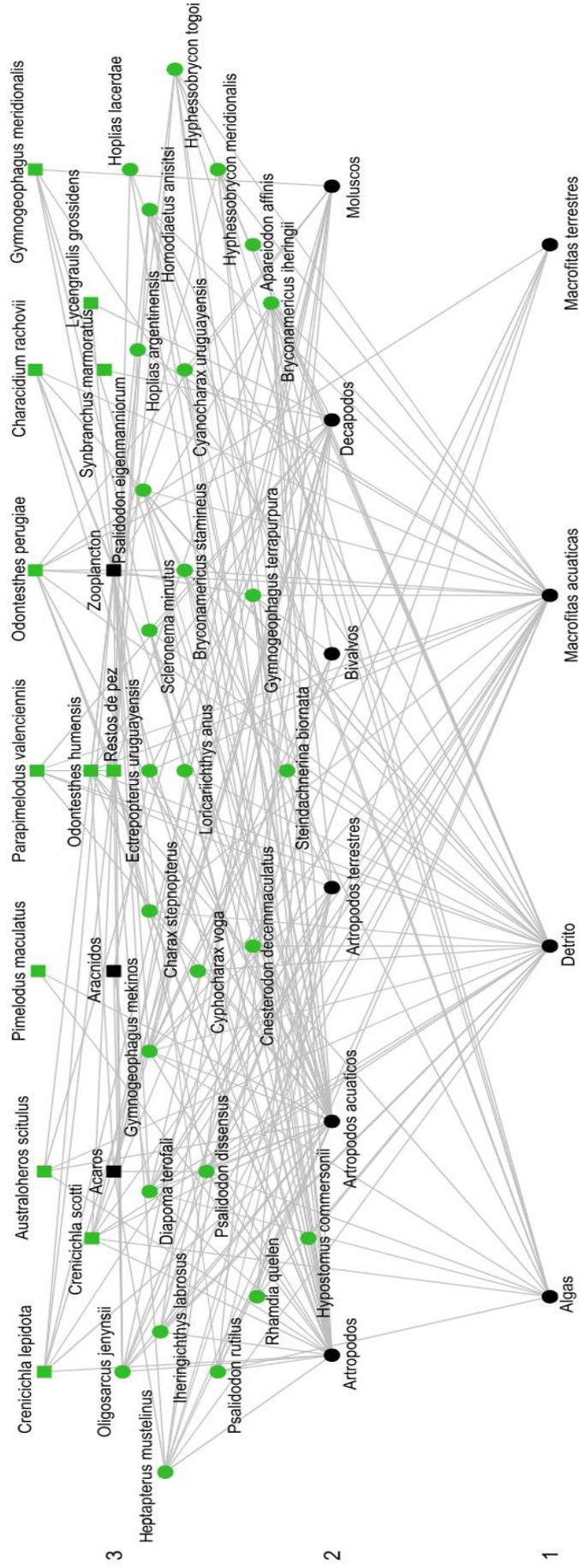


Figura 56. Red sintética de las relaciones alimenticias entre los peces y las principales categorías de ítems. La ubicación en el eje vertical corresponde a la posición trófica de la especie. Los nodos en verde representan los peces y los negros a los ítems alimenticios. Las líneas representan interacciones.

El grupo trófico dominante en cuanto a número de individuos fueron los herbívoros durante todo el periodo con un promedio de 47,6% de los individuos capturados. Lo siguen los omnívoros con 25,1% y luego los invertívoros con 12,8%. Los herbívoros alcanzaron un máximo de 50,6% de los individuos capturados en febrero. El mínimo para este grupo trófico se observó en el mes de **noviembre** donde representaron el 46% del número de capturas (**Fig. 57**). La especie que más aporta a la captura de este grupo trófico es *B. iheringii* (**Fig. 54 A**) que fue clasificado como herbívoro y es la especie dominante en cuanto a número de individuos. El grupo trófico que representó la menor proporción de capturas en todo el período de muestreo fueron los piscívoros con un promedio de 3,5 % de los individuos.

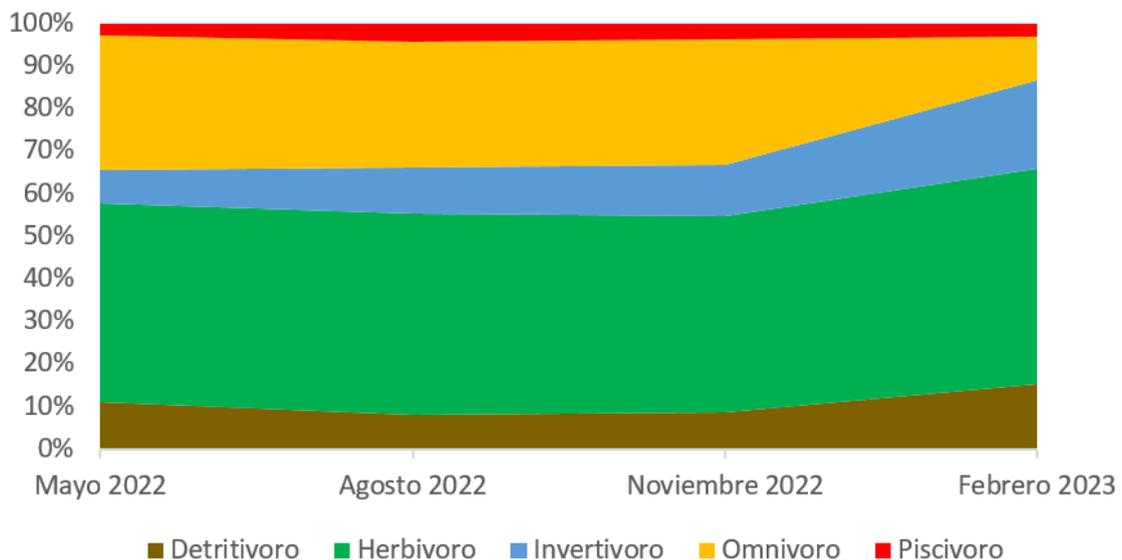


Figura 57. Individuos Corregido por CPUE expresado en porcentaje para cada grupo trófico en cada muestreo.

En cuanto a la Biomasa y considerando el periodo completo, los herbívoros representaron el 30% y son el grupo dominante seguido por los detritívoros (18%), los invertívoros (17,6%) y los omnívoros (16.8%). Esta dominancia no ocurrió en todos los meses. En **febrero** y **mayo** el grupo dominante resultó ser el de los invertívoros (31%) y los omnívoros (34,7%) respectivamente (**Fig. 58**).

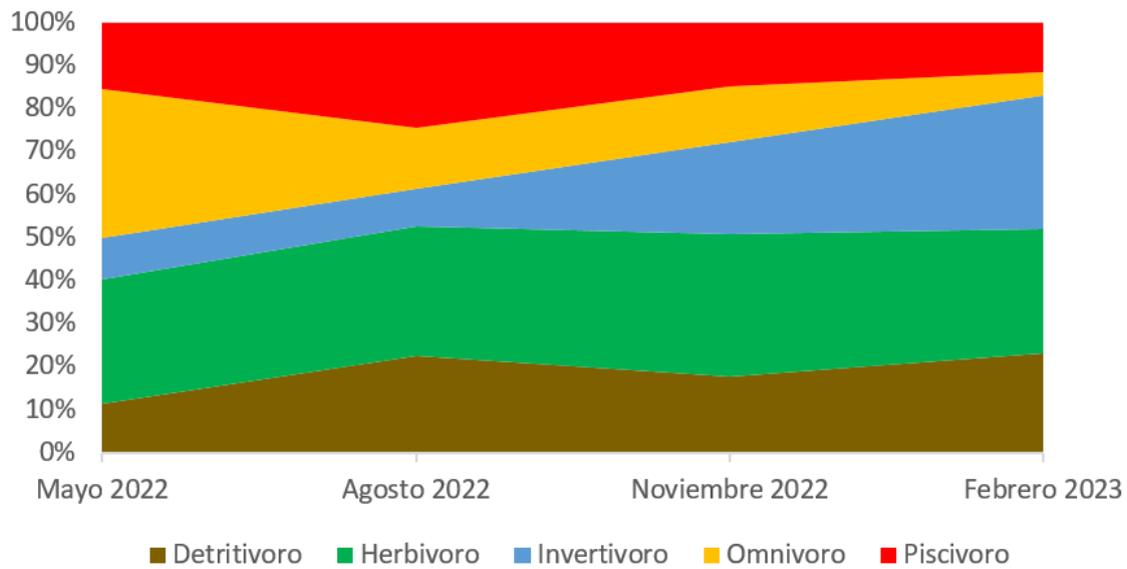


Figura 58. Biomasa de los grupos tróficos de peces corregido por CPUE y expresado en porcentaje para cada muestreo.

vii.2.b Análisis de Isótopos estables de C y N

La máxima posición trófica de la comunidad de peces (calculada mediante la señal isotópica del Nitrógeno) fue la de *Raphiodon vulpinus* mientras que la mínima corresponde a *Hypostomus commersoni* (Tabla 40). Este dato informa sobre la posición que ocupa cada especie en la red trófica del sistema. Números bajos se asocian a especies que se alimentan principalmente de niveles inferiores de la red (por ejemplo, detrito), mientras que posiciones tróficas más altas se asocian a los piscívoros de mayor tamaño que consumen presas de niveles tróficos más altos.

Tabla 40. Posiciones tróficas estimadas mediante la señal isotópica del Nitrógeno para las especies que fueron utilizadas para el análisis de plaguicidas. *especies cuya posición trófica se calculó usando señal isotópica de muestreos del Río Uruguay. ¹especies cuya posición trófica se calculó usando señal isotópica de muestreos de la laguna del Cisne por ausencia de datos suficientes para el cálculo.

Especie	TP	Especie	TP
<i>Raphiodon vulpinus</i> *	3,67	<i>Psalidodon eigenmanniorum</i>	2,86
<i>Lycengraulis grossidens</i> *	3,46	<i>Gymnogeophagus mekinos</i>	2,84
<i>Salminus brasiliensis</i> *	3,46	<i>Diapoma terofali</i>	2,84
<i>Odontesthes perugiae</i>	3,36	<i>Iheringichthys labrosus</i>	2,79
<i>Parapimelodus valenciennis</i>	3,35	<i>Heptapterus mustelinus</i>	2,76
<i>Pimelodus maculatus</i>	3,35	<i>Prochilodus lineatus</i>	2,72
<i>Crenicichla lepidota</i>	3,32	<i>Loricariichthys anus</i>	2,67
<i>Pellona flavipinnis</i> *	3,12	<i>Cyphocharax voga</i>	2,61
<i>Odontesthes humensis</i>	3,11	<i>Psalidodon dissensus</i>	2,58
<i>Crenicichla scotti</i>	3,10	<i>Psalidodon rutilus</i>	2,52
<i>Synbranchus marmoratus</i>	3,04	<i>Megaleporinus obtusidens</i> *	2,51
<i>Oligosarcus jenynsii</i>	2,96	<i>Rhamdia quelen</i>	2,34
<i>Apareiodon affinis</i>	2,93	<i>Bryconamericus iheringii</i>	2,28
<i>Hoplias argentinensis</i>	2,89	<i>Steindachnerina biornata</i>	2,21
<i>Hoplias lacerdae</i> ¹	2,89	<i>Hypostomus commersonii</i>	2,11
<i>Australoheros scitulus</i> ¹	3,39	<i>Gymnogeophagus terrapurpura</i> ¹	3,14

vii.2.c Descriptores somáticos de los peces utilizados para análisis de plaguicidas

Se analizó la variabilidad de los índices somáticos de las especies con mayor número de muestras en todo el periodo de muestreo (más de 4 muestras). Estas especies fueron *B. iheringii*, *G. mekinos*, *H. commersoni*, *O. jenynsii*, *P. dissensus*, *H. argentinensis*, *R. quelen*, *S. biornata*, *C. scotti*, *C. voga*, *D. terofali*, *P. maculatus* y *O. humensis*.

Para analizar posibles diferencias entre los índices se seleccionaron las especies que tienen por lo menos 5 individuos en cada muestreo.

El valor medio máximo del índice gonadosomático corresponde a *C. voga* mientras que el mínimo corresponde a *H. argentinensis* (Tabla 41).

Tabla 41. Promedio del Índice Gonadosomático por especie, con el rango observado y los individuos utilizados para el análisis.

Especie	N	IGS	
		Media	Rango
<i>B. iheringii</i>	498	2,77	0,01 - 19,02
<i>O. jenynsii</i>	200	1,97	0,01 - 22,50
<i>G. mekinos</i>	95	1,06	0,01 - 11,30
<i>C. scotti</i>	75	0,86	0,01 - 10,71
<i>P. dissensus</i>	73	3,63	0,17 - 24,00
<i>S. biornata</i>	47	3,34	0,12 - 16,90
<i>D. terofali</i>	39	2,04	0,33 - 10,88
<i>O. humensis</i>	20	2,10	0,01 - 6,88
<i>P. maculatus</i>	14	0,25	0,03 - 0,92
<i>H. commersoni</i>	13	0,54	0,08 - 1,20
<i>C. voga</i>	12	12,01	1,37 - 27,65
<i>H. argentinensis</i>	9	0,14	0,01 - 0,42
<i>R. quelen</i>	7	1,47	0,08 - 6,70

Considerando las especies que tienen por lo menos 5 individuos en cada muestreo, para *B. iheringii* se observaron diferencias significativas (Dunn's post hoc) en el IGS entre **agosto y mayo, agosto y febrero, noviembre y mayo**, y entre **noviembre y febrero (Fig. 59 a)**. Esto se asocia a un aumento en este índice en los meses de **agosto y noviembre** para disminuir en **febrero y mayo**. Para *G. mekinos* se encontraron diferencias significativas (Dunn's post hoc) entre **mayo y agosto, noviembre con mayo**, así como también **febrero y noviembre (Fig. 59 b)**. Esto se asocia con patrones similares a los observados en *B. iheringii*. Para *O. jenynsii* se encontraron diferencias significativas entre todos los meses (Dunn's post hoc) excluyendo la comparación **mayo y noviembre (Fig. 59 c)**. Este patrón refleja un pico en el valor del IGS en **agosto** para luego disminuir en los sucesivos muestreos. El IGS para *P. dissensus* presentó diferencias significativas entre **mayo-noviembre, mayo-febrero, agosto- noviembre** y **agosto-febrero (Fig. 59 d)**. Este patrón refleja que los mínimos valores están en los meses fríos para luego aumentar en los meses más cálidos.

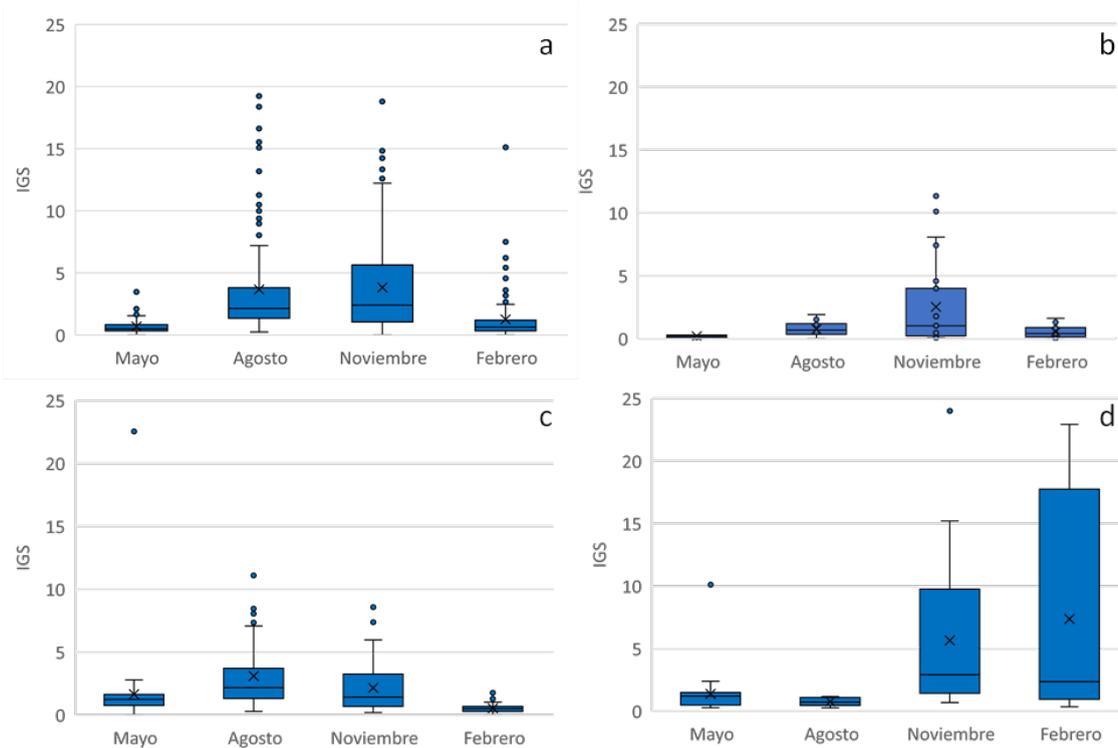


Figura 59. Índices gonadosomáticos de las especies *B. iheringii* (a), *G. mekinos* (b), *O. jenynsii* (c) y *P. dissensus* (d) para los diferentes meses de muestreo.

Con respecto al Índice Hepatosomático (IHS), el valor medio máximo se observó para la especie *R. quelen* y el mínimo para *P. maculatus* (Tabla 42).

Considerando a las especies que presentaron 5 o más individuos en cada muestreo para la composición de las muestras, solo se encontraron diferencias significativas (Dunn's post hoc) para *B. iheringii* entre los meses **febrero-agosto**, **febrero- noviembre**, **agosto-mayo** y **agosto-noviembre** (Fig. 60 a). Este patrón refleja la existencia de un máximo de este índice para el mes de **agosto** que luego disminuye en los muestreos sucesivos. Para *O. jenynsii* (Kruskal-Wallis: $p = 0,054$), *G. mekinos* (Kruskal-Wallis: $p = 0,71$) y *P. dissensus* (Kruskal-Wallis: $p = 0,56$) no se encontraron diferencias significativas (Fig. 60 b, c y d).

Tabla 42. Promedio del Índice Hepatosomático por especie, con el rango observado y los individuos utilizados para el análisis.

Especie	N	IHS	
		Media	Rango
<i>B. iheringii</i>	498	1,34	0,01 - 13,7
<i>O. jenynsii</i>	200	0,98	0,01 - 4,90
<i>G. mekinos</i>	95	1,47	0,01 - 3,75
<i>C. scotti</i>	75	1,01	0,10 - 2,30
<i>P. dissensus</i>	73	1,11	0,01 - 2,10
<i>S. biornata</i>	47	1,49	0,01 - 6,30
<i>D. terofali</i>	39	0,72	0,01 - 2,00
<i>O. humensis</i>	20	1,35	0,40 - 3,09
<i>P. maculatus</i>	14	0,78	0,09 - 6,30
<i>H. commersoni</i>	13	1,15	0,02 - 2,10
<i>C. voga</i>	12	0,92	0,20 - 1,49
<i>H. argentinensis</i>	9	1,05	0,60 - 2,05
<i>R. quelen</i>	7	1,50	0,15 - 4,64

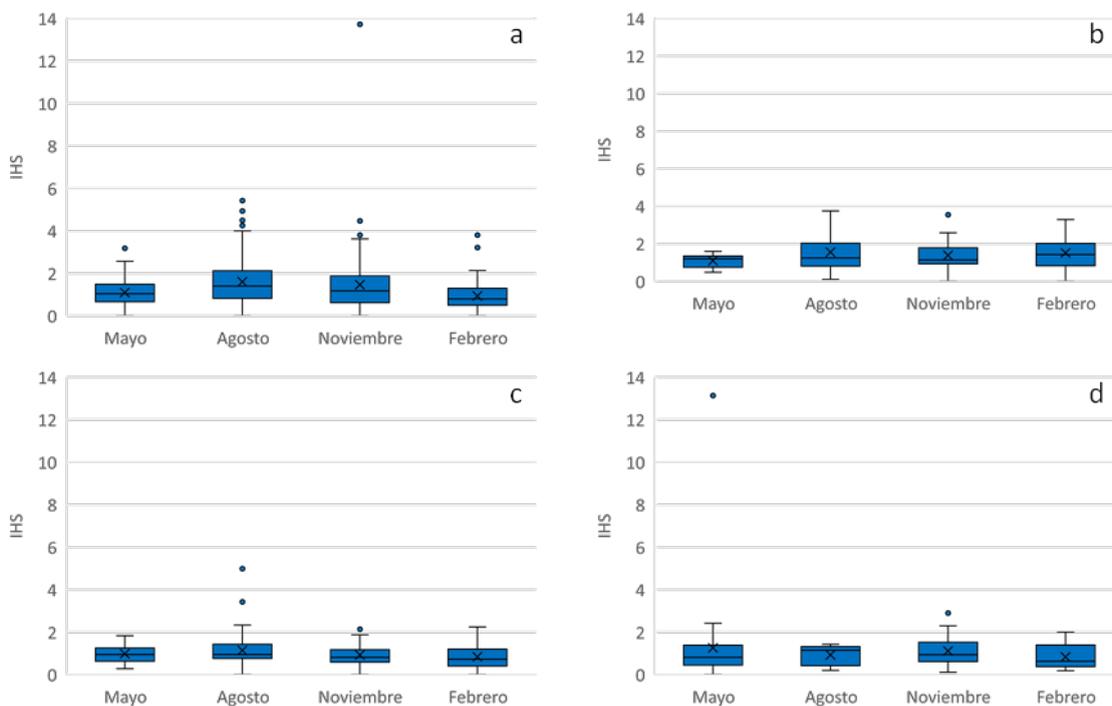


Figura 60. Índice hepatosomático de las especies *B. iheringii* (a), *G. mekinos* (b), *O. jenynsii* (c) y *P. dissensus* (d) para los diferentes meses de muestreo.

En cuanto al índice de Actividad Reproductiva (IAR) se realizó para las 4 especies que estuvieron presentes en todos los muestreos y presentaron 5 o más individuos en cada temporada. El valor máximo de este índice para *B. iheringii* fue de 44 en noviembre y el mínimo de 0 ocurrió en **mayo**. En el caso de *G. mekinos*, el máximo fue de 70.8 y ocurrió en **agosto** mientras que el mínimo de 38.9 se observó en **noviembre**. Para *O. jenynsii*, el

mínimo de 16 se registró en mayo y el máximo de 61 en **agosto**. Por último, el valor mínimo de IAR para *P. dissensus* se observó en mayo y fue de 33.3 mientras que el máximo (76.4) se detectó en **noviembre**. Se observó que 3 de los 4 valores mínimos se dieron en mayo mientras que los valores más altos se encontraron en meses más cálidos asociados a una mayor actividad reproductiva. En este sentido, los valores del índice de actividad reproductiva (IAR) y del índice gonadosomático (IGS) sugieren que las cuatro especies presentan un desove durante los meses de primavera, característicos de especies de regiones templadas (Fontoura et al., 2018; Mounic-Silva et al., 2019). Este patrón estacional de desove ha sido explicado como una estrategia para sincronizar la eclosión de larvas con los ciclos de producción planctónica, altas temperaturas y fotoperiodo. De esta manera, las larvas eclosionan en un ambiente donde la calidad y cantidad de alimento permiten maximizar su crecimiento y desarrollo (Mounic-Silva et al., 2019).

El máximo observado para ambos índices en *B. iheringi* y *P. dissensus* sugieren que el desove en dichas especies ocurre durante o después del mes de noviembre. Por otro lado, en *G. mekinos*, el máximo en **agosto** y mínimo en **noviembre** indicaría que su desove ocurre entre estos meses. Sin embargo, sería importante aumentar la frecuencia de muestreo para conocer mejor la evolución de estos índices y determinar con mayor claridad las épocas de reproducción de estas especies.

vii.2.d Porcentaje de lípidos en músculo de peces

Se analizó el contenido lipídico en músculo de 159 muestras correspondientes a 29 especies (**Tabla 43**), las cuales también fueron analizadas para determinación de plaguicidas. El almacenamiento de lípidos varió sustancialmente entre especies, siendo *Apareiodon affinis* la especie que arrojó los valores medios más altos, con un valor de 5.8% de lípidos en músculo, seguida de *Lycengraulis grossidens* (5.5%) y *Odontesthes perugiae* (4,7%). Contrariamente, *Raphiodon vulpinus* fue la especie con menor contenido lipídico con 1.2% del peso de los lípidos sobre el peso total de la muestra.

Estas diferencias interespecíficas en el contenido lipídico podrían estar relacionadas con el tipo de alimentación y los diferentes ciclos de vida de las especies (estrategias de asignación de energía para la reproducción y el crecimiento, por ejemplo) (Adams, 1999).

Tabla 43. Contenido lipídico medio y rango por especie expresado como porcentaje del peso de los lípidos sobre el peso total de la muestra.

Especie	Lípidos (%)	
	Media	Rango
<i>Apareiodon affinis</i>	5,8	
<i>Australoheros scitulus</i>	4,5	
<i>Bryconamericus iheringii</i>	4,1	2,3 - 6,3
<i>Crenicichla scotti</i>	3,8	1,7 - 5,2
<i>Cyphocharax voga</i>	4	2,4 - 2,4
<i>Diapoma terofali</i>	4,3	3,1 - 2,1
<i>Gymnogeophagus mekinos</i>	3,7	2,6 - 5,4
<i>Gymnogeophagus terrapurpura</i>	3,8	
<i>Heptapterus mustelinus</i>	4,1	6,1 - 2,2
<i>Hoplias argentinensis</i>	4,2	5,0 - 3,5
<i>Hoplias lacerdae</i>	3,5	2,6 - 4,3
<i>Loricariichthys anus</i>	2,4	2,0 - 2,9
<i>Lycengraulis grossidens</i>	5,5	
<i>Megaleporinus obtusidens</i>	3,4	
<i>Odontesthes humensis</i>	4	2,4 - 4,9
<i>Odontesthes perugiae</i>	4,7	4,5 - 4,9
<i>Oligosarcus jenynsii</i>	3,8	1,6 - 9,2
<i>Parapimelodus valenciennis</i>	4,3	
<i>Pellona flavipinnis</i>	2,9	
<i>Pimelodus maculatus</i>	3,3	2,9 - 3,3
<i>Prochilodus lineatus</i>	4,3	2,4 - 6,1
<i>Psalidodon dissensus</i>	4,5	3,4 - 5,1
<i>Psalidodon eigenmanniorum</i>	2,8	
<i>Psalidodon rutilus</i>	2,7	1,6 - 4,0
<i>Raphiodon vulpinus</i>	1,2	
<i>Rhamdia quelen</i>	3,8	2,4 - 5,3
<i>Salminus brasiliensis</i>	3,1	2,1 - 5,0
<i>Steindachnerina biornata</i>	4,4	2,8 - 7,8
<i>Synbranchus marmoratus</i>	2,4	

viii. Polinizadores diversidad

El número de individuos recolectados mediante los diferentes métodos y en todas las instancias de muestreo, correspondió a 17813, dentro de los cuales se pudieron identificar 273 morfoespecies (**Anexo 14**).

A partir de las trampas de color, se recolectaron un total de 16458 insectos mientras, que con red entomológica se capturaron un total de 1355 individuos. Estos se distribuyeron en los grupos Coleoptera, Diptera, Hymenoptera y Lepidoptera de acuerdo como indica la **Tabla 44**.

Tabla 44. Número de individuos y morfoespecies identificadas en los cuatro principales grupos de insectos. *Incluye microdípteros que no fueron incluidos en los análisis posteriores. **Incluye microhimenópteros e individuos de la superfamilia Formicoidea (hormigas) que no fueron incluidos en los análisis posteriores.

Orden	Número de individuos		Número de morfoespecies
	Trampas de color	Red entomológicas	
Coleoptera	6343	448	92
Diptera	5913*	5561*	39
Hymenoptera	4071**	3452**	112
Lepidóptera	131	6	31

Dentro de los insectos estudiados, se destaca el orden Hymenoptera, el que incluye abejas, avispas y hormigas como los representantes más conocidos. También dentro de este grupo podemos encontrar microhimenópteros que tienen gran importancia como controladores biológicos ya que la gran mayoría son parasitoides de otros insectos, incluyendo diversas plagas de cultivos. Se constató una gran abundancia de microhimenópteros (1108) en la cuenca del San Salvador, pero debido a la dificultad para su identificación y principalmente a su menor incidencia en el proceso de polinización, no fueron considerados en el posterior análisis. En el mismo sentido y a pesar de su importancia ecológica en la desintegración de materia orgánica, incorporación de carbono a los suelos y reguladores de otras especies de artrópodos y en algunos casos económica (plagas de cultivos), las hormigas (superfamilia Formicoidea) fueron descartadas del análisis ya que, en general, no son buenos polinizadores.

La identificación de ejemplares permitió discriminar 112 morfoespecies dentro de las cuales, se destaca la superfamilia Apoidea, donde están incluidas las abejas (**Tabla 45**). Entre los individuos identificados, se encontraron representantes de 4 familias de abejas, Apidae, Collectidae, Halictidae y Megachillidae. Para nuestro país, hay reportadas 5 familias. Entre las familias de apoideos recolectados se destaca Apidae, que fue la que presentó mayor riqueza con 21 morfoespecies y mayor abundancia. Dentro de estas familias se encuentran abejas con una gran diversidad de hábitos alimenticios, tipos de nidificación y organización social. Algunas de estas características,

como, por ejemplo, la socialidad, potencia su efecto polinizador en el ambiente ya que un nido alberga un gran número de individuos. Entre este tipo de abejas, se destacan *Apis mellifera*, la que es exótica de nuestro país y que posee un gran potencial polinizador y su domesticación permite que sea utilizada como bioindicador ambiental de forma exitosa, tal como lo muestra este estudio (ver estudio de plaguicidas en polinizadores). El resto de las abejas identificadas son especies nativas, siendo sólo *Bombus pauloensis* de hábitos sociales con verdaderas colonias, pero de ciclo anual. Las demás son especies solitarias o presentan niveles de socialidad inferiores (ej. agregaciones de nidos, comunal, etc.) cría por lo que presentan mayor susceptibilidad a las prácticas agrícolas.

La gran mayoría de las morfoespecies restantes corresponde a lo que comúnmente se denomina “avispa” que incluye diversas familias. Entre estas se destacan 5 morfoespecies de avispas depredadoras de arañas que actúan como controladoras de este grupo de artrópodos. Por otro lado, se encontraron 3 morfoespecies del superorden Symphita que oviponen dentro de tejidos vegetales vivos, pudiendo causar daños en especies leñosas, incluyendo cultivos forestales.

Tabla 45. Familias y número de morfoespecies identificadas en el Orden Hymenoptera

	ORDEN	Familia	Nº de morfos
1	Hymenoptera	Apidae	21
2		Colletidae	2
3		Halictidae	10
4		Megachillidae	5
5		Desconocido (Superfamilia Apoidea)	5
6		Crabronidae	1
7		Ichneumonidae	1
8		Scoliidae	2
9		Desconocido (Superfamilia Scolioidea)	1
10		Pompilidae	3
11		Vespidae	2
12		Tenthredinidae	1
13		Desconocido (Symphita)	1
14		Desconocido ("Avispas")	57
		Total	112

El orden Coleoptera es un grupo megadiverso taxonómica y ecológicamente. Incluye especies en los tres niveles tróficos principales: saprófitos, fitófagos/herbívoros y depredadores, lo que determina su importante rol en la mayoría de los ecosistemas terrestres, incluidos los antropogénicos.

Se identificaron un total de 27 familias, entre estas se encuentran varias que comúnmente se alimentan de polen por lo que podrían tener un rol importante como

polinizadores, estas son: Nitidulidae, Cerambycidae, Chrysomelidae, Staphylinidae, Scarabeidae, Mordellidae, Curculionidae, Scarabeidae. Además del rol potencial que cumplen como polinizadores al visitar las flores para realizar diferentes actividades (alimentación, apareamiento, refugio), las familias identificadas incluyen diversos hábitos alimenticios que se traducen en diferentes roles, incluyendo especies fitófagas consideradas plagas de cultivos.

La mayoría de las familias incluye un número reducido de morfoespecies (**Tabla 46**). La familia Chrysomelidae, una de las grandes familias del orden, fue la que contó con mayor número de morfoespecies (16). Los crisomélidos (“escarabajos de las hojas”) son fitófagos polívoros, la mayoría se alimentan de hojas y algunas especies pueden ser importantes plagas. Sólo una de las morfoespecies pudo ser identificada a nivel específico; se trata de *Diabrotica speciosa* una especie generalista considerada plaga en muchos cultivos que, concordantemente, fue encontrada casi exclusivamente en los sitios de cultivo.

En cuanto a riqueza de especies también se destacan las familias Curculionidae (8), Cantharidae (7), Coccinellidae (6) y Mordellidae (6). Los curculiónidos o gorgojos son uno de los grupos más diversos dentro del orden, son herbívoros y es una familia cuyos varios representantes son especies plagas. Los cantáridos, por su parte, viven sobre la vegetación alimentándose de néctar y polen, así como de pequeños insectos. Los coccinélidos son depredadores siendo importantes controladores de plagas como pulgones. Los mordelidos, son fitófagos y se alimentan de polen de flores, por lo que son polinizadores.

En cuanto a la abundancia de individuos se destaca la familia Melyridae para la cual se identificaron dos especies: *Astylus astromaculatus* y *A. quadrilineatus* cuyas abundancias superan ampliamente, en particular la primera de ellas, a todas las demás morfoespecies en el muestreo de marzo y noviembre, respectivamente. En su fase adulta, ambas especies se alimentan de polen y pueden ser observados sobre distintas especies vegetales. *A. astromaculatus*, conocido como “siete de oro”, fue encontrado exclusivamente en los sitios de cultivo. Su larva vive en el suelo alimentándose de materia vegetal en descomposición, pero también puede consumir semillas y plántulas por lo que la especie es considerada plaga. Por otra parte, los adultos pueden ser tóxicos para el ganado cuando son ingeridos en grandes cantidades.

Tabla 46. Familias y número de morfoespecies identificadas para el Orden Coleoptera.

	Orden	Familia	N° de morfoespecies
1	Coleoptera	Achytarsidae	1
2		Anobiidae	1
3		Apionidae	1
4		Bruchidae	4
5		Bruprestidae	4
6		Cantharidae	7
7		Carabidae	4
8		Cerambycidae	1
9		Chrysomelidae	16
10		Coccinellidae	6
11		Curculionidae	8
12		Dermestidae	3
13		Dytiscidae	1
14		Elateridae	3
15		histeridae	2
16		Hydrophilidae	1
17		Lampyridae	1
18		Latridiidae	1
19		Meloidea	2
20		Melyridae	2
21		Mordellidae	5
22		Mycetophagidae	2
23		Nitidulidae	3
24		Scarabaeidae	3
25		Staphylinidae	4
26		Tenebrionidae	2
27		Desconocido	4
		Total	92

El orden Diptera es un grupo taxonómico de gran relevancia como bioindicadores debido a su diversidad. Esto permite que, al evaluar la presencia de diferentes especies en un ambiente, se puede hacer un acercamiento sobre el estado y la calidad ambiental de un ecosistema en general. Dentro de las familias presentes en la cuenca del río San Salvador (**Tabla 47**), se encontraron representantes de algunas de las familias más importantes en cuanto a su rol polinizador como son Syrphidae, Bombyliidae, Anthomyiidae, Tachinidae, Calliphoridae y Bibionidae. Entre éstas se destacó la familia Syrphidae, también conocidas como "moscas de las flores" o "moscas sírfidas", presentando una gran riqueza con 5 morfoespecies. Los sírfidos adultos son importantes polinizadores de diversas plantas y las larvas de algunas especies son controladores biológicos relevantes ya que se alimentan de pulgones y otros insectos plaga. En este sentido, su mayor presencia se asoció a un momento puntual en un sitio de cultivo. Su presencia y diversidad pueden indicar la salud de los ecosistemas terrestres y la eficacia de los servicios de polinización y control de plagas.

En cuanto a riqueza, junto con los sírfidos, se destacan las familias Muscidae (moscas verdaderas) y Sarcophyidae, presentando 6 y 5 morfoespecies, respectivamente. Estas familias se asocian a una diversidad de ambientes cumpliendo un papel importante como descomponedores de materia orgánica, aunque algunas pueden ser vectores de enfermedades.

Otro grupo taxonómico para destacar, en este caso por su abundancia, es la familia Tabanidae (ver resultados de abundancia más adelante). Estas moscas, también conocidas como "tábanos", son comunes en hábitats de agua dulce, especialmente en corrientes y arroyos de alta calidad. Algunas especies son altamente sensibles a la contaminación y la degradación del hábitat, lo que las convierte en indicadores útiles de la salud de los ecosistemas acuáticos. En este caso, el mayor número de individuos recolectados se encontró en primavera (noviembre de 2022), predominantemente en sitios de borde ribereño.

Tabla 47. Familias y número de morfoespecies identificadas para el Orden Diptera.

	ORDEN	Familia	Nº de morfoespecies
1	Diptera	Asilidae	1
2		Anthomyiidae	1
3		Bibionidae	2
4		Bombyliidae	2
6		Calliphoridae	3
10		Dolichopodidae	1
11		Fannidae	1
12		Muscidae	6
18		Micropezidae	2
20		Nemestrinidae	1
21		Phiophilidae	1
22		Phoridae	1
23		Sarcophagidae	4
27		Sciomyzidae	1
28		Sepsidae	1
29		Syrphidae	5
34		Sciaridae	1
35		Statomyidae	1
36		Tachinidae	1
37		Tabanidae	2
39		Tephritidae	1
		Total	39

Los integrantes del orden Lepidoptera son típicos visitantes florales en su etapa adulta pudiendo tener un rol muy relevante en la polinización de diversas especies vegetales. Por otro lado, en su etapa larval muchas especies pueden ser perjudiciales convirtiéndose en plagas de cultivos. Son además importantes indicadores ecológicos por su sensibilidad a los disturbios y a los cambios en los ecosistemas.

A pesar de la baja abundancia que se registró para este grupo, es de destacar que se identificaron representantes de 5 familias de las 6 presentes en Uruguay (**Tabla 48**).

La familia Noctuidae fue la que presentó mayor número de morfoespecies, las cuales suelen estar muy asociadas a cultivos. Debido al bajo número de individuos capturados,

no se percibió una clara asociación con los sitios de muestreo ubicados en cultivos; sin embargo, el paisaje de la cuenca es característicamente agrícola por lo que es esperable su presencia a lo largo del mismo.

La siguiente familia en cuanto a número de morfoespecies es Hesperidae, cuyos miembros presentan un alto grado de estenofagia (rango limitado de alimento), están asociados a plantas nativas y son considerados importantes polinizadores.

Por otro lado, es de destacar la presencia de una morfoespecie de la subfamilia Satyrinae (familia Nymphalidae) que son especies típicas de pastizal y ecotono de bosque, funcionando como indicadoras de estos ecosistemas. En este sentido, los escasos individuos registrados para esta especie fueron recolectados en el sitio 6 caracterizado por bosque parque.

Este grupo presentó un alto porcentaje de morfoespecies (15) que no se pudieron asignar a ningún grupo taxonómico menor a Lepidoptera. Esto se debió principalmente al estado de deterioro de los ejemplares relacionado al método de muestreo utilizado (con líquido) y su posterior conservación en alcohol. La identificación en este grupo se basa en la observación del patrón de coloración en las escamas del cuerpo, las antenas, patas, espolones, entre otras características, las cuales fueron modificadas. Esto sugiere que aunque las trampas de color son un método fácil, económico y eficiente para el monitoreo de otros grupos, no sería el más adecuado para Lepidoptera.

Por otro lado, a pesar de que la red entomológica es muy utilizada como herramienta de captura de estos insectos, el procedimiento utilizado en el presente estudio que consistió en barridas continuas sobre la vegetación a lo largo de transectas, no pareció ser eficiente ya que se capturaron únicamente 5 individuos del grupo (pertenecientes a 4 morfoespecies diferentes) en todas las campañas de muestreo. Aunque el escaso número de individuos capturados de Lepidoptera pueda ser reflejo de lo que ocurre en el paisaje de la cuenca, es necesario revisar los métodos de captura utilizados.

Tabla 48. Familias y número de morfoespecies identificadas para el Orden Lepidoptera.

	Orden	Familia	Nº de Morfoespecies
1	Lepidoptera	Hesperiidae	4
2		Lycaenidae	2
3		Noctuidae	5
4		Nymphalidae	1
5		Pieridae	4
6		Desconocido	5
		Total	21

Determinación de abundancia y riqueza por sitios

Analizando conjuntamente Hymenoptera, Coleoptera, Lepidoptera y Diptera, se pudo determinar la riqueza (número de morfoespecies) por sitio analizado. Los sitios que presentaron mayor riqueza fueron los Sitio 1 (S1) y Sitio 5' (S5'), ambos superando las 50 morfoespecies (**Fig. 61**). Estos casos pueden ser representativos para el objetivo planteado en este estudio, que proponía conocer las especies de polinizadores presentes en la cuenca del río San Salvador, ya son sitios geográficamente separados (uno en la cuenca alta y otro en la cuenca baja) y son paisajísticamente diferentes (monte ribereño y zona cultivada). En la gráfica se puede constatar que la riqueza en estos lugares está conformada por un alto número de morfoespecies de diferentes órdenes de insectos en un sitio y en el otro. Mientras en el monte ribereño el número de especies de himenópteros es mayor, en la zona cultivada hay mayor riqueza de coleópteros. Esto indica que los efectos del paisaje son diferentes para los diferentes órdenes de insectos y por tanto requerirá en un futuro hacer una profundización del análisis para cada grupo.

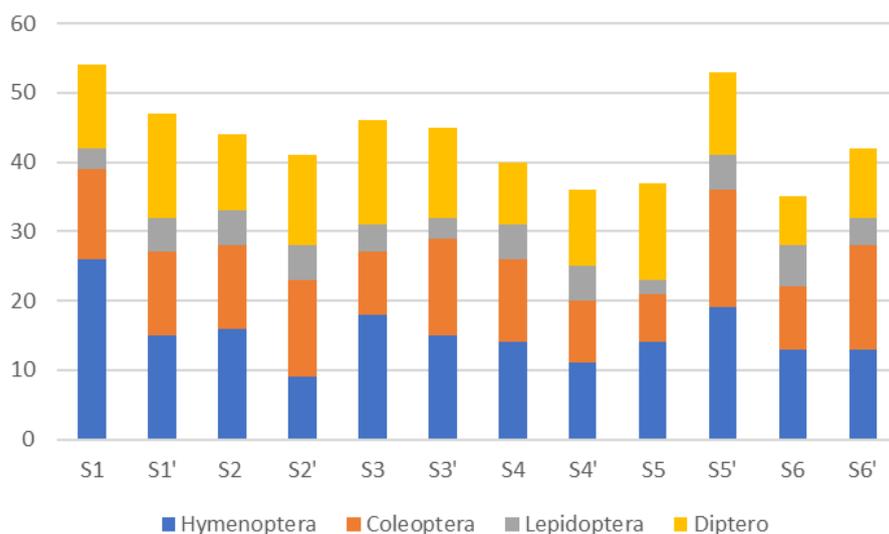


Figura 61. Número de morfoespecies de los órdenes Hymenoptera, Coleoptera, Diptera y Lepidoptera en cada uno de los sitios muestreados en las tres estaciones. Los sitios identificados como S' corresponden a los sitios cercanos a los cultivos de soja, y los sitios S cercanos a vegetación silvestre.

En cuanto a las abundancias, los resultados muestran un mayor número de individuos en el sitio 5', el que corresponde a un sitio de zona cultivada y donde se encuentra un alto valor de individuos del orden Coleoptera. Los demás sitios cultivados, mostraron mayor abundancia que su sitio pareado de monte ribereño, excepto el sitio 3, donde hubo una gran cantidad de dípteros (**Fig. 62**).

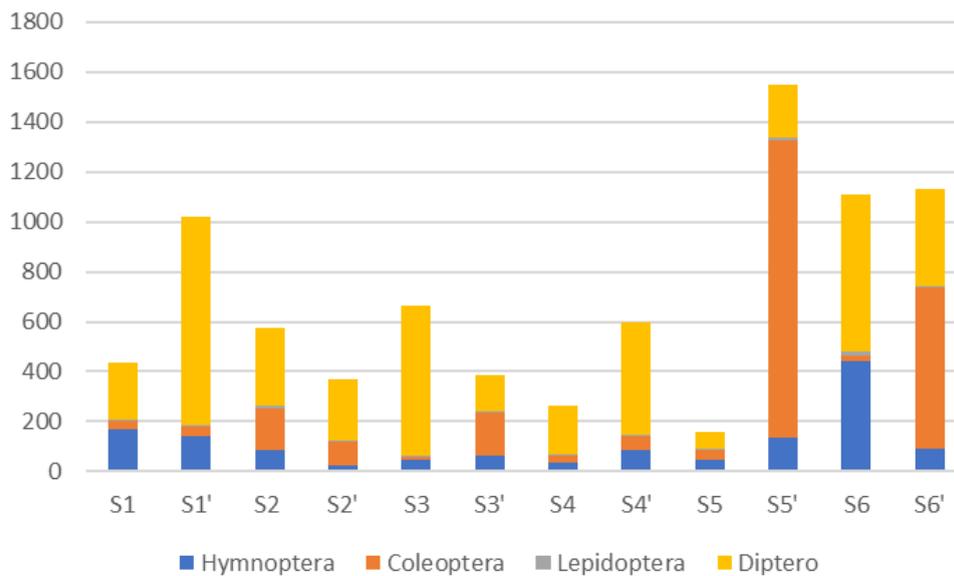


Figura 62. Número de individuos por orden (Hymenoptera, Coleoptera, Diptera y Lepidoptera) en cada uno de los sitios muestreados en las tres estaciones. Los sitios identificados como S' corresponden a los sitios cercanos a los cultivos de soja, y los sitios S cercanos a vegetación silvestre.

Se realizó un diagrama de clasificación utilizando el índice de similitud de Jaccard (**Fig. 63**) en el que se observa que las relaciones entre los sitios con cultivos de soja y vegetación silvestre no muestran un agrupamiento. Profundizando estos resultados, se realizó un análisis similar utilizando índice de Brays-Curtis, donde además de presencia y ausencia de morfos, se considera la abundancia de estos. En este caso, la agrupación mostró una mayor similitud de los sitios según la vegetación circundante, se agruparon por un lado los sitios con cultivos de soja y por otro lado los sitios con vegetación silvestre. Esto ocurrió más allá de las distancias geográficas mostrando el efecto de la vegetación circundante y el paisaje en general sobre la diversidad de insectos (**Fig. 63**). De la misma manera, tampoco hay un agrupamiento entre sitios cercanos, considerando que los sitios pareados de cultivo y de vegetación silvestre, se encontraban cerca.

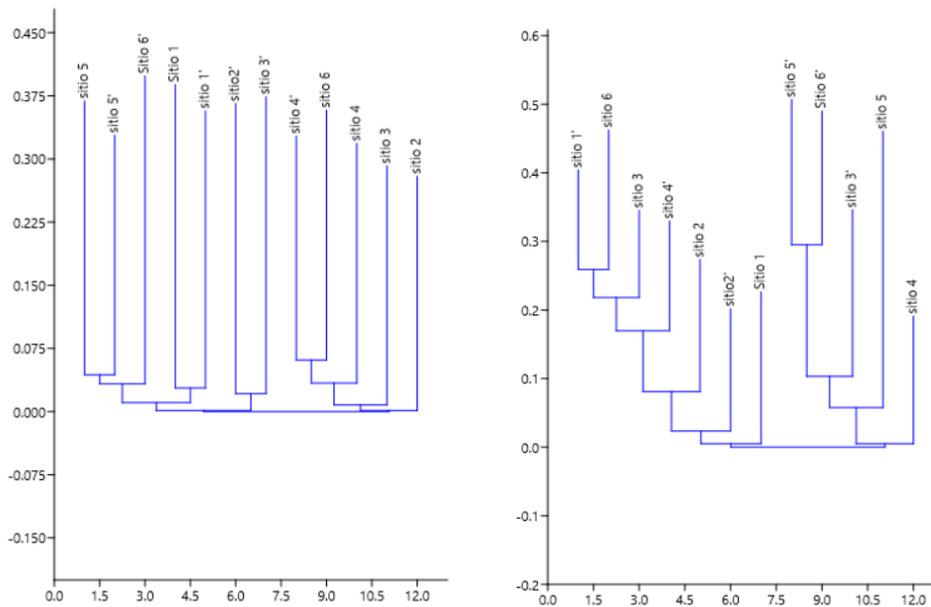


Figura 63. Figura 7. Diagrama de clasificación de la comunidad de insectos en los sitios muestreados en la vegetación próxima al río San Salvador. Análisis de algoritmo UPGMA basados en presencia, índice de similaridad de Jaccard (izquierda) y en abundancia, índice de Bray-Curtis (derecha). Los sitios identificados como S' corresponden a los sitios cercanos a los cultivos de soja, y los sitios S cercanos a vegetación silvestre.

ix. Origen botánico de la miel y el polen colectado por abejas.

Los resultados del análisis palinológico de las 4 muestras estacionales de miel y polen de las colmenas de los 5 apiarios en la cuenca del río San Salvador (2 en la zona alta, 2 en la zona media y uno en la zona baja) se muestran en el **Anexo 15** y **Anexo 16**. Cada muestra se compuso por una mezcla de miel o polen de 5 colmenas de cada apiario.

Las colmenas de los 5 apiarios tenían acceso a áreas cultivadas. Los apiarios 1, 3 y 5 estaban a menos de 1km del río San Salvador, por lo que además de explotar las especies presentes en las tierras cultivadas, podían explotar las especies del monte ribereño y su entorno.

Cabe destacar que durante la primavera y verano se instaló en buena parte del territorio uruguayo, incluida la cuenca del río San Salvador, una enorme sequía. La falta de agua afecta de forma diferente el crecimiento y la producción de néctar y polen de las plantas. El número de recursos botánicos identificados en las muestras de néctar y polen de cada apiario en cada muestreo se muestran en la **Tabla 49**.

Tabla 49. Número de recursos botánicos identificados en la miel (M) y el polen (P) mediante técnicas palinológicas en los cuatro muestreos estacionales realizados en los cinco apiarios ubicados en distintas zonas de la cuenca del río San Salvador.

Zona de la cuenca		Baja		Media				Alta			
Nº apiario		Apiario 1		Apiario 2		Apiario 3		Apiario 4		Apiario 5	
Recursos		M	P	M	P	M	P	M	P	M	P
Otoño	Total	7	8	6	4	9	5	6	5	8	5
	>5%	3	3	3	1	2	2	2	3	3	3
Invierno	Total	2	1	5	1	1	1	1	1	2	1
	>5%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Primavera	Total	10	12	7	6	8	10	10	11	7	7
	>5%	5	5	3	4	6	5	4	5	4	4
Verano	Total	7	3	13	8	10	8	10	6	9	9
	>5%	2	3	3	6	4	4	5	6	6	7

A continuación, se destacan los principales resultados encontrados en cada muestreo.

En el muestreo de otoño entre el 70 y el 90% de la miel de los 5 apiarios provino de chircas y carquejas (*Baccharis* spp.) y eucaliptos (*Eucalyptus* spp.) dos especies botánicas. En los apiarios 1, 2 y 3 predominó la miel de chircas y carquejas, mientras que en los apiarios 4 y 5 predominó la miel de eucaliptos. Esta diferencia puede obedecer a que en la zona alta de la cuenca, donde se ubicaban los apiarios 4 y 5, son mucho más frecuentes los montes de abrigo de eucaliptos en los establecimientos ganaderos.

En el caso del polen, al igual que en la miel, las chircas y carquejas, y los eucaliptos fueron las especies que las abejas explotaron para obtener pólenes. Las chircas y carquejas predominaron en los pólenes de los apiarios 1 (62%), 2 (97%), 3 (68%) y 4 (73%), mientras que los eucaliptos predominaron en el apiario 5 (60%).

Tanto en miel como en polen la presencia de pólenes de especies cultivadas como trébol rojo (*Trifolium pratense*), lotus (*Lotus* spp.), sorgo (*Sorghum bicolor*), maíz (*Zea mayz*) y girasol (*Helianthus annuus*) fue escaso. Posiblemente esto se deba a que son especies cultivadas en verano por lo que solo quedaría almacenado poca miel o polen de estas especies en las colmenas.

En el muestreo de invierno, más del 95% de la miel y el 100% del polen en todos los apiarios provino de la colza (*Brassica napus*). La colza, un cultivo que se expandió rápidamente en los últimos años en el país, constituye una fuente de néctar y polen excepcional para las abejas que aun en condiciones climáticas adversas explotan intensamente este recurso.

En el muestreo de primavera el origen botánico de las mieles varió mucho entre los apiarios. Llamativamente en los apiarios 2 y 3 la miel procedente de la colza (*Brassica napus*) estaba muy presente, con 73 y 43%, respectivamente. Esto puede deberse a la

explotación de una colza tardía y/o al bajo consumo de reservas por parte de las colonias de estos apiarios. También se destaca la explotación de las mirtáceas nativas del monte ribereño del río San Salvador en los apiarios 1 (22%), 3 (25%) y 5 (37%), ubicados próximos al río. En los otros dos apiarios ubicados lejos del río las mirtáceas nativas estaban menos representadas (1,6% en apiario 2 y 8,6% en apiario 4). En algunos apiarios aparecieron recursos nectaríferos puntualmente importantes como el caraguatá (*Eryngium* spp.) en el apiario 1 (37%), el lotus (*Lotus* spp.) en el apiario 4 (56%), y la borraja (*Echium plantagineum*) en apiario 5 (31%).

El origen botánico del polen, al igual que el de la miel, varió mucho entre los apiarios. El lotus (*Lotus* spp.) estuvo muy representado en los pólenes de los apiarios 1 (54%), 3 (30%) y 4 (21%). La borraja (*Echium plantagineum*) fue un importante recurso polinífero en los apiarios 4 (32%) y 5 (37%). El molle (*Schinus longifolius*) también fue una fuente importante de polen en los apiarios 2 (65%), 3 (23%) y 5 (24%). Finalmente, el caraguatá (*Eryngium* spp.) fue un importante recurso polinífero en el apiario 3 (23%) y las mirtáceas nativas en el apiario 5 (21,4%).

Tanto en miel como en polen la presencia de pólenes de especies forrajeras cultivadas en primavera y verano como trébol rojo (*Trifolium pratense*) y achicoria (*Cichorium intybus*) fue escaso. Sin embargo, el lotus (*Lotus* spp.) fue utilizado como fuente de néctar principal en un apiario y aportó importante cantidad de polen en tres apiarios.

En el muestreo de verano el origen botánico de las mieles varió mucho entre los apiarios. En los distintos apiarios las abejas explotaron algunas especies cultivadas. El lotus (*Lotus* spp.) estuvo muy representado en las mieles del apiario 1 (85%) y medianamente representada en el apiario 2 (36%). La soja (*Glycine max*), la especie más cultivada en la cuenca, llamativamente solo fue explotada de forma significativa por las colmenas del apiario 3 (31%). El polen de sorgo (*Sorghum bicolor*) apareció de forma importante en el apiario 4 (32%). Esto se debe a que las abejas colectan las excreciones del pulgón *Melanaphis sacchari* (mielatos). En estas excreciones quedan adheridos los granos de polen del sorgo. Este dato coincide con la abundante presencia de elementos indicadores de mielatos en el análisis palinológico. El girasol (*Heliantuus annuus*) apareció en baja frecuencia en las mieles del apiario 5 (16%). Entre las especies no cultivadas cuyos pólenes aparecen en la miel se destacan los eucaliptos (*Eucalyptus* spp.) en los apiarios 4 (29%) y 5 (30%). La aruera (*Lithraea molleoides*) fue explotada por las abejas del apiario 2 (37%) y 5 (16%) no apareciendo representada en los restantes tres apiarios. El rábano (*Brassica* spp.) fue explotado de forma importante por las abejas del apiario 3 (33%).

El origen botánico del polen, al igual que el de la miel, varió mucho entre los apiarios. Diferentes especies cultivadas fueron explotadas por las abejas para colectar polen. El

lotus (*Lotus* spp.) estuvo muy representado en las mieles de los apiarios 1 (82%) y 3 (52%). La soja (*Glycine max*) solo fue explotada para colectar polen por las abejas de los apiarios 2 (22%) y 3 (15%). En las mieles de los restantes apiarios este cultivo no estuvo representado en el polen. El girasol (*Heliantus annuus*) aportó polen únicamente en los apiarios 4 (21%) y 5 (31%). El polen de maíz (*Zea mayz*) fue encontrado en cantidades importantes en el apiario 2 (20%). El sorgo (*Sorghum bicolor*) fue explotado para traer polen por las abejas de los apiarios 4 (32%) y 5 (10%). La alfalfa (*Medicago sativa*) solo aparece representada en el polen del apiario 3 (14%). Entre las especies no cultivadas representadas en el polen se destaca el diente de león (*Taraxacum officinale*) en el apiario 2 (22%), una planta de la familia Scrophulariaceae en los apiarios 2 (11%) y 4 (17%) y el cardo (*T. Cynara cardunculus*) en los apiarios 4 (11%) y 5 (10%).

Análisis general

En términos generales, los principales pólenes hallados, tanto en las muestras de miel como de polen, corresponden a especies que florecen en el periodo en que se realizó el muestreo, por lo que los plaguicidas hallados en estas dos matrices seguramente ingresaron a las colmenas en el periodo previo al muestreo (no más de 60 días). Se detectaron algunos pólenes en baja frecuencia que corresponden a especies florecidas en un periodo alejado al del muestreo. Estos pólenes podrían estar en el fondo de las celdas muestreadas, debajo de capas de pólenes más frescos que las abejas ingresaron posteriormente.

Como era de esperar, se observó que muchas especies botánicas fueron fuentes importantes de néctar, pero no de polen, y viceversa. Las plantas suelen diferir en su valor nectarífero y polinífero para las abejas. Además, la tendencia a utilizar una planta para extraer néctar, polen, o ambos, puede estar condicionada por la presencia de otras especies botánicas que las abejas encuentran rentables para obtener cualquiera de los dos alimentos.

El origen botánico de las mieles y pólenes no separa las zonas alta, media y baja de la cuenca del río San Salvador. Entre los recursos nectaríferos y poliníferos explotados por las abejas muchas veces sobresalen los cultivos o malezas poco frecuentes en la cuenca, pero presentes puntualmente en un establecimiento cercano a los apiarios y que son especialmente atractivas para las abejas, por ejemplo la leguminosa forrajera lotus (*Lotus* spp.) o la maleza borraja (*Echium plantagineum*). Los eucaliptos (*Eucalyptus* spp.), formando montes de abrigo, también constituyen fuentes de néctar y polen importantes para las abejas. El monte ribereño el río San Salvador tuvo un efecto limitado en el aporte de néctar y polen en las colmenas de los apiarios 1, 3 y 5, ubicados a poca distancia del río. Solo en el muestreo de primavera se encontró que las abejas de estos apiarios colectaron néctar de mirtáceas nativas, encontrando hasta un 37% del



polen de este grupo en el apiario 5. El monte ribereño del río San Salvador y el de sus afluentes, constituyen las zonas de mayor variabilidad vegetal dentro de una cuenca altamente homogeneizada por los cultivos industriales.

Finalmente, es importante destacar el contraste en la explotación por parte de las abejas de dos de los cultivos más representativos de la cuenca del río San Salvador, como son la colza (*Brassica napus*) y la soja (*Glycine max*). La colza fue prácticamente el único cultivo explotado en el invierno, tanto para obtener néctar como polen. Este cultivo, que tuvo un crecimiento muy rápido en nuestro país favorecido por los elevados precios internacionales, constituye una fuente excepcional de recursos que permite a las colonias adquirir un rápido desarrollo, aún en condiciones climáticas adversas. El hecho de que sea el único recurso visitado por las abejas expone a las colonias al riesgo de entrar en contacto con cualquier plaguicida que se le aplique, especialmente si está florecido. Por otro lado, llama la atención que la soja, extensamente plantada en toda la cuenca, haya sido explotada de forma muy marginal por las abejas. Estuvo representada en la miel del apiario 3 (31%) y en el polen de los apiarios 2 (22%) y 3 (15%). Es muy posible que las condiciones de sequía durante el verano hayan afectado la producción de néctar y polen de este cultivo. Cabe mencionar que muchas de las sojas plantadas en el país tuvieron una merma de producción drástica, al grado que en muchos casos no justificó su cosecha.

x. Discusión general

La cuenca del río San Salvador ocupa una de las regiones agrícolas más fértiles del Uruguay, presentando el mayor porcentaje de área de agricultura de secano del país, por lo que se esperaban altos niveles de detección de plaguicidas en el sistema. En este sentido, en el presente trabajo se lograron detectar 55 plaguicidas diferentes (21 insecticidas, 17 herbicidas y 17 fungicidas) en las distintas matrices analizadas. De estos, el 67,2% presentan criterio máximo de importancia (3) para DINACEA, 30,9% criterio 2 y el 1,8% de criterio 1. Este último compuesto es el fungicida picoxistrobin (presente en cera), para el cual no existen registros de importación desde el año 2014. En este sentido, se debería profundizar en el conocimiento del paquete tecnológico asociado a este producto, y si su uso se corresponde al lote importado en 2014 o por el contrario existe un eventual ingreso al país por canales alternativos al MGAP.

Los plaguicidas encontrados en las matrices agua (41) y peces (30) fueron más abundantes que los encontrados previamente en la Laguna del Cisne (26 y 14 respectivamente) (Teixeira de Mello et al., 2020), lo que refleja las diferencias en la extensión de cultivos y mayor complejidad del sistema fluvial de la cuenca del río San Salvador.

En agua superficial, la presencia de plaguicidas en todas las muestras analizadas (mínimo nueve compuestos por muestras) junto con los 41 principios activos encontrados a lo largo del año, ponen de manifiesto el elevado número y diversidad de plaguicidas utilizados en la cuenca. La ocurrencia de 16 de estos compuestos en todos los meses sugiere la existencia de un paquete de plaguicidas que son aplicados de forma continua, independientemente de la época del año y el tipo de cultivo predominante en la cuenca. La mayoría de ellos son herbicidas, lo cual reafirma la predominancia del uso de este tipo de compuestos en nuestro país sobre insecticidas y fungicidas (DGSA, 2022; Palladino et al., 2023). Asimismo, la alta ocurrencia de glifosato (y su metabolito AMPA) a lo largo de todo este estudio pone de manifiesto una vez más la importancia de este compuesto en la producción agrícola del país (Cespedes-Payret et al., 2009; Soutullo et al., 2020; Rizzo et al., 2021). Otros herbicidas como la simazina y el metolacoloro, y el insecticida tiametoxam también representan compuestos relevantes en el sistema en función de su ocurrencia y concentraciones.

La cuenca del río San Salvador viene siendo monitoreada desde el año 2014 por el MVOTMA-DINAMA-DCA. En este trabajo las concentraciones encontradas para glifosato fueron inferiores a los reportados previamente. Sin embargo, para el caso de AMPA, las concentraciones medias fueron superiores (1,58 $\mu\text{g/L}$ versus 0,8 $\mu\text{g/L}$) (MVOTMA|DINAMA, 2016; MVOTMA|DINAMA, 2019). Para el caso de atrazina, simazina, clorpirifos y tiametoxam, únicos compuestos determinados en el río San

Salvador en el período 2014 – 2019 las concentraciones encontradas en este trabajo también fueron inferiores.

La presencia de atrazina (prohibido en 2016 por MGAP y obsoleto desde 2018) resulta preocupante. Su distribución espacial en la cuenca resultó bastante uniforme a lo largo del año. En este sentido, su bajo DT50 en agua, de entre 3 días a 8 semanas (Rice et al., 2004; Drouin et al., 2021; Bhatti et al., 2022; PPDB, 2023) indicarían que el compuesto se sigue utilizando en la cuenca. Si bien sus valores fueron muy inferiores a los reportados previamente (MVOTMA|DINAMA, 2019), su presencia debería considerarse como un mal manejo en el uso de plaguicidas en la cuenca y representaría un gran impacto para el sistema acuático y la salud humana (Gagneten et al., 2023).

Clorpirifos es el insecticida más utilizado en nuestro país. En 2022 se importaron 295.516 Kg. / Lts de formulado y 126.391,68 Kg. de sustancia activa, lo que representa el 22% y 32% del total de insecticidas respectivamente (DGSA, 2022). Su ocurrencia en todas las matrices analizadas refleja el gran uso de este compuesto en la cuenca y su potencial de contaminación. En este sentido, como muchos organofosforados el clorpirifos está catalogado como Plaguicida Altamente Peligroso (PAP) (Network, 2021) y su uso está prohibido en EEUU y la Unión Europea (UE) debido a su persistencia ambiental y toxicidad (Rodríguez-Bolaña et al., 2023). En función de esto, Uruguay debería analizar en profundidad su normativa actual sobre el uso de este compuesto y promover alternativas más seguras y confiables para el medio ambiente y la salud humana.

Por su parte, la presencia del insecticida tiametoxam en agua, peces y miel también amerita una evaluación de su uso en nuestros sistemas agrícolas. Si bien los neonicotinoides fueron introducidos como una alternativa más segura para el medioambiente y son actualmente los insecticidas más utilizados a nivel mundial, su alta toxicidad (especialmente en abejas), alta solubilidad y movilidad (Zhang et al., 2023) representan un gran riesgo ambiental. Debido a esto, muchos países de la UE han prohibido el uso de tiametoxam y dos neonicotinoides más (clotianidina e imidacloprid; este último presente en matrices en agua y peces en este estudio). Esto pone de manifiesto la necesidad de actualizar la normativa actual sobre estos productos.

La mayor ocurrencia de plaguicidas en el mes de **mayo**, posiblemente se encuentre asociada a las operativas de cosecha de cultivos estivales como la soja y el maíz, de gran relevancia en la cuenca. Esto explicaría la mayor ocurrencia de compuestos raros (únicos) en este mes, de los cuales la gran mayoría se encuentran asociados a este tipo de cultivos. Por su parte el mínimo en febrero, mes también caracterizado por una gran operativa en el uso de plaguicidas (Rodríguez-Bolaña et al., 2023) podría relacionarse con el gran déficit de precipitaciones registrados en la región (<https://www.inumet.gub.uy/clima/recursos-hidricos/indice-de-precipitacion>). Sin



embargo, los análisis estadísticos empleados no detectaron una relación significativa entre el número de plaguicidas y las precipitaciones.

La gran similitud de plaguicidas en agua en todos los sitios analizados no permitió determinar una entrada espacial diferencial de éstos en el curso principal del río considerando los usos del suelo en las distintas partes de la cuenca. Sin embargo, se detectaron ingresos específicos en algunos afluentes. En este sentido, resultaría importante implementar una mayor intensidad de monitoreo para analizar esta dinámica en períodos más cortos de tiempo, y particularmente monitorear diversos puntos en los afluentes para conocer el aporte de las diferentes subcuencas sobre el cauce del río San Salvador considerando que es más sencillo entender la dinámica de los plaguicidas y los usos del suelo en escalas territoriales menores. En este sentido se podría considerar reducir algunos sitios del cauce principal para poder aumentar la frecuencia de muestreo por un período concreto ya que los análisis previos en Laguna del Cisne evidenció la importancia de realizar muestreos de alta frecuencia. Concretamente el análisis de la frecuencia de muestreos mostró que disminuyendo la frecuencia (pasando de mensuales a trimestrales) el número de plaguicidas detectados disminuyó en un 50% (Teixeira de Mello et al., 2020). Si bien las características hidrológicas y de uso de suelo en la cuenca del San Salvador son diferentes, un aumento en la frecuencia de muestreos podría permitir detectar una mayor cantidad de plaguicidas.

Los plaguicidas que representan mayor riesgo ecotoxicológico en agua fueron los insecticidas organofosforados (etión y clorpirifos) y piretroides (cipermetrina, permetrina, bifentrina y lambda-cialotrina). Además del clorpirifos, la cipermetrina y lambda-cialotrina han sido catalogados como plaguicidas altamente peligrosos por la Red de Acción contra los Pesticidas (PAN Internacional) (Network, 2021). Los organofosforados son extremadamente tóxicos para los organismos no objetivo incluso a bajas concentraciones y pueden bioacumularse en los tejidos de los peces, como el hígado y los músculos, lo que provoca efectos inmunotoxicológicos (Kumar et al., 2016). Se ha informado ampliamente de que los piretroides pueden inducir daños en el sistema nervioso, estrés oxidativo y alteraciones endocrinas en insectos acuáticos y peces (Perez-Parada et al., 2018). Además, el efecto tóxico sinérgico entre los piretroides y los organofosforados se observa comúnmente en los ecosistemas acuáticos, incluidos los peces (Yang et al., 2021). En este sentido, en Uruguay ambos grupos químicos son usados en cultivos similares (Scarlatto et al., 2022; Rodríguez-Bolaña et al., 2023), por lo que resultaría importante analizar el posible efecto sinérgico de estos dos tipos de compuestos en el ambiente.

En el caso de los peces, el alto porcentaje de muestras positivas (83,5%) y la presencia de cinco plaguicidas detectados en músculo, pero no encontrados en agua pone de

manifiesto la utilidad de los peces en los programas de biomonitorio. Debido a esto, los peces son comúnmente utilizados como biomarcadores de exposición a plaguicidas, y el análisis de su comunidad es una herramienta fundamental para determinar el riesgo potencial y el destino de estos contaminantes en los sistemas acuáticos (Perez-Parada et al., 2018).

En este estudio, la mojarra *Bryconamericus iheringii* fue la especie seleccionada como bioindicadora dada su gran abundancia y distribución en la cuenca, siendo la especie dominante en número de individuos en la comunidad. Por esta razón fue la especie que mayor número de muestras se analizó, determinando que sea la especie con la que se detectó la mayor cantidad de plaguicidas. Sin embargo, para las demás especies se necesitó un gran esfuerzo de muestreo para poder acceder a un número representativo de muestras. En este sentido, y considerando que existe una relación directa entre el número de plaguicidas por muestra y el contenido lipídico y posición trófica de las especies, resulta importante considerar la colecta de *B. iheringii*, conjuntamente con *Oligosarcus jenynsii* (especie clasificada como Piscívora, con contenido graso medio-alto; y de gran abundancia en la cuenca). Sin embargo, estas dos especies acumularon 20 de los 30 plaguicidas detectados en peces, por lo que es relevante incluir otras especies que acumulen diversidad de plaguicidas, por ejemplo *Pimelodus maculatus* y *Cyphocharax voga* entre otras.

De los 30 plaguicidas detectados en peces, el 53 % fueron insecticidas, en su mayoría piretroides y organofosforados, lo que pone de manifiesto su potencial de bioacumulación descrito más arriba. En este sentido, bifentrina, clorpirifos y cipermetrina representan los compuestos con mayor nivel de preocupación, dados sus altos valores de concentración en músculo, su ocurrencia; y el carácter de PAP de los dos últimos. Sin embargo, debido a los altos valores de LC50 de los peces a estos compuestos (mayor que en invertebrados), el análisis de RQ no evidenció riesgo ecotoxicológico a las concentraciones de agua detectadas. Aun así la bioacumulación de estos plaguicidas representa un riesgo a largo plazo para los organismos (Kumar et al., 2016).

La relevancia de bivalvos como matriz complementaria a las muestras de agua y peces quedó de manifiesto con la inclusión de *Corbicula fluminea* (especie asiática invasora) y *Diplodon* sp. (género nativo) en este estudio, que permitieron determinar la presencia de seis plaguicidas no detectados en el resto de las matrices. Los seis compuestos presentan un alto potencial de bioacumulación ($\log k_{ow} > 3$); siendo además acetolaclor y fipronil sulfona compuestos PAP. Asimismo, salvo acetolaclor todos tienen una baja solubilidad en agua por lo que pueden ser fácilmente incorporados mediante su asociación con partículas en suspensión por organismos filtradores como los bivalvos (Yusof et al., 2004). La acumulación de diferentes compuestos entre especies pone de

manifiesto, al igual que lo observado en peces, la importancia de utilizar diferentes especies para una misma matriz. El mayor análisis de muestras de *C. fluminea* determinó que se encontraran mayor cantidad de plaguicidas en esta especie.

Para las matrices terrestres se observó una complementariedad entre ellas en función de los plaguicidas que acumulan, posiblemente asociada a las diferencias en la temporalidad e hidrofobicidad que presentan (Harriet et al., 2017; Calatayud-Vernich et al., 2018). La naturaleza hidrofóbica de la cera determinó que dichas muestras presenten la mayor cantidad y diversidad de plaguicidas. Las similitudes de plaguicidas en cera entre los apiarios determinan que represente la mejor opción de entre las cuatro para analizar los usos de la cuenca. En miel y polen no se observó este agrupamiento, posiblemente asociado a la homogeneidad espacial del origen botánico del polen. Sin embargo, estas matrices serían indicadoras de los usos recientes de la cuenca. Esta ventana temporal se evidenció claramente en invierno donde prácticamente el único cultivo explotado por las abejas para la obtención de polen y néctar fue la colza, y los resultados de ambas matrices evidenciaron la ocurrencia de plaguicidas asociados a este cultivo en dicho período.

Con respecto a los plaguicidas, los fungicidas pertenecientes a la familia de las estrobirulinas representan el grupo químico más abundante en polinizadores. Sin embargo, el análisis de priorización de riesgo determinó que los insecticidas piretroides, organofosforados y neonicotinoides son los compuestos que representan el mayor riesgo para las abejas (Tome et al., 2020; Blettler et al., 2022). En este sentido, considerando la importancia de la colza y los eucaliptos (*Eucalyptus* spp.) como fuentes de néctar y polen para las abejas, se debería profundizar en el paquete tecnológico aplicado en estos cultivos con el objetivo de determinar los posibles impactos ecotoxicológicos sobre las abejas.

xi. Conclusiones

Se evidenció una gran llegada de plaguicidas a los cursos de agua, asociados a los diferentes cultivos, con una marcada variabilidad temporal.

Se detectó el uso de plaguicidas prohibidos como es el caso de la atrazina, por lo que deberían incrementarse los controles ya sea de uso o de ingreso a nivel nacional. Además, se detectó el uso de plaguicidas aprobados para cultivos no presentes en la cuenca, así como una mala disposición final de envases.

Insecticidas organofosforados y piretroides encontrados en agua presentaron un riesgo ecotoxicológico alto en el sistema. Sus efectos potenciales en la biota plantean la necesidad de controlar el uso de estos plaguicidas en la cuenca, por lo que se recomienda profundizar en el conocimiento de su uso en las actuales prácticas agrícolas (cultivos aplicados, dosis, períodos y su frecuencia de aplicación).

La gran mayoría de los plaguicidas detectados (65,4%) presentan máxima prioridad de monitoreo por parte de DINACEA (prioridad 3). Picoxistrobin fué el único compuesto con prioridad 1, puesto que su última importación registrada en MGAP data de 2014. Dada su ocurrencia en la cuenca, y sus bajos valores de DT50 en suelo (2,4 días) y en agua (7,5 días), se debería profundizar en el origen de este compuesto y a que paquete tecnológico se encuentra asociado.

El 43% de los compuestos están clasificados como “Plaguicidas altamente Peligrosos” por la Red de Acción en Plaguicidas (PAN). Por su ocurrencia y detección en múltiples matrices se resalta: clorpirifos, permetrina, diuron, piraclostrobina y carbendazim. Esto representa un desafío a la actual normativa sobre uso de plaguicidas en Uruguay, la cuál debería actualizarse hacia sustitutos más seguros con el medio ambiente y la salud humana.

El uso de varias matrices ha mostrado la importante complementariedad entre ellas, dando una visión más global de la problemática en la cuenca. En el caso de los sedimentos, es importante fortalecer las capacidades a nivel nacional, más precisamente pudiendo disminuir los límites de cuantificación actuales.

La matriz agua mostró ser de gran importancia para la detección de plaguicidas a lo largo de la cuenca en los diferentes momentos del año. La detección de plaguicidas en esta matriz es dependiente no solo de sus características físico-químicas y del agua, sino también del tiempo de residencia del agua. En este sentido, en momentos de mayor caudal existiría un mayor transporte aguas abajo. Si bien una mayor frecuencia de muestreo es esperable que nos permita detectar un mayor número de plaguicidas, como fue analizado en Laguna del Cisne (muestreo mensual a trimestral se cuantifican un 50%

menos de plaguicidas), la logística de implementar una mayor frecuencia puede no ser viable. Sin embargo, un aumento de la frecuencia (mensual) en subcuencas puede permitir una mayor comprensión de la dinámica temporal asociada a los diferentes usos del suelo. En este sentido, las subcuencas del arroyo “El Aguilla” (XAGU100), “El Espinillo” (XESP130) y el “San Martín” (X SMA080) dada la gran ocurrencia de compuestos a lo largo de todo el muestreo, y su ubicación en las diferentes zonas de la cuenca del San Salvador.

En este estudio presentamos información sobre concentraciones pero no incluimos información de cargas, en este sentido consideramos relevante incorporar estudios de caudal para tener una idea global de la carga de plaguicidas que esta transportando cada uno de los sitios estudiados.

El análisis de los diferentes usos del suelo comprendidos en el área de drenaje de cada sitio de muestreo no se relacionó con los plaguicidas encontrados en estos sitios, consideramos relevante poder trabajar con información que incorpore la variabilidad intraanual de los cultivos. En nuestro caso trabajamos con información actualizada pero sin incorporar la variabilidad estacional. Esta información no es de fácil acceso por lo que habría que fortalecer este aspecto a nivel de gestión para poder mejorar la comprensión de estas relaciones.

Muchos de los plaguicidas fueron detectados en la biota, lo que indica que la disponibilidad y concentración de estos en el ambiente es suficiente como para ser incorporado en los tejidos musculares. Esto permitió detectar compuestos que se encuentran en bajas concentraciones en agua y compuestos presentes en meses donde no ocurrieron en esta matriz. Los peces con mayores posiciones tróficas presentaron un mayor número de plaguicidas, algunos no cuantificables en agua ni en especies de posiciones tróficas inferiores. Este fenómeno de biomagnificación trófica nos muestra que las comunidades biológicas están expuestas a una mayor diversidad de compuestos que los cuantificados puntualmente en los muestreos llevados adelante en este estudio. Asimismo, el aumento gradual de la concentración de ciertas sustancias tóxicas o contaminantes a medida que se mueven a través de diferentes niveles tróficos en un ecosistema, representan un riesgo no solo para la supervivencia de los organismos superiores, sino también para la biodiversidad y la salud de los ecosistemas.

Para la evaluación del sistema acuático recomendamos continuar trabajando con al menos dos especies de peces de dos grupos tróficos diferentes y contenido lipídico muscular (*B. iheringii* y *O. jenynsii*). En estas especies se cuantificaron 20 de los 30 plaguicidas cuantificados en peces, por lo que, además se recomienda incorporar otras especies que pueden ser colectadas esporádicamente pero que poseen una gran



capacidad de acumulación como son el bagre amarillo (*Pimelodus maculatus*) y el sabalito (*Cyphocharax voga*).

En el caso de los bivalvos se recomienda al menos trabajar con las especies invasoras ya que este grupo aporta un importante número de plaguicidas (ej. *Corbicula fluminea*, y *Limnoperna fortunei*). Es de resaltar que este grupo aportó un grupo particular de plaguicidas no cuantificados en otras matrices

En el caso de los apiarios, los mismos también aportaron plaguicidas específicos, presentando una complementariedad de las matrices analizadas, lo cual valida el uso de las mismas en conjunto. Se destaca la relevancia de la matriz cera para detectar plaguicidas hidrofóbicos.

Se generó un primer listado de polinizadores nativos y de especies de peces para la cuenca del río San Salvador, lo que representa un avance en el conocimiento de la diversidad biológica de esta cuenca.

El trabajo combinado entre el Ministerio de Ambiente y los diferentes laboratorios participantes de la UdelaR es necesario para poder seguir avanzando en las mejoras de las capacidades nacionales. El desarrollo de este proyecto evidenció, una vez más, la necesidad de sumar las capacidades de trabajo y expertise de los diferentes grupos técnicos para abordar de forma satisfactoria el monitoreo de plaguicidas en múltiples matrices. Por ello, consideramos como una alternativa viable generar un espacio interinstitucional para abordar este tipo de monitoreos considerando capacidades complementarias para la puesta en marcha de estos programas de monitoreo a nivel nacional.

xii. Bibliografía

- Alonso B, Griffiero L, Bentos Pereira H, Pareja L, Pérez Parada A. (2022) Determination of glyphosate and AMPA in freshwater and soil from agroecosystems by 9-fluorenylmethoxycarbonyl chloride derivatization and liquid chromatography - fluorescence detection and tandem mass spectrometry. *MethodsX*. 13;9:101730. doi: 10.1016/j.mex.2022.101730
- Alonso-Prados, E., Muñoz, I., De la Rúa, P., Serrano, J., Fernández-Alba, A. R., García-Valcárcel, A. I., ... & Higes, M. (2020). The toxic unit approach as a risk indicator in honey bees surveillance programmes: A case of study in *Apis mellifera iberiensis*. *Science of The Total Environment*, 698, 134208.
- Antúnez, K., Invernizzi, C., Mendoza, Y., Vanengelsdorp, D., & Zunino, P. (2017). Honeybee colony losses in Uruguay during 2013–2014. *Apidologie*, 48, 364-370.
- Balbuena, S., Castelli, L., Zunino, P., & Antunez, K. (2023). Effect of chronic exposure to sublethal doses of imidacloprid and *Nosema ceranae* on immunity, gut microbiota, and survival of Africanized honey bees. *Microbial ecology*, 85(4), 1485-1497
- Basso, C., Ribeiro, A., Cibils, X., Chiaravalle, W., & Punschke, K. (2020). Biological control in Uruguay. In *Biological control in Latin America and the Caribbean: its rich history and bright future* (pp. 447-456). Wallingford UK: CABI.
- Bejarano, A. C., Decho, A. W., & Chandler, G. T. (2005). The role of various dissolved organic matter forms on chlorpyrifos bioavailability to the estuarine bivalve *Mercenaria mercenaria*. *Marine environmental research*, 60(1), 111-130.
- Bhatti, P., Duhan, A., Pal, A., Beniwal, R. K., Kumawat, P., & Yadav, D. B. (2022). Ultimate fate and possible ecological risks associated with atrazine and its principal metabolites (DIA and DEA) in soil and water environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 248, 114299.
- Blettler, D., Manresa, J. A. B., & Fagúndez, G. A. (2022). A review of the effects of agricultural intensification and the use of pesticides on honey bees and their products and possible palliatives. *Spanish journal of agricultural research*, 20(4), 13.
- Boroukhovitch, M., (1998). Current state of chlorine-containing pesticides in Uruguay. http://www.chem.unep.ch/pops/POPs_Inc/proceedings/Iguazu/URUGUAYE.html.
- Calatayud-Vernich, P., Calatayud, F., Simó, E., & Picó, Y. (2018). Pesticide residues in honey bees, pollen and beeswax: Assessing beehive exposure. *Environmental Pollution*, 241, 106-114.
- Carriquiriborde, P., Díaz, J., Mugni, H., Bonetto, C., & Ronco, A. E. (2007). Impact of cypermethrin on stream fish populations under field-use in biotech-soybean production. *Chemosphere*, 68(4), 613-621.
- Castelli, L., Balbuena, S., Branchiccela, B., Zunino, P., Liberti, J., Engel, P., & Antúnez, K. (2021). Impact of chronic exposure to sublethal doses of glyphosate on honey bee immunity, gut microbiota and infection by pathogens. *Microorganisms*, 9(4), 845.



Castelli, L., Branchiccela, B., Zunino, P., & Antúnez, K. (2023). Insights into the effects of sublethal doses of pesticides glufosinate-ammonium and sulfoxaflor on honey bee health. *Science of The Total Environment*, 868, 161331.

Çavaş, T., & Ergene-Gözükara, S. (2003). Evaluation of the genotoxic potential of lambda-cyhalothrin using nuclear and nucleolar biomarkers on fish cells. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 534(1-2), 93-99.

Céspedes-Payret, C., Piñeiro, G., Achkar, M., Gutiérrez, O., Panario, D., (2009). The irruption of new agro-industrial technologies in Uruguay and their environmental impacts on soil, water supply and biodiversity: a review. *Int.J.Environ.Health* 3, 175- 197.

Chrustek, A., Hołyńska-Iwan, I., Dziembowska, I., Bogusiewicz, J., Wróblewski, M., Cwynar, A., & Olszewska-Słonina, D. (2018). Current research on the safety of pyrethroids used as insecticides. *Medicina*, 54(4), 61.

Correa, S. B., & Winemiller, K. (2018). Terrestrial–aquatic trophic linkages support fish production in a tropical oligotrophic river. *Oecologia*, 186(4), 1069-1078.

Cunningham, M. M., Tran, L., McKee, C. G., Polo, R. O., Newman, T., Lansing, L., ... & Guarna, M. M. (2022). Honey bees as biomonitors of environmental contaminants, pathogens, and climate change. *Ecological Indicators*, 134, 108457.

Derby, A. P., Fuller, N. W., Hartz, K. E. H., Segarra, A., Connon, R. E., Brander, S. M., & Lydy, M. J. (2021). Trophic transfer, bioaccumulation and transcriptomic effects of permethrin in inland silversides, *Menidia beryllina*, under future climate scenarios. *Environmental Pollution*, 275, 116545.

Deribe, E., Rosseland, B. O., Borgstrøm, R., Salbu, B., Gebremariam, Z., Dadebo, E., ... & Eklo, O. M. (2011). Bioaccumulation of persistent organic pollutants (POPs) in fish species from Lake Koka, Ethiopia: the influence of lipid content and trophic position. *Science of the total environment*, 410, 136-145.

Drouin, G., Droz, B., Leresche, F., Payraudeau, S., Masbou, J., & Imfeld, G. (2021). Direct and indirect photodegradation of atrazine and S-metolachlor in agriculturally impacted surface water and associated C and N isotope fractionation. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 23(11), 1791-1802.

Farag, M. R., Alagawany, M., Bilal, R. M., Gewida, A. G., Dhama, K., Abdel-Latif, H. M., ... & Naiel, M. A. (2021). An overview on the potential hazards of pyrethroid insecticides in fish, with special emphasis on cypermethrin toxicity. *Animals*, 11(7), 1880.

Farruggia, F. T., Garber, K., Hartless, C., Jones, K., Kyle, L., Mastrota, N., ... & Wagman, M. (2022). A retrospective analysis of honey bee (*Apis mellifera*) pesticide toxicity data. *Plos one*, 17(4), e0265962.

Fojut, T. L., Palumbo, A. J., & Tjeerdema, R. S. (2011). Aquatic life water quality criteria derived via the UC Davis method: III. Diuron. Aquatic life water quality criteria for selected pesticides, 105-141.



Fontoura, N., Ferreira, G.C., Aloisio S.B., da Silva Marques (2018) Defining the reproductive period of freshwater fish species using the Gonadosomatic Index: a proposed protocol applied to ten species of the Patos Lagoon basin, *Neotropical Ichthyology*, 16(2). pp. 11. doi: 10.1590/1982-0224-20170006.

Gagneten, A. M., Regaldo, L., Carriquiriborde, P., Reno, U., Kergaravat, S. V., Butinof, M., ... & Harte, A. (2023). Atrazine characterization: An update on uses, monitoring, effects, and environmental impact, for the development of regulatory policies in Argentina. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 19(3), 684-697.

Gottlieb, D. (1950). The physiology of spore germination in fungi. *The Botanical Review*, 16, 229-257.

Harriet, J., Campá, J. P., Grajales, M., Lhéritier, C., Pajuelo, A. G., Mendoza-Spina, Y., & Carrasco-Letelier, L. (2017). Agricultural pesticides and veterinary substances in Uruguayan beeswax. *Chemosphere*, 177, 77-83.

Hatjina, F., Papaefthimiou, C., Charistos, L., Dogaroglu, T., Bouga, M., Emmanouil, C., & Arnold, G. (2013). Sublethal doses of imidacloprid decreased size of hypopharyngeal glands and respiratory rhythm of honeybees in vivo. *Apidologie*, 44, 467-480.

He, L. M., Troiano, J., Wang, A., & Goh, K. (2008). Environmental chemistry, ecotoxicity, and fate of lambda-cyhalothrin. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, 71-91.

Hudson, L. N., Emerson, R., Jenkins, G. B., Layer, K., Ledger, M. E., Pichler, D. E., & Reuman, D. C. (2013). Cheddar: analysis and visualization of ecological communities in R. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(1), 99-104.

Invernizzi Castillo, C., Antúnez, K., Arredondo, D., Branchiccela, B., Castelli, L., Juri, P., Mendoza, Y., Nogueira, E., Salvarrey, S., & Santos, E. (2022). Situación sanitaria de las abejas melíferas en Uruguay: Novedades de la última década. *Veterinaria (Montevideo)*, 58(217), e20225821704.

Jesús, F., Hladki, R., Gérez, N., Besil, N., Niell, S., Fernández, G., Heinzen, H., Cesio, M.V. (2018). Miniaturized QuEChERS based methodology for multiresidue determination of pesticides in odonate nymphs as ecosystem biomonitors. *Talanta* 178, 410–418.

Jaramillo-Zárate, M. J., & Londoño-Giraldo, L. M. (2023). Pesticides in honey: bibliographic and bibliometric analysis towards matrix quality for consumption. *Brazilian Journal of Food Technology*, 26.

Klementová, Š., Hornyčová, L., Šorf, M., Zemanová, J., & Kahoun, D. (2019). Toxicity of atrazine and the products of its homogeneous photocatalytic degradation on the aquatic organisms *Lemna minor* and *Daphnia magna*. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 27259-27267.

Kumar, R., Sankhla, M. S., Kumar, R., & Sonone, S. S. (2021). Impact of pesticide toxicity in aquatic environment. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(3), 10131-10140.

Kwong et al., 2017. Immune system stimulation by the native gut microbiota of honey bees. *R Soc Open Sci.* 8;4(2). <https://doi.org/10.1098/rsos.170003>.

Lewis, K. A., Tzilivakis, J., Warner, D. J., & Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(4), 1050-1064.

Liao, L. H., Wu, W. Y., & Berenbaum, M. R. (2017). Behavioral responses of honey bees (*Apis mellifera*) to natural and synthetic xenobiotics in food. *Scientific Reports*, 7(1), 15924.

Medina, A. M. B. (2013). Directiva 2013/39/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de agosto de 2013, por la que se modifican las Directivas 2000/60/CE y 2008/105/CE en cuanto a las sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas (DOUE L 226, de 24 de agosto de 2013). *Actualidad Jurídica Ambiental*, (28), 22-23.

Mounic-Silva, C. E., Lopes, C. A., Porto-Ferreira, L. B., Nunes, M. E., Reynalte-Tataje, D. A., & Zaniboni-Filho, E. (2019). Spawning and recruitment areas of migratory fish in the Uruguay river: applying for rivers connectivity conservation in South America. *Boletim do Instituto de Pesca*, 45(3).

Murcia-Morales, M., Heinzen, H., Parrilla-Vázquez, P., del Mar Gómez-Ramos, M., & Fernández-Alba, A. R. (2022). Presence and distribution of pesticides in apicultural products: A critical appraisal. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 146, 116506.

MVOTMA|DINAMA. (2016). Plan de monitoreo del río San Salvador. Informe de actividades y presentación de resultados. Año 2015. Informe Interno DINAMA: 75 pp.

MVOTMA|DINAMA. (2020). Evolución de la calidad de agua en la cuenca del río San Salvador. Período 2014-2019. Informe Interno DINAMA: 76 pp.

Network, P. A. (2021). PAN international list of highly hazardous pesticides (PAN List of HHPs).

Niell, S., Jesus, F., Pérez, C., Mendoza, Y., Diaz, R., Franco, J., ... & Heinzen, H. (2015). QuEChERS adaptability for the analysis of pesticide residues in beehive products seeking the development of an agroecosystem sustainability monitor. *Journal of agricultural and food chemistry*, 63(18), 4484-4492.

Niell, S., Jesús, F., Pérez, N., Pérez, C., Pareja, L., Abbate, S., ... & Heinzen, H. (2017). Neonicotinoids transference from the field to the hive by honey bees: towards a pesticide residues biomonitor. *Science of the Total Environment*, 581, 25-31.

Niell, S., Jesús, F., Díaz, R., Mendoza, Y., Notte, G., Santos, E., ... & Heinzen, H. (2018). Beehives biomonitor pesticides in agroecosystems: Simple chemical and biological indicators evaluation using Support Vector Machines (SVM). *Ecological Indicators*, 91, 149-154.

Nørgaard, K. B., & Cedergreen, N. (2010). Pesticide cocktails can interact synergistically on aquatic crustaceans. *Environmental Science and Pollution Research*, 17, 957-967.

Palladino, C., García, I., & Fernández, G. (2023). Pesticide dependence and associated risks in Uruguayan agriculture: limitations in its approach. *Agrociencia Uruguay*, 27.

Pashte, V. V., & Patil, C. S. (2018). Toxicity and poisoning symptoms of selected insecticides to honey bees (*Apis mellifera mellifera* L.). *Archives of Biological Sciences*, 70(1), 5-12.



Pérez-Parada, A., Goyenola, G., de Mello, F. T., & Heinzen, H. (2018). Recent advances and open questions around pesticide dynamics and effects on freshwater fishes. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 4, 38-44.

Post, D. M., Layman, C. A., Arrington, D. A., Takimoto, G., Quattrochi, J., & Montana, C. G. (2007). Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia*, 152, 179-189.

Qian, L., Qi, S., Cao, F., Zhang, J., Zhao, F., Li, C., & Wang, C. (2018). Toxic effects of boscalid on the growth, photosynthesis, antioxidant system and metabolism of *Chlorella vulgaris*. *Environmental pollution*, 242, 171-181.

Raymann, Moran 2018. The role of the gut microbiome in health and disease of adult honey bee workers. *Curr. Opin. Insect. Sci.* 26,97-104. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.02.012>.

Rice, P. J., Anderson, T. A., & Coats, J. R. (2004). Effect of sediment on the fate of metolachlor and atrazine in surface water. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 23(5), 1145-1155.

Rizzo, G., Monzon, J.P., Ernst, O., (2021). Cropping system-imposed yield gap: proof of concept on soybean cropping systems in Uruguay. *Field Crop Res.* 260, 107944.

Rodríguez-Bolaña, C., Pérez-Parada, A., Tesitore, G., Goyenola, G., Kröger, A., Pacheco, M., ... & de Mello, F. T. (2023). Multicompartmental monitoring of legacy and currently used pesticides in a subtropical lake used as a drinking water source (Laguna del Cisne, Uruguay). *Science of The Total Environment*, 874, 162310.

Rodríguez, D., Barg, G., Queirolo, E. I., Olson, J. R., Mañay, N., & Kordas, K. (2023). Pyrethroid and Chlorpyrifos Pesticide Exposure, General Intellectual Abilities, and Executive Functions of School Children from Montevideo, Uruguay. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(7), 5288.

Rondeau, S., & Raine, N. E. (2022). Fungicides and bees: a review of exposure and risk. *Environment International*, 107311.

Salako, A. F., Amaeze, N. H., Shobajo, H. M., & Osuala, F. I. (2020). Comparative acute toxicity of three pyrethroids (Deltamethrin, cypermethrin and lambda-cyhalothrin) on guppy fish (*Poecilia reticulata* peters, 1859). *Scientific African*, 9, e00504.

Sánchez-Bayo, F., Goulson, D., Pennacchio, F., Nazzi, F., Goka, K., & Desneux, N. (2016). Are bee diseases linked to pesticides?—A brief review. *Environment international*, 89, 7-11.

Scarlato, M., Dogliotti, S., Bianchi, F. J. J. A., & Rossing, W. A. H. (2022). Ample room for reducing agrochemical inputs without productivity loss: The case of vegetable production in Uruguay. *Science of the Total Environment*, 810, 152248.

Schäfer, R. B., van den Brink, P. J., & Liess, M. (2011). Impacts of pesticides on freshwater ecosystems. *Ecological impacts of toxic chemicals*, 2011, 111-137.

Serra, S., Bessonart, J., Teixeira de Mello, F., Duarte, A., Malabarba, L., & Loureiro, M. (2014). *Peces del Río Negro*. – Montevideo : MGAP-DINARA, . 208 p.



Singh, S., Singh, N., Kumar, V., Datta, S., Wani, A. B., Singh, D., & Singh, J. (2016). Toxicity, monitoring and biodegradation of the fungicide carbendazim. *Environmental chemistry letters*, 14, 317-329.

Smodiš Škerl, M. I., Velikonja Bolta, Š., Baša Česnik, H., & Gregorc, A. (2009). Residues of pesticides in honeybee (*Apis mellifera carnica*) bee bread and in pollen loads from treated apple orchards. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83, 374-377.

Soutullo, A., Ríos, M., Zaldúa, N., & Teixeira-de-Mello, F. (2020). Soybean expansion and the challenge of the coexistence of agribusiness with local production and conservation initiatives: pesticides in a Ramsar site in Uruguay. *Environmental Conservation*, 47(2), 97-103.

Stebniki Cristobo, S. Variabilidad ambiental del bajo Río Uruguay y su efecto sobre la dinámica de la estructura trófica de la comunidad de peces. Tesis de maestría. Montevideo: Udelar. FC.-PEDECIBA, 2020

Taenzler, V., Weyers, A., Maus, C., Ebeling, M., Levine, S., Cabrera, A., ... & Rodea-Palomares, I. (2023). Acute toxicity of pesticide mixtures to honey bees is generally additive, and well predicted by Concentration Addition. *Science of The Total Environment*, 857, 159518.

Tarán, L., Ortega, C., & Laborde, A. (2013). Intoxicaciones por plaguicidas agrícolas y veterinarios en el Uruguay. Uruguay: Departamento de Toxicología. Facultad de Medicina. UDELAR. <http://downloads.gvsig.org/download/documents/articles/Intoxicacion-por-Plaguicidas-en-el-Uruguay.pdf>

Teixeira de Mello F., Rodríguez-Bolaña C., Tesitore G., Kröger A., Goyenola G, Pérez-Parada A, Heinzen H. 2020. Aportes a la construcción de capacidades nacionales para el monitoreo ambiental de plaguicidas utilizando la cuenca de la Laguna del Cisne como caso de estudio. Enmarcado en el Proyecto: Fortalecimiento de las capacidades para la gestión ambientalmente adecuada de plaguicidas incluyendo COPS, GCP/URU/031/GFF -MSP-MGAP-MVOTMA-FAO-GEF-2016-2020. Montevideo, Uruguay. 150pp.

Tome, H. V., Schmehl, D. R., Wedde, A. E., Godoy, R. S., Ravaiano, S. V., Guedes, R. N., ... & Ellis, J. D. (2020). Frequently encountered pesticides can cause multiple disorders in developing worker honey bees. *Environmental Pollution*, 256, 113420.

Ullah, S., Zuberi, A., Alagawany, M., Farag, M. R., Dadar, M., Karthik, K., ... & Iqbal, H. M. (2018). Cypermethrin induced toxicities in fish and adverse health outcomes: Its prevention and control measure adaptation. *Journal of Environmental Management*, 206, 863-871.

USEPA. (2017). U.S. Environmental Protection Agency. Technical overview of ecological risk assessment—Analysis phase: Ecological effects characterization. In: USEPA. <https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/technical-overview-ecological-risk-assessment-0>

Vázquez, D. E., Balbuena, M. S., Chaves, F., Gora, J., Menzel, R., & Farina, W. M. (2020). Sleep in honey bees is affected by the herbicide glyphosate. *Scientific Reports*, 10(1), 10516.

Zhang, X., Huang, Y., Chen, W. J., Wu, S., Lei, Q., Zhou, Z., ... & Chen, S. (2023). Environmental occurrence, toxicity concerns, and biodegradation of neonicotinoid insecticides. *Environmental Research*, 218, 114953.

xiii. Anexos

Anexo 1. Diagramas de flujo indicando el procedimiento relacionado con la toma de muestras y transporte entre laboratorios para cada matriz.

Diagrama de flujo. Campaña Agua

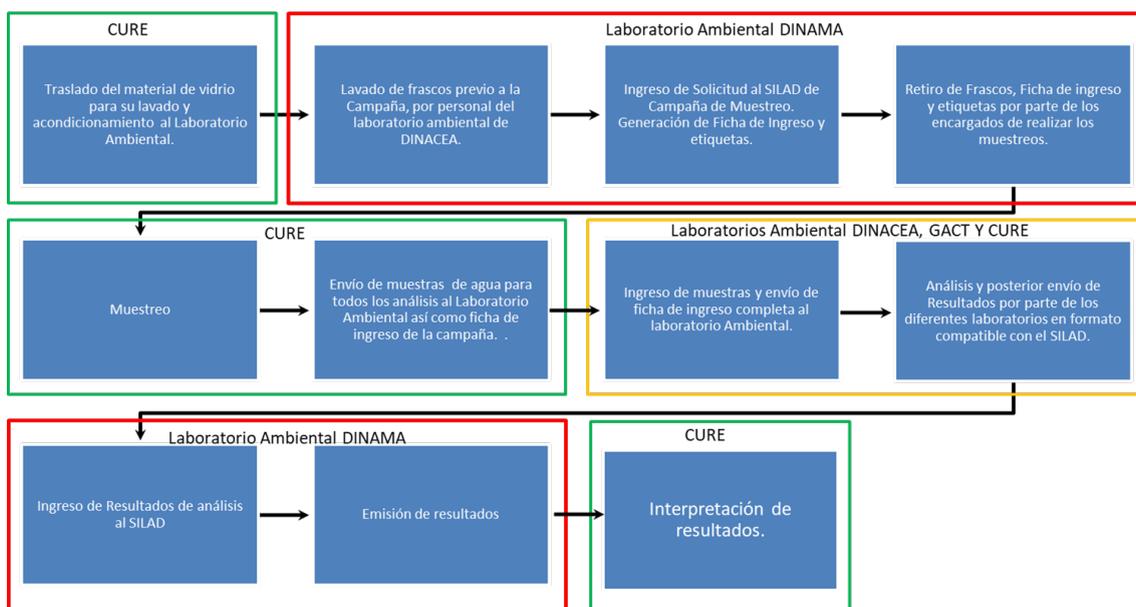


Diagrama de flujo. Campaña Sedimentos

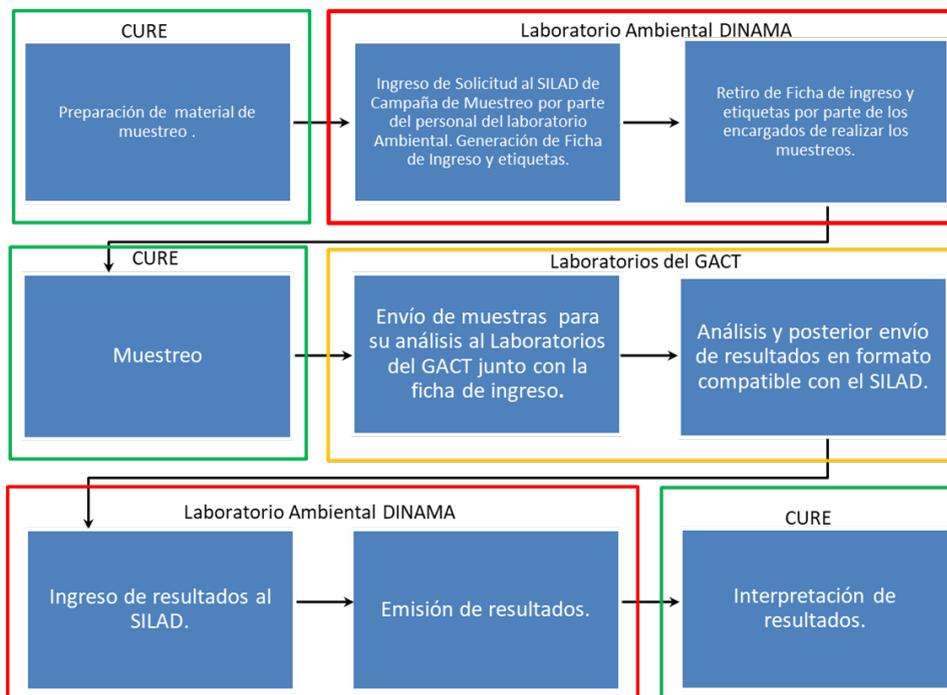


Diagrama de flujo. Campaña Peces

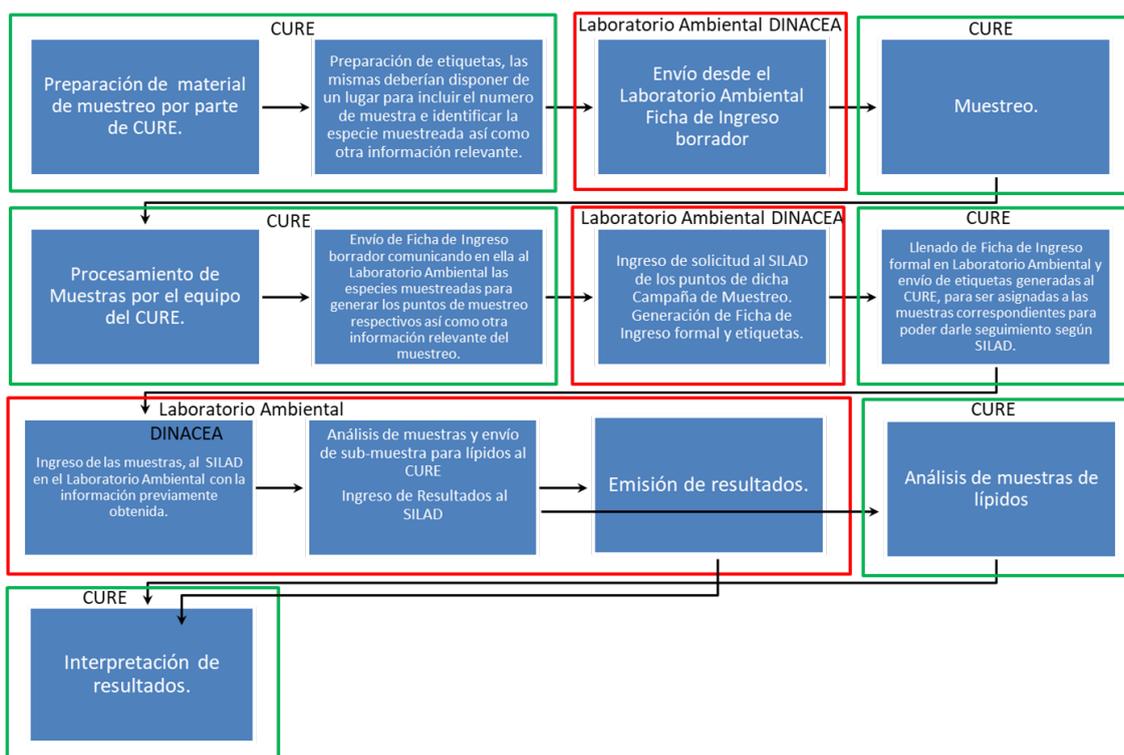


Diagrama de flujo. Campaña Bivalvos

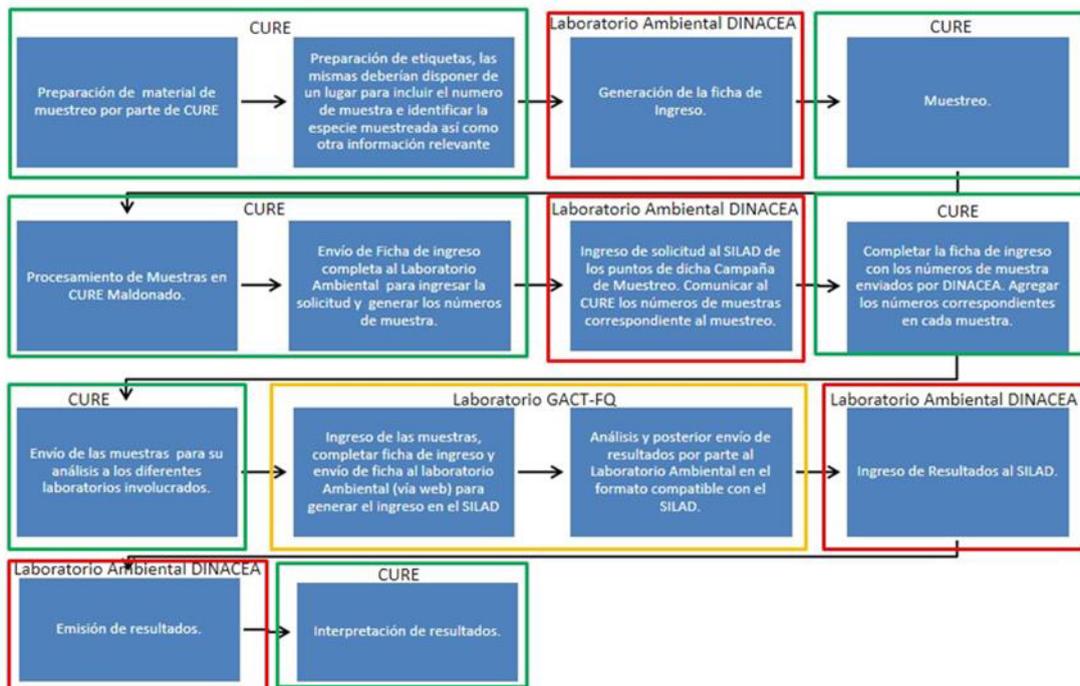
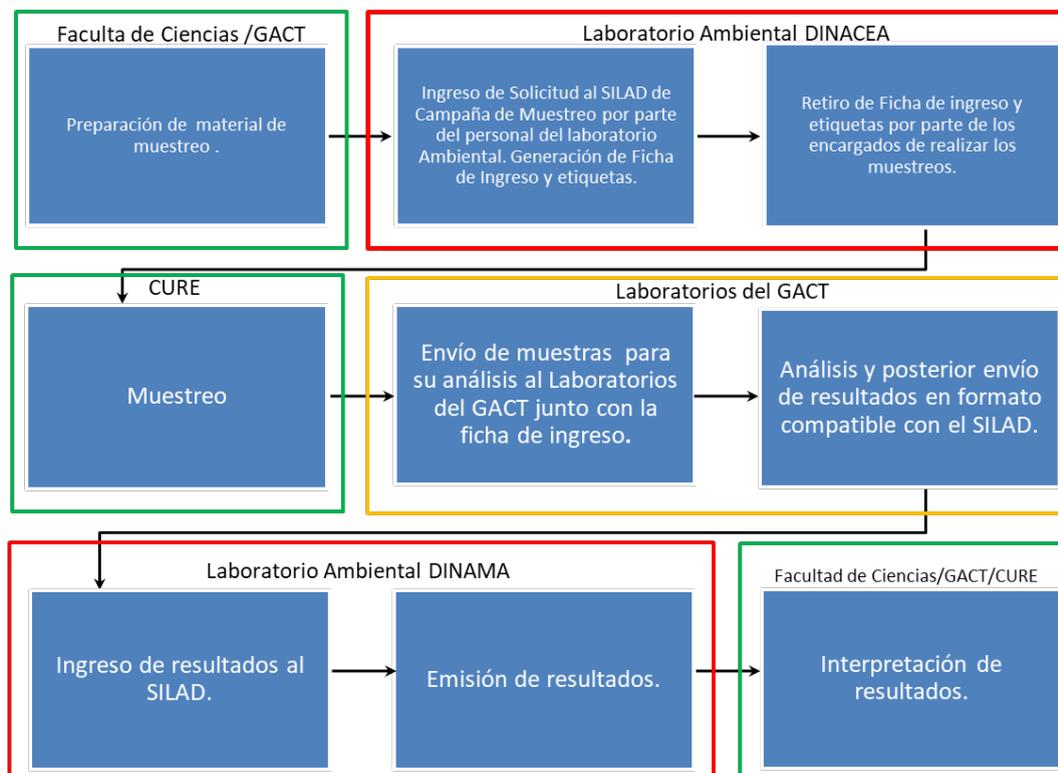


Diagrama de flujo colmenas



Anexo 2. A continuación se detallan los plaguicidas agregados a la metodología de análisis de pesticidas en *Corbicula fluminea* con sus LOQ (límites de cuantificación) y logKow.

Compuesto	LOQ (mg/kg)	logKow	Compuesto	LOQ (mg/kg)	logKow
2,4-DB	0,005	1,22	HCH-beta	0,005	-
Acetoclor	0,005	4,14	HCH-delta	0,010	-
Aldrin	0,010	6,50	Heptacloro	0,005	5,44
Bromopropilato	0,005	5,40	Heptacloro epoxido	0,005	-
Cialotrina	0,010	6,80	Hexaclorobenceno	0,005	3,93
Cihalofop butil	0,010	3,32	Iprodione	0,010	3,00
Cimoxanil	0,005	0,67	Lindano (gamma HCH)	0,010	3,50
Ciflutrina	0,005	5,85	Metamidofos	0,010	-0,79
Clomazone	0,010	2,58	Metidation	0,005	2,57
Clordano (Cis y trans)	0,005	2,78	Oxifluorfen	0,010	4,86
Clorpirifos metil	0,010	4,00	Paration etil	0,005	3,83
Clotianidina	0,010	0,91	Permetrina	0,010	6,10
DDD (op)	0,005	6,02	Pirazosulfuron etil	0,010	3,16
DDE (op)	0,005	6,51	Pirimetanil	0,010	2,84
Deltametrina	0,020	4,60	Pirimicarb	0,001	1,70
Dieldrin	0,020	3,70	Pirimifos Metil	0,010	4,20
Diflubenzuron	0,005	3,89	Protioconazol	0,010	2,00
Flusilazol	0,005	3,87	Triclopir	0,005	-0,45
Fluvalinate (Tau-Fluvalinate)	0,010	7,02	Trifluralin	0,005	5,27
HCH alfa	0,010	3,82	Triticonazol	0,020	3,29

Anexo 3. Conjunto de plaguicidas para los que se tuvo capacidad analítica, detallados por matriz y por servicio que se encarga de analizarlos. También se detallan los usos de cada uno. H: herbicida, I: insecticida, F: Fungicida, OC: organoclorado, A: acaricida, PD: Producto de degradación y Rfi: Regulador fisiológico. 1 : (SPE LC/MSMS), 2: (L-L GC/ECD), 3: (GCMSMS) ,4: (SPE LC/MSMS) a validar, 5: (LC-FLD), 6: (LC-MSMS) y 7: (GC-MSMS). Matriz Sed: Sedimento, Matriz Biv: Bivalvos.

	Plaguicida	Uso	DINACEA		FACULTAD DE QUIMICA - CURE ROCHA								
			Agua ¹	Agua ²	Peces	Agua ³	Agua ⁴	Agua ⁵	Sed	Biv	Polinizadores ⁶	Polinizadores ⁷	
1	2-fenilfenol	F											
2	2,4-D	H											
3	2,4-DB	H											
4	2,4,5-T	H											
5	2,4,5-TP	H											
6	Abamectina	I											
7	alfa-cipermetrina	I											
8	Acefato	I											
9	Acetamiprid	I											
10	Acetoclor	H											
11	Alaclor	OC											
12	Aldicarb	I											
13	Aldrin	OC											
14	Ametrina	H											
15	Aminopyralid	H											
16	Amitraz	I											
17	AMPA	PD Glifosato											
18	Atrazina	H											
19	Atrazin-desethyl	PD Atrazina											
20	Antrazin-desethyl-2-hydroxy	PD Atrazina											
21	Atrazin - desisopropyl	PD Atrazina											
22	Azaspiro	I											
23	Azinfos Metil	I											
24	Azoxystrobin	F/Curasemilla											
25	B-ciflutrina	I											
26	Benomil	F											
27	Beta cipermetrina	I											
28	Biciclopirona	H											
29	Bifentrina	I											
30	Bispiribac-sodio	H											
31	Boscalid	F											
32	Bromopropilato	A(Anti varroa)											
33	Captan	F											
34	Carbaril	I											
35	Carbendazim	F/Curasemilla											
36	Carbofurano	I											
37	Carbosulfan	I											
38	Cialotrina												
39	Cianamida	R Fi											
40	Cihalofop butil	H											
41	Cimoxanil	F											
42	Ciflutrina												
43	Cipermetrina	I											
44	Ciproconazol	F											
45	Ciprodinil	F											
46	Clethodim	H											
47	Clomazone	H											
48	Clopiralid	H											
49	Cloquintocet mexil	Protect de Hs											
50	Cloransulam metil	H											
51	Clorantniliprol	I											
52	Clordano (Cis y trans)	OC											
53	Clorfenapir	I											
54	Clorfenvinfos	I											
55	Cloropicrina	I											
56	Clorotalonil	F											
57	Clorpirifos etil	I											
58	Clorpirifos metil	I											
59	Clorsulfuron	H											
60	Clotianidina	Curasemilla											

Anexo 3. Continuación

	Plaguicida	Uso	DINACEA		FACULTAD DE QUIMICA - CURE ROCHA								
			Agua ¹	Agua ²	Peces	Agua ³	Agua ⁴	Agua ⁵	Sed	Biv	Polinizadores ⁶	Polinizadores ⁷	
61	Cumafos	A(Anti varroa)											
62	DDD (op)	OC											
63	DDE (op)	OC											
64	DDT (op)	OC											
65	DDD (pp)	OC											
66	DDE (pp)	OC											
67	DDT (pp)	OC											
68	Deltametrina	I											
69	Diazinon	I											
70	Dietolate	Protector Hs											
71	Dicamba	H											
72	Diclosulam	H											
73	Dieldrin	OC											
74	Dietolate	Protector Hs											
75	Difenoconazol	F											
76	Diffubenzuron	I											
77	Dimetipin	H											
78	Dimetoato	I											
79	Dinotefuran	I											
80	Diquat dibromuro	H											
81	Ditranona	F											
82	Diuron	H											
83	DMPF	I											
84	Dodine	F											
85	Emamectin benzoato	I											
86	Endosulfan alfa	OC											
87	Endosulfan beta	OC											
88	Endosulfan Sulfato	OC											
89	Endrin	OC											
90	Epoxiconazol	F											
91	Etion	I											
92	Fenazaquin	I											
93	Fenoxaprop-P-etil	H											
94	Fentin hidróxido	F											
95	Fipronil	I											
96	Fipronil desulfinil	PD Fipronil											
97	fipronil sulfona	PD Fipronil											
98	Fipronil sulfuro	PD Fipronil											
99	Fludioxinil	F											
100	Flumetsulan	H											
101	Flumioxazin	H											
102	Fluroxipir meptil	H											
103	Flusilazol	F											
104	Flutriafol	F											
105	Fluvalinate	A(Anti varroa)											
106	Folpet	F											
107	Fomesafen	H											
108	Foramsulfuron	H											
109	Fosmet	I											
110	Glifosato	H											
111	Glufosinato de amonio	H											
112	Haloxifop metil	H											
113	HCH alfa	I											
114	HCH-beta	I											
115	HCH-delta	I											
116	Heptacloro	OC											
117	Heptacloro epoxido	OC											
118	Hexaclorobenceno	OC											
119	Hexitiazox	I											
120	Imazalil	F											

Anexo 3. Continuación

	Flaguicida	Uso	DINACEA		FACULTAD DE QUIMICA - CURE ROCHA								
			Agua ¹	Agua ²	Peces	Agua ³	Agua ⁴	Agua ⁵	Sed	Biv	Polinizadores ⁶	Polinizadores ⁷	
121	Imazamox	H											
122	Imazapic	H											
123	Imazapir	H											
124	Imasetapir	H											
125	Imidacloprid	I, veterinario											
126	Iodosulfuron metil	H											
127	Iprodione	Curasemilla											
128	Isoprotiolan	F											
129	ISOXADIFEN	H											
130	Isoxaffluto	H											
131	Kresoxim Metil	F											
132	Lamda-cialotrina	I											
133	Lindano (gamma HCH)	OC											
134	Linuron	H											
135	Lufenuron	I											
136	Malaoxon	PD malatión											
137	Malatión	I											
138	Mancozeb	F											
139	Matrine	I											
140	MCFA	H											
141	Metlakil	F											
142	Metam	I											
143	Metamidofos	I											
144	Metamifop	H											
145	Metidation	I											
146	Metil tiofanato	F											
147	Metiram	F											
148	Metiocarb	I/repel de aves											
149	Metolaclo	H											
150	Metomil	I											
151	Metoxiclor	OC											
152	Metoxifenocida	I											
153	Metribuzin	H											
154	Metsulfuron metil	H											
155	Mirex	OC											
156	Molinat	H											
157	Nicosulfuron	H											
158	Ortofenilfenato de sodio	F											
159	Oxifluorfen	H											
160	Paraquat	H											
161	Paraquat dicloruro	H											
162	Paration etil	I											
163	Paration metil	I											
164	Pendimetalina	H											
165	Penoxsulam	H											
166	Permetrina	I											
167	Permetrina (Cis)	I											
168	Permetrina (Trans)	I											
169	Picloram	H											
170	Picoxistrobin	F											
171	Pinoxaden	H											
172	Piraclostrobina	F											
173	Pirazosulfuron etil	H											
174	Pirimetamil	F											
175	Pirimicarb	I											
176	Pirimifos Metil	I											
177	Piriproxifen	I											
178	Procimidona	F											
179	Procloraz	F											
180	Profenofos	I											
181	Propamocarb clorhidrato	F											
182	Propanil	H											
183	Propiconazol	F											
184	Proticonazol	F											
185	Quinclorac	H											
186	Propoxur	I Veterinario											
187	Proticonazol	F											
188	Simazina	H											
189	S-metolaclo	H											
190	Spinetoram	I											
191	Spinosad	I											
192	Sulfentrazona	H											
193	Tebuconazol	F											
194	Tebuconocida	I											
195	Teflubenzuron	I											
196	Terbacil	H											
197	Thiabendazol	F											
198	Tiacloprid	I											
199	Tiametoxan	I											
200	Tiocyclam Oxalate	I											
201	Tiodicarb	I											
202	Tiram	F											
203	Toxafeno	I											
204	Tricicloazol	F											
205	Triclopir	H											
206	Triclorfon	I											
207	Trifloxystrobin	F											
208	Triflururon	I											
209	Trifluralin	H											
210	Triticonazol	F											
211	Zeta cipermetrina	I											
212	Ziram	F											

Anexo 4. Valores de NOEC y LC50 obtenidos de Pesticide Properties DataBase y los valores de PNEC calculados para cada plaguicida detectado en agua superficial en la cuenca del río San Salvador.

Chemical	Fish-		Aquatic Invertebrates Ac	Aquatic Inverteb	Algae		CC (mg/L)	AF	PNEC (mg/L)
	Acute (mg/L)	Chronic (mg)			Acute (mg/L)	Algae Chronic (mg/L)			
2,4-D	100	27.2	134.2	46.2	24.2	100	27.2	10	2.72
2-Fenilfendol	4.0	0.036	2.7	0.006	0.85	ND	0.006	50	0.00012
Acetochlor	0.36	0.13	8.6	0.022	0.00027	0.00059	0.00059	10	0.000059
Alfa Cipermetrina	0.018	0.00003	0.00022	0.00003	0.084	ND	0.00003	50	0.0000006
alpha-BHC	0.820	ND	0.370	0.1	10	ND	0.01	100	0.0001
AMPA	520	ND	690	ND	200	ND	200	1000	0.2
Atrazina-desetil	ND	ND	ND	ND	0.1	ND	0.1	1000	0.0001
Atrazina-desisopropil	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Atrazina	4.5	2	85	0.25	0.059	0.1	0.1	10	0.01
Azoxystrobin	0.47	0.147	0.23	0.044	0.36	0.8	0.044	10	0.0044
Beta Cipermetrina	0.00039	0.00037	0.00042	ND	0.053	ND	0.00037	100	0.000037
Bifenthrin	0.00026	0.000012	0.00011	0.0000013	0.822	10	0.0000013	10	0.00000013
Boscalid	2.7	0.125	5.33	1.3	3.75	ND	0.125	50	0.0025
Carbendazim	0.19	0.0032	0.15	0.0015	7.7	ND	0.0015	50	0.00003
Chlorantraniliprole	12.0	0.11	0.0116	0.00447	4.0	ND	0.00447	50	0.0000894
Chlorpyrifos	0.025	0.00014	0.0001	0.0046	0.48	0.043	0.00014	10	0.000014
Clorazone	14.4	2.3	12.7	2.2	0.136	0.05	0.05	10	0.005
Cypermethrin	0.0015	0.00003	0.00021	0.00004	0.067	1.3	0.00003	10	0.000003
Cyproconazole	19.0	0.65	22	0.023	0.099	0.021	0.021	10	0.0021
Diazinon	3.1	0.7	0.001	0.00056	6.4	10	0.00056	10	0.000056
Diflufenican	6.7	0.41	5.7	0.096	0.0183	0.0027	0.0027	10	0.00027
Epoxyziconazol	0.92	0.01	3.13	0.63	10.69	0.0078	0.0078	10	0.00078
Ethion	0.5	ND	0.000056	ND	ND	ND	0.000056	1000	0.00000056
Glyphosate	38	25	40	30	4.4	2	2	10	0.2
Imazalil	1.48	0.043	3.5	ND	0.87	ND	0.043	100	0.00043
Imidacloprid	83	9.02	85	1.8	10	10	1.8	10	0.18
Iprodione	3.7	4.1	0.66	0.17	1.8	3.2	0.17	10	0.017
Lambda-Cialotrina	0.00021	0.000031	0.00023	0.0000022	0.005	0.31	0.0000022	10	0.00000022
Metalaxyl	0.96	ND	3.47	1.0	0.42	20	1	50	0.02
Metomifenocida	4.2	2.4	3.7	0.39	3.4	ND	0.39	50	0.0078
Metribuzin	0.96	ND	3.47	ND	0.42	10	0.42	1000	0.00042
op-DDD	2.5	ND	ND	ND	ND	ND	2.5	1000	0.0025
p,p'-DDD	0.07	ND	0.09	ND	ND	ND	0.07	1000	0.00007
p,p'-DDE	0.032	ND	0.001	ND	ND	ND	0.001	1000	0.000001
p,p'-DDT	2.5	0.13	0.005	ND	ND	ND	0.13	100	0.0013
Permethrin	0.0125	0.000093	0.0006	ND	0.0125	0.0009	0.000093	100	0.00000093
Pirimetanil	10.56	1.6	2.9	0.94	1.2	ND	0.94	50	0.0188
Pyraclostrobin	0.006	0.005	0.016	0.004	0.843	ND	0.004	100	0.00004
Simazina	90	0.7	1.1	2.5	0.04	6.6	0.6	10	0.06
Tebuconazole	4.4	0.012	2.79	0.01	1.96	0.1	0.012	10	0.0012
Thiabendazole	0.55	0.012	0.81	0.042	9.0	3.2	0.042	10	0.0042
Tiametoxam	125	20	100	100	100	ND	20	50	0.4
Trifluralina	0.088	10	0.245	0.051	0.0122	0.005	0.005	10	0.0005
Zeta Cipermetrina	0.00069	0.000582	0.00014	0.0128	1	ND	0.000582	50	0.00001164
Acetamiprid	100	19.2	49.8	5	98.3	ND	5	50	0.1
Fluroxipir metpil	0.225	0.2	0.183	0.06	0.5	ND	0.06	50	0.0012
Glufozinatodeamonio(a)	710	100	668	18	46.5	320	18	10	1.8
Metolaclopr	3.9	1	23.5	0.707	57.1	3	0.707	10	0.0707
Carbaryl	2.6	0.21	0.0064	0.25	0.6	ND	0.25	50	0.005
Propiconazol	2.6	0.068	10.2	0.31	0.093	0.32	0.068	10	0.0068

Anexo 5. Concentraciones ($\mu\text{g/L}$) de los plaguicidas detectados en agua superficial en la cuenca del río San Salvador. Uso: H: herbicida; I: insecticida; F: fungicida; P.d: Producto de degradación. En rojo plaguicidas prohibidos por la legislación uruguaya: DDT en 1979 (Decreto 253/79); atrazina en 2016 (Decreto N° 104/016). FO%: Frecuencia de ocurrencia.

	USO	FO%	OC	XSSA 010S	XSSA 020S	XSSA 030S	XSMA 080S	XSSA 040S	XMAC 090S	XAGU 100S	XSSA 050S	XSSA 060S	XSSA 065S	XMAG 110S	XBIS 120S	XESP 130S
MAYO																
Atrazina desetil	P.d	100	D	0,005	0,005	0,004	0,009	0,003	0,004	0,007	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006	0,003
Azoxiestrobina	F	100	D	0,006	0,015	0,013	0,009	0,014	0,019	0,010	0,012	0,013	0,017	0,012	0,023	0,029
Ciproconazol	F	100	D	0,020	0,039	0,041	0,023	0,040	0,045	0,036	0,034	0,033	0,044	0,015	0,036	0,047
Clorantianiliprol	I	100	D	0,032	0,054	0,040	0,014	0,057	0,074	0,075	0,057	0,052	0,069	0,022	0,069	0,073
Imidacloprid	I	100	D	0,015	0,024	0,013	0,011	0,015	0,014	0,069	0,021	0,020	0,023	0,003	0,009	0,005
Metolaclo	H	100	D	0,023	0,038	0,060	0,045	0,043	0,040	0,049	0,110	0,130	0,110	0,019	0,038	0,021
Tiametoxam	I	100	D	0,190	0,220	0,250	0,100	0,290	0,320	0,310	0,240	0,250	0,260	0,026	0,180	0,150
2-fenilfenol	F	92,3	D	0,082	0,087	0,061	0,031	0,072	0,021	0,075	0,026	0,045	0,023	0,042		0,018
Epoxiconazol	F	92,3	D	0,003	0,003	0,004		0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004
Metoxifenocida	I	92,3	D	0,006	0,008	0,005	0,003	0,007	0,010	0,013	0,009	0,010	0,012		0,020	0,010
Atrazina desisopropil	P.d	84,6	D	0,044	0,049	0,049	0,017	0,043	0,027	0,005	0,030	0,036	0,035		0,006	0,038
Metribuzina	H	84,6	D	0,003	0,004	0,006	0,006	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005		0,003	0,003	
AMPA(a)	P.d	76,9	D	2,500	2,000	1,200	2,000	2,000	2,000	1,100	1,500	1,600				1,000
Etión	I	76,9	D	0,028	0,030	0,028	0,031	0,019	0,015	0,025	0,026	0,019	0,045			
Glifosato(a)	H	76,9	D	0,320	0,510	0,420	0,260	0,250	0,270	0,250	0,310	0,440	0,330			
Metalaxil	F	76,9	D	0,031	0,007	0,008	0,004	0,008	0,007	0,004	0,005	0,005	0,005			
Simazina	H	69,2	F		0,230	0,320	0,075	0,330	0,057		0,190	0,250	0,200			0,073
Carbendazim	F	61,5	F	0,006	0,006	0,004		0,005	0,004		0,005	0,003	0,004			
Diuron	H	61,5	F	0,003	0,010	0,041	0,012	0,051			0,023	0,021	0,021			
Imazalil	F	61,5	F	0,003	0,014	0,005		0,004	0,003		0,003	0,004			0,007	
Iprodione	F	53,8	F			0,003		0,003	0,003			0,004	0,003		0,003	0,003
Clorpirifos	I	30,8	O		0,024				0,006					0,008	0,032	
Atrazina	H	15,4	R					0,005		0,004						
Cipermetrina	I	15,4	R		0,068					0,074						
Permetrina	I	15,4	R	0,005											0,005	
Boscalid	F	7,7	R	0,019												
Clomazone	H	7,7	R		0,039											
Lambda-Cialotrina	I	7,7	R		0,059											
o,p DDD	P.d	7,7	R					0,003								
Pirimetanil	F	7,7	R		0,005											
Trifluralina	H	7,7	R												0,011	
AGOSTO																
Atrazina desetil	H	100	D	0,013	0,013	0,013	0,016	0,014	0,015	0,016	0,013	0,014	0,013	0,012	0,011	0,009
Ciproconazol	F	100	D	0,010	0,031	0,024	0,016	0,024	0,048	0,019	0,020	0,026	0,054	0,008	0,019	0,019
Clorantianiliprol	I	100	D	0,022	0,034	0,023	0,010	0,022	0,067	0,027	0,032	0,038	0,066	0,010	0,045	0,028
Metolaclo	H	100	D	0,034	0,031	0,044	0,025	0,049	0,057	0,051	0,064	0,066	0,130	0,007	0,012	0,009
Simazina	H	100	D	0,007	0,008	0,008	0,008	0,008	0,024	0,540	0,140	0,140	0,089	0,007	0,004	0,016
Tiametoxam	I	100	D	0,031	0,034	0,029	0,024	0,033	0,100	0,071	0,051	0,067	0,120	0,004	0,036	0,011
Atrazina	H	92,3	D	0,005	0,004	0,004	0,010	0,004	0,007	0,007	0,005	0,005	0,006		0,003	0,004
Azoxiestrobina	F	92,3	D		0,009	0,006	0,005	0,007	0,012	0,010	0,007	0,008	0,012	0,008	0,010	0,008
Glifosato(a)	H	92,3	D	0,920	0,820	0,650		0,740	0,990	0,470	0,660	0,690	0,940	0,380	0,480	0,470
Diuron	H	84,6	D	0,009	0,160	0,051	0,017	0,025	0,032		0,025	0,027	0,029		0,023	0,004
Metalaxil	F	84,6	D	0,006	0,013	0,006		0,007	0,036	0,013	0,013	0,014	0,016		0,003	0,005
Metoxifenocida	I	84,6	D	0,006	0,003	0,004		0,005	0,009	0,003	0,006	0,007	0,009		0,007	0,003
Atrazina desisopropil	H	76,9	D		0,008	0,007	0,010	0,005	0,014	0,098	0,020	0,021	0,022			0,012
Imazalil	F	69,2	F	0,019		0,170	0,017	0,009		0,003	0,040	0,016	0,007	0,007		
Pirimetanil	F	69,2	F	0,004		0,058	0,007	0,006		0,003	0,034	0,011	0,004	0,003		
Metribuzina	H	53,8	F		0,003	0,005		0,003		0,004				0,004	0,003	
AMPA	H	23,1	R		1,100				1,800				1,000			
Epoxiconazol	F	23,1	R						0,003				0,003		0,003	
Etión	I	7,7	R						0,006							
Piraclostrobina	F	7,7	R								0,004					
Tebuconazol	F	7,7	R						0,0							

Anexo 5. Continuación.

	USO	FO%	OC	XSSA 010S	XSSA 020S	XSSA 030S	XSMA 080S	XSSA 040S	XMAC 090S	XAGU 100S	XSSA 050S	XSSA 060S	XSSA 065S	XMAG 110S	XBIS 120S	XESP 130S
NOVIEMBRE																
Atrazina	H	100	D	0,013	0,012	0,022	0,024	0,014	0,020	0,011	0,015	0,014	0,013	0,007	0,007	0,013
Atrazina desetil	H	100	D	0,026	0,030	0,040	0,043	0,025	0,034	0,021	0,031	0,029	0,027	0,014	0,014	0,017
Atrazina desisopropi	H	100	D	0,016	0,014	0,047	0,054	0,014	0,024	0,430	0,029	0,026	0,027	0,008	0,008	0,038
Azoxiesterobina	F	100	D	0,011	0,023	0,016	0,019	0,017	0,019	0,015	0,013	0,012	0,014	0,110	0,021	0,010
Ciproconazol	F	100	D	0,052	0,075	0,055	0,044	0,060	0,049	0,054	0,039	0,037	0,035	0,110	0,035	0,030
Clorantraniliprol	I	100	D	0,014	0,026	0,036	0,033	0,026	0,055	0,028	0,030	0,025	0,023	0,007	0,022	0,028
Metolaclo	H	100	D	0,026	0,032	4,500	6,000	0,053	0,790	0,720	0,064	0,100	0,061	0,020	0,050	0,210
Simazina	H	92,3	D	0,007	0,086	0,019	0,031	0,003	0,098	0,039	0,039	0,050	0,009	0,003	0,200	0,003
Tiametoxam	I	84,6	D	0,013	0,013	0,017	0,170	0,010	0,027	0,005	0,007	0,005	0,009			0,003
Metalaxil	F	69,2	F		0,004	0,072	0,033		0,006	0,003	0,003	0,003			0,003	0,005
Metribuzina	H	69,2	F	0,004					0,003	4,000	0,011	0,017	0,037	0,037	0,032	4,600
Glifosato	H	61,5	F			0,920	2,150		1,100	0,380	0,300		0,280	0,250		0,320
Epoxiconazol	F	46,2	O			0,003	0,007	0,003	0,004		0,003					0,004
AMPA	H	38,5	O			1,300	2,400		1,700				1,000			1,000
Diuron	H	38,5	O		0,009	0,005		0,006			0,005		0,003			
2,4 D	H	30,8	O			3,000	2,000			3,000				2,000		
Acetamiprid	I	30,8	O									0,004	0,012	0,076		0,070
Imazalil	F	30,8	O	0,007			0,027						0,012	0,006		
Iprodione	F	30,8	O			0,003	0,006		0,003							0,003
Metoxifenocida	I	30,8	O			0,003	0,003		0,003	0,005						
Cipermetrina	I	23,1	R						0,008			0,092			0,029	
Clomazone	F	23,1	R			0,004	0,006							0,010		
Carbaryl	I	7,7	R							0,190						
Fluroxipir meptil	H	7,7	R									0,003				
Glufosinato de amon	H	7,7	R							1,300						
Piraclostrobina	F	7,7	R				0,004									
Propiconazol	F	7,7	R												0,003	
FEBRERO																
Atrazina desetil	H	100	D	0,015	0,007	0,010	0,011	0,022	0,010	0,012	0,021	0,015	0,017	0,008	0,012	0,016
Atrazina desisopropi	H	100	D	0,007	0,004	0,010	0,004	0,053	0,009	0,032	0,042	0,024	0,024	0,011	0,016	0,022
Azoxiesterobina	F	100	D	0,004	0,007	0,008	0,003	0,008	0,007	0,005	0,005	0,007	0,011	0,012	0,009	0,009
Ciproconazol	F	100	D	0,016	0,018	0,024	0,004	0,014	0,017	0,010	0,010	0,010	0,014	0,011	0,015	0,016
Glifosato	H	100	D	0,600	0,800	1,200	0,500	0,700	0,800	0,600	0,600	0,800	1,200	0,700	0,600	2,300
Metolaclo	H	100	D	0,076	0,051	0,330	0,150	1,100	0,900	0,075	0,054	0,056	0,110	0,054	0,430	0,079
Atrazina	H	92,3	D	0,003	0,004	0,006		0,015	0,005	0,008	0,009	0,011	0,015	0,014	0,007	0,022
Metalaxil	F	92,3	D	0,032	0,030	0,250	0,005	0,026	0,041	0,005		0,004	0,006	0,007	0,015	0,009
AMPA	H	76,9	D		1,900	3,060		2,150	2,580	1,050		1,260	1,750	1,140	1,460	1,100
Metribuzina	H	76,9	D	0,004	0,003	0,020		0,006	0,041	0,013			0,009	0,003	0,120	0,006
Cipermetrina	I	69,2	F				0,180	0,048	0,023	0,059	0,015	0,200	0,026	0,061	0,027	
Simazina	H	61,5	F					0,011		0,010	0,010	0,006	0,007	0,006	0,003	0,005
Diuron	H	53,8	F		0,009	0,004	0,003	0,003				0,003	0,008	0,003		
Tiametoxam	I	53,8	F	0,003		0,006	0,003	0,003	0,006				0,003		0,005	<0.0050
Metoxifenocida	I	46,2	O			0,003		0,003	0,005	0,004			0,003		0,003	
Bifentrina	I	15,4	R				0,006				0,003					
Diazinon	I	15,4	R										0,004	0,004		
Epoxiconazol	F	7,7	R											0,004		
Iprodione	F	7,7	R											0,003		

Anexo 6. Propiedades físico-químicas de los plaguicidas detectados en todas las matrices en la cuenca del río San Salvador en el período mayo 2022-febrero 2023.

	Solubilidad (mg/L)	log Kow	Constante de adsorción (Koc)	Presión de Vapor a 20 °C (mPa)	DT50 suelo (días)	DT50 agua (días)	DT50 agua- sedimento
2,4 D	24300	-0,82	39,3	0,0099	4,4	38	18,2
2-fenilfenol	560	3,18		474	4	0,3	
Acetamiprid	2950	0,8	200	0,000173	1,6	34	
Acetoclor	282	4,14	156	0,022	14	30	19,7
AMPA	1466561	-1,63	2002		121,4		132
Atrazina desisopropyl	980	1,15	130				
Atrazina	35	2,7	100	0,039	75	2,6	80
Atrazina desethyl	2700	1,51	110	12,44	45		
Azoxiestrobina	6,7	2,5	589	0,00000011	78	8,7	205
Bifentrina	0,001	6,6	236610	0,0178	26	12	161
Boscalid	4,6	2,96		0,00072	484,4		545
Carbaryl	9,1	2,36	300	0,0416	16	10	5,8
Carbendazim	8	1,48	300	0,09	40	30	33,7
Cipermetrina	0,009	5,55	307558	0,00678	22,1	7,8	17
Ciproconazol	93	3,09	250	0,026	142	40	1000
Clomazone	1212	2,58	300	27	22,6	40	54
Clorantniliprol	0,88	2,86	362	6,3E-09	597	0,31	170
Clorpirifos	1,05	4,7	5509	1,43	386	29,6	36,5
Deltametrina	0,0002	4,6	10240000	0,0000124	58,2		65
Diazinon	60	3,69	609	11,97	9,1	50	10,4
Difenoconazol	15	4,36		0,0000333	130	30	1036
Diuron	35,6	2,87	680	0,00115	146,6	43	48
Endosulfan sulfato	0,48	3,66	5194				
Epoxiconazol	7,1	3,3		0,00035	353,5	53	103,6
Etión	2	5,07	10000	0,2	90		
Fenazaquin	0,102	5,51	247	0,019	45	15	
Fipronil	3,78	3,75		0,002	142	0,33	68
Fipronil sulfona			4209		347		
Fludioxonil	1,8	4,12	145600	0,00039	164	10	575
Flumetsulam	5650	0,21	28	0,00000037	45	270	
Fluroxipir meptil	0,136	5,04	19550	0,01	1	63	34,7
Glifosato	10500	-3,2	1424	0,0131	15	69	74,5
Glufosinato de amonio	500000	-4,01	600	0,03	7,4	Estable	24,5
Imazalil	184	2,56		0,158	76,3	6,1	117
Imidacloprid	610	0,57		0,0000004	191	0,2	129
Iprodione	6,8	3	700	0,0005	36,2	67	4
Isoxadifen etil							
Lambda cialotrina	0,005	5,5	283707	0,0002	175	40	15,1
Metalaxil	8400	1,75	162	0,75	36	30	56
Metil paration	55	3		0,2	12	9	5
Metolacolor	530	3,4	120	1,7	90	40	365
Metoxifenocida	3,3	3,72	402	0,0133	456	40	208,6
Metribuzina	10700	1,75		0,121	7,03	0,2	50
o,p DDD							
Permetrina	0,2	6,1	100000	0,007	13	1	40
Picoxistrobin	3,1	3,6	965	0,0055	24,4	21	56
Piraclostrobina	1,9	3,99	9304	0,000026	41,9	0,06	28
Pirimetanil	110	2,84		1,1	50,9	40	81
Pirimifos metil	11	4,2	1100	0,002	39	0,2	
Propiconazol	150	3,72	1086	0,056	71,8	40	561
Simazina	5	2,3	130	0,00081	60	1,9	33
Tebuconazol	36	3,7		0,0013	63	40	365
Tiametoxan	4100	-0,13	56,2	0,0000066	50	2,7	40
Trifloxistrobina	0,61	4,5		0,0034	0,34	2,7	2,4
Triflumuron	0,04	4,9	2967	0,0002	22	40	6,4
Trifluralina	0,221	5,27	15800	9,5	133,7	0,4	5,5

Anexo 7. Cultivos asociados y momentos de aplicación para los diferentes plaguicidas detectados en agua en la cuenca del río San Salvador.

Plaguicida	Cultivo asociado									Momento de aplicación												
	Barbecho	Soja	Trigo	Eucalipto	Maiz	Sorgo	Cebada	Colza /Canola	Girasol	Otros usos (Ganadería, apicultura)	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene
2,4 D	x		X		X	X	x								x	x	x	x	x	x	x	x
2-fenifenol														x								
Acetamiprid		X			X																x	x
AMPA											x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Atrazina				X	X	X																
Atrazina desethyl																						
Atrazina desisopropyl																						
Azoxiestrobrina		x	x		x	x	x						x	x	x				x	x	x	
Bifentrina		x			x						x										x	x
Boscalid		x					x											x	x	x		
Carbaril		x	x	x	x	x				x								x	x			x
Carbendazim		x	x		x	x	x		x				x	x	x					x	x	x
Cipermetrina		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ciproconazol										x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Clorantniliprol		x	x		x	x				x	x									x	x	x
Clomazone		x						x												x	x	x
Clorpirifos		x	x	x	x	x	x				x	x	x					x	x	x	x	x
Diazinon										x												
Diuron			x		x		x					x	x	x					x	x	x	
Epoxiconazol		x	x																	x	x	x
Etón															x	x	x	x	x	x		
Fluroxipir meptil	x		x		x	x	x						x	x	x				x	x	x	
Glifosato	x										x	x	x			x	x		x	x	x	x
Glufosinato de amonio	x																			x	x	x
Imazalil			x		x																	
Imidacloprid		x	x	x	x	x	x		x	x		x	x	x					x	x	x	
Iprodione													x	x	x					x	x	x
Metalaxil		x	x		x	x														x	x	x
Metolacolor		x			x	x			x										x	x	x	x
Metoxifenocida		x	x		x	x					x											
Metribuzina	x	x																	x	x	x	
o,p DDD																						
o,p DDE																						
Permetrina																						
Piraclostrobrina		x	x		x	x	x								x	x	x	x	x	x	x	
Pirimetanil																						
Propiconazol		x	x				x				x	x							x	x	x	
Simazina					x	x														x	x	x
Tebuconazol		x	x	x	x	x	x				x	x	x		x	x	x		x	x	x	x
Tiametoxan		x	x	x	x	x	x				x	x										x
Trifluralina		x		x	x			x	x				x	x								

Anexo 8. Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{Kg}$) de plaguicidas detectados en peces por sitio y mes de muestreo en la cuenca del río San Salvador. Uso: H: herbicida; I: insecticida; F: fungicida; P.d: Producto de degradación. En rojo plaguicidas prohibidos por la legislación uruguaya: DDT en 1979 Decreto 253/79); atrazina en 2016 (Decreto N° 104/016). FO%: Frecuencia de ocurrencia.

	USD	FO%	XSSA010	XSSA030	XSMAD80	XSSA040	XIMAC090	XAGU100	XSSA050	XSSA065	XESPL30
MAYO											
Bifentrina	I	66,7	1,3	-	-	-	2,1	0,94	3,66	26,63	3,6
Clorpirifós	I	66,7	0,53	-	0,5	3,17	0,73	1,19	-	1,6	-
Propiconazol	F	66,7	0,52	1,1	9,1	3,6	-	4,35	-	1,21	-
Cipermetrina	I	44,4	-	-	-	0,66	2,6	2,35	-	0,81	-
Lambda Cialotrina	I	33,3	-	-	-	-	-	-	1,73	7,04	0,59
Permetrina	I	33,3	4,4	7,4	-	-	9,3	-	-	-	-
Simazina	H	33,3	-	0,71	-	0,77	2,1	-	-	-	-
Atrazina Desisopropil	P.d	22,2	-	0,71	-	-	-	-	-	0,5	-
Clorantraniliprol	I	22,2	-	-	-	-	-	-	-	29,13	6,7
Deltametrina	I	22,2	1,6	-	-	-	-	-	0,61	-	-
Metolacoloro	H	22,2	-	-	-	-	-	-	1,9	7	-
Etión	I	11,1	-	-	-	-	2,3	-	-	-	-
Malatión	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-
AGOSTO											
Bifentrina	I	66,7	-	0,69	0,9	-	-	1,76	1,87	2,03	1,5
Clorpirifós	I	66,7	-	-	0,73	0,71	1,2	-	0,64	11	0,98
Propiconazol (estereoisómero)	F	44,4	25	-	2,6	-	-	15,65	7,5	-	-
Simazina	H	44,4	-	-	-	-	-	1,6	0,8	0,6	1,9
Carbendazim	F	33,3	-	0,72	-	-	-	0,52	-	0,52	-
Permetrina	I	33,3	-	-	-	2,08	-	-	3,2	2,03	-
Imazalil	F	22,2	-	-	-	-	-	-	0,68	-	0,51
Trifluralina	H	22,2	-	-	43,77	-	-	-	1,7	-	-
Cipermetrina	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	6,94	-
Deltametrina	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	6,3	-
Fenazaquin	I	11,1	2,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Flumetsulam	H	11,1	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Imidacloprid	I	11,1	-	-	-	-	-	3,4	-	-	-
Isoxadifen etil	H	11,1	-	-	-	-	-	4,5	-	-	-
Metribuzina	H	11,1	-	0,62	-	-	-	-	-	-	-
NOVIEMBRE											
Metolacoloro	H	100	1,44	13,95	40	0,58	2,2	1,45	0,9	1,11	1,76
Propiconazol	F	88,9	-	0,56	0,96	0,81	1,4	3,3	1,5	2,4	0,88
Bifentrina	I	55,6	-	2,1	-	11	-	3,8	3,8	-	5,07
Piraclostrobina	F	55,6	-	-	5,89	-	0,53	0,52	-	0,85	0,51
Carbaryl	I	44,4	-	-	-	0,95	-	0,82	0,74	0,85	-
Clorpirifós	I	44,4	-	-	28	-	-	3	-	2,4	2,9
Endosulfan sulfato	I	33,3	0,85	-	-	0,85	-	-	-	9,7	-
Simazina	H	33,3	-	-	-	-	-	1,55	-	0,56	0,61
Imazalil	F	22,2	-	-	-	-	0,61	-	-	0,61	-
Metribuzina	H	22,2	-	-	-	-	-	3	-	-	7,25
Atrazina	H	11,1	-	-	0,83	-	-	-	-	-	-
Cipermetrina	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	8,5	-
Deltametrina	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	1,4	-
Diazinon	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	2,2	-
Metaxil	F	11,1	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Pirimifos metil	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	1,9	-
Tiametoxam	I	11,1	-	3,2	-	-	-	-	-	-	-
Triflururon	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	3	-
FEBRERO											
Metolacoloro	H	77,8	-	1,33	0,61	4,52	4,54	0,76	-	0,96	2,3
Clorpirifós	I	66,7	-	5,45	-	3,9	0,59	0,66	-	9,24	2,63
Propiconazol	F	66,7	-	1,9	0,52	1,8	1	2,5	0,82	-	-
Permetrina	I	55,6	-	6,7	-	-	-	0,68	1,2	5	0,72
Bifentrina	I	33,3	3,7	-	-	-	0,95	-	-	7,1	-
Cipermetrina	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	6,13	-
Deltametrina	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	1,6	-
Diazinon	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	0,61	-
Etión	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	0,79	-
Flumetsulam	H	11,1	-	-	-	0,66	-	-	-	-	-
Simazina	H	11,1	-	-	-	-	-	0,53	-	-	-
Triflururon	I	11,1	-	-	-	-	-	-	-	1,4	-

Anexo 9. Concentraciones promedio ($\mu\text{g}/\text{Kg}$) de los plaguicidas detectados en todas las muestras de músculo de bivalvos por sitio y mes de muestreo en la cuenca del río San Salvador. Uso: H: herbicida; I: insecticida; F: fungicida; P.d: Producto de degradación. FO%: frecuencia de ocurrencia.

	USO	FO%	XSSA010	XSSA030	XSSA080	XSSA040	XMAC090	XAGU100	XSSA050	XSSA065	XESP130
MAYO											
Bifentrina	I	100,00	28,66 ± 8,02	28,75 ± 8,96	21 ± 14,67	23 ± 15,98	26,25 ± 16,37	1,75 ± 0,5	49,75 ± 32,15	*	33,5 ± 28,99
Simazina	H	44,44	-	23 ± 7,07	-	9,25 ± 2,62	-	-	10,66 ± 4,04	-	7,00
Fipronil	I	11,11	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-
Fipronil sulfona	P.d	11,11	-	-	-	-	1,00	-	-	-	-
AGOSTO											
Bifentrina	I	77,77	23 ± 17,24	15 ± 19,51	30,75 ± 10,53	14,5 ± 3,05	35,00 ± 19,73	-	22,75 ± 6,57	10,66 ± 4,93	-
Difenoconazol	F	33,33	91,00	69 ± 52,32	-	112,00	-	-	-	-	-
NOVIEMBRE											
Acetochlor	H	22,22	-	17 ± 2,64	9,50 ± 0,70	-	-	-	-	-	-
Bifentrina	I	77,77	17,66 ± 4,04	20,33 ± 5,77	13,66 ± 3,51	14,66 ± 3,51	45,66 ± 2,30	-	47,5 ± 13,43	30,00 ± 27,73	-
Ciproconazol	F	33,33	-	-	-	5,00 ± 0,00	6,5 ± 0,70	-	8,00 ± 0,00	-	-
Clorpirifos	I	11,11	-	-	122,00	-	-	-	-	-	-
Metolacoloro	H	100,00	19 ± 3,55	59,25 ± 27,14	65,5 ± 22,42	18,25 ± 1,25	25,5 ± 4,65	20,50 ± 2,08	22,25 ± 2,06	21,00	19,75 ± 0,95
Metribuzin	H	22,22	-	-	-	-	-	76,00	-	-	5,00 ± 0,00
Piraclostrobina	F	22,22	-	-	10,5 ± 3,31	-	-	8,00	-	-	-
FEBRERO											
Bifentrina	I	88,88	135,33 ± 90,02	8,00 ± 1,00	5,00 ± 0,00	8,50 ± 2,12	15,00 ± 8,71	-	8,00 ± 1,41	6,50 ± 0,70	17,00
Clorpirifos	I	22,22	-	35,33 ± 11,84	-	24,4 ± 12,56	-	-	-	-	-
Fludioxonil	F	11,11	-	18,66 ± 3,21	-	-	-	-	-	-	-
Metolacoloro	H	33,33	-	6,00	-	26,80 ± 18,75	7,50 ± 0,70	-	-	-	-
Metil paration	I	11,11	12,00	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo 10. Concentraciones promedio ($\mu\text{g}/\text{kg}$) de los plaguicidas detectados por especie en las muestras de músculo de bivalvos por mes de muestreo en la cuenca del río San Salvador. FO%: frecuencia de ocurrencia.

Compuesto	C promedio	FO% Sitios	Fo% Muestras
<i>Corbicula fluminea</i>			
MAYO			
Bifentrina	38,21 \pm 14,70	100,00	100,00
Fipronil	1,00	14,30	5,26
Fipronil sulfona	1,00	14,30	5,26
Simazina	12,33 \pm 7,11	57,10	47,40
AGOSTO			
Bifentrina	29,80 \pm 16,30	100,00	90,90
Difenoconazol	32,00	11,11	4,76
NOVIEMBRE			
Acetochlor	14,00 \pm 4,52	28,57	19,04
Bifentrina	26,05 \pm 16,47	100,00	95,23
Ciproconazol	6,50 \pm 1,37	42,85	28,57
Clorpirifos	122,00	14,28	4,76
Metolacoloro	39,10 \pm 25,25	85,71	85,71
Piraclostrobina	10,50 \pm 3,31	14,28	14,28
FEBRERO			
Bifentrina	30,44 \pm 57,49	100,00	81,81
Clorpirifos	34,33 \pm 7,99	25,00	22,72
Fludioxonil	16,66 \pm 3,21	12,50	13,63
Metolacoloro	23,33 \pm 18,80	37,50	27,27
Metil paration	12,00	12,50	4,54
<i>Diplodon sp.</i>			
MAYO			
Bifentrina	2,90 \pm 3,60	75,00	90,90
Simazina	11	12,50	9,09
AGOSTO			
Difenoconazol	103,00 \pm 10,81	50,00	23,07
NOVIEMBRE			
Metolacoloro	20,64	100,00	100,00
Metribuzin	5,00	11,11	21,42
Piraclostrobina	6,00	11,11	7,14
FEBRERO			
Clorpirifos	11 \pm 0,00	11,11	14,28
Metolacoloro	4,5 \pm 0,70	11,11	14,28
<i>Limnoperna Fortunei</i>			
NOVIEMBRE			
Metolacoloro	23 \pm 0,00	100,00	100,00
Metribuzin	76 \pm 0,00	100,00	100,00
Piraclostrobina	8 \pm 0,00	100,00	100,00

Anexo 11. Concentración de plaguicidas ($\mu\text{g}/\text{kg}$) en músculo de bivalvos por especie y largo estándar (cm) de los individuos. Ntot: Total de plaguicidas detectados por largo.

Especie	Largo st.	Bifentrina	Difenoconazol	Fipronil	Fipronil sulfona	Simazina	Ciproconazol	Clorpirifos	Metolaclo	Metribuzin	Piraclostrobina	Acetochlor	Fludioxonil	Metil paration	N total
Diplodon	0,54	2													1
Diplodon	0,56	2													1
Diplodon	0,59	1													1
Diplodon	0,59	2													1
Diplodon	1,22	5													1
Corbicula	1,39	224												12	2
Corbicula	1,40	44													1
Corbicula	1,47	14													1
Corbicula	1,49	13													1
Diplodon	1,52	3													1
Corbicula	1,55	13													1
Diplodon	1,55	13													1
Corbicula	1,57	9													1
Corbicula	1,61	15													1
Corbicula	1,64	62													1
Corbicula	1,71	6													1
Corbicula	1,78	7													1
Corbicula	1,83	12													1
Corbicula	1,84	7													1
Corbicula	1,97	10						31		33					3
Corbicula	2,05	25								8					2
Corbicula	2,05	7						38		50					3
Corbicula	2,05	9						29					20		3
Corbicula	2,06	7						28					15		3
Corbicula	2,09	38				12									2
Corbicula	2,10	2							7						2
Diplodon	2,12	11						11		7					2
Corbicula	2,13	15					5		20						3
Corbicula	2,14	23				7									2
Corbicula	2,14	9													1
Corbicula	2,14	63				13									2
Corbicula	2,15	57				6									2
Corbicula	2,16						8			20					2
Corbicula	2,16	20								16					2
Corbicula	2,16	34				28									2
Corbicula	2,17	37				18									2
Corbicula	2,18	76				13									2
Corbicula	2,18	42													1
Corbicula	2,19	30				7									2
Corbicula	2,20	17							62			15			3
Corbicula	2,20	17							87			20			3
Corbicula	2,21	20													1
Corbicula	2,21	28													1
Corbicula	2,21	38							24						2
Corbicula	2,22	39													1
Corbicula	2,23	28													1
Corbicula	2,24	13							19						2
Corbicula	2,25	47							26						2
Corbicula	2,25	18					5		18						3
Corbicula	2,25	11													1
Corbicula	2,27	54				7									2
Diplodon	2,27								21						1
Corbicula	2,27	56													1
Corbicula	2,27	20							24						2
Corbicula	2,29	47					7		30						3
Corbicula	2,29	43					6		27						3
Corbicula	2,30	11							18						2
Corbicula	2,31	24													1
Corbicula	2,32	27							66						3
Corbicula	2,33	41										16			1
Corbicula	2,35	57					8		24						3
Corbicula	2,36	33													1
Corbicula	2,40	60													1
Corbicula	2,41	38			1										2
Corbicula	2,42	37													1
Corbicula	2,44	20													1
Corbicula	2,45	14							83		11		9		4
Corbicula	2,45	10							65		11				3
Corbicula	2,46	39		32											2
Corbicula	2,47	32													1
Corbicula	2,47	21							21						1
Corbicula	2,48	51													1
Corbicula	2,48	42													1
Corbicula	2,50	22													1
Corbicula	2,52	16													1
Corbicula	2,52	17						122	80		14	10			5
Corbicula	2,54	34													1
Corbicula	2,55	35			1										2
Corbicula	2,57								34		6				2
Corbicula	2,57	30													1
Corbicula	2,60	21													1
Corbicula	2,61	5													1
Diplodon	2,63								17						1
Diplodon	2,65								22						1
Corbicula	2,65	46													1
Corbicula	2,65	5													1
Diplodon	2,75								21						1
Diplodon	2,77	1													1
Diplodon	3,02	2													1
Diplodon	3,04							31	36						2
Diplodon	3,21	2													1
Diplodon	3,31								21						1
Diplodon	3,35							11	8						2
Diplodon	3,42								20						1
Diplodon	3,60								21						1
Diplodon	3,69								19						1
Diplodon	3,80								19						2
Diplodon	3,96	8						49	6	5			21		4
Diplodon	4,11								19						1
Diplodon	4,67		112												1
Diplodon	4,72								17						1
Diplodon	4,97		106												1
Diplodon	5,22		91												1
Diplodon	5,31								18						1

Anexo 12. Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{kg}$) de plaguicidas en miel, cera, abejas y polen por mes para los 5 apiarios relevados en la cuenca del río San Salvador. Uso: H: herbicida; I: insecticida; F: fungicida. C: Criterio Monitoreo DINACEA calidad de agua. FO%: Frecuencia de ocurrencia por mes.

		Apiarios																							
		Mayo					Agosto					Diciembre					Febrero								
MIEL	Uso C	FO%	1	2	3	4	5	FO%	1	2	3	4	5	FO%	1	2	3	4	5	FO%	1	2	3	4	5
Azoxiestrobina	F 3	40		0,1	0,1																				
Carbendazim	F 3	20	0,7				4																		
Tiametoxam	I 3	20			7																				
Piraclostrobina	F 3	20						20				10													
Trifloxiestrobina	F 2	40						40		7		9													

		Apiarios																							
		Mayo					Agosto					Diciembre					Febrero								
CERA	Uso C	FO%	1	2	3	4	5	FO%	1	2	3	4	5	FO%	1	2	3	4	5	FO%	1	2	3	4	5
Azoxiestrobina	F 3	100	3	9	5	2	14	40	13		15	80	17	4	3	5									
Carbendazim	F 3	20					4	40			13	8	60	2		8	4								
Clorpirifos	I 3	40	38	13									20	90						40	15	6			
Diuron	H 3	40				3	2						40			1	1								
Piraclostrobina	F 3	40		6	10			40			8	8	80		6	1	22	1							
Tebuconazol	F 3	20					17	20					10												
Trifloxiestrobina	F 2							20		23			80	5	7	17	5		60	8	10		7		
Acetamiprid	I 3												20		1										
Atrazina	H 3												40		2	2									
Bifentrina	I 3												40		6	6									
Metoxifenocida	I 3												40		3			1							
Picoxistrobina	F 1												40				6	30							

		Apiarios																							
		Mayo					Agosto					Diciembre					Febrero								
ABEJAS	Uso C	FO%	1	2	3	4	5	FO%	1	2	3	4	5	FO%	1	2	3	4	5	FO%	1	2	3	4	5
Diuron	H 3	40			3,6		2,9																		
Clorpirifos	I 3							20	6																
Etion	I 2							20	10																
Epoiconazol	F 3							20				23													
Piraclostrobina	F 3							40				24	5												
Trifloxiestrobina	F 2													40		1	1								
Bifentrina	I 3																		20					12	

		Apiarios																							
		Mayo					Agosto					Diciembre					Febrero								
POLEN	Uso C	FO%	1	2	3	4	5	FO%	1	2	3	4	5	FO%	1	2	3	4	5	FO%	1	2	3	4	5
Azoxiestrobina	F 3	20		5				80	96	110	79	6	20		13				20				20		
Clorantniliprol	I 3	20			7			20	6																
Metoxifenocida	I 3	20		7																					
Piraclostrobina	F 3							80	49	31	26	58							40	1			4		
Acetamiprid	I 3												20		13										
Trifloxiestrobina	F 2												20		2				60	1		2	1		
Bifentrina	I 3																		80	6	6		28	7	
Clorpirifos	I 3																							23	
Triflumuron	F 3																		20	7					

Anexo 13. Lista de especies, individuos capturados, talla promedio, rango de tallas (máximo-mínimo), biomasa total, peso promedio y rango de biomasa. SD: desvío estándar.

Nombre	Individuos	Talla prom ± SD (cm)	Rango de talla (cm)	Biomasa total (g)	Peso prom ± SD (g)	Rango peso (g)
<i>Anostrus taunayi</i>	24	5,73 ± 2,14	10 - 2,7	214,47	8,93 ± 9,69	34,5 - 0,8
<i>Andromakhe saguazu</i>	1	4,7 ± 0	4,7 - 4,7	2,3	-	2,3 - 2,3
<i>Andromakhe stenohalinus</i>	32	7,46 ± 0,66	8,5 - 6	373,91	11,68 ± 3,4	20,37 - 4,9
<i>Apareiodon affinis</i>	166	6,63 ± 1,24	10 - 2,7	882,78	5,31 ± 2,63	17,5 - 0,2
<i>Australoheros faoetus</i>	7	3,05 ± 2,37	8 - 0,2	25,7	3,67 ± 7,38	20,4 - 0,5
<i>Australoheros scitulus</i>	123	4,52 ± 2,09	9,1 - 1,8	959,43	7,8 ± 8,62	38,44 - 0,2
<i>Bryconamericus iheringii</i>	4582	4,88 ± 1,4	40,2 - 0,8	17169,05	3,74 ± 2,99	18,6 - 0,1
<i>Bryconamericus stramineus</i>	6	4,61 ± 0,5	4,9 - 3,6	10	1,66 ± 0,54	2 - 0,6
<i>Catathyrion lorentzii</i>	2	11,4 ± 0,28	11,6 - 11,2	117,4	58,7 ± 7,63	64,1 - 53,3
<i>Characidium rachovii</i>	76	3,64 ± 0,68	4,8 - 2	101,18	1,33 ± 0,77	3,1 - 0,2
<i>Charax stenopterus</i>	118	5,76 ± 1,54	9,4 - 2,5	556,41	4,71 ± 3,4	16,3 - 0,3
<i>Cheirodon ibicuhensis</i>	1	3 ± 0	44988	1	-	44927
<i>Cheirodon interruptus</i>	448	3,29 ± 0,95	5,5 - 1,2	580,22	1,29 ± 0,91	4,9 - 0,03
<i>Crestedon decaemaculatus</i>	390	2,21 ± 0,5	3,5 - 0,3	113,7	0,29 ± 0,25	1,1 - 0,03
<i>Corydoras paleatus</i>	9	2,97 ± 1,35	5,3 - 1,7	15,88	1,76 ± 2,18	6 - 0,17
<i>Crenichthys lepidota</i>	11	6,05 ± 2,89	14,1 - 3,5	100,7	9,15 ± 17,69	61,8 - 1,1
<i>Crenichthys scotti</i>	219	9,38 ± 5,03	28 - 2,4	7375,28	33,67 ± 50,77	393 - 0,3
<i>Cyphocharax platanus</i>	1	9 ± 0	45178	17,5	-	17,5 - 17,5
<i>Cyphocharax voga</i>	127	7,27 ± 4,82	19,5 - 2,5	4312,87	33,95 ± 59,48	296,7 - 0,5
<i>Deuterodon luetkenii</i>	49	5,12 ± 0,69	6,5 - 3,6	240,89	4,91 ± 2,23	9,5 - 1,29
<i>Diapoma terofali</i>	2506	4,5 ± 0,83	6,8 - 1,5	5315,89	2,12 ± 1,14	7,1 - 0,1
<i>Diapoma uruguayensis</i>	223	3,79 ± 0,73	6,4 - 1,4	356,75	1,59 ± 1,26	9,8 - 0,1
<i>Ectreptopterus uruguayensis</i>	140	3,67 ± 0,7	5,3 - 1,7	245,29	1,75 ± 0,98	5,34 - 0,2
<i>Eigenmannia virescens</i>	1	-	14,5 - 14,5	11,4	-	11,4 - 11,4
<i>Gymnocephalus mekinos</i>	346	5,38 ± 1,84	10,8 - 1,5	2566,81	7,41 ± 7,71	42,9 - 0,1
<i>Gymnocephalus meridionalis</i>	47	3,78 ± 1,74	7,9 - 1,6	163,21	3,47 ± 4,98	18,2 - 0,2
<i>Gymnocephalus pseudolabialis</i>	8	7,4 ± 1,66	9,7 - 4	127,84	15,98 ± 8,72	31,22 - 2,28
<i>Gymnocephalus terrapurpura</i>	492	3,9 ± 1,57	16,2 - 1	1920,18	3,9 ± 4,48	32,6 - 0,1
<i>Gymnotus amaronum</i>	1	10,2 ± 0	10,2 - 10,2	3,07	-	3,07 - 3,07
<i>Heptapterus mustelinus</i>	217	8,25 ± 3,49	22,5 - 3,4	1369,92	6,31 ± 8,01	49,3 - 0,2
<i>Hisonotus charrua</i>	22	3,83 ± 0,64	5,2 - 2,4	27,57	1,25 ± 0,63	2,23 - 0,2
<i>Hoplias argentinensis</i>	13	14,46 ± 10,17	44 - 6,6	672,3	56,02 ± 109,81	401,1 - 6,4
<i>Hoplias lacerdae</i>	7	20,07 ± 12,43	42,3 - 9,8	2310,5	330,07 ± 553,83	1484,5 - 14,5
<i>Hypessobrycon meridionalis</i>	294	3,68 ± 1,02	6,4 - 1,8	527,35	1,79 ± 1,57	7,13 - 0,1
<i>Hypessobrycon togoi</i>	388	4,96 ± 1,05	7,4 - 1	1530,5	3,94 ± 2,37	11,4 - 0,2
<i>Heterochirodon yatai</i>	337	3,89 ± 0,34	5 - 2,5	422,24	1,25 ± 0,42	3,2 - 0,2
<i>Hypostomus aspilogaster</i>	7	6,67 ± 1,9	10,2 - 4,6	62,6	8,94 ± 7,63	24,4 - 3,6
<i>Hypostomus commersoni</i>	31	18,09 ± 9,04	33,5 - 3,4	5981,5	192,95 ± 206,91	709 - 0,7
<i>Iheringichthys labrusus</i>	123	13,74 ± 2,9	20,5 - 6,3	5692,8	46,28 ± 28,05	133,1 - 3,9
<i>Jenynsia lineata</i>	69	3,44 ± 0,68	45048	79,04	1,14 ± 0,75	4,4 - 0,14
<i>Jenynsia onca</i>	2	1,85 ± 1,2	2,7 - 1	0,21	0,1 ± 0,13	0,2 - 0,01
<i>Loricariichthys anus</i>	7	37,04 ± 1,83	39,8 - 33,7	3984,2	569,17 ± 121,74	749,1 - 387
<i>Loricariichthys melanocheilus</i>	25	20,67 ± 4,42	27,4 - 11,5	1664	66,56 ± 35,6	147,1 - 9,4
<i>Lyoenegrulis rossidensis</i>	18	8,7 ± 1,7	12 - 6,2	126,8	8,45 ± 5,55	21,1 - 3
<i>Megaleporinus obtusidens</i>	1	32,8 ± 0	32,8 - 32,8	861	-	861 - 861
<i>Microglanis oottoides</i>	5	3,48 ± 1,11	5 - 2,5	7,81	1,56 ± 1,4	3,8 - 0,5
<i>Odontesthes humensis</i>	98	11,44 ± 2,54	18,5 - 7,4	2052,43	22,06 ± 15,64	69 - 4,9
<i>Odontesthes peruiæ</i>	52	12,69 ± 3,32	26,6 - 6	1439,65	27,68 ± 28,27	199 - 1,9
<i>Odontesthes sp.</i>	16	12,45 ± 3,61	18,7 - 3,8	435,4	29,02 ± 18,22	77,9 - 1
<i>Oligosarcus jenynsii</i>	477	11,42 ± 4,11	24,2 - 1,8	17282,37	36,3 ± 34,35	255 - 0,09
<i>Oligosarcus oliolepis</i>	4	11,92 ± 6,46	17,2 - 4	193,75	48,43 ± 47,89	91 - 1,35
<i>Otoacanthus arnoldi</i>	1	5 ± 0	45051	3,3	-	3,3 - 3,3
<i>Parapimelodus valenciennis</i>	23	9,73 ± 2,89	17,5 - 4	425,5	18,5 ± 16,98	80,8 - 1,3
<i>Psalidodon eigenmanniorum</i>	1509	5,1 ± 1,96	10,4 - 0,1	7691,66	5,11 ± 4,84	34,3 - 0,01
<i>Pellona flavipinnis</i>	3	25,16 ± 4,48	28 - 20	722,2	240,73 ± 118,98	320,7 - 104
<i>Pimelodella australis</i>	43	5,35 ± 1,46	8,5 - 3,1	143,17	3,32 ± 2,88	12 - 0,7
<i>Pimelodella gracialis</i>	2	10,6 ± 0,14	10,7 - 10,5	30,6	15,3 ± 0,14	15,4 - 15,2
<i>Pimelodus maculatus</i>	23	20,49 ± 5,67	29,5 - 10	4605,5	200,23 ± 139,77	502,1 - 11,9
<i>Platanichthys platana</i>	70	4,98 ± 0,59	6,4 - 3	151,55	2,22 ± 0,9	5,43 - 1
<i>Prochilodus lineatus</i>	3	31,6 ± 1,45	33 - 30,1	2562,9	854,3 ± 85,03	952 - 797
<i>Psalidodon anisitsi</i>	75	3,38 ± 0,61	5 - 2,1	79,29	1,05 ± 0,57	3,5 - 0,1
<i>Psalidodon dissensus</i>	120	7,36 ± 1,18	9,8 - 3,6	1371,7	11,43 ± 5,18	26 - 0,7
<i>Psalidodon rutilus</i>	235	8,99 ± 1,35	12,5 - 6	4882,93	20,77 ± 10,01	54,1 - 5,3
<i>Pseudocorynopoma doriae</i>	166	5,27 ± 1,04	7 - 1,9	548,78	3,3 ± 1,9	8,1 - 0,15
<i>Raphiodon vulpinus</i>	1	42 ± 0	42 - 42	599	-	599 - 599
<i>Rhamdella longiuscula</i>	15	8,44 ± 2,36	13,6 - 5,8	141,37	9,42 ± 8,27	30,5 - 2,47
<i>Rhamdia quelen</i>	13	13,9 ± 4,06	19,2 - 6	742,49	57,11 ± 43,95	132 - 3,4
<i>Rimeloricaria lonicauda</i>	152	7,69 ± 2,08	12,2 - 2,6	562,27	3,72 ± 2,78	10,43 - 0,1
<i>Salminus brasiliensis</i>	7	25,71 ± 12,74	54,5 - 20	3356,8	479,54 ± 862,24	2432,8 - 111
<i>Salema maculatum</i>	181	4,1 ± 0,83	7,5 - 1,3	201,69	1,11 ± 0,63	3,79 - 0,1
<i>Serrasalmus maculatus</i>	4	3,72 ± 0,71	4,6 - 2,9	7,7	1,92 ± 1,04	3,3 - 0,9
<i>Steindachnerina biornata</i>	257	8,32 ± 1,48	12,5 - 4,3	4835,09	18,81 ± 9,31	60,2 - 2,3
<i>Synbranchus marmoratus</i>	6	27,71 ± 14,32	50 - 6,1	266,71	44,45 ± 53,59	148,2 - 0,2

Anexo 14. Lista de morfoespecies dentro de cada Orden

Número	ORDEN	Familia	Mayor nivel identificado	Número	ORDEN	Familia	Mayor nivel identificado
1	Diptera	Asilidae	Asilidae 1	102	Lepidoptera	Noctuidae	Agrotis sp.
2	Diptera	Anthomyiidae	<i>Anthomyia punctipennis</i>	103	Lepidoptera	Noctuidae	Orthodes sp.
3	Diptera	Bibionidae	<i>Bibionidae sp 1</i>	104	Lepidoptera	Noctuidae	Agrotini 1
4	Diptera	Bibionidae	<i>Dilophus sp 1</i>	105	Lepidoptera	Noctuidae	Noctuinae 1
5	Diptera	Bombyliidae	Bombyliidae sp 1	106	Lepidoptera	Noctuidae	Noctuidae 1
6	Diptera	Bombyliidae	Bombyliidae sp 2	107	Lepidoptera	Nymphalidae	Satyrinae 1
7	Diptera	Calliphoridae	<i>Chrysoma albiceps</i>	108	Lepidoptera	Pieridae	Colias lesbia
8	Diptera	Calliphoridae	<i>Calliphora vicina</i>	109	Lepidoptera	Pieridae	Eurema albulia
9	Diptera	Calliphoridae	<i>Lucilia sericata</i>	110	Lepidoptera	Pieridae	Pyristitia leuce
10	Diptera	Dolichopodidae	<i>Dolichopus sp 1</i>	111	Lepidoptera	Pieridae	Tatochila sp.
11	Diptera	Fanniidae	<i>Fanniidae sp 1</i>	112	Lepidoptera		Lepidoptera 1-15
12	Diptera	Muscidae	<i>Morellia trichops</i>	113	Coleoptera	Achyarsidae	Achyarsidae 1
13	Diptera	Muscidae	<i>Ophyra sp 1</i>	114	Coleoptera	Anobiidae	Anobiidae 1
14	Diptera	Muscidae	<i>Neurotrixa felsina</i>	115	Coleoptera	Apionidae	Apionidae 1
15	Diptera	Muscidae	<i>Dalichophaonia trigona</i>	116	Coleoptera	Bruchidae	<i>Callosobruchus chinensis</i>
16	Diptera	Muscidae	<i>Pahonia tripsila</i>	117	Coleoptera	Bruchidae	Bruchidae 1
17	Diptera	Muscidae	<i>Mydaea sp 1</i>	118	Coleoptera	Bruchidae	Bruchidae 2
18	Diptera	Micropezidae	<i>Tanaptera sp 1</i>	119	Coleoptera	Bruchidae	Bruchidae 3
19	Diptera	Micropezidae	Micropezidae sp 2	120	Coleoptera	Buprestidae	Agriaxia sp
20	Diptera	Nemestrinidae sp 1	Nemestrinidae sp 1	121	Coleoptera	Buprestidae	Buprestidae 1
21	Diptera	Phiohilidae	Piophila sp 1	122	Coleoptera	Buprestidae	Buprestidae 2
22	Diptera	Phoridae	Megasella sp 1	123	Coleoptera	Buprestidae	Buprestidae 3
23	Diptera	Sarcophagidae	Sarcophagidae sp 1	124	Coleoptera	Cantharidae	Cahulignathus scriptus
24	Diptera	Sarcophagidae	Sarcophagidae sp 1	125	Coleoptera	Cantharidae	Cantharis sp
25	Diptera	Sarcophagidae	Oxysarcodexia sp 1	126	Coleoptera	Cantharidae	Discodon sp
26	Diptera	Sarcophagidae	Oxysarcodexia sp 2	127	Coleoptera	Cantharidae	Polemus denticolis
27	Diptera	Sciomyzidae	Protodictya sp 1	128	Coleoptera	Cantharidae	Sillis denticornis
28	Diptera	Sepsidae	Sepsidae sp 1	129	Coleoptera	Cantharidae	Sillis sp
29	Diptera	Syrphidae	Allograpta exotica	130	Coleoptera	Cantharidae	Trypserus sp
30	Diptera	Syrphidae	Allograpta sp 1	131	Coleoptera	Carabidae	Apenes sp
31	Diptera	Syrphidae	Syrphus sp 1	132	Coleoptera	Carabidae	Polyderis sp
32	Diptera	Syrphidae	Toxomerus	133	Coleoptera	Carabidae	Carabidae 1
33	Diptera	Syrphidae	Dioprosopa sp 1	134	Coleoptera	Carabidae	Carabidae 2
34	Diptera	Sciaridae	Sciaridae	135	Coleoptera	Cerambycidae	Megacyllene mellyi
35	Diptera	Statomyidae	Hermetia illucens	136	Coleoptera	Chrysomelidae	Diabrotica spessosa
36	Diptera	Tachinidae	Siphona sp 1	137	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 1
37	Diptera	Tabanidae	Chrysops sp 1	138	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 2
38	Diptera	Tabanidae	Tabanus sp1	139	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 3
39	Diptera	Tephritidae	Tephritidae sp 1	140	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 4
40	Hymenoptera	Apidae	Apis mellifera	141	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 5
41	Hymenoptera	Apidae	Bombus pauloensis	142	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 6
42	Hymenoptera	Apidae	Ceratinini sp 1	143	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 7
43	Hymenoptera	Apidae	Ceratinini sp 2	144	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 8
44	Hymenoptera	Apidae	Ceratinini sp 3	145	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 9
45	Hymenoptera	Apidae	Ceratina rupestris	146	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 10
46	Hymenoptera	Apidae	Emphorini sp 1	147	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 11
47	Hymenoptera	Apidae	Melissodes sp 1	148	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 12
48	Hymenoptera	Apidae	Melissodes sp 2	149	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 13
49	Hymenoptera	Apidae	Melissodes sp 3	150	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 14
50	Hymenoptera	Apidae	Melissodes sp 4	151	Coleoptera	Chrysomelidae	Chrysomelidae 15
51	Hymenoptera	Apidae	Eucerini 1	152	Coleoptera	Coccinellidae	Cycloneda ancoralis
52	Hymenoptera	Apidae	Eucerini 2	153	Coleoptera	Coccinellidae	Cycloneda sanguinea
53	Hymenoptera	Apidae	Eucerini 3	154	Coleoptera	Coccinellidae	Eriopsis loensis
54	Hymenoptera	Apidae	Apidae 1	155	Coleoptera	Coccinellidae	Harmonia axyridis
55	Hymenoptera	Apidae	Apidae 2	156	Coleoptera	Coccinellidae	Scymnus (Pullus) loewii
56	Hymenoptera	Apidae	Apidae 3	157	Coleoptera	Coccinellidae	Coccinellidae 1
57	Hymenoptera	Apidae	Apidae 4	158	Coleoptera	Curculionidae	Curculionidae 1
58	Hymenoptera	Apidae	Apidae 5	159	Coleoptera	Curculionidae	Curculionidae 2
59	Hymenoptera	Apidae	Apidae 6	160	Coleoptera	Curculionidae	Curculionidae 3
60	Hymenoptera	Apidae	Apidae 7	161	Coleoptera	Curculionidae	Curculionidae 4
61	Hymenoptera	Colletidae	Colletidae 1	162	Coleoptera	Curculionidae	Curculionidae 5
62	Hymenoptera	Colletidae	Colletidae 2	163	Coleoptera	Curculionidae	Curculionidae 6
63	Hymenoptera	Halictidae	Augochlora amphitrite	164	Coleoptera	Curculionidae	Curculionidae 7
64	Hymenoptera	Halictidae	Halictidae 1	165	Coleoptera	Curculionidae	Curculionidae 8
65	Hymenoptera	Halictidae	Halictidae 2	166	Coleoptera	Dermestidae	Trogoderma sp
66	Hymenoptera	Halictidae	Halictidae 3	167	Coleoptera	Dermestidae	Dermestidae 1
67	Hymenoptera	Halictidae	Halictidae 4	168	Coleoptera	Dermestidae	Dermestidae 2
68	Hymenoptera	Halictidae	Halictidae 5	169	Coleoptera	Dytiscidae	Liodesus sp
69	Hymenoptera	Halictidae	Halictidae 6	170	Coleoptera	Elaterridae	Conoderus fuscifasciatus
70	Hymenoptera	Halictidae	Halictidae 7	171	Coleoptera	Elaterridae	Conoderus lividus
71	Hymenoptera	Halictidae	Halictidae 8	172	Coleoptera	Elaterridae	Pyrophorus punctatissimus
72	Hymenoptera	Halictidae	Halictidae 9	173	Coleoptera	Histeridae	Hister sp
73	Hymenoptera	Megachilidae	Coelioxys sp	174	Coleoptera	Histeridae	Histeridae 1
74	Hymenoptera	Megachilidae	Megachile sp 1	175	Coleoptera	Hydrophilidae	Hydrophilidae 1
75	Hymenoptera	Megachilidae	Megachile sp 2	176	Coleoptera	Lampyridae	Photinus signaticollis
76	Hymenoptera	Megachilidae	Megachilini 1	177	Coleoptera	Latridiidae	Melanophthalma sp
77	Hymenoptera	Megachilidae	Megachilini 2	178	Coleoptera	Meloidea	Epicauta langei
78	Hymenoptera	Apoidea 1	Apoidea 1	179	Coleoptera	Meloidea	Zonitis nigrotarsata
79	Hymenoptera	Apoidea 2	Apoidea 2	180	Coleoptera	Melyridae	Astylus atomaculatus
80	Hymenoptera	Apoidea 3	Apoidea 3	181	Coleoptera	Melyridae	Astylus quadrilineatus
81	Hymenoptera	Apoidea 4	Apoidea 4	182	Coleoptera	Mordellidae	Mordella sp 1
82	Hymenoptera	Apoidea 5	Apoidea 5	183	Coleoptera	Mordellidae	Mordella sp 2
83	Hymenoptera	Crabronidae	Trypoxylon sp	184	Coleoptera	Mordellidae	Mordella sp 3
84	Hymenoptera	Ichneumonidae	Ichneumonidae 1	185	Coleoptera	Mordellidae	Mordella sp 4
85	Hymenoptera	Scollidae 1	Scollidae 1	186	Coleoptera	Mordellidae	Mordellistena sp
86	Hymenoptera	Scollidae 2	Scollidae 2	187	Coleoptera	Mycetophagidae	Mycetophagus sp
87	Hymenoptera	Scolioidea 1	Scolioidea 1	188	Coleoptera	Mycetophagidae	Mycetophagidae 1
88	Hymenoptera	Pompilidae	Pepsini	189	Coleoptera	Nitidulidae	Camptodes sp
89	Hymenoptera	Pompilidae	Tachypompilus xanthopterus	190	Coleoptera	Nitidulidae	Carpophilus dimidiatus
90	Hymenoptera	Pompilidae	Pompilidae 1	191	Coleoptera	Nitidulidae	Nitidulidae 1
91	Hymenoptera	Vespidae	Polybia scutellaris	192	Coleoptera	Scarabaeidae	Cyclocephala sp
92	Hymenoptera	Vespidae	Brachygastra lecheguana	193	Coleoptera	Scarabaeidae	Leucothyreus sp
93	Hymenoptera	Tenthredinidae	Tenthredinidae sp 1	194	Coleoptera	Scarabaeidae	Scarabaeidae 1
94	Hymenoptera	Symphita sp 1	Symphita sp 1	195	Coleoptera	Staphylinidae	Staphisoma sp
95	Hymenoptera	Avispa 1-57	Avispa 1-57	196	Coleoptera	Staphylinidae	Staphylinidae 1
96	Lepidoptera	Hesperidae	Hylephila phyleus	197	Coleoptera	Staphylinidae	Staphylinidae 2
97	Lepidoptera	Hesperidae	Pyrgus sp.	198	Coleoptera	Staphylinidae	Staphylinidae 3
98	Lepidoptera	Hesperidae	Hesperinae 1	199	Coleoptera	Tenebrionidae	Tenebrionidae 1
99	Lepidoptera	Hesperidae	Hesperidae 1	200	Coleoptera	Tenebrionidae	Tenebrionidae 2
100	Lepidoptera	Lycaenidae	Lycaenidae 1	201	Coleoptera		Coleoptera 1 - 4
101	Lepidoptera	Lycaenidae	Lycaenidae 2				

Anexo 15. Composición palinológica detallada al menor nivel taxonómico posible correspondiente a las muestras de miel en cada apiario en cada muestreo.

Muestreo	Familia	N común	ID	Colmenas				
				1	2	3	4	5
OTOÑO	Asteraceae	Chircas/Ca quejas	Baccharis s.p.	75,5	74,8	80,2	12,4	10,1
	Poaceae	Pasto	-	2,7	1,3	2,3	1,5	1,7
	Sapindaceae	-	-	6,6	-	-	-	-
	Fabaceae	Acacia mimosoidea	-	0,8	-	-	-	-
	Fabaceae	-	-	12,3	-	0,2	-	-
	Fabaceae	Lotus	Lotus spp.	1,6	3,5	2,5	-	-
	Apiaceae	-	-	0,5	-	-	-	-
	Fabaceae	Trébol rojo	Trifolium pratense	-	3,2	-	-	0,2
	Brassicaceae	Rábano	Brassica spp.	-	10,4	-	-	-
	Salicaceae	Sauce	Salix spp.	-	6,8	-	-	-
	CHAM	-	-	-	-	1,1	-	-
	Myrtaceae	Eucalipto	Eucalyptus spp.	-	-	12,7	78,2	80,8
	Poaceae	Sorgo	Sorghum bicolor	-	-	0,5	-	1,8
	Poaceae	Maíz	Zea Mays	-	-	0,2	-	-
	Fagaceae	-	-	-	-	0,3	3,1	-
	Brassicaceae	Rábano	Raphanus raphanistrum	-	-	-	4,3	5,1
	Asteraceae	Girasol	Helianthus annuus	-	-	-	0,5	-
	Asteraceae	Cardo	T. Cynara cardunculus	-	-	-	-	0,2
Oleaceae	Ligustro	Ligustrum lucidum	-	-	-	-	0,1	
INVERNO	Brassicaceae	Colza	Brassica napus	98,5	96,0	100,0	100,0	98,5
	Lauraceae	Lauré	Laurus nobilis	1,5	1,5	-	-	-
	Asteraceae	Senecio	Senecio s.p.	-	0,5	-	-	1,5
	Rutaceae	Cítrus	Citrus s.p.	-	1,5	-	-	-
	Rosaceae	T Duraznero	T. Prunus persica	-	0,5	-	-	-
PRIMAVERA	Brassicaceae	Colza	Brassica napus	6,0	73,4	42,5	9,9	11,3
	Apiaceae	Caraguatá	Bryngium s.p.	37,3	-	5,0	1,2	3,2
	Myrtaceae	Nativas	-	22,4	1,6	25,0	8,6	37,1
	Fabaceae	Lotus	Lotus s.p.	9,0	0,0	5,0	55,6	1,6
	Boraginaceae	Boraja	Echium plantagineum	3,0	1,6	-	12,3	30,7
	Myrtaceae	Eucalipto	Eucalyptus s.p.	14,9	-	-	4,9	14,5
	Fabaceae	-	-	1,5	12,5	2,5	3,7	1,6
	Asteraceae	Chircas/Ca quejas	Baccharis s.p.	1,5	-	10,0	-	-
	Asteraceae	Achicoria	Geharium intybus	1,5	-	-	-	-
	Scrophulariaceae	-	-	3,0	-	-	1,3	-
	Lauraceae	Lauré	Laurus nobilis	-	1,6	-	-	-
	Rhamnaceae	Coronilla	Scutia buxifolia	-	7,8	7,5	-	-
	Salicaceae	Sauce	Salix s.p.	-	1,6	2,5	1,2	-
Fabaceae	Trébol rojo	Trifolium pratense	-	-	-	1,2	-	
Anacardiaceae	Molle	Schinus molle	-	-	-	-	-	
VERANO	Fabaceae	Lotus	Lotus s.p.	85,3	36,3	6,8	4,6	10,4
	Asteraceae	Cardo	T. Cynara cardunculus	7,8	1,0	2,5	3,4	1,5
	Fabaceae	Soja	Glycine max	2,6	4,2	30,5	6,9	6,0
	Asteraceae	Diente de león	Taraxacum officinale	1,1	-	-	0,2	-
	Asteraceae	Senecio	Senecio s.p.	0,5	0,2	0,3	1,1	-
	Poaceae	Maíz	Zea mays	2,0	-	-	1,1	-
	Myrtaceae	Eucalipto	Eucalyptus s.p.	0,6	-	1,6	28,7	29,9
	Anacardiaceae	Anueira	Lithraea molleoides	0,6	37,3	-	-	16,4
	Fabaceae	Vicia	Vicia sp.	-	0,8	0,8	-	-
	Oleaceae	Ligustro	Ligustrum lucidum	-	2,0	-	-	-
	Myrtaceae	Nativa	-	-	2,0	-	-	-
	Fabaceae	Trébol rojo	Trifolium pratense	-	2,5	-	-	11,9
	Poaceae	Sorgo	Sorghum bicolor	-	0,5	-	32,2	4,5
	Apiaceae	Caraguatá	Bryngium s.p.	-	1,0	-	16,1	3,0
	Ni	Ni (nativo)	-	-	9,8	4,2	-	-
Brassicaceae	Rábano	Brassica s.p.	-	2,9	33,1	-	-	
Salicaceae	Sauce	Salix s.p.	-	-	20,3	-	-	
Cucurbitaceae	Zapallo	Cucurbita pepo	-	-	0,1	-	-	
Asteraceae	Girasol	Helianthus annuus	-	-	-	5,7	16,4	

Anexo 16. Composición palinológica detallada al menor nivel taxonómico posible correspondiente a las muestras de polen en cada apiario en cada muestreo.

Muestreo	Familia	N común	ID	Colmenas					
				1	2	3	4	5	
OTOÑO	Asteraceae	Chircas/Carquejas	<i>Baccharis</i> sp	62,00	97,30	68,00	72,90	25,40	
	Poaceae	Pasta	-	4,10			1,10		
	Sapindaceae	-	-		0,50				
	Fabaceae	Acacia	-			2,00			
	Fabaceae	Mimosoidea	-	7,30					
	Apiaceae	-	-			2,10			
	Fabaceae	Trébol rojo	<i>Trifolium pratense</i>					3,20	
	Ch-Am	-	-	7,40			0,50		
	Myrta ceae	Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> sp	3,60			20,20	60,30	
	Poaceae	Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>	6,20					
	Poaceae	Maiz	<i>Zea mays</i>		2,00			10,10	
	Asteraceae	Cardo	<i>T. Cynara cardunculus</i>			2,30	5,30	1,00	
	Oleaceae	Ligustro	<i>Ligustrum lucidum</i>			26,00			
	Casuarinaceae	Casuarina	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	2,10					
	Fabaceae	Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	7,30					
Fabaceae	Soja	<i>Glycine max</i>		0,20					
INVERNO	Brassicaceae	Calza	<i>Brassica napus</i>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	
PRIMAVERA	Brassicaceae	Calza	<i>Brassica napus</i>	1,80	0,90	5,30	1,10	-	
	Apiaceae	Caraguatá	<i>Eryngium</i> spp.	0,90	-	23,00	1,20	-	
	Myrta ceae	Nativas	-	14,40	-	3,80	8,40	21,40	
	Fabaceae	Latus	<i>Lotus</i> spp.	54,10	-	30,00	21,00	-	
	Boraginaceae	Borraja	<i>Echium plantagineum</i>	7,20	1,90	0,80	31,60	36,50	
	Myrta ceae	Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> spp.	1,80	-	0,80	4,20	4,80	
	Fabaceae	-	-	3,60	15,70	3,00	2,30	3,20	
	Scrophulariaceae	-	-	6,30	-	2,30	15,80	9,50	
	Rhamnaceae	Caranilla	<i>Scutia buxifolia</i>	5,40	9,30	9,00	3,30	0,80	
	Asteraceae	Cardo	<i>T. Cynara cardunculus</i>	2,70	-	-	-	-	
	Fabaceae	Es pinilla	<i>Acacia caven</i>	0,90	-	-	-	-	
	Anacardiaceae	Molle	<i>Schinus molle</i>	0,90	64,80	23,00	10,50	23,80	
	Solanaceae	-	<i>Solanum</i> sp	-	7,40	-	1,10	-	
	VERANO	Myrta ceae	Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> spp.				10,60	
		Fabaceae	Latus	<i>Lotus</i> spp.	82,30	6,50	52,00		1,90
Asteraceae		Diente de león	<i>Taraxacum officinale</i>	9,50	22,20			5,60	
Asteraceae		Senecio	<i>Senecio</i> spp.			1,00		18,70	
Fabaceae		Soja	<i>Glycine max</i>		22,20	15,00			
Fabaceae		Trébol rojo	<i>Trifolium pratense</i>					12,10	
Apiaceae		Caraguatá	<i>Eryngium</i> spp.		11,10	4,80			
Asteraceae		Achicaria	<i>Oxchothium inqibus</i>					9,30	
Asteraceae		Girasol	<i>Helianthus annuus</i>				21,30	30,80	
Asteraceae		Cardo	<i>T. Cynara cardunculus</i>	8,20	4,40	7,60	10,60	10,30	
Rubiaceae		-	-		2,20				
Fabaceae		Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>			14,00			
Scrophulariaceae		-	-		11,10		17,00		
Poaceae		Maiz	<i>Zea mays</i>		20,20	3,80	8,50	0,90	
Poaceae		Sorgo	<i>Sorghum bicolor</i>			1,00	31,90	10,30	