

**PROGRAMA DE CONSERVACIÓN DE LA FAUNA ÍCTICA Y LOS RECURSOS
PESQUEROS DEL RÍO URUGUAY**



***RESIDUOS DE CONTAMINANTES EN PECES DEL RÍO
URUGUAY***

INFORME PERIODO 2021

Dr. Pedro Carriquiriborde^{1,2}

- 1- Investigador Independiente Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
- 2- Asesor Técnico de la Subcomisión de Pesca y Otros Recursos Vivos, Departamento de Ambiente, Secretaría Técnica, Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) Av. Costanera S/Nº Paysandú República Oriental del Uruguay CC 57097.

Resumen

El relevamiento realizado en el invierno de 2021 ha aportado información sobre la concentración de 135 analitos diferentes en 44 muestras de músculo de sábalo, boga y dorado, especies de interés pesquero en el Río Uruguay colectadas próximo a las localidades de Mocoretá, Puerto Yeruá, Concepción del Uruguay y Villa Paranacito. Además, se ha relevado la acumulación de tales analitos en el hígado de 18 muestras de sábalo. Todo ello representó conjunto de más de 9000 datos que fueron curados y analizados. Las principales conclusiones que se desprenden de este relevamiento son: i) respecto a 2019 se observó un leve descenso en las concentraciones medias de PCBs, POCs, insecticidas piretroides, herbicidas, fungicidas y Hg, pero una tendencia inversa para PBDEs, insecticidas organofosforados e insecticidas de nueva generación y algunos metales como el Cr y el Pb, ii) respecto a los MRLs establecidos en legislaciones internacionales y nacionales y las concentraciones detectadas en las muestras de músculo, aún son relativamente bajos los porcentajes de excedencia indicando un riesgo moderado o bajo para el consumo de las especies de peces del Río Uruguay estudiadas. Para las sustancias que frecuentemente exceden dichos límites, sería recomendable la elaboración de evaluaciones de riesgo que, en base a las concentraciones halladas, sus ADIs y los patrones de consumo en la región, permitan establecer medidas de manejo del recurso y recomendaciones de consumo para el Río Uruguay.

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	4
1. INTRODUCCIÓN	9
2. OBJETIVO.....	10
3. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Sitios de muestreo y condiciones hidrológicas y meteorológicas	11
3.2. Especies seleccionadas, artes de pesca utilizadas y procesamiento de los peces	13
3.3. Análisis de los contaminantes	14
3.4. Análisis de datos.....	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1. PCBs (Bifenilos Policlorados)	17
4.2. PBDEs (Ésteres de Polibromodifenilos)	23
4.3. Plaguicidas organoclorados	26
4.4. Otros Insecticidas.....	31
4.5. Herbicidas y fungicidas.....	37
4.6. Metales	43
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
6. REFERENCIAS	54

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente informe se presentan los resultados y conclusiones de la Campaña 2021 del Subprograma “Relevamiento de Residuos de Contaminantes en Peces del Río Uruguay” que se desarrolla en el marco del Programa de Conservación de la Fauna Íctica y de los recursos Pesqueros del río Uruguay de la Subcomisión de Pesca y Otros Recursos Vivos de la Secretaría Técnica de la CARU.

El objetivo de este relevamiento es proporcionar información sobre la acumulación de contaminantes de relevancia ambiental en especies de peces de interés pesquero del Río Uruguay de forma tal que el conocimiento generado permita realizar recomendaciones que faciliten la toma de decisiones en relación con la gestión del recurso, basadas sobre información robusta obtenida en base a metodologías científicamente validadas.

Los muestreos se han realizado en coordinación con el subprograma de “Relevamiento de la Ictiofauna” durante el invierno de 2021 colectando ejemplares de 3 especies de peces de interés pesquero (sábalo, boga, dorado) en 4 localidades distribuidas a lo largo del tramo compartido del Río Uruguay, bajo jurisdicción de la CARU (Mocoretá, Puerto Yerúa, Concepción del Uruguay y Villa Paranacito). Se analizó la concentración de 127 sustancias de relevancia ambiental, 40 congéneres de PCBs (bifenilos policlorados), 6 congéneres de PBDEs (difeníl-éteres polibromados), 19 POCs (plaguicidas organoclorados), 31 insecticidas, 7 herbicidas, 16 fungicidas y 8 metales pesados, en el músculo de las 4 especies y en el hígado de los sábalo. El total de muestras analizadas de músculo fueron 44 y 18 de hígado. A estas muestras se sumaron 2 muestras, incluyendo material de referencia y muestras sobreagregadas como controles de calidad. En total se generaron más de 8000 datos que fueron curados y analizados estadísticamente.

De los 127 analitos analizados, 100% de los congéneres de los PCBs, 89% de los congéneres de PBDEs, 98 % de los POCs, 100% de los insecticidas, 75% de los herbicidas, 95% de los fungicidas y 100% de los metales analizados fueron detectados en alguna de las muestras de músculo, mientras que 100% de los congéneres de los PCBs, 94% de los congéneres de PBDEs, 100 % de los POCs, 100% de los insecticidas, 67% de los herbicidas, 89% de los fungicidas y 100% de los metales analizados fueron detectados en alguna de las muestras de hígado.

De los 40 congéneres de PCBs analizados, en todas las muestras se detectaron al menos 4 y hasta 20 congéneres en una misma muestra, siendo el PCB28 y el PCB101 los más relevantes. La acumulación de estos compuestos no difirió significativamente entre el músculo y el hígado. Tampoco se hallaron diferencias significativas entre especie, pero sí entre localidades, presentando las muestras obtenidas en Puerto Yerúa, localidad situada aguas debajo de las ciudades de Concordia y Salto, concentraciones significativamente más elevadas. La concentración promedio de PCBs totales en músculo fue de 5,97 µg/kg p.h. El valor máximo de concentración de PCBs totales fue hallado en el músculo de una boga de Villa Paranacito (25,79 µg/kg p.h.). El valor de la mediana fue de 3,85 µg/kg y se lo compara con la serie histórica que ha construido la CARU desde 2012, se observa que luego de un máximo en 2018 su valor ha comenzado a disminuir lentamente presentando en 2021 valores similares a los de 2015. Tomando las recomendaciones para el consumo de la USEPA y el valor de la mediana

obtenido, la mitad de los peces capturados se podrían comer sin restricciones para puntos finales no carcinogénicos y hasta 12 veces al mes, para puntos finales carcinogénicos.

De los 6 congéneres de PBDEs analizados se detectó al menos uno en el 89% de las muestras de músculo y en una muestra un máximo de 4, siendo el más relevante el PBDE99. De un modo semejante a los PCBs, no hubo diferencias significativas en las concentraciones de PBDEs totales entre tejidos o entre especies, pero sí entre localidades, siendo Puerto Yerúa en la cual las muestras presentaron las concentraciones más elevadas. La concentración promedio de PBDEs totales en músculo fue de $0,38 \pm 0,34$ $\mu\text{g/kg p.h.}$ El valor máximo de concentración de PBDEs totales fue hallado en una muestra de músculo de un sábalo de Puerto Yerúa ($1,31$ $\mu\text{g/kg p.h.}$) y el límite propuesto por EFSA para el PBDE99 (12 $\mu\text{g/kg b.w.}$) no se excedió en ninguna muestra. La serie de valores históricos muestra un leve incremento de los valores máximos y de la mediana en 2021, alcanzando valores semejantes a los máximos de 2016, por lo que, si bien aún no se recomiendan acciones específicas, se sugiere seguir el comportamiento de estas sustancias en futuros relevamientos.

De los 19 POCs analizados, se detectó al menos uno en el 98% de las muestras de músculo y en el 100 % en las de hígado, con un número máximo de 17 POCs en una única muestra. Los POCs más relevantes por su frecuencia y concentración fueron la familia de los DDTs y del endosulfán. Con un patrón semejante al de los PCBs y PBDEs, no hubo diferencias entre la concentración promedio de POCs totales en el músculo y en el hígado, tampoco entre especies, pero sí entre sitios, siendo Puerto Yerúa la localidad con las mayores concentraciones. La concentración promedio de POCs totales en músculo fue de $1,861 \pm 1,587$ $\mu\text{g/kg p.h.}$ y la máxima ($7,09$ $\mu\text{g/kg p.h.}$) se obtuvo para un Sábalo de Puerto Yerúa. Ninguna de las muestras de músculo excedió los MRLs para carnes de pescado u otro tipo de carnes establecidos por la FAO en el *Codex Alimentarius*, por lo que no se recomiendan acciones para este grupo de sustancias más que continuar su seguimiento en futuros relevamientos.

De los 31 insecticidas analizados, de otras familias, al menos 2 siempre fueron detectados en alguna muestra de músculo y uno en alguna de hígado, siendo 9 y 5 el número máximo de insecticidas detectados en una muestra de cada uno de los tejidos. Todas las familias, excepto la de los carbamatos, tuvieron en el músculo frecuencias de detección mayores al 50%. Por primera vez, los bioracionales estuvieron bien representados y el neonicotinoide imidacloprid fue el insecticida con mayor frecuencia de detección. El carbamato carbaril fue el que presentó la máxima concentración y el organofosforado dimetoato el que presentó la mayor concentración promedio. Las concentraciones promedio de insecticidas totales en músculo fueron el doble que en el hígado, sin embargo, las diferencias no fueron significativas. La concentración promedio de insecticidas totales no difirió significativamente entre especies, pero la concentración promedio para los organofosforados sí, siendo mayor la concentración en los dorados. A diferencia de los POCs, el promedio para insecticidas totales no presentó diferencias significativas entre localidades. La concentración promedio de insecticidas totales en músculo fue de $33,0$ $\mu\text{g/kg p.h.}$ y la máxima se obtuvo en una muestra de boga de Concepción del Uruguay ($174,3$ $\mu\text{g/kg p.h.}$). En comparación con los MRLs del *Codex* para otras carnes (ej. aves), se observó que un 32% y 2% de las muestras excedieron los límites para organofosforados y para carbamatos, respectivamente. Estos resultados indican la necesidad

de realizar una evaluación de riesgo para el establecimiento de niveles máximos de residuos de insecticidas para el Río Uruguay que permitan elaborar recomendaciones en función de los niveles de ingesta diaria admisible (ADIs) para adultos y niños y los patrones de consumo de pescado en la región. Las series temporales indican que las concentraciones de los insecticidas en el músculo de los peces tienen grandes fluctuaciones año a año, por lo que, de generarse algún tipo de instrumento de gestión, el mismo debería actualizarse de forma ágil al menos dos veces al año en función de los resultados obtenidos en las dos campañas anuales de relevamiento.

De los siete herbicidas analizados, la frecuencia de detección fue de 75% y 67% en el músculo y en el hígado respectivamente, siendo 3 el número máximo de herbicidas detectados en una misma muestra para ambos tejidos. La atrazina ha sido el herbicida más relevante por la frecuencia y las concentraciones halladas en el músculo de los peces. No se observaron diferencias significativas en las concentraciones promedio de herbicidas totales entre tejidos y, en el músculo, tampoco hubo diferencias entre especies y localidades debido a la gran variabilidad. Sin embargo, los sábalo presentaron concentraciones tres veces mayores que las de las otras especies y las concentraciones de las muestras de Concepción del Uruguay fueron cuatro veces más altas que las de otras localidades. La concentración promedio de herbicidas totales en músculo fue de 6,8 µg/kg p.h. y la máxima (153,7 µg/kg p.h.) se observó en una muestra de sábalo de Concepción del Uruguay. Ninguna de las muestras de músculo superó los MRLs del *Codex* para imazetapir, acetocloro o 2,4D y sólo una (2%) superó el límite establecido por Health Canada para la atrazina. Esto representó una diferencia grande respecto a años previos en los que la atrazina venía superando su MRL en un porcentaje importante de muestras. De acuerdo con la serie histórica esto se explicaría por el descenso del valor de la mediana en casi un orden de magnitud respecto a 2019. En función de los resultados obtenidos en 2021, no se requerirían acciones más que continuar el seguimiento de su comportamiento para analizar si esta disminución se consolida en las próximas campañas o si es revertida.

Para los 17 fungicidas analizados la frecuencia de detección fue del 95% en músculo y del 89% en hígado, siendo 6 y 3 el mayor número de fungicidas detectados en una misma muestra de músculo o hígado, respectivamente. El ciproconazol y el epoxiconazol fueron los más relevantes en cuanto a la frecuencia (>50%), mientras que el tebuconazol lo fue en cuanto a las concentraciones promedios y máximas. Al igual que para los herbicidas, no se observaron diferencias significativas en las concentraciones promedio de fungicidas totales entre tejidos y, en el músculo, tampoco hubo diferencias entre especies y localidades. Sin embargo, las bogas y los sábalo mostraron concentraciones más de tres veces mayores que las de los dorados y las concentraciones de las muestras de Mocoetá y Puerto Yerú fueron cinco veces más altas que las de Concepción del Uruguay y Villa Paranacito. La concentración promedio de fungicidas totales en músculo fue de 36,07 µg/kg p.h. y la máxima (616,3 µg/kg p.h.) se observó en una muestra de boga de Mocoetá. Según los MRLs establecidos en el *Codex* para los fungicidas analizados en otras carnes (ej. aves), sólo excedieron sus límites el tebuconazol y el ciproconazol en el 7% y 5 % de las muestras. De acuerdo con la serie histórica de la CARU, los valores máximos de fungicidas totales en músculo estuvieron cercanos a los máximos históricos, pero la mediana entre los más bajos detectados. En función de los resultados obtenidos, los fungicidas no representaron un riesgo importante durante 2021 por lo que no se

requerirían otras recomendaciones que continuar su relevamiento para seguir analizando su comportamiento y detectar posibles nuevos aumentos de las concentraciones como en el periodo 2014/16.

De los 8 metales analizados, al menos 5 o 7 metales se detectaron en alguna muestra de músculo o hígado, respectivamente, y total de ellos en una misma muestra de ambos tejidos. El número promedio de metales detectados fue significativamente mayor en el hígado. De los metales no esenciales, el Hg fue el más relevante por frecuencia y concentración. Salvo para el Pb, las concentraciones promedio de todos los metales mostraron diferencias significativas entre tejidos, siendo las de Cd, Co, Cu, Hg y Zn mayores en el hígado y las de Cr y Ni mayores en el músculo. Las concentraciones promedio de Co, Hg y Zn en músculo difirieron significativamente entre especies, siendo mayores las de Co en sábalo y las de Hg en dorado, respecto a las demás especies, y las de Zn en boga respecto a dorado, con el sábalo en un nivel intermedio. En el caso del Hg esta diferencia está claramente explicada por el fenómeno de biomagnificación del metal a través de la red trófica. Las concentraciones promedio de Co, Cr, Cu y Ni en las muestras de músculo variaron con la localidad, siendo significativamente mayores en Concepción del Uruguay respecto a Mocoretá y Puerto Yeruá, con Villa Paranacito mostrando valores intermedios. De repetirse el patrón en un próximo muestreo, indicaría algún fenómeno particular en dicho sector del Río que debiera ser estudiado en detalle. Las concentraciones promedio (máximas) en músculo fueron para Cd 0,74 (19,2) $\mu\text{g/kg p.h.}$, para Co 23,4 (114) $\mu\text{g/kg p.h.}$, para Cr 208,9 (1956) $\mu\text{g/kg p.h.}$, para Cu 2783 (23160) $\mu\text{g/kg p.h.}$, para Hg 96,8 (688) $\mu\text{g/kg p.h.}$, para Ni 81,7 (644) $\mu\text{g/kg p.h.}$, para Pb 70,6 (561) $\mu\text{g/kg p.h.}$ y para Zn 3199 (6311) $\mu\text{g/kg p.h.}$. De acuerdo con los MRLs en músculo de peces establecidos para estos metales en legislaciones nacionales o internacionales, los metales que los excedieron fueron: el Cr en el 48% de las muestras, el Hg en el 42% de las muestras para el MRL de 500 $\mu\text{g/kg}$, pero ninguna el MRL de 1000 $\mu\text{g/kg}$, y el Pb y Cu en el 7% de las muestras. Las series temporales para los cuatro metales que históricamente se han venido analizado desde 2014 (Cd, Cr, Hg y Pb) muestran un comportamiento diferente para cada metal. Para el Cd se observó un pico de concentraciones máximas y mediana en 2018 y luego valores en general por debajo de los límites de detección. Para el Cr, el comportamiento inverso, con valores mínimos en 2018 y en incremento hacia 2021. Para el Hg, las concentraciones máximas y la mediana muestran una reducción desde 2015/17, respectivamente, siendo los de 2021 los más bajos desde entonces. Para el Pb los máximos y mediana han venido en aumento desde 2015, con los valores más altos de la serie en 2021. Los resultados obtenidos sugieren el seguimiento de las concentraciones de los metales, en particular Cr y Hg, sugiriéndose para estos la realización de una evaluación de riesgo que permita definir la necesidad de posibles recomendaciones de consumo para estos metales en la región. La evolución de las concentraciones de Pb debe ser seguida con atención dado que, si bien aún no representaría un riesgo significativo, de continuar su tendencia podría representarlo en los próximos años.

El punto de vista metodológico, los cambios propuestos desde 2019 en el diseño y la metodología de muestreo han redundado en un análisis más robusto de la información colectada en las campañas de relevamiento. El enfocar el esfuerzo en un menor número de especies, pero con un mayor número de muestras por sitio, permitió identificar patrones que en los relevamientos de años anteriores no eran posibles debido a la gran variabilidad de los

resultados. La utilización de artes de pesca complementarias a las utilizadas en el relevamiento de la ictiofauna, han permitido asegurar el número de bogas y sábalo capturados en cada localidad de muestreo de acuerdo con el diseño propuesto. Para el dorado, aún resulta un desafío lograr ese número para la comparación entre localidades, aunque el número total de capturas siempre es suficiente para comparar entre especies. Trabajar sólo con peces capturados en las redes aún con vida y anestesiados inmediatamente en agua-hielo y mantenidos así hasta su traslado y disección, ha mejorado el número de analitos detectados y la reproducibilidad de los resultados. Introducción de controles de calidad ha provisto de mayor confianza al momento de informar los resultados.

Como conclusiones generales es posible afirmar que: i) la campaña de muestreo de invierno de 2021 se ha podido realizar exitosamente y que la información que ha brindado permitió conocer el nivel de acumulación de 127 sustancias de relevancia ambiental en el Río Uruguay en tres especies de interés pesquero, ii) respecto a 2019 se observó un leve descenso en las concentraciones medias de PCBs, POCs, insecticidas piretroides, herbicidas, fungicidas y Hg, pero una tendencia inversa para PBDEs, insecticidas organofosforados e insecticidas de nueva generación y algunos metales como el Cr y el Pb, iii) respecto a los MRLs establecidos en legislaciones internacionales y nacionales y las concentraciones detectadas en las muestras de músculo, aún son relativamente bajos los porcentajes de excedencia indicando un riesgo moderado o bajo para el consumo de las especies de peces del Río Uruguay estudiadas. Para las sustancias particularmente mencionadas, sería recomendable la elaboración de evaluaciones de riesgo que en base a las concentraciones halladas, sus ADIs y los patrones de consumo en la región y poder establecer medidas de manejo del recurso más precisas para el Río Uruguay.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los propósitos de la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) es el de “Conservar y preservar los recursos vivos del Río a fin de asegurar el uso sustentable de los mismos” (Digesto CARU,). Con tal fin, en la Subcomisión de Pesca y Otros Recursos Vivos se viene ejecutando desde 2006 el “Relevamiento de Residuos de Contaminantes en Peces de Relevancia Pesquera para el Río Uruguay” con el propósito de proporcionar información útil que permita conocer el estado de salud del recurso y el de su aptitud para el consumo y, a partir de ello establecer recomendaciones y medidas para su protección, conservación, explotación sustentable y consumo seguro.

En función de las principales actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca (agropecuarias y urbano-industriales) y las características de los contaminantes (persistencia, bioacumulación, toxicidad), se han seleccionado para su relevamiento diferentes familias de contaminantes, a saber: PCBs (bifenilos policlorados), PBDEs (éteres de difenilo polibromados), plaguicidas organoclorados (POCs), otros plaguicidas (insecticidas, herbicidas y fungicidas) y metales.

Los PCBs, son una familia de compuestos organoclorados (bifenilos policlorados) conformada por 209 congéneres que por sus propiedades fisicoquímicas han sido ampliamente utilizados hasta mediados de la década del 1970 en aceites dieléctricos para equipos con alto riesgo de incendio en la industria y el transporte. Si bien su producción y uso han sido prohibidos en casi todo el mundo (en Argentina y Uruguay se prohibieron desde principios de los 2000), su alta persistencia y lipofilicidad hacen que reservorios de estas sustancias permanezcan remanentes en los sedimentos y puedan representar aún un potencial riesgo para bioacumularse y causar efectos adversos sobre los peces y otros organismos acuáticos si los mismos son removidos ya sea por procesos naturales (ej. grandes crecidas del río) o por actividades antrópicas (ej. dragado).

Los PBDEs son una familia de compuestos organobromados (éter de difenilos polibromados) que también posee 209 congéneres diferentes. Son ampliamente utilizados como retardantes de llama en plásticos y espumas. Son sustancias altamente persistentes y bioacumulables y de allí su relevancia ambiental.

Los POCs, son moléculas orgánicas con un elevado número de átomos de cloro que han sido utilizadas principalmente como insecticidas dada su acción neurotóxica. El ejemplo clásico es el DDT o el endosulfán, que ha sido utilizado y prohibido más recientemente. Por su persistencia y capacidad de bioacumularse, los POCs han sido prohibidos en la mayoría de los países, aunque aún su presencia en el ambiente puede representar un riesgo para los peces y otros organismos acuáticos.

A partir de 2013, se ha incorporado el relevamiento de otros plaguicidas que incluyen insecticidas, herbicidas y fungicidas de difundido uso agrícola en la región. Estos plaguicidas por lo general son menos persistentes y con menor capacidad de bioacumularse, pero dado su amplio uso podrían representar, en determinados momentos, un riesgo para los peces y otros organismos acuáticos debido a una acumulación transitoria y la toxicidad que puedan desplegar.

También, a partir de 2013, se ha incorporado en el relevamiento el análisis de residuos de metales el Cd, Cr, Hg y Pb. En el relevamiento de 2021 se agregaron el Co, Cu, Ni y Zn. Los metales suelen acumularse y ser tóxicos para los peces y otros organismos acuáticos. En particular, es ampliamente conocida la capacidad del Hg de biomagnificarse a través de la cadena trófica como ha quedado demostrado en el informe CARU 2017-2018, en el que se realizó un estudio “ad-hoc” para caracterizar la biomagnificación de este metal en las cadenas tróficas del Río Uruguay.

Por lo anteriormente planteado, durante 2021 se ha planteado continuar con la actividad de relevamiento de los niveles de acumulación de los contaminantes mencionados en especies de interés pesquero, sábalo, boga y dorado. Además, en esta etapa al igual que en 2019, no sólo se ha incorporado el análisis de los residuos de contaminantes en el músculo, sino también en el hígado de aquella especie con mayor número de capturas. Si bien el hígado no es típicamente consumido por la población, es un tejido en el que los contaminantes suelen acumularse en mayor grado y su disfunción podría afectar la salud de los peces y por tanto el recurso.

2. OBJETIVO

El presente informe tiene como objeto, dar a conocer los principales resultados obtenidos del relevamiento realizado en 2021 sobre las concentraciones de 120 sustancias químicas de relevancia ambiental, incluyendo diferentes congéneres de PCBs y PBDEs, plaguicidas organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, herbicidas y fungicidas, y metales pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Hg, Pb y Zn) en el músculo de 3 especies peces del Río Uruguay (sábalo, boga y dorado) y el hígado de aquella más abundante (sábalo).

3. METODOLOGÍA

El muestreo de los peces para el análisis de residuos de contaminantes fue realizado en coordinación con el Programa de Relevamiento de la Ictiofauna” de la CARU. Las localidades de muestreo del Programa de Ictiofauna se indican en el mapa de la [Figura 3.1](#). Las 4 localidades (Mocoretá, Puerto Yeruá, Concepción del Uruguay y Villa Paranacito) fueron seleccionadas con el fin de cubrir diferentes sectores del tramo del Río Uruguay bajo jurisdicción de la CARU. La actividad tuvo una duración de 5 días y se llevó a cabo del 18 al 23 de julio de 2021. En la [Figura 3.2](#) se muestran fotografías que ilustran las actividades realizadas durante la campaña y el posterior procesamiento de las muestras en el laboratorio.

Figura 3.1. Localidades en las que se realizaron los muestreos durante las campañas de Julio de 2021.

3.1. Sitios de muestreo y condiciones hidrológicas y meteorológicas

En el sitio de muestreo ubicado a la altura de la localidad Mocoretá (MC), las redes se ubicaron a la 16:30 h del día 18 en el brazo del lago de la represa de Salto Grande correspondiente al Río Mocoretá ($30^{\circ}40'7.93''S$; $57^{\circ}53'16.27''W$) con una profundidad de 2,1 m y se recogieron a las 8:30 del día 19. La condición climática reinante se correspondió con cielo despejado, viento moderado del sector Este y una temperatura de $11,9^{\circ}C$ al momento de tender las redes, pasando a calma y brisa del sector Norte y una temperatura de $-0.5^{\circ}C$ en la mañana. La altura del río en Mocoretá durante el muestreo fue de 8,2 m.

A la altura de Puerto Yeruá (PY), el sitio en el que se ubicaron las redes fue próximo a la boca del Río Daymán ($31^{\circ}29'41.22''S$; $58^{\circ}1'50.42''W$) a una profundidad de 2,0 m, tendidas a las 16:30 del día 19 y recogidas a las 8:26 h del día 20. La condición climática



dominante fue de cielo despejado, con brisa o viento suave del sector Norte y una temperatura entre 13,2 y 0,8 °C a la tarde y mañana, respectivamente. La altura del río en Concordia durante el muestreo varió entre 4,02 y 5,4 m.



Figura 3.2. Imágenes representativas del trabajo de campo y procesamiento de las muestras en el laboratorio.

A la altura de la localidad de Concepción del Uruguay (CU), debido a la escasa captura, se pescaron dos días consecutivos. El día 20, las redes se tendieron a las 16:30 y se recogieron a las 8:30 del día 21 una laguna interna de la isla Cambacué, Laguna del Dragón (32°31'43.18"S; 58°11'40.34"W), a una profundidad de 1,8 m. Luego, el día 21 se colocaron las redes de 14:00 a 16:00 próximo a la boca del Arroyo Negro (32°29'10.62"S; 58°10'54.10"W) a una profundidad de 2,5 m, con muy bajo éxito en la captura. Luego se movieron las redes hacia la boca del mismo arroyo (32°29'13.21"S; 58°11'25.72"W), tendiéndose a las 16:30 h de ese día a una profundidad de 2,0 m y recogién dose a las 8:12 h del día 22. Además, se tendió esa misma tarde a las 17:00 una batería de trasmallos en las proximidades del Club de Regatas Uruguay (32°28'23.25"S; 58°13'7.14"W) que fue levantada al otro día a las 9:00 h. Ambos días, las condiciones climáticas se correspondieron con cielo despejado a ligeramente nublado y viento en calma a suave del sector Norte rotando al Este. Las temperaturas rondaron los 2,6 a 6,4 °C a la mañana y los 16,7 a 18,6 °C a la tarde. La altura del río en Concepción del Uruguay durante el muestreo varió entre 1,94 y 1,44 m.

En el sitio de muestreo ubicado a la altura de Villa Paranacito (VP), las redes se tendieron a las 16:30 h del día 22 en la costa del propio Río Uruguay, entre la boca y la falsa boca del Arroyo La Tinta (33°42'47.15"S; 58°32'3.22"W) a una profundidad de 0,8 m y se recogieron a las 8:00 del día 23. La condición climática dominante fue de cielo despejado a ligeramente nublado y viento en calma a suave del sector Este y las temperaturas entre 20,2 y 8,7 °C entre la tarde y la mañana siguiente. La altura del río en Nueva Palmira durante el muestreo varió entre 0,90 y 0,77 m.

Durante la campaña de muestreo la fase lunar se encontró en cuarto creciente (17/7) y llena (23/7).

3.2. Especies seleccionadas, artes de pesca utilizadas y procesamiento de los peces

Para el análisis de residuos de contaminantes se seleccionaron el sábalo (*Prochilodus lineatus*), la boga (*Megaleporinus obtusidens*) y el dorado (*Salminus brasiliensis*) dado que son de relevancia pesquera, abundantes y sensibles a la selectividad de las artes de pesca utilizadas.

La captura de las especies seleccionadas se realizó con 2 artes de pesca diferentes, i) Batería de agalleras: se trabajó con una batería de 5 mallas de diferente tamaño (110, 120, 140, 160 y 180 mm entre nudos opuestos) y dos redes trasmallos o tres telas de 120 y 140 mm de distancia entre nudos del paño principal. Cada uno de los paños fue de aproximadamente 50 m de longitud, sumando una longitud total de la batería de entre 300 a 400 m. Las mismas fueron en general caladas alrededor de la 16:00 h de un día y viradas alrededor de las 8:00 h del día siguiente, permaneciendo en el agua alrededor de 16 horas; y ii) Batería de trasmallos. En la localidad de Concepción del Uruguay y Villa Paranacito se colocó, suplementariamente, una batería de trasmallos de 120 y 140 de distancia entre nudos del paño principal y de aproximadamente 25 m de paño cada uno, sumando una longitud total de la batería de 50 m. El número de ejemplares por especie y sitio de muestreo (Tabla 3.1.) varió dependiendo de la captura obtenida, no siendo siempre posible obtener muestra de todas las especies y en igual número para cada localidad.

Tabla 3.1. Muestras analizadas por especie y localidad

Tabla 2. Número de ejemplares de cada especie capturados en cada localidad de muestreo

	Localidades				Total/Especie
	Mocoretá	Pto. Yerúa	Conc. Uruguay	V. Paranacito	
Boga	10	3	1	5	19
Dorado	2	3	2	---	7
Sábalo	10	9	10	10	39
Total/Localidad	22	15	13	15	65

Los ejemplares capturados en cada arte de pesca se desenmallaron rápidamente, se marcaron y se colocaron inmediatamente en una conservadora con hielo para evitar el deterioro de las muestras. Inmediatamente después de haber arribado al campamento, se procedió al procesamiento de peces registrándose en planillas la siguiente información: longitud total, estándar y de la cabeza y el peso completo, el sexo y grado de madurez gonadal, el peso de la

gónada y del hígado. La disección de los tejidos (hígado y músculo) se realizaron inmediatamente luego de llegar al campamento. La disección se realizó sobre una tabla de plástico, cubierta con un papel absorbente, utilizando instrumental (cuchillo, pinza, bisturí y tijera) de acero inoxidable. Primero se extrajo el hígado, se pesó y colocó en una bolsa tipo Ziploc con bandas de rotulación e inmediatamente se colocó en hielo seco. Una muestra de músculo con piel, previamente desescamado, se extrajo de la región dorso-anterior de cada flanco, cada una se envolvió en papel aluminio y se colocó dentro de una bolsa tipo Ziploc con bandas de rotulación e inmediatamente se colocaron en hielo seco.

Las muestras fueron transportadas en hielo seco hasta llegar a laboratorio y de allí pasada a un freezer de -80 °C para su posterior procesamiento. Los músculos e hígados de los peces de una misma especie, sexo y capturados en la misma localidad fueron homogenizados en conjunto formando así muestras compuestas. La homogenización de los tejidos se realizó utilizando una trituradora de alimentos de mano de acero inoxidable luego de quitar la piel del músculo y cortarlo en daditos con cuchilla de acero inoxidable.

El total de muestras compuestas enviadas a analizar fue de 64, 44 de músculo y 18 de hígado, más un material de referencia certificado y una muestra compuesta sobreagregada con concentración conocida de estándares de analitos certificados como controles de calidad.

3.3. Análisis de los contaminantes

Las muestras compuestas fueron enviadas a los laboratorios correspondientes para realizar los análisis de la concentración de metales, PCBs, PBDEs, plaguicidas organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, neonicotinoides y otros insecticidas de nueva generación, así como herbicidas y fungicidas en conservadoras con refrigerantes. Las muestras fueron remitidas a diferentes laboratorios según tipo de analito. Los análisis de PCBs, PBDEs, y plaguicidas organoclorados fueron realizados en el Laboratorio de Ecotoxicología y Contaminación Ambiental de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Mar del Plata, los análisis de los demás plaguicidas en el Laboratorio de Contaminantes Químicos del Instituto de Tecnología de Alimentos perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y los metales en el Instituto de Ciencia y Tecnología en Alimentos de Córdoba (ICYTAC) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

Las determinaciones realizadas por el Laboratorio de Ecotoxicología y Contaminación Ambiental incluyeron el análisis de 40 congéneres de PCBs, 6 congéneres de PBDEs y 19 plaguicidas organoclorados, incluyendo diferentes isómeros y algunos de sus metabolitos. La metodología fue tomada de [Metcalf and Metcalfe \(1997\)](#) y modificada según [Miglioranza et al. \(2003\)](#). Resumidamente la misma consta de una extracción de lípidos y/o material lipofílico por método Soxhlet, seguida de la remoción de lípidos por cromatografía de permeación en gel (GPC) y un fraccionamiento de los plaguicidas organoclorados, PCBs y PBDEs con Silica Gel activada. Finalmente se realizó el análisis cuali-cuantitativo de los contaminantes por Cromatografía Gaseosa con Detector de Captura Electrónica (GC-ECD) utilizando un cromatógrafo Shimadzu-17A equipado con detector de captura electrónica (63 Ni) y columna capilar DB-5 de Supelco. Los diferentes compuestos se identificaron por medio de estándares

externos a través de sus tiempos de retención y utilizando el PCB #103 como estándar interno. Los límites de detección (LD) del método fueron calculados según Keith *et al* 1983: siendo para los HCHs 0,025 µg/kg y para el resto de los plaguicidas organoclorados 0,04 µg/kg. Para los PCBs y PBDEs los límites fueron de 0,08 y 0,01 µg/kg, respectivamente. Para asegurar la confiabilidad de los datos informados se analizaron, en forma simultánea a cada muestra, blancos del material de vidrio utilizado, blancos fortificados con estándares presentes en la curva de calibración y material de referencia certificado. Los resultados obtenidos en la recuperación de estándares en material biológico variaron entre el 80 y el 120%.

Aquellas determinaciones realizadas por el Laboratorio de Contaminantes Químicos del INTA incluyeron el análisis de 54 analitos comprendiendo insecticidas órganofosforados, carbamatos, piretroides, neonicotinoides y benzoilureas, además de herbicidas y fungicidas. La determinación y cuantificación fue realizada por HPLC MS-MS y GC-MS utilizando técnicas validadas por el Laboratorio de Contaminantes Químicos. Las muestras fueron extraídas por el método de QuEChERS (del inglés: Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged y Safe) y QuPPE-Method (del inglés: Quick Polar Pesticides Method). La determinación y cuantificación de las muestras fue analizada por UPLC-MS Waters SQD y GC- MS Pelkin Elmer Claurus 600. Los límites de corte establecidos para todos estos compuestos son: Límite de Detección (LD) 1 y Límite de Cuantificación (LC) 4 µg/kg, dependiendo del analito. Los porcentajes de recuperación estuvieron comprendidos entre el 77,1% y el 95,0%.

Los metales analizados en el Instituto de Ciencia y Tecnología en Alimentos de Córdoba fueron cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn). Las muestras fueron mineralizadas por digestión ácida en microondas y luego los metales analizados por ICP-MS. Los límites de detección y cuantificación para los mencionados metales en el músculo fueron en µg/kg: 0,36 y 1,09; 0,63 y 1,88; 6,75 y 20,3; 94,7 y 284,1; 1,15 y 3,46; 28,8 y 86,3; 10,9 y 32,6, 372,0 y 1116,0, respectivamente. Los límites de detección y cuantificación promedio para los mencionados metales en el hígado fueron en µg/kg: 0,39 y 1,18; 0,36 y 1,07; 3,10 y 9,29; 22,4 y 67,2; 1,67 y 5,01; 9,19 y 27,6; 26,9 y 80,9, 20,1 y 60,4, respectivamente.

3.4. Análisis de datos

Para los análisis estadísticos, los valores de residuos por debajo del LD se remplazaron por $\frac{1}{2}$ del valor para dicho límite y los que fueron detectables pero no cuantificables se reemplazaron por el promedio entre el LD y el LC siguiendo las recomendaciones para análisis de “datos censurados” (Helsel and Hirsch, 2002). Las concentraciones de los contaminantes analizados se expresan, salvo se indique otra cosa, como µg/kg músculo peso húmedo (p.h.), presentándose como el promedio $\pm$ error estándar. Las diferencias estadísticas entre localidades y especies se evaluaron mediante la prueba de ANOVA. El valor de significancia escogido fue de un $p < 0,05$. Las concentraciones obtenidas para los diferentes analitos junto con las especies y los sitios de muestreo se analizaron por medio de análisis multivariado utilizando Análisis de Componentes Principales. Los residuos de contaminantes hallados en músculo se compararon contra los Límites Máximos de Residuos (LMR) permitidos por diferentes organizaciones internacionales (ej. *Codex Alimentarius*) o de agencias ambientales de otros países como la USEPA. En cada caso los resultados obtenidos se analizaron comparativamente con los

resultados de las campañas previas y publicados oportunamente en los informes de la Subcomisión de Pesca y Otros Recursos Vivos de la CARU ([CARU, 2013](#); [CARU, 2014](#); [CARU, 2016](#); [CARU, 2018](#))

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PCBs (Bifenilos Policlorados)

El número promedio de congéneres detectados por especie y por localidad se muestra en la [Tabla 4.1.1](#). De los 40 congéneres analizados, en todos los peces se detectaron al menos 4 en el músculo y 7 en el hígado. Los máximos en dichos tejidos fueron 23 y 24 en sábalos de Puerto Yeruá y Mocoretá, respectivamente. De los 40 congéneres analizados, sólo 9 no fueron nunca detectados en músculo (PCB31, PCB41, PCB156, PCB170, PCB177, PCB199, PCB203, PCB206 y PB209) y 10 en el hígado (PCB31, PCB156, PCB170, PCB177, PCB187, PCB195, PCB199, PCB203, PCB206 y PB209). El número promedio detectado en cada ejemplar osciló entre 5 y 20. No se observó un patrón claro en las diferencias del número promedio de congéneres entre especies o localidades. En el caso de los tejidos, el hígado siempre presentó una tendencia a presentar el mayor número de congéneres detectados para el sábalo respecto al músculo. Estos números nuevamente muestran una similitud en el número máximo y mínimo de congéneres entre ambos tejidos.

Tabla 4.1.1. Número promedio de congéneres de PCBs detectados por ejemplar

Especie	Tejido	Mocoretá			Puerto Yeruá			Conc. del Uruguay			Villa Paranacito		
		Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N
Boga	Músculo	8 ± 2	10		15 ± 5	3		9 ± ---	1		8 ± 2	5	
Dorado	Músculo	9 ± 3	2		13 ± 5	3		15 ± 7	2		--- ± ---	---	
Sábalo	Músculo	11 ± 4	5		20 ± 4	4		5 ± 1	5		8 ± 1	4	
	Hígado	16	5	5	20	3	4	10	2	5	18	12	5

DE: desviación estándar

En la [Figura 4.1.1](#) y la [Figura 4.1.2](#) se muestran las concentraciones promedio y máximas, junto a las frecuencias de detección, para los diferentes congéneres de PCBs detectados en el músculo e hígado, respectivamente, de las especies seleccionadas. En cuanto a la frecuencia de detección, los congéneres detectados con una frecuencia mayor al 80% en el músculo fueron el PCB28, PCB97, PCB101 y PCB105. En el hígado las frecuencias mayores al 80% las presentaron los congéneres PCB28, PCB101, PCB56+60, PCB197, PCB105, y PCB138. Puede observarse que el PCB28, PCB101 y PCB105 fueron comunes en ambos tejidos. En particular respecto a los PCBs tipo dioxinas, el coplanar PCB81 no fue detectado en ningún tejido y los mono-orto sustituidos, PCBs 105, 118, 123, y 156, fueron de 84 %, 23 %, 0 % y 0 %, respectivamente, en el músculo y de 89 %, 28 %, 0 % y 0%, respectivamente, en el hígado.

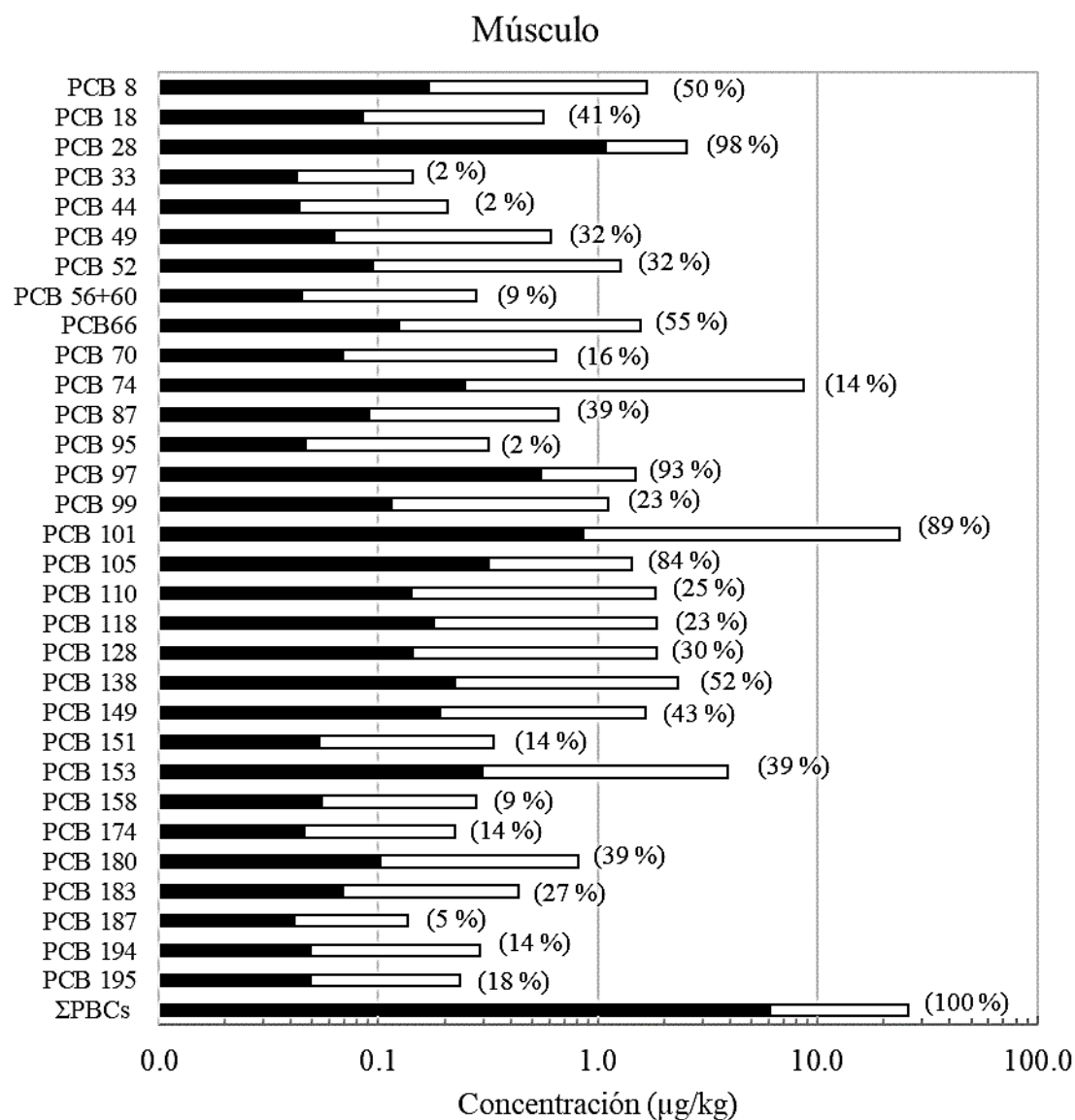


Figura 4.1.1. Concentraciones promedio y frecuencia de detección de los diferentes congénere de PCBs en músculo de peces del Río Uruguay en 2021.

Barras negras: concentraciones medias, barras blancas: concentraciones máximas, porcentajes: frecuencia de cada congénere.

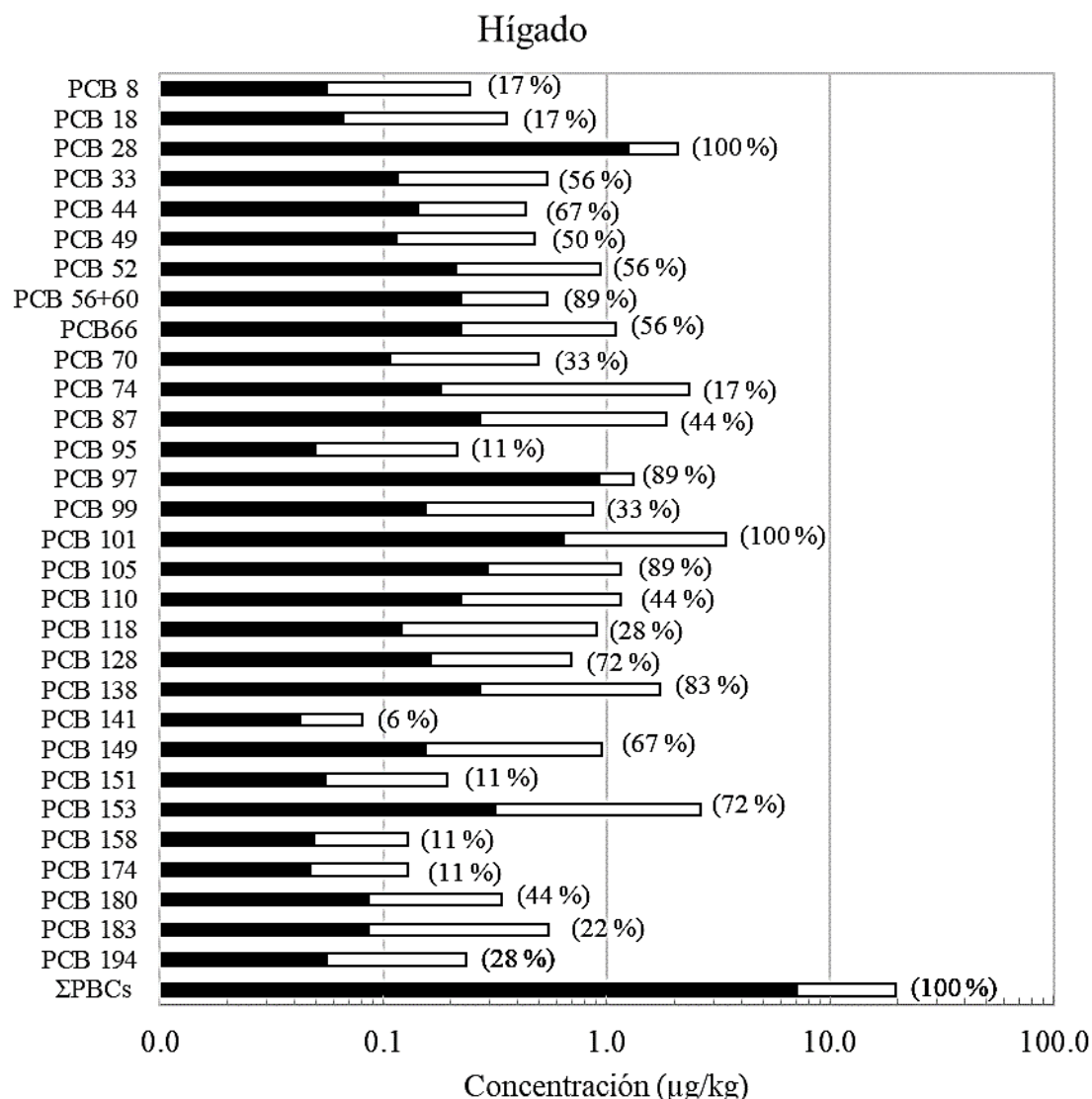


Figura 4.1.2. Concentraciones promedio y frecuencia de detección de los diferentes congénere de PCBs en hígado de sábalo del Río Uruguay en 2021.

Barras negras: concentraciones medias, barras blancas: concentraciones máximas, porcentajes: frecuencia de cada congénere.

Las concentraciones máximas y promedio ($\pm$ desvío estándar) de PCBs totales encontradas en el músculo fueron, respectivamente, 25,79 y $6,04 \pm 5,61$ µg/kg (p.h.). La concentración máxima la presentó una boga capturada en Villa Paranacito. En el hígado de los sábalo las mismas fueron 19,68 y $7,09 \pm 4,24$ µg/Kg (p.h.), siendo el máximo valor de un ejemplar capturado en Puerto Yerúa. De los congénere, sólo el PCB101 superó los 10 µg/Kg (p.h.) en el músculo, una boga de Villa Paranacito, mientras que ninguno lo hizo en el hígado. En ambos tejidos sólo el PCB28 superó en promedio 1 µg/Kg (p.h.). Otros PCBs excedieron dicho valor en el músculo (14) y el hígado (9), pero sólo en sus concentraciones máximas.

La concentración de PCBs totales en los sábalo no mostró diferencias significativas entre el músculo y el hígado (Prueba T de Student, $p = 0,89$). Sin embargo, la concentración

promedio de algunos congéneres (PCB33, PCB44, PCB56+60, PCB97, PCB128) fue significativamente mayor (Prueba T de Student, $p < 0,05$) en el hígado, a excepción del PCB8 que mostró el comportamiento inverso. Se observó una buena correlación entre las concentraciones promedio de cada congénere medidas en cada tejido (Correlación de Pearson, $r^2=0,833$) pero la correlación entre la concentración de PCBs totales en el hígado y el músculo de cada pez fue débil (Correlación de Pearson, $r^2=0,160$). Ello significa que cuando un congénere está presente se acumula en ambos tejidos, pero el grado en que lo hace en el músculo y en el hígado cada individuo es diferente.

En relación con la acumulación de los PCBs totales entre las especies estudiadas (Tabla 4.1.2.), no se observaron diferencias significativas entre ellas (ANOVA, $p=0,797$) debido a la gran variabilidad intra-especie y el tamaño muestral relativamente pequeño. Las concentraciones promedio rondaron los 6 $\mu\text{g/kg}$ (p.h.) mientras que las máximas se encontraron entre los 11 y los 26 $\mu\text{g/kg}$ (p.h.).

Tabla 4.1.2. Concentración ($\mu\text{g/kg}$ p.h.) de PCBs totales por músculo por especie

Especie	Media	DES	Máxima	N
Sábalo	6,65 $\pm$ 6,64		24,93	18
Boga	5,40 $\pm$ 5,31		25,79	19
Dorado	5,78 $\pm$ 3,40		11,97	7

DES: desvío estándar; N: tamaño de la muestra; ANOVA: $p=0,797$

Cuando se analizaron las diferencias entre las concentraciones halladas en los músculos de los peces colectados en las diferentes localidades de muestreo (Tabla 4.1.3.), se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas respecto a dicho factor (ANOVA, $p=0,011$). El análisis a posteriori mostró que la concentración promedio de PCBs totales en los peces colectados en Puerto Yerúa fue significativamente mayor que la de los peces colectado en las otras localidades. Además, se observó que las concentraciones máximas en las localidades aguas debajo de la represa de Salto Grande superaron los 10 $\mu\text{g/Kg}$ (p.h.), pero no en los peces capturados aguas arriba de la represa. Este patrón fue semejante al observado en el muestreo de verano y al de años previos, indicando que actividades, como por ejemplo el dragado del canal aguas debajo de la represa podría estar movilizandolos PCBs retenidos en el sedimento.

Tabla 4.1.3. Concentración ($\mu\text{g/kg}$ p.h.) de PCBs totales por músculo por localidad

Localidad	Media	DES	Máxima	N
Mocoretá	3,61 $\pm$ 0,92 ^a		6,04	17
Puerto Yerúa	10,59 $\pm$ 7,61 ^b		24,93	10
Concepción del Uruguay	4,84 $\pm$ 2,90 ^a		11,97	8
Villa Paranacito	6,32 $\pm$ 7,32 ^a		25,79	9

DES: desvío estándar; N: tamaño de la muestra; ANOVA: $p=0,012$; letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$) en el test a posteriori LSD

Respecto a las concentraciones de PCBs halladas en el músculo de los peces y la aptitud para el consumo respecto a los límites de consumo recomendados por la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) basado en análisis de riesgo para puntos finales carcinogénicos y no-carcinogénicos (USEPA, 2000) que se muestran en la [Tabla 4.1.4.](#), puede observarse que si se considera el valor máximo de concentración de PCBs totales hallado en el músculo de una boga de Villa Paranacito (25,79 µg/kg p.h.) se podrían consumir hasta 4 comidas al mes o una comida al mes considerando puntos finales no carcinogénicos o carcinogénicos, respectivamente. Si se toma la mediana (valor central: 3,85 µg/kg) se podrían comer sin restricciones para puntos finales no carcinogénicos y hasta 12 veces al mes, para puntos finales carcinogénicos.

Tabla 4.1.4. Límites de consumo de pescado basado en efectos carcinogénicos y no-cancerígenos USEPA 2000.

Límite para el consumo basado en el riesgo ^a	Puntos finales no-carcinogénicos ^b	Puntos finales carcinogénicos ^c
Número de comidas por mes	Concentraciones en músculo de pescado (ppm, peso húmedo)	Concentraciones en músculo de pescado (ppm, peso húmedo)
Sin restricción (>16)	0 - 0.0059	0 - 0.0015
16	>0.0059 - 0.012	>0.0015 - 0.0029
12	>0.012 - 0.016	>0.0029 - 0.0039
8	>0.016 - 0.023	>0.0039 - 0.0059
4	>0.023 - 0.047	>0.0059 - 0.012
3	>0.047 - 0.063	>0.012 - 0.016
2	>0.063 - 0.094	>0.016 - 0.023
1	>0.094 - 0.19	>0.023 - 0.047
0.5	>0.19 - 0.38	>0.047 - 0.094
Ninguna (<0.5)	>0.38	>0.094
^a El tamaño de la porción asumido es de 0.227 kg. Los intervalos de concentraciones presentados son conservativos (por ejemplo, por ejemplo, los niveles de 12-comidas por mes, representan las concentraciones asociadas a 12-15,9 comidas)		
^b efectos sistémicos crónicos		
^c Los valores para cáncer representan concentraciones en los tejidos a un nivel de riesgo de 1 en 100.000		

Por otra parte, respecto a los contenidos máximos de PCBs similares y no similares a dioxinas para carnes de peces de agua dulce capturados en estado salvaje que establece la normativa de la Unión Europea (UE 1259/2011) es de 6,5 pg/g (ng/kg) y 125 ng/g (µg/kg) respectivamente. El máximo valor de concentración total hallados en las especies del Río Uruguay para los PCBs tipo dioxina (PCB81, PCB105, PCB118, PCB123 y PCB156 multiplicados por el valor de toxicidad equivalente de 0,0003) fue de 0,77 pg/g, sáballo de Puerto Yeruá, encontrándose bien por debajo del límite. De igual manera, la suma de las

concentraciones de los PCBs de tipo no dioxinas establecidos en la norma (PCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 y PCB180) fue de 23,78 ng/g, boga de Villa Paranacito, muy por debajo del valor fijado por la norma. Por otra parte, las concentraciones de PCBs totales halladas estuvieron muy por debajo de los 2 mg/Kg (2000 µg/kg) establecido como nivel de tolerancia por la [FDA \(2001\)](#).

La secuencia de datos histórica de la CARU sobre concentraciones de PCBs totales en los músculos de peces del Río Uruguay ([Figura 4.1.5.](#)) muestra un salto en la acumulación de estos compuestos en el músculo de los peces entre 2014 y 2015, con valores máximos mayores a 10 µg/kg y una mediana que superó dicho valor en 2017. El valor máximo tuvo su pico en 2016 mientras que la mediana en 2018. A partir de esos años los valores parecieran estar comenzando a descender lentamente, y en este último muestreo, 2021, la mediana volvió a ubicarse entre 1 y 10 µg/kg.

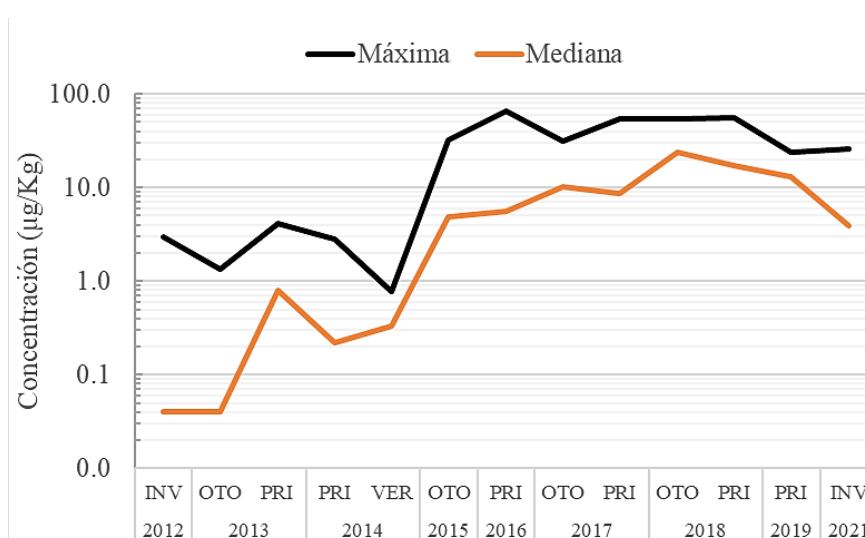


Figura 4.1.4. Serie histórica de valores de concentración de PCBs totales en músculos de peces del Río Uruguay.

Como se ha mencionado en el informe anterior, dado que la comercialización y uso de los PCBs se encuentra prohibida, el repentino incremento de las concentraciones desde 2015, junto a las diferencias de concentración halladas entre sitios aguas arriba y aguas debajo de la represa, confirmado en este relevamiento, podrían indicar que las actividades de dragado en el río para el mantenimiento de la hidrovía podrían ser responsables de la movilización de PCBs antiguos retenidos en los sedimentos y de hacerlos biodisponibles para los peces del Río. Es importante notar que las concentraciones en los peces parecieran haber alcanzado su valor máximo y sin haber sobrepasado los límites máximos establecidos en la legislación internacional. Sin embargo, sería apropiado, informar sobre los niveles de consumo recomendables en función de los valores promedio hallados y la tabla propuesta por la USEPA.

4.2. PBDEs (Ésteres de Polibromodifenilos)

De los 6 congéneres de PBDEs analizados, el número promedio detectado tanto en el músculo como en el hígado en los peces durante el muestreo de 2021 osciló entre 1 y 4 (Tabla 4.2.1.), mostrando un incremento en el número detectado respecto al 2019. El máximo número de congéneres se detectaron el músculo de dorados y sábalos capturados en Puerto Yeruá. La comparación entre tejidos, en los sábalos, muestra que el número de congéneres fue levemente mayor en el músculo que en el hígado.

Tabla 4.2.1. Número promedio de congéneres de PBDEs detectados por ejemplar

Especie	Tejido	Mocoretá			Puerto Yeruá			Conc. del Uruguay			Villa Paranacito		
		Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N
Boga	Músculo	1	± 1	10	3	± 0	3	3	± ---	1	2	± 1	5
Dorado	Músculo	3	± 1	2	4	± 1	3	3	± 1	2	---	± ---	---
Sábalo	Músculo	1	± 1	5	4	± 1	4	2	± 0	5	3	± 1	4
	Hígado	2	± 1	5	2	± 0	4	2	± 1	5	2	± 1	4

DE: desviación estándar

La frecuencia de detección y la concentración promedio y máxima de los diferentes congéneres de PBDEs analizados en el músculo y el hígado se muestran en la Figura 4.2.1 y Figura 4.2.2., respectivamente.

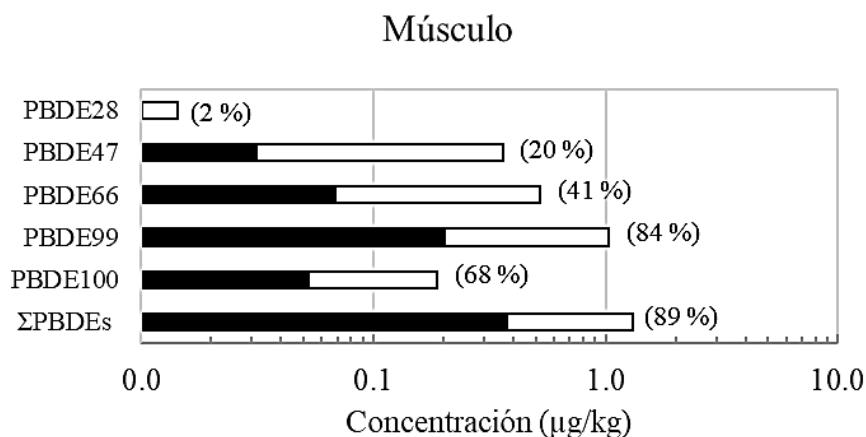


Figura 4.2.1. Concentraciones y frecuencia de detección de PBDEs en músculo de peces del Río Uruguay.

Barras negras: concentraciones medias, barras blancas: concentraciones máximas, porcentajes: frecuencia de cada congénere.

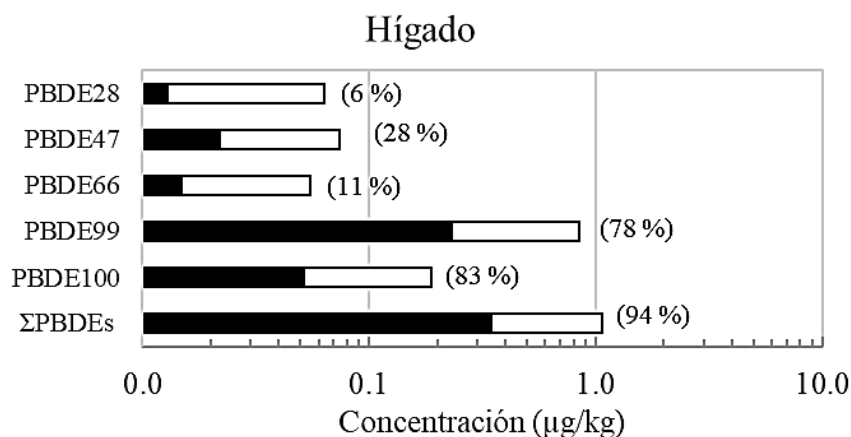


Figura 4.2.2. Concentraciones y frecuencia de detección de PBDEs en hígado de sábalo del Río Uruguay.

Barras negras: concentraciones medias, barras blancas: concentraciones máximas, porcentajes: frecuencia de cada congénere.

El 89 % de los peces presentaron al menos un congénere detectable en el músculo. La frecuencia de los congéneres individuales osciló entre 0 y 84 % siendo el PBDE85 no detectado en ninguna muestra y el PBDE99 el de mayor ocurrencia. En el hígado de los sábalo, el patrón de congéneres detectados fue similar al del músculo, aunque con una frecuencia algo mayor, presentando 94 % de los peces algún congénere. La frecuencia de detección de los congéneres individuales osciló entre 0 y 83 %. Al igual que en el músculo, el PBDE85 no fue detectado en ningún pez, sin embargo, en el hígado el congénere más frecuente fue el PBDE100. En comparación al relevamiento de 2019, las frecuencias de detección se vieron también incrementadas.

Las concentraciones promedio de PBDEs totales estuvieron siempre por debajo de 1 µg/kg p.h., pero las máximas superaron dicho límite, siendo respectivamente 0,38 y 1,31 µg/kg p.h. en el músculo y 0,34 y 1,07 µg/kg p.h. en el hígado. Las concentraciones promedio de PBDEs totales no fueron significativamente diferentes entre tejidos (Prueba t-Student; $p = 0,814$) pero tampoco mostraron una correlación cuando se comparan entre tejidos de cada individuo (Correlación de Pearson, $r^2=0,195$). Al igual que para los PCBs las concentraciones promedio entre congéneres si tuvieron una buena correlación (Correlación de Pearson, $r^2=0,909$). Los peces con concentraciones totales promedio de PBDEs mayores a 1 µg/kg p.h. en el músculo fueron 2 sábalo y 3 bogas, todos capturados en Puerto Yerúa. En el hígado, sólo un sábalo capturado en Puerto Yerúa superó dicha concentración. El congénere con mayor concentración fue el PBDE99 con valores promedio superiores a 0,1 µg/kg p.h. ambos tejidos y con concentración máxima superior a 1 µg/kg p.h. sólo el músculo.

Al analizar las diferencias en las concentraciones promedio de PBDEs totales en el músculo de las distintas especies (Tabla 4.2.2.), se observó que las diferencias no fueron estadísticamente significativas (ANOVA, $p = 0,781$).

Tabla 4.2.2. Concentración ($\mu\text{g/kg p.h.}$) de PBDEs totales en músculo por especie

Especie	Media	DES	Máxima	N
Sábalo	0,35 $\pm$ 0,33		1,08	19
Boga	0,37 $\pm$ 0,40		1,31	18
Dorado	0,46 $\pm$ 0,14		0,63	7

DES: desvío estándar; N: tamaño de la muestra; ANOVA: $p=0,797$

En relación con la localidad de muestreo (Tabla 4.2.3.) se encontraron diferencias significativas (ANOVA, $p = 0,000$) en relación con dicho factor, siendo las concentraciones promedio de PBDEs totales en los peces colectados en Puerto Yerúa mayores que las de las otras dos localidades. La concentración promedio de PBDEs totales en los peces capturados en Puerto Yerúa fueron 4 veces mayores que en el resto de las localidades.

Tabla 4.2.3. Concentración ($\mu\text{g/kg p.h.}$) de PBDEs totales en músculo por localidad

Localidad	Media	DES	Máxima	N
Mocoretá	0,22 $\pm$ 0,18 ^a		0,63	17
Puerto Yerúa	0,87 $\pm$ 0,33 ^b		1,31	10
Concepción del Uruguay	0,18 $\pm$ 0,08 ^a		0,31	8
Villa Paranacito	0,29 $\pm$ 0,13 ^a		0,61	9

DES: desvío estándar; N: tamaño de la muestra; ANOVA: $p=0,000$; letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$) en el test a posteriori LSD

De acuerdo con nuestro conocimiento, no se disponen aún de límites de residuos máximos para los PBDEs. El Panel sobre Contaminantes en la Cadena Alimentaria (CONTAM Panel) de La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, European Food Safety Authority) ha considerado de relevancia a 8 congéneres PBDE28, PBDE47, PBDE99, PBDE100, PBDE153, PBDE183 y PBDE209, estableciendo como dosis de referencia 309 $\mu\text{g/kg b.w.}$ para PBDE47 y 12 $\mu\text{g/kg b.w.}$ para el PBDE99 (EFSA, 2011). De acuerdo con el relevamiento aquí realizado con los peces del Río Uruguay, el PBDE99 tendría la mayor relevancia por su alta frecuencia y mayores concentraciones, pero en ningún caso habría superado dicho valor.

La serie histórica de concentraciones promedio de PBDEs totales en músculos de peces del Río Uruguay (Figura 4.2.5.) muestra un comportamiento de estos compuestos diferente al observado para los PCBs. Para esta familia de contaminantes, se observa un máximo de las concentraciones máximas y de la mediana en el verano de 2014 y primavera de 2016, respectivamente, luego tuvieron un descenso hasta 2019. En 2021 se observa un repunte de las concentraciones, siendo la mediana comparable a la de 2014 y 2016, cuando tuvo su valor máximo, por lo que estos compuestos se deberían seguir monitoreando para confirmar si estos niveles continúan incrementándose.

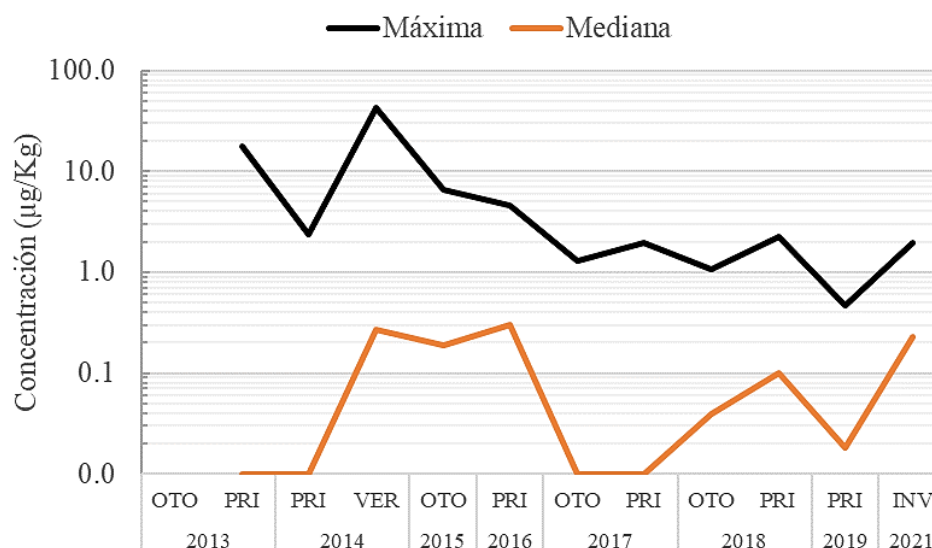


Figura 4.2.5. Serie histórica de valores de concentración promedio de PBDEs totales en músculos de peces del Río Uruguay.

4.3. Plaguicidas organoclorados

De los 19 plaguicidas organoclorados (POCs), incluyendo isómeros y metabolitos, evaluados durante el relevamiento de 2021, el número de dichas sustancias detectadas osciló entre 0 y 17 (Tabla 4.3.1.). En el músculo, el número promedio de POCs detectados fue de 10, no detectándose ninguno en un dorado de Puerto Yerúa, mientras que el número máximo (17) se encontró en un sábalo de la misma localidad. En el hígado de los sábalos, el número de detecciones promedio fue de 8 y oscilando entre 3 y 15, con el mínimo número hallado en Concepción del Uruguay y el máximo en Mocoretá.

Al comparar entre localidades, se puede observar que los peces de Puerto Yerúa presentaron en promedio el mayor número de POCs, siempre con un número igual o superior a 10, pero estas no fueron significativas. Entre especies, las bogas siempre presentaron en promedio un número igual o mayor a 10, pero las diferencias tampoco fueron significativas respecto a las otras especies. Tampoco se observaron diferencias significativas entre el número promedio de POCs detectados en el músculo y en el hígado de los sábalos.

Tabla 4.3.1. Número promedio de POCs detectados por ejemplar

Especie	Tejido	Mocoretá			Puerto Yerúa			Conc. del Uruguay			Villa Paranacito		
		Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N
Boga	Músculo	10	± 3	10	14	± 2	3	12	± ---	1	10	± 3	5
Dorado	Músculo	9	± 1	2	10	± 8	3	10	± 4	2	---	± ---	---
Sábalo	Músculo	8	± 2	5	15	± 2	4	9	± 1	5	9	± 1	4
	Hígado	10	± 3	5	11	± 3	4	6	± 2	5	8	± 1	4

DE: desviación estándar

Las ocurrencias y concentraciones de los POCs detectados en el músculo e hígado de los peces capturados durante el relevamiento de 2021 se muestran en la Figura 4.3.1. y Figura

4.3.2. En cuanto a las frecuencias de detección, en el 98 y 100 % de las muestras de músculo e hígado, respectivamente, se detectó al menos uno de los POCs analizados. En el músculo, de los 19 POCs analizados, sólo el isómero del hexaclorociclohexano, δ HCH, no fue detectado. Por otro lado, el β -HCH, el DDE y el α -endosulfán tuvieron frecuencias mayores al 90% y la dieldrina y el DDT mayores al 80%. Luego, la endrina-cetona, α -clordano, el heptacloro, DDD, endosulfán, endosulfán sulfato y metoxicloro, tuvieron frecuencias menores al 50%. En el hígado no se detectaron el δ HCH, la endrina-cetona y el metoxicloro. Las mayores frecuencias las presentaron el DDE y el α -endosulfán, siendo ubicuos en todos los ejemplares. Con frecuencias arriba del 50% se detectaron β -HCH, γ -HCH, dieldrina, DDT, DDE, DDD y α -endosulfán. Los demás POCs se detectaron con frecuencias menores a dicho valor.

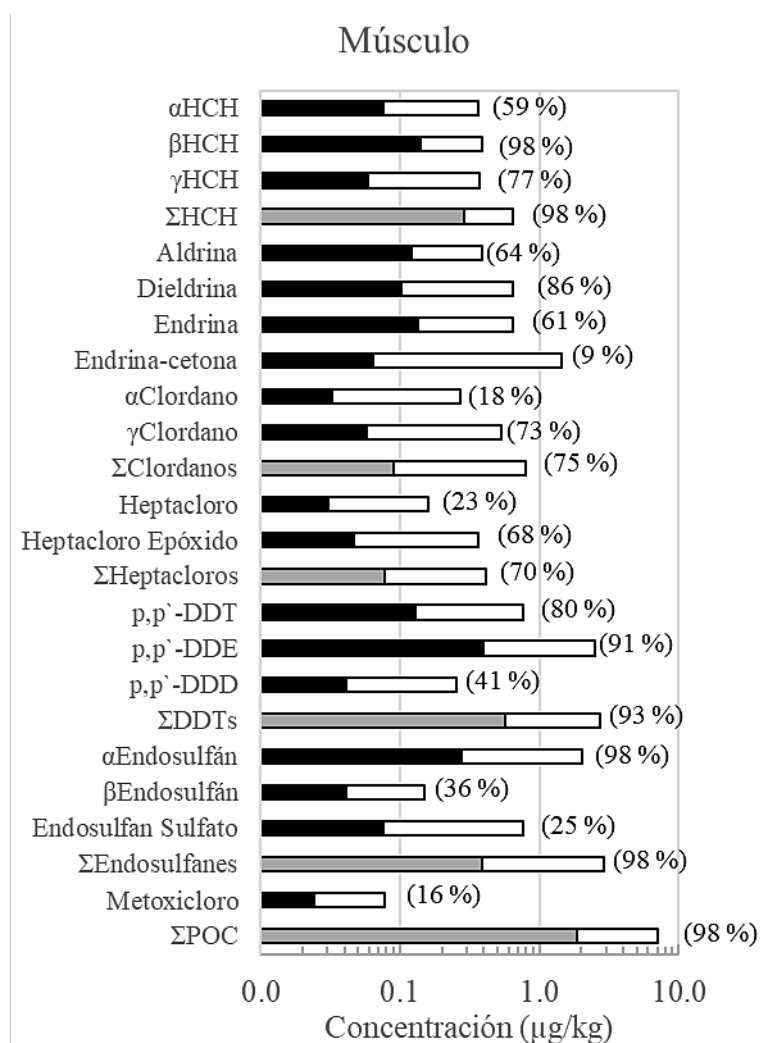


Figura 4.3.1. Concentraciones y frecuencias de detección de los POCs detectados en el músculo de peces del Río Uruguay.

Barras negras y grises: concentraciones medias, barras blancas: concentraciones máximas, porcentajes: frecuencia de cada congénere.

La concentración promedio ($\pm$ desvío estándar) de POCs totales en el músculo fue de $1,86 \pm 1,59$, la mediana de 1,25 y la máxima de 7,09 µg/kg p.h. en un sábalo de Puerto Yerúa. La

concentración promedio de POCs totales en el hígado de los sábalo fue de $2,88 \pm 2,92$, la mediana de 1,80 y la máxima 13,30 $\mu\text{g/kg p.h.}$ en un individuo de Mocoetá. La concentración promedio de POCs totales no difirió significativamente entre tejidos (Prueba T de Student, $p = 0,486$).

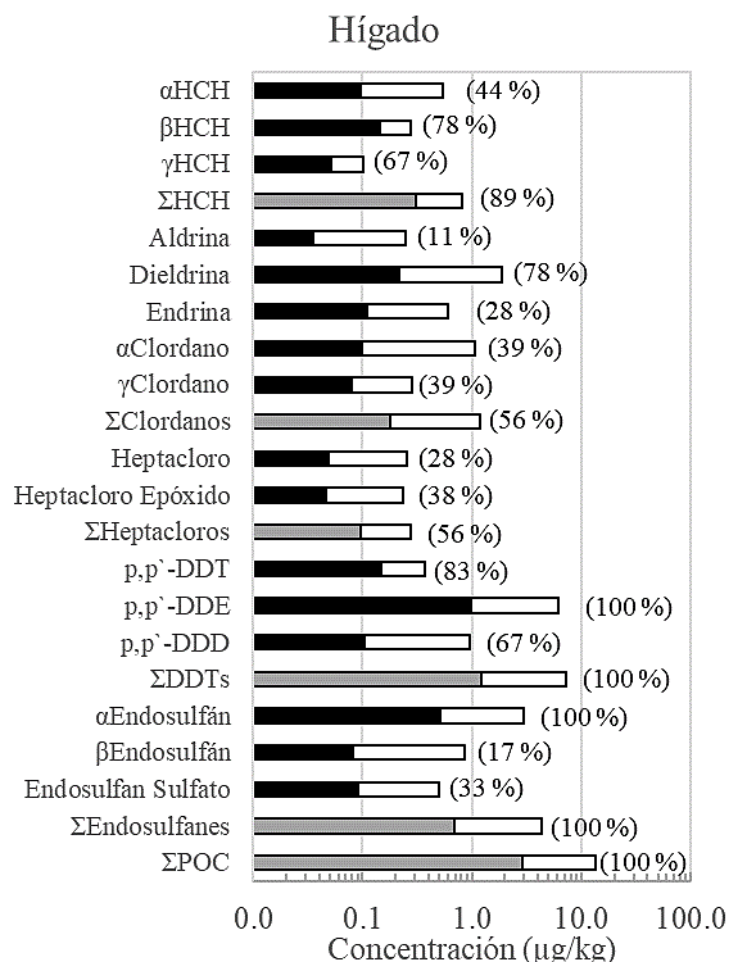


Figura 4.3.2. Concentraciones y frecuencias de detección de los POCs detectados en el hígado de peces del Río Uruguay.

Barras negras y grises: concentraciones medias, barras blancas: concentraciones máximas, porcentajes: frecuencia de cada congénere.

En el músculo la concentración promedio de endosulfanes totales (0,39 $\mu\text{g/kg p.h.}$), DDTs (0,57 $\mu\text{g/kg p.h.}$) y HCH (0,29 $\mu\text{g/kg p.h.}$) superaron 0,1 $\mu\text{g/kg p.h.}$ mientras que ningún POC individual superó el 1 $\mu\text{g/kg p.h.}$ Sólo las máximas del total de endosulfanes (2,88 $\mu\text{g/kg p.h.}$) y DDTs (2,50 $\mu\text{g/kg p.h.}$) superaron dicho valor. En el hígado, el nivel de 0,1 $\mu\text{g/kg p.h.}$ fue superado por los HCH, dieldrina y endrina, clordanos, heptacloros totales, DDTs y endosulfán, pero sólo las concentraciones promedio de DDTs totales fueron mayores a 1 $\mu\text{g/kg p.h.}$ (1,22 $\mu\text{g/kg p.h.}$). Además, las concentraciones máximas de dieldrina, clordanos, DDTs y endosulfanes superaron ese valor. Si bien la correlación entre las concentraciones de POCs totales en el hígado y en el músculo de cada pez no fue buena ($r^2=0,321$) la pendiente fue

estadísticamente significativa ($p=0,008$). Por otra parte, la concentración promedio de cada POC en el músculo y el hígado guardó una muy buena correlación ($r^2=0,921$).

Las concentraciones promedio de POCs totales en músculo, no mostraron diferencias significativas (ANOVA, $p=0,002$) entre las especies estudiadas. Los valores promedio ($\pm$ desvío estándar) y máximos en cada especie se muestran en la [Tabla 4.3.2](#).

Tabla 4.3.2. Concentración ($\mu\text{g/kg p.h.}$) de POCs totales por músculo por especie.

Especie	Media	DES	Máxima	N
Sábalo	2,28 $\pm$ 2,14		7,09	18
Boga	1,51 $\pm$ 0,72		4,14	19
Dorado	1,72 $\pm$ 1,59		5,17	7

DES: desvío estándar; N: tamaño de la muestra; ANOVA: $p=0,797$

En cuanto a las concentraciones promedio de POCs observado en los peces capturados en diferentes localidades ([Tabla 4.3.3](#)), se observaron diferencias significativas entre ellas (ANOVA, $p=0,001$). Los valores promedio de POCs en los peces capturados en Puerto Yeruá fueron significativamente mayores que en los demás sitios.

Tabla 4.3.3. Concentración ($\mu\text{g/kg p.h.}$) de POCs totales por músculo por localidad.

Localidad	Media	DES	Máxima	N
Mocoretá	1,46 $\pm$ 1,07 ^a		5,50	17
Puerto Yeruá	3,57 $\pm$ 2,37 ^b		7,09	10
Concepción del Uruguay	1,27 $\pm$ 0,34 ^a		1,67	8
Villa Paranacito	1,24 $\pm$ 0,22 ^a		1,67	9

DES: desvío estándar; N: tamaño de la muestra; ANOVA: $p=0,012$; letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$) en el test a posteriori LSD

Tomando como referencia las concentraciones máximas permitidas por la FDA para diferentes POCs (200-5000 $\mu\text{g/kg}$), los valores observados en el músculo de los peces del Río Uruguay estarían muy lejos de dichos valores, incluso expresados como POCs totales. Por otra parte, si se comparan las concentraciones de los POCs individuales con las recomendaciones para la aptitud para el consumo humano volcadas en el apartado especial para plaguicidas que posee el *Codex Alimentarius* de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), se observa que, en particular para carne de peces, sólo el Lindano (γ -hexaclorociclohexano) se encuentra listado y su Límite de Residuo Máximo (MRL) es de 10 $\mu\text{g/kg}$. Las concentraciones promedio y máximas de HCHs totales fueron de $0,06\pm 0,06$ y $0,37 \mu\text{g/kg}$ y una frecuencia de 77%, no encontrándose ninguna muestra que exceda dicho límite. Para el resto de los plaguicidas organoclorados no existen MRLs regulados para carne de peces, pero si se toma como referencia los MRLs más bajos establecidos para otras carnes,

se tiene que para carne de pollo es de 50 µg/kg para clordano, 200 µg/kg para heptacloro, 300 µg/kg para DDT, 30 µg/kg para endosulfán y 100 µg/kg para la endrina. De las 44 muestras de músculo analizadas en el relevamiento de 2021 ninguna de ella excedió los MRLs citados, indicando que, si bien los residuos de estos compuestos pueden ser detectables debido a la alta sensibilidad de los métodos analíticos utilizados, los niveles hallados no representarían un riesgo para el consumo humano o la comercialización internacional del recurso.

Al comparar las concentraciones máximas y la mediana de POCs totales en el músculo de los peces del Río Uruguay colectados durante la campaña de 2021 con los datos históricos (Figura 4.3.3.), se observa que es el más bajo desde primavera de 2017 y otoño de 2018, según se trate de las máximas o mediana, respectivamente. Si bien con fluctuaciones, pareciera que los valores luego de alcanzar su máximo histórico en 2016 vienen descendiendo, lo cual es consistente con la prohibición del uso de la mayoría de estas sustancias en el marco del Convenio de Estocolmo. Desde 2019 los valores máximos descendieron de los 10 µg/kg p.h. y la mediana se está aproximando a 1 µg/kg p.h.

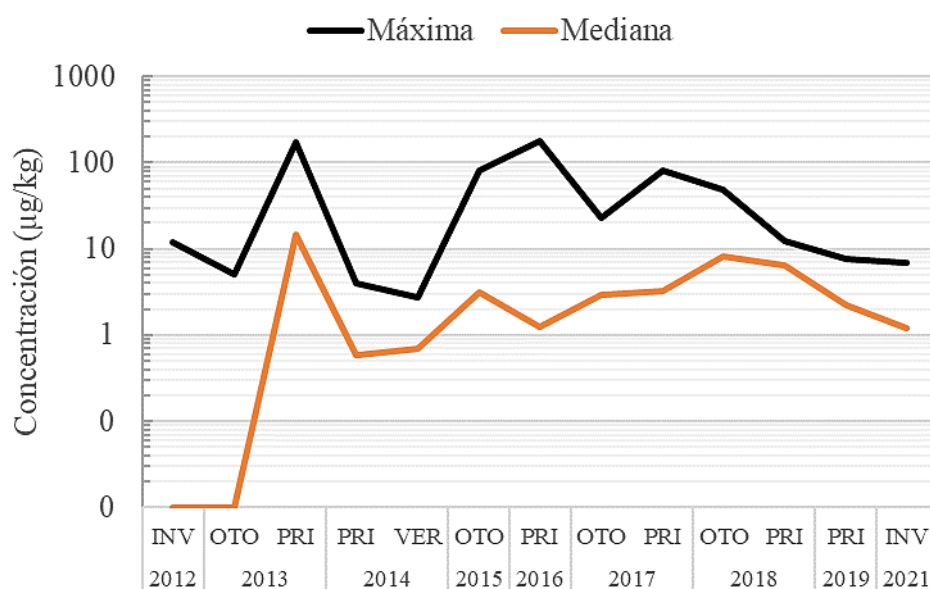


Figura 4.3.3. Serie histórica de valores de concentración promedio de POCs totales en músculos de peces del Río Uruguay.

4.4. Otros Insecticidas

El número de insecticidas promedio por ejemplar encontrado en el músculo y el hígado de las especies de peces del Río Uruguay durante el relevamiento de 2021 se muestra en la [Tabla 4.4.1](#). El número detectado fue en términos generales mayor al del relevamiento de 2019, oscilando entre 1 o 2 y 5 y 9 en hígado y músculo respectivamente. En hígado, el mayor y menor número de insecticidas lo presentaron sábalo de Mocoretá y Puerto Yerúa, respectivamente. En el músculo, el mayor número de insecticidas lo presentó una boga de Mocoretá y el menor dos bogas de Mocoretá y otra de Villa Paranacito, dos sábalo de Mocoretá, y otro de Concepción del Uruguay. Los números promedio fueron semejantes entre tejidos, especies y localidades.

Tabla 4.4.1. Número promedio de insecticidas detectados por ejemplar

Especie	Tejido	Mocoretá			Puerto Yerúa			Conc. del Uruguay			Villa Paranacito		
		Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N
Boga	Músculo	5	± 2	10	5	± 2	3	3	± ---	1	4	± 1	5
Dorado	Músculo	5	± 0	2	5	± 2	3	4	± 0	2	---	± ---	---
Sábalo	Músculo	3	± 1	5	4	± 2	4	3	± 1	5	5	± 1	4
	Hígado	4	± 1	5	3	± 2	4	3	± 1	5	4	± 1	4

DE: desviación estándar

Las frecuencias de detección y las concentraciones promedio y máximas de residuos de insecticidas analizados en el músculo y el hígado de los peces colectados en las diferentes localidades durante la campaña de 2021 se muestran en la [Figura 4.4.1.](#) y [Figura 4.4.2.](#), respectivamente. De los 31 insecticidas analizados, en el músculo 16 fueron detectados en alguna muestra, 5 de 7 piretroides, 1 de 3 carbamatos, 7 de 16 organofosforados (OPs), 1 de 2 neonicotinoides y 2 de 3 bioracionales (ej. reguladores hormonales del crecimiento como el metoxifenocida y el triflumuron). En el hígado de los sábalo se detectaron 14 de los 31 insecticida analizados. Los 14 fueron los mismos que en el músculo y sin detectarse el piretroide fenvalerato y el OP metil paratión.

En todas las muestras de músculos e hígados se detectó al menos un insecticida (100%). La familia de insecticidas más frecuente en el músculo fue la de los neonicotinoides (89%) explicada en su totalidad por el imidacloprid, seguida por la de los OPs (86%), siendo en esta el dimetoato y el pirimifos metil los más frecuentes, luego los piretroides (68 %), con la permetrina como el más frecuente, seguido por los bioracionales (57 %), con el metoxifenocida y el triflumuron, y finalmente los carbamatos (11 %) con el carbaril. En el hígado, la frecuencia de detección fue del 67 % para los neonicotinoides y los OPs, 61 % para los bioracionales, 44 % para los piretroides y 33 % para los carbamatos. Como se puede ver el patrón fue similar al del músculo, pero con frecuencias más bajas para los neonicotinoides, OPs y piretroides, pero más elevadas para los bioracionales y especialmente para los carbamatos.

Las concentraciones promedio y máximas de insecticidas totales en el músculo superó los 10 y 100 µg/kg p.h. respectivamente. La mayor contribución en concentración la tuvieron los carbamatos con valores promedio y máximos superiores a 10 y 100 µg/kg p.h., respectivamente. Luego le siguieron los organofosforados con valores promedio superiores a

10 100 $\mu\text{g/kg}$ p.h. y máximos cercanos a 100 $\mu\text{g/kg}$ p.h. Los promedios y máximos de las concentraciones totales de todas las familias de insecticidas superaron 1 y 10 $\mu\text{g/kg}$ p.h.

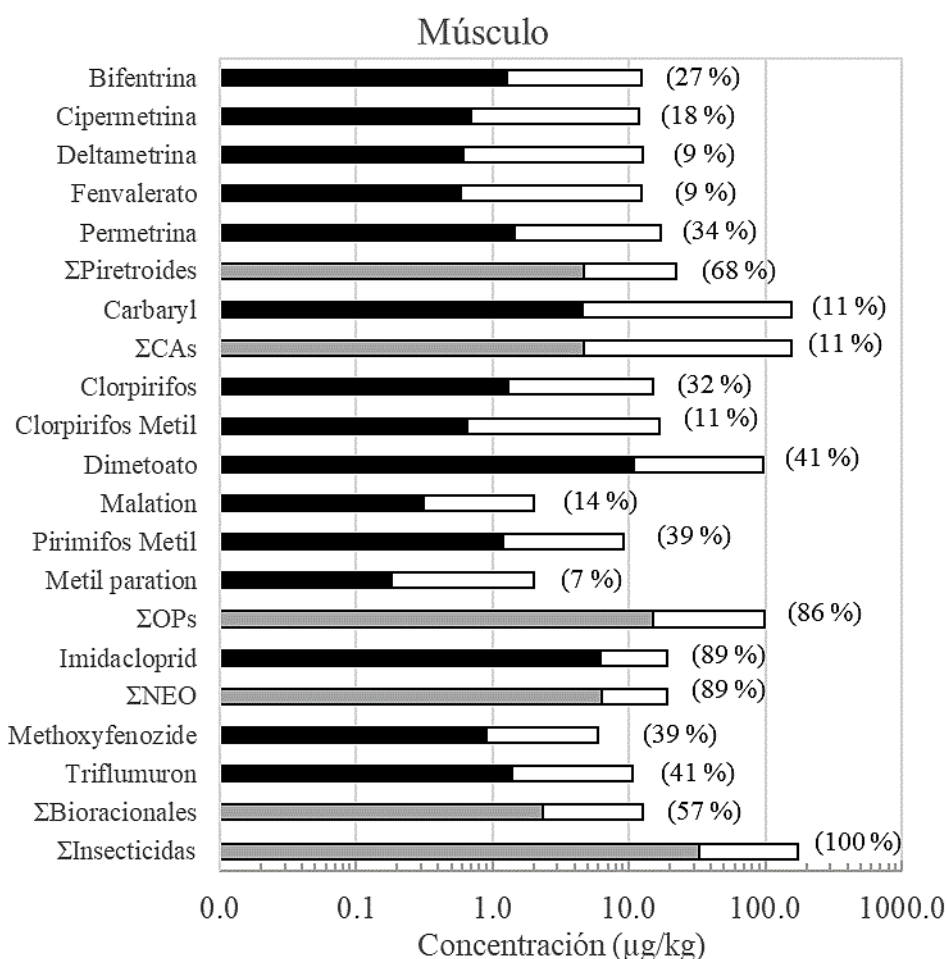


Figura 4.4.1. Concentraciones y frecuencia de detección de residuos de insecticidas en el músculo de peces del Río Uruguay.

Barras negras y grises: concentraciones medias, barras blancas: concentraciones máximas, porcentajes: frecuencia de cada congénere.

En el hígado la concentración promedio y máxima de insecticidas totales superaron los 10 $\mu\text{g/kg}$ p.h pero nunca los 100 $\mu\text{g/kg}$ p.h. Pese a que los valores máximos y promedio fueron menores a los medidos en el músculo, las diferencias entre tejidos, para los sábalo, no fue estadísticamente significativa (Prueba T de Student, $p=0,177$). Para todas las familias de insecticidas las concentraciones medias y máximas excedieron 1 y 10 $\mu\text{g/kg}$ p.h., sólo las máximas de los carbamatos no alcanzaron este último valor. Entre los piretroides los de mayor concentración fueron la permetrina y cipermetrina, entre los OPs el pirimifos metil y clorpirifós, entre carbamatos el carbaril, el neonicotinoide imidacloprid y los bioracionales metoxifenocida y triflumuron.

Para ninguno de los insecticidas se observó una diferencia significativa entre las concentraciones promedio en el músculo y en el hígado. La correlación entre las

concentraciones halladas para las concentraciones totales de insecticidas entre ambos tejidos de cada ejemplar no fue buena, pero si estadísticamente significativa (Correlación de Pearson; $r^2=0,225$; $p = 0,046$). Por otro lado, las concentraciones promedio de cada insecticida en el músculo y en el hígado sí mostraron una correlación significativa (Correlación de Pearson; $r^2=0,784$; $p = 0,000$).

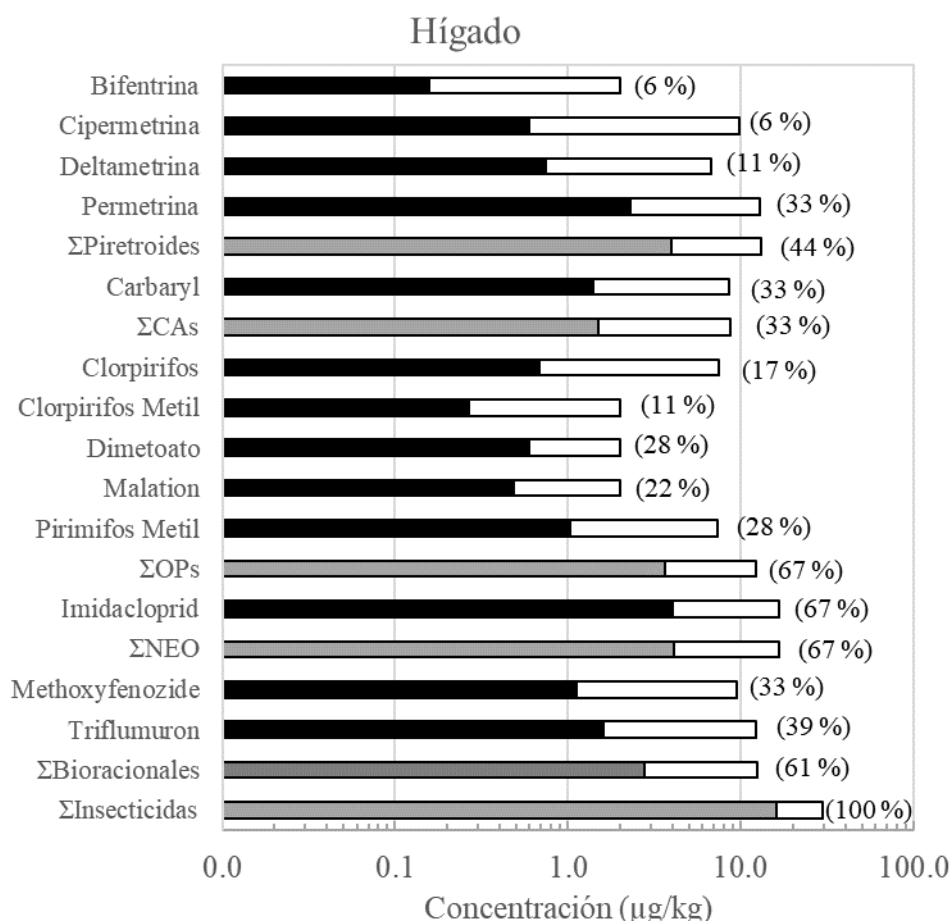


Figura 4.4.2. Concentraciones y frecuencia de detección de residuos de insecticidas en el hígado de peces del Río Uruguay.

Barras negras y grises: concentraciones medias, barras blancas: concentraciones máximas, porcentajes: frecuencia de cada congénere.

Al comparar las concentraciones de insecticidas entre las diferentes especies estudiadas (Tabla 4.4.2.), se observó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre ellas para las concentraciones totales de insecticidas (ANOVA, $p = 0,068$). Al analizar por familias, sólo los organofosforados presentaron diferencias significativas (ANOVA, $p = 0,007$) entre especies, siendo significativamente mayor su concentración promedio en los dorados (Prueba LSD; $p < 0,05$). La máxima concentración la presentaron los carbamatos en una boga capturada en Concepción del Uruguay.

Tabla 4.4.2. Concentraciones ($\mu\text{g/kg p.h.}$) de insecticidas detectados en músculo de las diferentes especies de peces del Río Uruguay.

	Especie											
	Boga				Dorado				Sábalo			
	Media	DE	Max	N	Media	DE	Max	N	Media	DE	Max	N
Insecticidas tot.	35,6±	41,3	174,3	19	54,9±	31,9	103,3	7	21,8±	16,0	59,5	18
Piretroides	5,4±	5,6	19,1	19	7,0±	8,9	22,5	7	3,1±	3,1	12,2	18
Carbamatos	8,4±	35,6	155,5	19	0,4±	0,7	2,1	7	2,5±	9,4	40,2	18
Organofosforados	14,2±	22,5	98,9	19 ^a	37,4±	30,4	88,3	7 ^b	7,0±	12,5	52,9	18 ^a
Neonicotinoides	4,9±	5,0	19,1	19	7,3±	4,2	14,0	7	7,4±	5,7	15,9	18
Bioracionales	2,7±	2,1	7,2	19	2,8±	4,6	12,8	7	1,8±	2,3	8,1	18

DES: desvío estándar; N: tamaño de la muestra; letras diferentes indican diferencias significativas entre especies (Prueba LSD; $p < 0,05$)

La comparación de las concentraciones promedio de insecticidas totales en el músculo de los peces colectados en diferentes localidades no mostró diferencias significativas (ANOVA, $p=0,494$) entre sitios de muestreo (Tabla 4.4.3.). Tampoco se observaron diferencias para las familias de insecticidas por separado.

Tabla 4.4.3. Concentraciones ($\mu\text{g/kg p.h.}$) de insecticidas detectados en músculo de los peces colectados en las diferentes localidades del Río Uruguay.

Localidad	Media	DES	Máxima	N
Mocoretá	23,8±	21,0	88,6	17
Puerto Yerúa	34,9±	30,7	103,3	10
Concepción del Uruguay	43,7±	55,1	174,3	8
Villa Paranacito	38,9±	30,5	110,8	9

DES: desvío estándar; N: tamaño de la muestra; ANOVA: $p=0,494$

Las series temporales de la concentración de insecticidas totales en músculo de peces del Río Uruguay (Figura 4.4.3.) muestran un comportamiento muy fluctuante, pudiendo cambiar en varios órdenes de magnitud de un muestreo a otro. Los máximos valores en general se observaron en 2014, luego descienden y en los dos últimos años parecieran estar incrementándose nuevamente, con medianas sobre el límite de detección, excepto para los carbamatos para los cuales el máximo se ve incrementado. En el caso de los neonicotinoides el muestreo de 2021 es el primero de toda la serie de mostrar valores de la mediana por sobre los límites de detección.

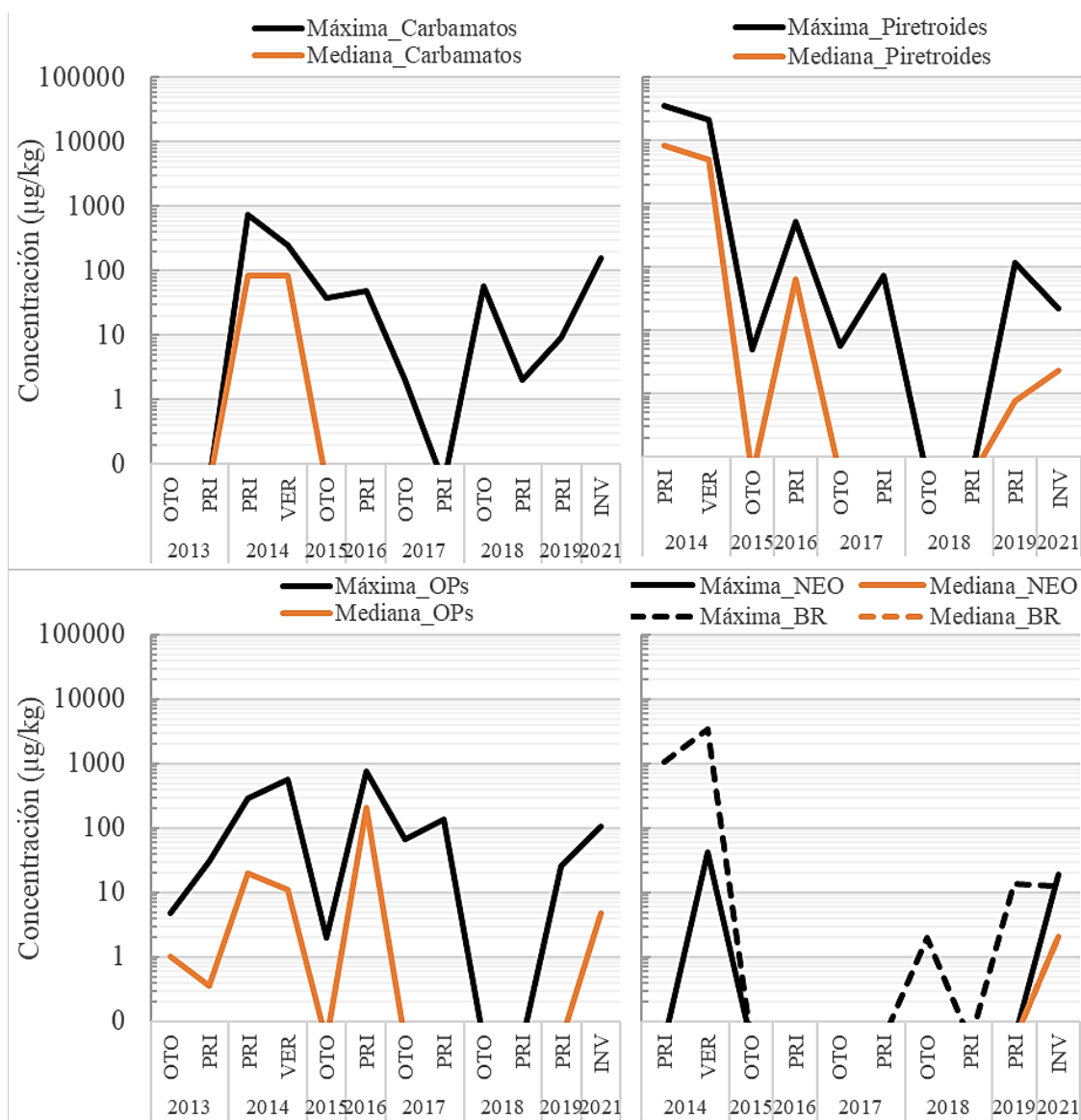


Figura 4.4.5. Series históricas de concentraciones promedio de insecticidas por familias (OPs: organofosforados, NEO: neonicotinoides, BR: bioracionales) analizados en músculo de peces del Río Uruguay desde 2014.

En relación con los residuos de los insecticidas encontrados en el músculo de peces del Río Uruguay y su aptitud para el consumo humano, debe destacarse que no existen MRLs en el *Codex Alimentarius* establecidos por la FAO para estas sustancias en músculo de peces. Si se toman como referencia los MRLs en otras carnes, como aves o mamíferos, se observa que ninguna de las muestras excedió los MRLs para los piretroides el MRL más bajo es de 100 µg/kg para carne de aves. En el caso de los organofosforados, los MRLs más bajos para clorpirifós, clorpirifós-metil y dimetoato son 10 µg/kg para carne de aves. Dos muestras de boga de Mocoretá excedieron para clorpirifós y una de Puerto Yeruá para clorpirifós metil. El MRL de dimetoato fue excedido 11 veces, 4 bogas, 5 dorados y 2 sábalos de diferentes localidades. Para el carbaril el MRL es 50 µg/kg en carne de mamífero, habiendo sido excedido por una boga de Concepción del Uruguay. El MRL más bajo para el imidacloprid es de 20

µg/kg en carnes de aves. Aunque algunas muestras estuvieron próximas al límite en aves, ninguna lo superó. El MRL más bajo para el metoxifenocida es de 10 µg/Kg en carne de aves y no fue excedido en ningún caso.

En conjunto, los resultados muestran que existe una gran variación en las concentraciones de los insecticidas en el músculo de las especies de peces del Río Uruguay, dependiendo del momento de muestreo, localidad y especies. Tomando como referencia los MRLs establecidos para otros tipos de carnes, en el peor escenario evaluado, en el relevamiento de 2021 varias muestras excedieron MRLs para organofosforados y carbamatos, en particular el dimetoato fue el que más veces excedió su límite. Las grandes fluctuaciones observadas en las concentraciones de este grupo de contaminantes entre años ameritan continuar con los relevamientos para comprender el comportamiento y asociarlo a algún factor vinculado al uso o aspectos ambientales. Los niveles hallados en 2021 debieran alertar de posibles riesgos para el consumo. Dado que no existen límites específicos para carnes de pescado, sería recomendable realizar una evaluación de riesgo para el consumo sobre la base datos de ingesta diaria admisible. Estudios complementarios utilizando por ejemplo biomarcadores específicos para identificar exposición a OPs y carbamatos, como por ejemplo la enzima acetilcolinesterasa (AChE), podrían ser utilizados para estimar posibles consecuencias de los residuos hallados en los tejidos sobre la propia salud de los peces.

4.5. Herbicidas y fungicidas

De los siete herbicidas analizados, el número de ellos detectados en el músculo y el hígado de los peces colectados durante la campaña de 2021 (Tabla 4.5.1.) varió en promedio entre 0 y 2 herbicidas por ejemplar para ambos tejidos. El máximo número de herbicidas detectado por muestra fue de 3 para ambos tejidos, en muestras de músculo de dos bogas de Villa Paranacito y de dos sábalo uno de Puerto Yerúa y otro de Villa Paranacito. No se observaron diferencias importantes entre tejidos, especies o localidades, aunque en Villa Paranacito se detectaron la mayoría de los valores máximos.

Tabla 4.5.1. Número promedio de herbicidas detectados por ejemplar

Especie	Tejido	Mocoretá			Puerto Yerúa			Conc. del Uruguay			Villa Paranacito		
		Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N
Boga	Músculo	1	± 0	10	0	± 0	3	0	± ---	1	2	± 1	5
Dorado	Músculo	1	± 1	2	0	± 1	3	1	± 1	2	---	± ---	---
Sábalo	Músculo	1	± 0	5	1	± 1	4	1	± 1	5	2	± 1	4
	Hígado	1	± 1	5	1	± 1	4	1	± 1	5	1	± 1	4

DE: desviación estándar

Por otro lado, de los 17 fungicidas analizados, el número de compuestos detectados en el músculo y el hígado (Tabla 4.5.2.) osciló en promedio entre 1 y 5 compuestos por ejemplar. El número máximo de fungicidas en el músculo fue de 6, un dorado de Concepción del Uruguay y un Sábalo de Villa Paranacito, mientras que en el hígado fue de 3, sin embargo, las diferencias entre ambos tejidos no llegaron a ser significativas (Prueba t de Student, $p = 0,087$). No se apreciaron diferencias significativas entre especies ni localidades, aunque los dorados de Concepción del Uruguay presentaron 2 y 5 fungicidas diferentes.

Tabla 4.5.2. Número promedio de fungicidas detectados por ejemplar

Especie	Tejido	Mocoretá			Puerto Yerúa			Conc. del Uruguay			Villa Paranacito		
		Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N
Boga	Músculo	2	± 1	10	2	± 1	3	3	± ---	1	2	± 1	5
Dorado	Músculo	3	± 1	2	2	± 1	3	5	± 2	2	---	± ---	---
Sábalo	Músculo	3	± 2	5	3	± 1	4	3	± 1	5	4	± 1	4
	Hígado	2	± 1	5	1	± 0	4	2	± 1	5	1	± 1	4

DE: desviación estándar

Las frecuencias y concentraciones de los herbicidas y fungicidas analizados en los músculos e hígados de las especies estudiadas en las tres localidades de muestreo se muestran en la Figura 4.5.1. y la Figura 4.5.2., respectivamente. De los 7 herbicidas analizados, se detectaron 5 en el músculo y 4 en el hígado, mientras que de los 16 fungicidas se detectaron 10 en el músculo y sólo 6 en el hígado. La frecuencia de detección de los herbicidas en el músculo fue de 75% y en el hígado de 67% y de los fungicidas 95% y 50% en los mismos tejidos. Al igual que en el

relevamiento de 2019, entre los herbicidas y fungicidas más frecuentes en ambos tejidos en 2021 fueron la atrazina y el tebuconazol con frecuencias próximas al 50%, algo menores que en el relevamiento previo. En el músculo, otros fungicidas con alta frecuencia de detección fueron el ciproconazol y el epoxiconazol con frecuencias superiores al 60%. Para los herbicidas y fungicidas, el mayor número de compuestos detectados y la mayor frecuencia en el músculo respecto al hígado podría interpretarse como una mayor afinidad de estos plaguicidas por un tejido que por el otro o como una mayor capacidad de metabolización del hígado que los transforma a un metabolito no analizado o lo elimina del órgano.

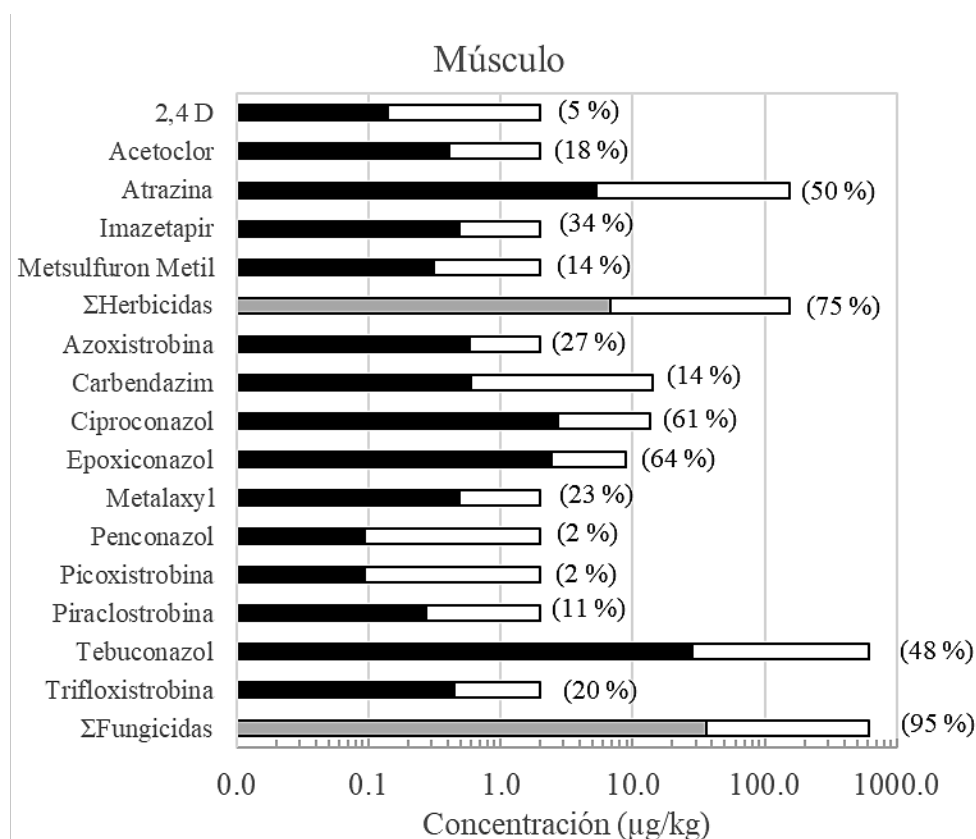


Figura 4.5.1. Concentraciones y frecuencia de detección de residuos de herbicidas y fungicidas en el músculo de peces del Río Uruguay.

Barras negras y grises: concentraciones medias, barras blancas: concentraciones máximas, porcentajes: frecuencia de cada congénere.

Las concentraciones máximas de herbicidas y fungicidas totales en músculo superaron los 100 µg/kg p.h., mientras que las concentraciones promedio de fungicidas totales se encontraron sobre los 10 µg/kg p.h. y las de los herbicidas por debajo de dicho valor. Los valores máximos y promedio de herbicidas y fungicidas estuvieron principalmente dados por la contribución de la atrazina y el tebuconazol, respectivamente. Para el resto de los herbicidas y fungicidas, sólo las concentraciones promedio y máximas de carbendazim y ciproconazol estuvieron por sobre 1 µg/kg p.h. y 10 µg/kg p.h., respectivamente. Luego para todos los demás compuestos las medias se hallaron entre 0,1 y 1 µg/kg p.h. y máximas entre 1 y 10 µg/kg p.h.. En el hígado, las concentraciones máximas para herbicidas y fungicidas se encontraron entre 10 µg/kg p.h. y

100 µg/kg p.h., pero sólo el promedio de fungicidas fue mayor a 10, mientras que el de los herbicidas fue superior a 1 µg/kg p.h. pero inferior a 10 µg/kg p.h.. Nuevamente, las concentraciones de herbicidas y fungicidas totales fueron principalmente explicadas por las contribuciones de la atrazina y el tebuconazol. Las concentraciones máximas para todos los otros compuestos detectados se encontraron entre 1 µg/kg p.h. y 10 µg/kg p.h. y las promedio entre 0,1 µg/kg p.h. y 1 µg/kg p.h.

Pese a que las concentraciones en el hígado fueron más bajas que en el músculo, las diferencias no llegaron a ser significativas (Prueba t de Student, $p = 0,57$ y $0,407$). No se observó una correlación significativa entre las concentraciones de herbicidas ($r^2 = 0,076$; $p = 0,268$) y fungicidas ($r^2 = 0,011$; $p = 0,678$) totales en el músculo y el hígado de los sábalo. En cambio, las concentraciones promedio de cada compuesto en ambos tejidos sí guardó una buena correlación ($r^2 = 0,990$; $p = 0,998$).

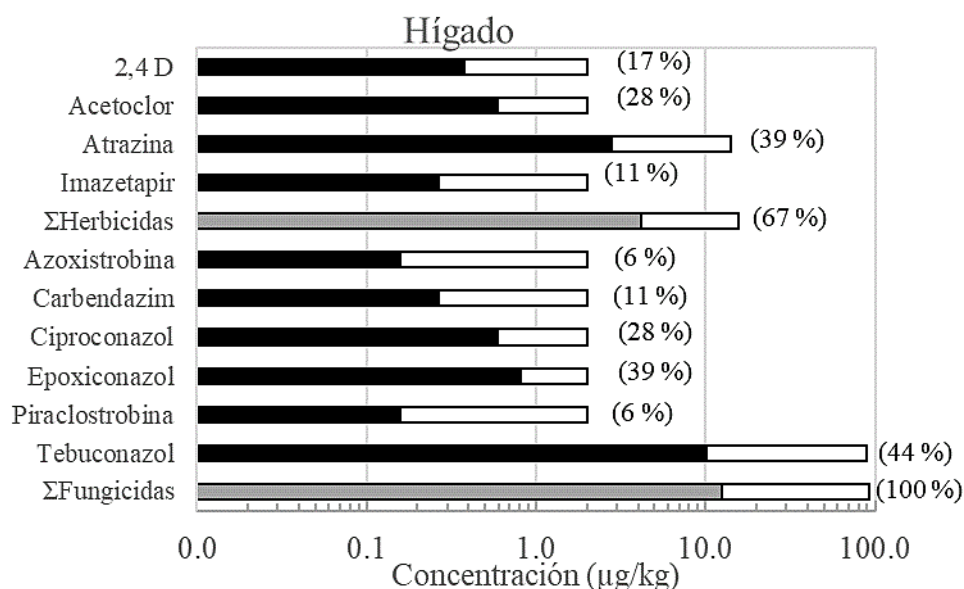


Figura 4.5.2. Concentraciones y frecuencia de detección de residuos de herbicidas y fungicidas en el hígado de peces del Río Uruguay.

Barras negras y grises: concentraciones medias, barras blancas: concentraciones máximas, porcentajes: frecuencia de cada congénere.

La comparación de la concentración promedio de herbicidas totales en el músculo de las diferentes especies (Tabla 5.4.2.) mostró que las diferencias no fueron significativas. Sin embargo, el valor promedio en los sábalo fue más del triple que en las otras especies. Tampoco fueron significativas las diferencias al comparar cada herbicida por separado. Para el caso de los fungicidas totales (Tabla 5.4.2.) se obtuvo el mismo resultado. Sin embargo, al evaluar cada fungicida por separado, se obtuvo que la diferencia era significativa (ANOVA, $p = 0,017$) para la azoxistrobina siendo las bogas significativamente menores que para las otras dos especies. También hubo diferencias para el metalaxil (ANOVA, $p = 0,013$) siendo las bogas las que presentaron el valor más bajo, seguido por los dorados y los sábalo con el más alto.

Tabla 4.5.2. Concentración ($\mu\text{g/kg p.h.}$) de Herbicidas totales por músculo por especie.

Especie	Media	DES	Máxima	N
Sábalo	23,47 $\pm$	48,38	158,0	18
Boga	7,18 $\pm$	5,91	19,60	19
Dorado	3,49 $\pm$	3,35	10,45	7

DES: desvío estándar; N: tamaño de la muestra; ANOVA: $p=0,205$ **Tabla 4.5.3.** Concentración ($\mu\text{g/kg p.h.}$) de Fungicidas totales por músculo por especie.

Especie	Media	DES	Máxima	N
Sábalo	33,25 $\pm$	102,1	441,9	18
Boga	47,95 $\pm$	138,7	616,3	19
Dorado	11,06 $\pm$	6,08	19,20	7

DES: desvío estándar; N: tamaño de la muestra; ANOVA: $p=0,207$

Al comparar las concentraciones promedio de herbicidas totales entre los peces colectados en las diferentes localidades (Tabla 4.5.4.), se observaron diferencias significativas (ANOVA, $p=0,045$), con valores más elevados en los ejemplares capturados en Concepción del Uruguay respecto a los de las otras localidades. Sin embargo, al analizar por separado a cada herbicida, los dos únicos que presentaron diferencias significativas entre localidades fueron el imazetapir (ANOVA, $p=0,002$) y el metsulfuron metil (ANOVA, $p=0,020$), pero curiosamente con los ejemplares de Villa Paranacito mostrando valores más elevados que en el resto de las localidades.

Tabla 4.5.4. Concentración ($\mu\text{g/kg p.h.}$) de Herbicidas totales por músculo por localidad.

Localidad	Media	DES	Máxima	N
Mocoretá	7,1 $\pm$ 4,1		17,2	17
Puerto Yerúa	3,4 $\pm$ 2,9		8,5	10
Concepción del Uruguay	41,1 $\pm$ 70,9		158,0	8
Villa Paranacito	10,9 $\pm$ 6,0		19,6	9

DES: desvío estándar; N: tamaño de la muestra; ANOVA: $p=0,494$

Para el caso de los fungicidas totales (Tabla 4.5.4.), no se encontraron diferencias en las concentraciones entre ejemplares de diferentes localidades, ello pese a que, en las dos localidades de más al norte, se hallaron concentraciones más de cinco veces que en las dos de más al sur. Sin embargo, al comparar cada fungicida por separado, se encontró que tres mostraban diferencias significativas con la localidad y con patrones completamente diferentes. En el caso del ciproconazol, los mayores valores estuvieron en Mocoretá y descendieron monótonamente hacia el sur con los más bajos en Villa Paranacito. El comportamiento opuesto

lo mostró la trifloxistrobina que mostró los valores más bajos en Mocoretá y Puerto Yeruá y luego ascendiendo sostenidamente hacia Villa Paranacito. La azoxistrobina presentó un patrón diferente, con los mayores valores en Puerto Yeruá y Concepción del Uruguay y los más bajos en Mocoretá y Villa Paranacito.

Tabla 4.5.5. Concentración ($\mu\text{g/kg p.h.}$) de Herbicidas totales por músculo por localidad.

Localidad	Media	DES	Máxima	N
Mocoretá	50,8 $\pm$ 146,5		616,3	17
Puerto Yeruá	55,8 $\pm$ 136,5		441,9	10
Concepción del Uruguay	9,5 $\pm$ 3,8		16,7	8
Villa Paranacito	9,9 $\pm$ 5,5		17,9	9

DES: desvío estándar; N: tamaño de la muestra; ANOVA: $p=0,681$

Los resultados obtenidos en el presente informe muestran que, para los herbicidas y fungicidas, la sumatoria de los valores totales no tendría más que un valor orientativo para saber la carga total de esos tipos de sustancias, sin embargo, no tendría significado biológico o ambiental ya que parecieran acumularse de forma diferente entre especies y utilizarse de manera distinta en diferentes tramos del río.

Cuando se analizan las concentraciones de los residuos de herbicidas y fungicidas hallados en músculo de peces del Río Uruguay en relación con la aptitud para el consumo, nuevamente encontramos que los MRLs establecidos en el *Codex Alimentarius* por la FAO para estas familias de plaguicidas no aplican para carne de pescado. Por lo tanto, se han tomado como referencia los MRLs para otras carnes (ej. carnes de aves y mamíferos). Para los herbicidas detectados en músculo imazetapir, acetocloro y 2,4D los MRLs del en carnes de aves son 10, 20 y 50 $\mu\text{g/kg}$, respectivamente. Resulta particularmente llamativo que no exista en el *Codex* un MRL para atrazina. El MRL de atrazina para diferentes carnes establecido, por ejemplo, por Health Canada (HC) es de 40 $\mu\text{g/kg}$ y en la Unión Europea (EC2016/440) y la EFSA para cereales es de 50 $\mu\text{g/kg}$. Ninguno de los peces colectados en 2021 superó el límite para imazetapir, acetocloro o 2,4D y sólo un sábalo de Concepción del Uruguay superó el límite establecido por HC para la atrazina.

Para los fungicidas detectados en músculo, los límites establecidos en el *Codex Alimentarius* para la trifloxistrobina (40 $\mu\text{g/Kg}$ en carne aves) no lo superó ningún ejemplar, para carbendazim, piraclostrobina y tebuconazol (50 $\mu\text{g/Kg}$ en carne aves) lo superó el tebuconazol en 3 muestras. Para azoxistrobina y ciproconazol (10 $\mu\text{g/Kg}$ carne en aves) no los superó ningún para la azoxistrobina, pero lo superaron 2 para ciproconazol. Luego para metalaxil y penconazol (50 $\mu\text{g/Kg}$ sólo para vegetales) no lo superó ningún ejemplar. Finalmente, no se encontró MRL para epoxiconazol, pero si se lo asocia al tebuconazol, misma familia de fungicidas, no se hubiera superado en ninguna muestra.

La comparación de las concentraciones máximas y las medianas de herbicidas y fungicidas totales de la campaña 2021 con las que la CARU viene relevando desde 2013 se muestra en la

Figura 4.5.3. El comportamiento de ambas familias de plaguicidas siguió un patrón semejante al de los insecticidas, con un descenso aserruchado desde 2014/15 a 2017/8 y luego un repunte en 2019 y 2021. El patrón es más claro al observar la mediana ya que durante 2017/18 la mitad de los ejemplares mostraron valores por debajo del límite de detección que son claramente superados las años previos y posteriores. La mayoría de las veces los valores máximos y de la mediana se encontraron entre 10 y 100 $\mu\text{g/kg}$ p.h.

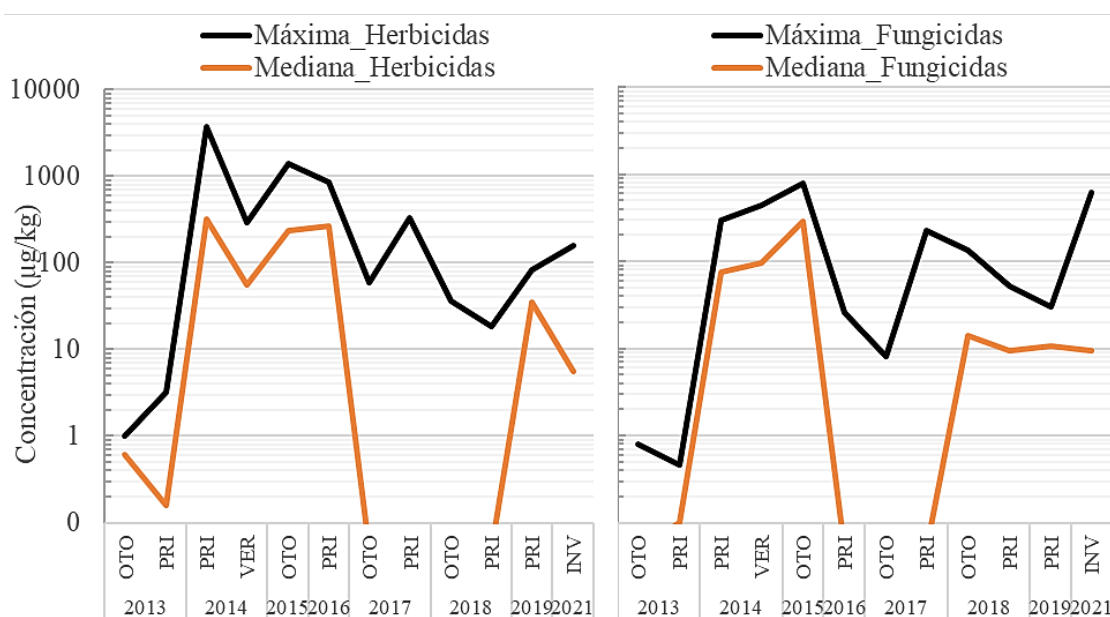


Figura 4.5.3. Serie histórica de valores de concentración promedio de herbicidas y fungicidas totales en músculos de peces del Río Uruguay.

Si bien como se explicó no existen en el *Codex* límites para los plaguicidas evaluados en carnes de pescado, tomando como referencia los MRL para otras materias primas, puede observarse que existe el porcentaje máximo de peces que excedió un límite fue para el tebuconazol y el epoxiconazol siendo en ambos casos del 20%, un porcentaje relativamente bajo. En el caso particular de la atrazina, a diferencia en 2021 los valores detectados se encontraron en casi todos los casos debajo del límite mencionado. Estos valores fueron mejores que para 2019, aunque deberían continuar relevándose dado lo fluctuante que son los valores de año a año.

4.6. Metales

En el relevamiento de 2021 se incluyeron 4 metales no analizados en relevamientos previos, además de Cd, Cr, Hg y Pb se analizaron Co, Cu, Ni y Zn. El número de metales detectados por individuo se muestra en la [Tabla 4.6.1](#). De los ocho metales analizados en el músculo el número mínimo de metales detectados en una muestra fue de 5, dos dorados de Puerto Yerúa, y el máximo 8. En promedio el número de metales detectados en este tejido fue de $6,7 \pm 0,7$. En el hígado, el número mínimo fue 7 y el máximo 8, con un promedio de $7,7 \pm 0,5$. Pese a la pequeña diferencia está fue estadísticamente significativa entre tejidos, explicada principalmente por el Cd que en músculo fue detectado con muy baja frecuencia, pero en hígado en todas las muestras.

El comparar el número de metales detectados en el músculo de las diferentes especies, no se observan diferencias mientras que, entre localidades, Puerto Yerúa presentó los promedios más bajos.

Tabla 4.6.1. Número promedio de metales detectados por ejemplar

Especie	Tejido	Mocoretá			Puerto Yerúa			Conc. del Uruguay			Villa Paranacito		
		Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N	Media	DE	N
Boga	Músculo	6	± 1	10	6	± 1	3	7	± ---	1	7	± 0	5
Dorado	Músculo	7	± 1	2	5	± 1	3	7	± 0	2	---	± ---	---
Sábalo	Músculo	7	± 1	5	6	± 1	4	7	± 0	5	7	± 0	4
	Hígado	8	± 1	5	8	± 1	4	8	± 0	5	8	± 1	4

DE: desviación estándar

Las frecuencias de detección y las concentraciones encontradas para los metales en el músculo y el hígado de los peces del Río Uruguay colectados durante la campaña de 2021 se muestran en la [Figura 4.6.1](#). y [Figura 4.6.1.](#), respectivamente. En cuanto a la frecuencia de detección es clara la diferencia entre metales esenciales y no esenciales, ya que para los primeros (Cr, Cu, Zn) la frecuencia de detección fue del 100 % en ambos tejidos, mientras que para los segundos (Cd, Ni, Pb) fue menor a dicho valor en alguno de los tejidos. Excepciones fueron el Co, que es un cofactor enzimático, pero que en músculo presentó frecuencias de detección del 95% y el Hg que siendo un metal no esencial presentó una frecuencia de detección del 100 % en ambos tejidos. Las frecuencias de detección fueron por lo general iguales o mayores en el hígado que en el músculo, con la excepción del Pb.

En cuanto a las concentraciones, el Cu y el Zn fueron los metales con mayores concentraciones promedio y máximas en ambos tejidos, con valores superiores a 1000 µg/kg p.h.. Los únicos metales que superaron dicho valor fueron las concentraciones máximas de Cr en el músculo y las medias y máximas de Cd en el hígado. Las máximas de los demás metales por lo general superaron los 100 µg/kg p.h. en ambos tejidos, con la excepción del Cd en músculo y el Ni en hígado. Los promedios se situaron ente 10 y 100 µg/kg p.h., con la excepción del Cd en músculo que fue menor a 1 µg/kg p.h. y del cobalto en hígado que fue mayor a 100 µg/kg p.h.

Cuando se analizaron las relaciones entre las concentraciones halladas en el hígado y en el músculo de los sábalos, sólo se encontró una correlación significativa para el Cu ($R^2 = 0,385$; $p = 0,005$), Hg ($R^2 = 0,353$; $p = 0,009$) y Zn ($R^2 = 0,314$; $p = 0,016$). También fue buena la correlación entre las concentraciones promedio de cada metal detectadas en cada tejido ($R^2 = 0,933$).

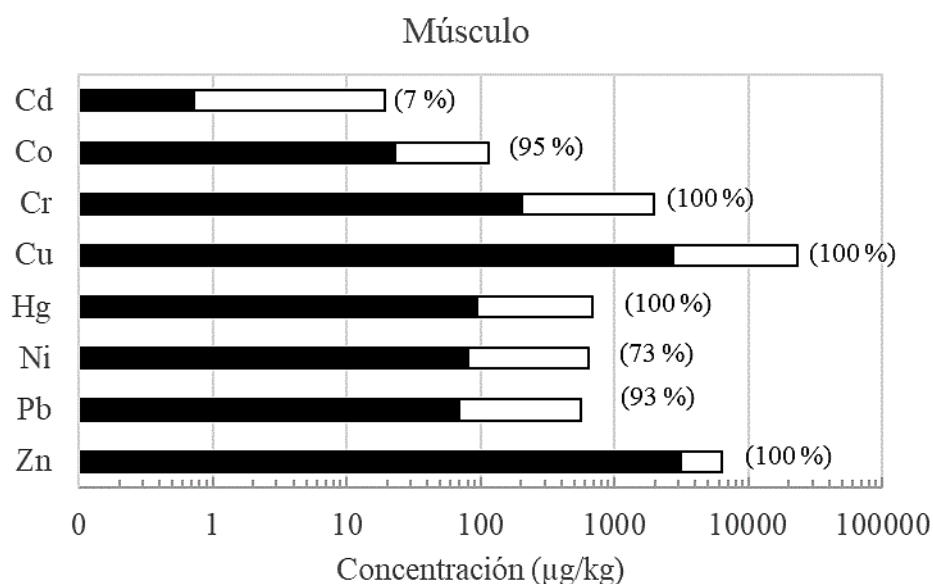


Figura 4.6.1. Concentraciones y frecuencia de detección de residuos de metales en el músculo de peces del Río Uruguay.

Barras negras: concentraciones medias, barras blancas: concentraciones máximas, porcentajes: frecuencia de cada congénere. ND: no detectable.

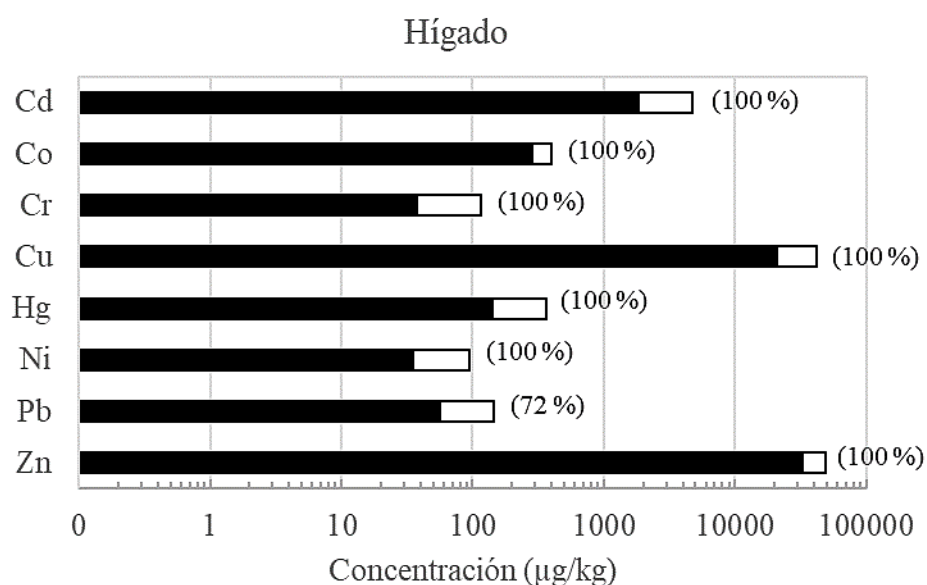


Figura 4.6.2. Concentraciones y frecuencia de detección de residuos de metales en el hígado de peces del Río Uruguay.

Barras negras: concentraciones medias, barras blancas: concentraciones máximas, porcentajes: frecuencia de cada congénere. ND: no detectable.

Respecto a la acumulación de los metales en el músculo de las especies analizadas (Tabla 4.6.2.), se observaron diferencias significativas el Co (ANOVA, $p = 0,000$) y el Hg (ANOVA, $p = 0,000$). En el caso del Co, el músculo del sábalo presentó concentraciones significativamente mayores, con valores más del doble que el de las demás especies. El otro metal que mostró diferencias significativas entre especies fue el Hg, siendo las concentraciones promedio en los dorados casi diez veces mayores que en las otras dos especies. Este patrón es consistente año a año y se debe a que este metal se biomagnifica a través de la cadena trófica una vez que es modificado a metil-mercurio. Existe abundante evidencia en la literatura sobre este fenómeno y desde la CARU se ha realizado una actividad específica que lo ha puesto de manifiesto para las redes tróficas del Río Uruguay, mostrando que las especies piscívoras como el Dorado presentan concentraciones mucho más elevadas que las especies detritívoras como el sábalo u omnívoras como la boga (CARU, 2018).

Tabla 4.6.2. Concentraciones promedio ($\mu\text{g/kg p.h.}$) de metales detectados en músculo de las diferentes especies de peces del Río Uruguay.

	Boga			Dorado			Sábalo		
	Media	DE	Max.	Media	DE	Max.	Media	DE	Max.
Cd	<LD±	---	---	<LD±	---	---	1.5±	4.5	19.2
Co	14,75±	8,9 ^a	37,6	3,6±	3,4 ^a	8,6	40,2±	22,4 ^b	113,9
Cr	190±	434,4	1956,3	84,7±	37,8	135,7	277,2±	298,3	1122,2
Cu	1970±	4094	18582	1281±	907	3142	4225±	5386	23160
Hg	41,5±	55,9 ^a	228,5	390,9±	195,6 ^b	687,8	40,8±	18,2 ^a	80,5
Ni	72,88±	141,2	643,8	41,2±	46,9	142,1	106,8±	113,2	435,5
Pb	54,46±	124,3	560,7	26,0±	17,0	54,6	105,0±	125,0	486,0
Zn	3535±	1069 ^b	6311	2592±	853 ^a	3608	3081±	475 ^{a,b}	4191

DES: desvío estándar; Letras diferentes indican diferencias significativas $p < 0,05$ en la Prueba t de Student; N: 19 bogas. 7 dorado y 18 sábalos

Cuando se comparan las concentraciones de los metales en los ejemplares colectados en diferentes localidades (Tabla 4.6.3.), se observaron diferencias significativas para el Co (ANOVA, $p = 0,000$), Cr (ANOVA, $p = 0,000$), Cu (ANOVA, $p = 0,000$), Ni (ANOVA, $p = 0,000$) y Pb (ANOVA, $p = 0,000$). Es importante remarcar que todos los metales que tuvieron diferencias entre sitios mostraron el mismo patrón, las concentraciones de todos ellos en los ejemplares de Concepción del Uruguay fueron significativamente mayores que para las localidades de Mocoretá y Puerto Yerúa, mostrando los de Villa Paranacito un nivel intermedio. Dado que este es el primer año que se incluyó la localidad de Concepción del Uruguay, no existen datos previos colectados de acuerdo con el protocolo de muestreo iniciado en 2019 sobre la concentración de metales en esta localidad. Los resultados señalarían una posible situación particular en este sector del Río con algún fenómeno que conduce a mayores concentraciones de los mencionados metales en los músculos de los peces, hecho llamativo y

que de reiterarse en futuros relevamientos debiera estudiarse con más detalle para poder comprender las causas. Para el Hg no se observaron diferencias significativas entre localidades, lo cual indicaría que la acumulación observada de este metal no obedecería a fuentes puntuales sino más bien a fenómenos regionales (erosión del suelo) o globales (transporte y deposición atmosférica) como los descritos en la literatura.

Tabla 4.6.3. Concentraciones ($\mu\text{g/kg p.h.}$) promedio de metales detectados en músculo de los peces capturados en diferentes localidades del Río Uruguay.

	Mocoretá			Puerto Yeruá			Conc. del Uruguay			Villa Paranacito		
	Media	DES	Máx.	Media	DES	Máx.	Media	DES	Máx.	Media	DES	Máx.
Cd	1.6±	4.7	19.2	0.2±	0.0	0.2	0.3±	0.2	0.9	0.2±	0.0	0.2
Co	20.0±	11.0 ^a	45.9	13.6±	11.8 ^a	29.4	42.0±	34.2 ^b	113.9	24.0±	22.3 ^{a,b}	61.9
Cr	95.1±	77.8 ^a	358.4	100.5±	43.0 ^a	167.1	503.5±	681.8 ^b	1956	282.5±	289.3 ^{a,b}	990.6
Cu	1757±	2286 ^a	10095	1320±	733 ^a	2686	6784±	8820 ^b	23160	2790±	2854 ^{a,b}	9806
Hg	72.8±	162.8	687.8	125.0±	163.5	523.9	148.6±	195.1	504.8	64.8±	63.5	228.5
Ni	47.2±	38.3 ^a	142.1	24.2±	20.7 ^a	64.9	190.0±	224.8 ^b	643.8	114.7±	97.5 ^{a,b}	317.8
Pb	40.1±	50.4 ^a	224.9	30.4±	17.0 ^a	56.2	167.3±	222.0	560.7	86.8±	105.1 ^{a,b}	353.2
Zn	3446±	1087	6311	2829±	305	3477	3187±	1199	4953	3157±	433	3712

DES: desvío estándar; Letras diferentes indican diferencias significativas $p < 0,05$ en la Prueba t de Student; N: Mocoretá 17, Puerto Yeruá 10, Concepción del Uruguay 8, Villa Paranacito 9

En la [Figura 4.6.3.](#) se muestra la serie temporal para los 4 metales que se han venido relevando desde 2014. Puede observarse una gran variación en los valores de acuerdo con el año. Para el caso del Cd, las concentraciones en músculo excedieron los niveles detectables sólo en 2018. Para el Pb se dio el comportamiento contrario los valores máximos y la mediana caen desde 2014 hasta 2018 en que dejan de ser detectables y luego se incrementan nuevamente, con la mediana próxima a 100 $\mu\text{g/kg p.h.}$ en 2021. Para el Hg, las concentraciones máximas tuvieron un pico en 2015 y la mediana en 2018, luego los valores han ido en descenso continuo hasta 2021. El Pb, muestra un comportamiento opuesto, ascendiendo de manera aserruchada pero continua desde 2014 a 2021, año en que tanto la concentración máxima como la mediana tomaron su mayor valor.

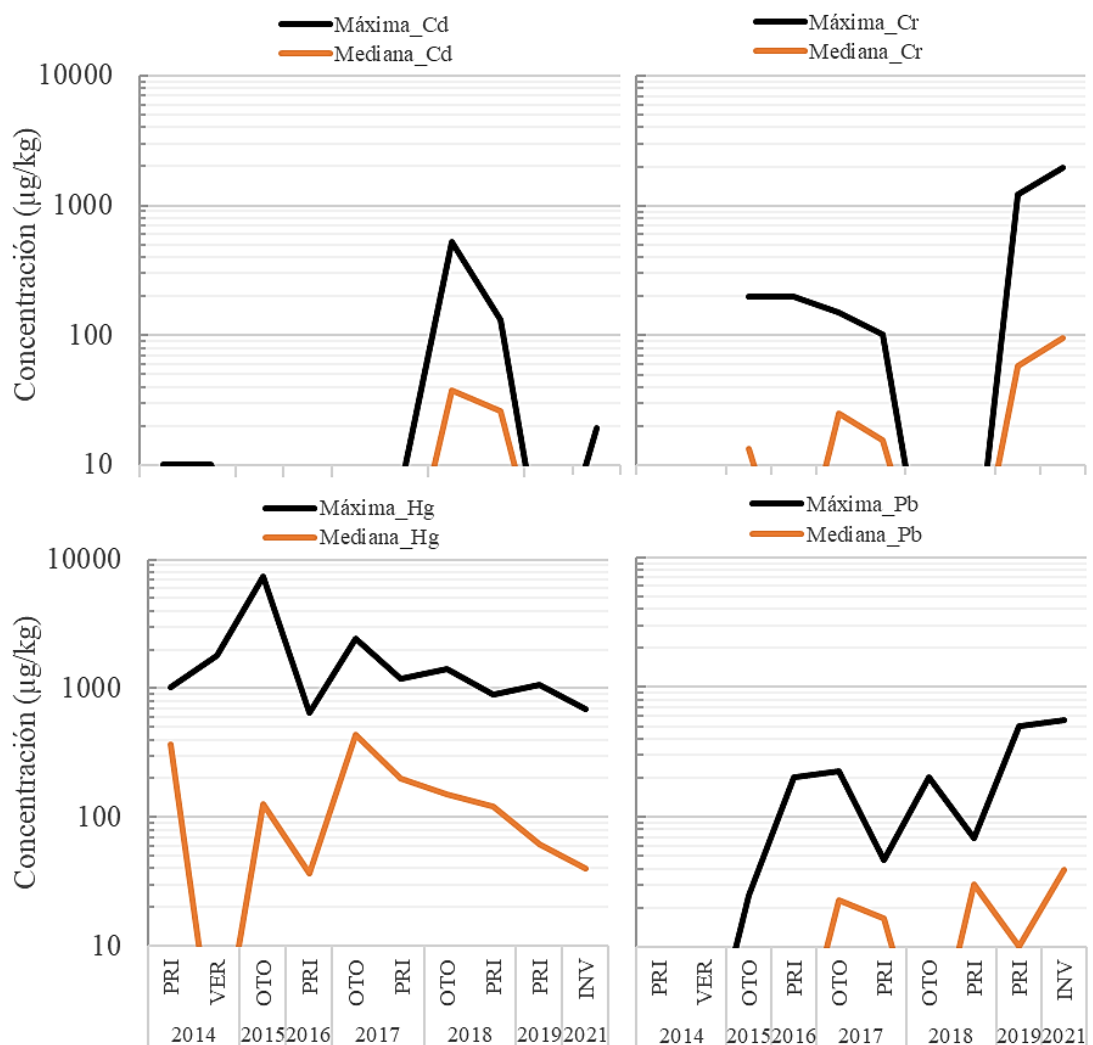


Figura 4.6.3. Serie temporal de las concentraciones promedio de los metales en el músculo de los peces del Río Uruguay analizadas por el Programa de Ictiofauna de la CARU desde 2013. Referencia: Cd: Cadmio, Cr: Cromo, Hg: Mercurio, Pb: Plomo.

En cuanto a la aptitud para el consumo, el *Codex Alimentarius* sólo incluye el MRL para Hg en peces, siendo 500 o 1000 µg/kg para especies no ictiófagas, o ictiófagas, respectivamente. Luego para Cd y Pb sólo establecen límites en vegetales u otras carnes. Por otra parte, la Comunidad Económica Europea se establecen MRLs para Cd, Pb y Hg (CE 1881/2006 y CE 629/2008). Los MRLs para carne de peces establecidos para Cd van de 50 a 200 µg/Kg dependiendo de las especies, para Pb es de 300 µg/kg y para Hg es 500 o 1000 µg/Kg si se trata de especies no ictiófagas o ictiófagas, respectivamente. Para Cr se establece un límite la legislación australiana y neozelandesa con un MRL de 100 µg/kg. De acuerdo a la legislación de Australia para el Cu es de 10000 µg/kg y según la legislación de Nueva Zelanda de 40000 µg/kg para el Zn (FAO, 1983). Para Ni el MRL establecido es de 70000 µg/kg (UFDA, 1993). Para el Co no se encontraron MRLs publicados en ninguna norma internacional o nacional.

De acuerdo con los MRLs citados, las concentraciones promedio encontradas en la campaña de 2021 muestran que para el Cd no se han excedido los MRL ya que el máximo valor detectado ha sido de 19,23 µg/kg. Para el Cr, el MRL se superó en 21 peces, lo que equivale a un 48% de excedencia. Mocoretá fue la única localidad en la que no hubo muestras que excedieran el límite. Para el Hg, ninguna muestra superó el límite para especies ictiófagas (1000 µg/kg) pero hubo 3 muestras que excedieron el límite para especies no ictiófagas (500 µg/kg), tratándose todos de dorados capturados en las diferentes localidades y representando el 43% de las muestras de esa especie. Para el caso del Pb, tres muestras superaron los 300 µg/kg, representado sólo el 7% de las muestras totales, una boga de Puerto Yeruá y dos sábalos, uno de Concepción del Uruguay y otro de Villa Paranacito. El límite para el Cu fue excedido en tres muestras, una de sábalo de Mocoretá y una de boga y otra de sábalo de Concepción de Uruguay. Los MRL para el Ni y Zn se encuentran muy por encima de las concentraciones de estos metales medidas en el músculo de las especies relvadas. Si se consideraran las concentraciones medidas en hígado, los MRLs para Cd, Cu y Zn serían excedidos en todas las muestras.

Los porcentajes de excedencia para el Cr en el músculo de todas las especies y el Hg en músculo de los dorados estuvieron próximos al 50%, por lo que se debieran elaborar recomendaciones para el consumo en base a una evaluación de riesgo considerando la cantidad de pescado consumido por la población local y los valores admisibles de ingesta diaria.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los relevamientos realizados en el invierno de 2021 han aportado información sobre la concentración de 150 analitos diferentes en 44 muestras de músculo de 3 especies de peces de interés pesquero en el Río Uruguay colectadas en 4 localidades diferentes. Además, se ha relevado la acumulación de tales analitos en el hígado de 18 muestras de sábalo, una de las especies más abundante en las capturas realizadas. Todo ello representó conjunto de más de 9000 datos que debieron ser ordenados, controlados y analizados. Las principales conclusiones que se desprenden de este relevamiento son:

- Los resultados muestran que los PCBs, a pesar de haber sido prohibidos hace ya varias décadas, aún persisten en el ambiente y son acumulados en los peces del Río Uruguay. De los 40 congéneres analizados, en todas las muestras se detectaron al menos 4 y hasta 20 congéneres en una misma muestra, siendo el PCB28 y el PCB101 los más relevantes. La acumulación de estos compuestos no difirió significativamente entre el músculo y el hígado. Tampoco se hallaron diferencias significativas entre especies, pero sí entre localidades, presentando las muestras obtenidas en Puerto Yeruá, localidad situada aguas debajo de las ciudades de Concordia y Salto, concentraciones significativamente más elevadas. La concentración promedio de PCBs totales en músculo fue de 5,97 µg/kg p.h. El valor máximo de concentración de PCBs totales fue hallado en el músculo de una boga de Villa Paranacito (25,79 µg/kg p.h.) y de acuerdo con las recomendaciones de la USEPA se podrían consumir hasta 4 comidas al mes o una comida al mes considerando puntos finales no carcinogénicos o carcinogénicos, respectivamente. Si se toma la mediana (3,85 µg/kg) se podrían comer sin restricciones para puntos finales no carcinogénicos y hasta 12 veces al mes, para puntos finales carcinogénicos.
- Para grupo de los PBDEs, sustancias persistentes utilizadas, entre otros, como retardantes de llama, de los 6 congéneres analizados se detectó al menos uno en el 89% de las muestras de músculo y en una muestra un máximo de 4, siendo el más relevante el PBDE99. De un modo semejante a los PCBs, no hubo diferencias significativas en las concentraciones de PBDEs totales entre tejidos o entre especies, pero sí entre localidades, siendo Puerto Yeruá en la que las muestras presentaron las concentraciones más elevadas. La concentración promedio de PBDEs totales en músculo fue de 0.38 µg/kg p.h. El valor máximo de concentración de PBDEs totales fue hallado en una muestra de músculo de un sábalo de Puerto Yeruá (1,31 µg/kg p.h.) y el límite propuesto por EFSA para el PBDE99 (12 µg/kg b.w.) no se excedería en ningún caso. La serie de valores históricos de la CARU muestra un leve repunte de los valores máximos y de la mediana, esta última alcanzando valores semejantes a los máximos de 2016, por lo que, si bien no se recomiendan acciones específicas por el momento, si se sugiere seguir su comportamiento en futuros relevamientos.
- En el caso de los POCs, pese a la prohibición de la mayoría de ellos, aún siguen teniendo porcentajes altos de detección. De los 19 POCs analizados, se detectó al menos uno en el 98% de las muestras de músculo y en el 100 % en las de hígado, con un número máximo de 17 POCs en una única muestra. Los POCs más relevantes por su frecuencia y

concentración fueron la familia de los DDTs y del endosulfán. Con un patrón semejante al de los PCBs y PBDEs, no hubo diferencias entre la concentración promedio de POCs totales en el músculo y en el hígado, tampoco entre especies, pero sí entre sitios, siendo Puerto Yerúa la localidad con las mayores concentraciones. La concentración promedio de POCs totales en músculo fue de 1.861 $\mu\text{g/kg p.h.}$ y la máxima (7,09 $\mu\text{g/kg p.h.}$) se obtuvo para un Sábalo de Puerto Yerúa. Ninguna de las muestras de músculo excedió los MRLs para carnes de pescado u otro tipo de carnes establecidos por la FAO en el *Codex Alimentarius*, por lo que no se recomiendan acciones para este grupo de sustancias más que continuar su seguimiento en futuros relevamientos.

- Respecto a los insecticidas (no POCs), de los 31 analizados al menos 2 siempre fueron detectados en alguna muestra de músculo y uno en alguna de hígado, siendo 9 y 5 el número máximo de insecticidas detectados en una muestra de cada uno de los tejidos. Todas las familias, excepto la de los carbamatos, tuvieron en el músculo frecuencias de detección mayores al 50%. Por primera vez, los bioracionales estuvieron bien representados y el neonicotinoide imidacloprid fue el insecticida con mayor frecuencia de detección. El carbamato carbaril fue el que presentó la máxima concentración y el organofosforado dimetoato el que presentó la mayor concentración promedio. Pese a que las concentraciones promedio de insecticidas totales en músculo fueron el doble que en el hígado, las diferencias no fueron significativas. Si bien la concentración promedio de insecticidas totales no difirió significativamente entre especies, las concentraciones promedio de organofosforados sí, siendo mayor la concentración en los dorados. Por otra parte, a diferencia de los orgánicos persistentes, los insecticidas no presentaron diferencias significativas entre localidades. La concentración promedio de insecticidas totales en músculo fue de 33,0 $\mu\text{g/kg p.h.}$ y la máxima se obtuvo en una muestra de boga de Concepción del Uruguay (174,3 $\mu\text{g/kg p.h.}$). En el *Codex Alimentarius* no se encuentran MRLs para los insecticidas estudiados en carnes de peces, pero tomando los límites más bajos para otras carnes (ej. aves) se observó que un 32% y 2% de las muestras exceden los límites para organofosforados y para carbamatos, respectivamente. Estos resultados ameritarían evaluar la situación, realizando una evaluación de riesgo para el establecimiento de niveles máximos de residuos de insecticidas para el Río Uruguay que permitan elaborar recomendaciones de consumo. Las series temporales indican que las concentraciones de los insecticidas en el músculo de los peces tienen grandes fluctuaciones año a año, por lo que, de generarse algún tipo de recomendación, la misma debería actualizarse de forma ágil al menos dos veces al año en función de los resultados obtenidos en ambas campañas de relevamiento.
- De los siete herbicidas analizados, la frecuencia de detección fue de 75% y 67% en el músculo en el hígado respectivamente, siendo 3 el número máximo de herbicidas detectados en una misma muestra para ambos tejidos. La atrazina ha sido el herbicida más relevante por la frecuencia y las concentraciones halladas en el músculo de los peces. No se observaron diferencias significativas en las concentraciones promedio de herbicidas totales entre tejidos y, en el músculo, debido a la gran variabilidad, tampoco hubo diferencias entre especies y localidades, aunque los sábalos mostraron concentraciones tres

veces mayores que las de las otras especies y las concentraciones de las muestras de Concepción del Uruguay fueron cuatro veces más altas que las de otras localidades. La concentración promedio de herbicidas totales en músculo fue de 6,8 µg/kg p.h. y la máxima (153,7 µg/kg p.h.) se observó en una muestra de sábalo de Concepción del Uruguay. Ninguna de las muestras de músculo superó los MRLs del *Codex* para imazetapir, acetocloro o 2,4D y sólo una (2%) superó el límite establecido por Health Canada para la atrazina. Esto representó una diferencia grande respecto a años previos en los que la atrazina venía superando su MRL en un porcentaje importante de muestras. De acuerdo con la serie histórica, pese a observarse un aumento en el valor máximo de herbicidas totales, esto se explicaría por el descenso del valor de la mediana en casi un orden de magnitud. En función de los resultados obtenidos en 2021, no se requerirían acciones respecto a los herbicidas más que continuar el seguimiento de su comportamiento para analizar si esta disminución se confirma o es sólo transitoria.

- En cuanto a los fungicidas, de los 17 compuestos analizados, la frecuencia de detección fue del 95% en músculo y del 89% en hígado, siendo 6 y 3 el mayor número de fungicidas en una muestra de músculo o hígado, respectivamente. El ciproconazol y el epoxiconazol fueron los más relevantes en cuanto a la frecuencia (>50%), mientras que el tebuconazol lo fue en cuanto a las concentraciones promedios y máximas. Al igual que para los herbicidas, no se observaron diferencias significativas en las concentraciones promedio de fungicidas totales entre tejidos y, en el músculo, debido a la gran variabilidad, tampoco hubo diferencias entre especies y localidades. Sin embargo, las bogas y los sábalos mostraron concentraciones más de tres veces mayores que las de los dorados y las concentraciones de las muestras de Mocoetá y Puerto Yerúa fueron cinco veces más altas que las de Concepción del Uruguay y Villa Paranacito. La concentración promedio de fungicidas totales en músculo fue de 36,07 µg/kg p.h. y la máxima (616,3 µg/kg p.h.) se observó en una muestra de boga de Mocoetá. Según los MRLs establecidos en el *Codex* para los fungicidas analizados, sólo excedieron sus límites el tebuconazol y el ciproconazol en el 7% y 5 % de las muestras. De acuerdo con la serie histórica de la CARU, de un modo semejante a los herbicidas, los valores máximos de fungicidas totales en músculo estuvieron cercanos a los máximos históricos, pero la mediana entre los más bajos detectados. En función de los resultados obtenidos, los fungicidas no representaron un riesgo importante durante 2021 por lo que no se requerirían otras recomendaciones que continuar su relevamiento para seguir analizando su comportamiento y detectar posibles nuevos aumentos de las concentraciones como en el periodo 2014/16.
- En el relevamiento 2021 se analizaron 8 metales, de los cuales Co, Cu, Ni, y Zn se midieron por primera vez. Al menos 5 o 7 metales se detectaron en alguna muestra de músculo o hígado, respectivamente, y hasta 8 en una misma muestra de ambos tejidos. El número promedio fue significativamente mayor en el hígado. De los metales no esenciales, el Hg fue el más relevante por frecuencia y concentración. Salvo para el Pb, las concentraciones promedio de todos los metales mostraron diferencias significativas entre tejidos, siendo las de Cd, Co, Cu, Hg y Zn mayores en el hígado y las de Cr y Ni mayores en el músculo. Las concentraciones promedio de Co, Hg y Zn en músculo difirieron significativamente

entre especies, siendo mayores las de Co en sábalo, las de Hg en dorado, respecto a las demás especies, y las de Zn en boga respecto a dorado, con el sábalo en un nivel intermedio. En el caso del Hg esta diferencia está claramente asociada al fenómeno de biomagnificación del metal a través de la red trófica. Las concentraciones promedio de Co, Cr, Cu y Ni en las muestras de músculo variaron con la localidad, siendo significativamente mayores en Concepción del Uruguay respecto a Mocoretá y Puerto Yerúa, con Villa Paranacito mostrando valores intermedios, indicando algún fenómeno particular en dicho sector del Río. Las concentraciones promedio (máximas) en músculo fueron para Cd 0,74 (19,2) $\mu\text{g/kg p.h.}$, para Co 23,4 (114) $\mu\text{g/kg p.h.}$, para Cr 208,9 (1956) $\mu\text{g/kg p.h.}$, para Cu 2783 (23160) $\mu\text{g/kg p.h.}$, para Hg $96,8 \pm (688) \mu\text{g/kg p.h.}$, para Ni $81,7 \pm (644) \mu\text{g/kg p.h.}$, para Pb 70,6 (561) $\mu\text{g/kg p.h.}$ y para Zn 3199 (6311) $\mu\text{g/kg p.h.}$. De acuerdo con los MRLs en músculo de peces establecidos para estos metales en legislaciones nacionales o internacionales los metales que los excedieron fueron el Cr en el 48% de las muestras, el Hg en el 42% de las muestras para el MRL de 500 $\mu\text{g/kg}$, pero ninguna el MRL de 1000 $\mu\text{g/kg}$, y el Pb y Cu en el 7% de las muestras. Las series temporales para los cuatro metales que históricamente se han venido analizado desde 2014 (Cd, Cr, Hg y Pb) muestran un comportamiento diferente para cada metal, con un pico de concentraciones máximas y mediana para el Cd durante 2018 y luego valores en general por debajo de los límites de detección, el comportamiento inverso para el Cr, con valores mínimos en 2018 y en incremento hacia 2021, el Hg con valores en reducción desde 2015/17 con valores máximos y de mediana (excepto 2014) en 2021 entre los más bajos de la serie histórica y el Pb con máximos y mediana en aumento con los máximos valores de la serie, en ambos casos, en 2021. Los resultados obtenidos sugieren el seguimiento de las concentraciones de metales, en particular Cr y Hg, sugiriéndose una evaluación de riesgo para evaluar la necesidad de posibles recomendaciones de consumo para estos metales en la región. La evolución de las concentraciones de Pb debe ser seguida con atención dado que, si bien aún no representaría un riesgo significativo, de continuar su tendencia podría representarlo en los próximos años.

- Desde el punto de vista metodológico, los cambios propuestos desde 2019 en el diseño y la metodología de muestreo han redundado en un análisis más robusto de la información colectada en las campañas de relevamiento. El enfocar el esfuerzo en un menor número de especies, pero con un mayor número de muestras por sitio, permitió identificar patrones que en los relevamientos de años anteriores no eran posibles de identificar debido a la gran variabilidad de los resultados. La utilización de artes de pesca complementarias a las utilizadas en el Subprograma de Relevamiento de la Ictiofauna de la CARU, han permitido asegurar el número de bogas y sábalos capturados en cada localidad de muestreo de acuerdo con el diseño propuesto. Para el dorado, aún resulta un desafío lograr ese número para la comparación entre localidades, aunque el número total de capturas siempre es suficiente para comparar entre especies. Trabajar sólo con peces capturados en las redes aún con vida y anestesiados inmediatamente en agua-hielo y mantenidos así hasta su traslados y disección, ha mejorado el número de analitos detectados y la reproducibilidad de los resultados. La introducción de controles de calidad ha provisto de mayor confianza al momento de informar los resultados.

Como conclusiones generales es posible afirmar que: i) la campaña de muestreo de invierno de 2021 se ha podido realizar exitosamente y que la información que ha brindado permitió conocer el nivel de acumulación de 127 sustancias de relevancia ambiental en tres especies de interés pesquero en el Río Uruguay, ii) respecto a 2019 se observó un leve descenso en las concentraciones medias de PCBs, POCs, insecticidas piretroides, herbicidas, fungicidas y Hg, pero una tendencia inversa para PBDEs, insecticidas organofosforados e insecticidas de nueva generación y algunos metales como el Cr y el Pb, iii) respecto a los MRLs establecidos en legislaciones internacionales y nacionales y las concentraciones detectadas en las muestras de músculo, aún son relativamente bajos los porcentajes de excedencia indicando un riesgo moderado o bajo para el consumo de las especies de peces del Río Uruguay estudiadas. Para las sustancias particularmente mencionadas, sería recomendable la elaboración de evaluaciones de riesgo que, en base a las concentraciones halladas, sus ADIs y los patrones de consumo en la región, permitan establecer medidas de manejo del recurso más precisas para el Río Uruguay.

6. REFERENCIAS

- CARU, 2013. Informe Bienal 2012-2013 – PROGRAMA DE CONSERVACIÓN DE LA FAUNA ICTICA Y LOS RECURSOS PESQUEROS DEL RÍO URUGUAY. Subcomisión de Pesca y otros recursos vivos, Comisión Administradora del Río Uruguay, Paysandú, pp. 308.
- CARU, 2014. Informa Anual 2014 - PROGRAMA DE CONSERVACIÓN DE LA FAUNA ICTICA Y LOS RECURSOS PESQUEROS DEL RÍO URUGUAY. Subcomisión de Pesca y otros recursos vivos, Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU), Paysandú, pp. 208.
- CARU, 2016. Informe Bienal 2015-2016 - PROGRAMA DE CONSERVACIÓN DE LA FAUNA ICTICA Y LOS RECURSOS PESQUEROS DEL RÍO URUGUAY - Residuos de Contaminantes en Peces del Río Uruguay. Subcomisión de Pesca y otros recursos vivos, Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU), Paysandú, pp. 29.
- CARU, 2018. Informe Bienal 2017-2018 - PROGRAMA DE CONSERVACIÓN DE LA FAUNA ICTICA Y LOS RECURSOS PESQUEROS DEL RÍO URUGUAY - Residuos de Contaminantes en Peces del Río Uruguay, Paysandú, pp. 43.
- EFSA, 2011. Scientific Opinion on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Food. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). European Food Safety Authority. EFSA Journal; 9: 2156-2172.
- FAO, 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FAO, Fisheries Circular. No. 764. <http://www.fao.org/docrep/014/q5114e/q5114e.pdf>, Rome, pp. 108.
- FDA, 2001. Fish and Fishery Products Hazards and Controls Guidance. Fourth Edition. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, Gainesville, pp. 476.
- Helsel D.R., Hirsch R.M., 2002. Statistical methods in water resources. Statistical methods in water resources.
- Metcalf T.L., Metcalfe C.D., 1997. The trophodynamics of PCBs, including mono- and non-ortho congeners, in the food web of North-Central Lake Ontario. Sci. Total Environ.; 201: 245-272.
- Miglioranza K.S.B., Aizpún de Moreno J.E., Moreno V.J., 2003. Dynamics of organochlorine pesticides in soils from a southeastern region of Argentina. Environ. Toxicol. Chem.; 22: 712-717.
- UFDA, 1993. Guidance document for nickel in shell fish. Food and Drug Administration (FDA), DHHS/PHS/FDA/CFSAN/Office of seafood, Washington D.C.
- USEPA, 2000. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories. Volume 2, Third edition. Risk Assessment and Fish Consumption Limits. Office of Water. EPA 823-B-99-008, Washington, DC.