



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

***ACTIVIDAD: ANÁLISIS DE RESIDUOS DE CONTAMINANTES EN TEJIDOS DE  
PECES DEL RÍO URUGUAY***

**INFORME PERIODO 2015-2016**

Pedro Carriquiriborde<sup>1,2</sup> y Mónica Spinetti<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> CARU-Comisión Administradora del Río Uruguay Secretaría Técnica Av. Costanera S/N° Paysandú República Oriental del Uruguay CC 57097., <sup>2</sup>Instituto Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (CIMA), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad de La Plata (CONICET - UNLP), <sup>3</sup>Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA- MGAP).

[Correspondencia: Pedro Carriquiriborde [pcarriquiriborde@gmail.com](mailto:pcarriquiriborde@gmail.com)]

## 1. INTRODUCCIÓN

En el Tema E4 del Capítulo 2, Sección 1, del Digesto de la CARU, se establece como propósito de la Comisión “Conservar y preservar los recursos vivos del Río a fin de asegurar el uso sustentable de los mismos”. Atendiendo a tal propósito, desde la Subcomisión de Pesca y otros Recursos Vivos, a partir de 2006 se ha establecido un “Programa de Relevamiento de Residuos de Contaminantes en Peces del Río Uruguay”. Dicho seguimiento tiene el propósito de proporcionar información útil que permita tanto conocer el estado de salud del recurso como el de su aptitud para el consumo, y establecer recomendaciones y medidas para su protección, conservación, uso sustentable y consumo seguro.

En su comienzo, el programa se había enfocado particularmente en el análisis de las concentraciones de contaminantes orgánicos persistentes como los bifenilo policlorados (PCBs) y plaguicidas organoclorados. Luego en 2014 se amplió el relevamiento a otros grupos de plaguicidas ampliamente utilizados en la región, así como también a metales pesados comúnmente vinculados a problemas de contaminación acuática.

## 2. OBJETIVO

El objeto del presente informe es el de dar a conocer los resultados obtenidos a partir de los relevamientos realizados durante los años 2015 y 2016, ello incluye datos de concentración en músculo de diferentes especies de peces del Río Uruguay de más de 150 compuestos, entre los que se incluyen PCBs, PBDEs, plaguicidas organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, herbicidas y fungicidas, y metales pesados (Cd, Cr, Hg y Pb).

## 3. METODOLOGÍA

En el periodo informado, se analizaron muestras provenientes de dos campañas de muestreo, una realizada en abril de 2015 y otra en octubre de 2016. Las campañas fueron programadas de acuerdo al Programa de Relevamiento de la Ictiofauna” de la CARU. Las localidades de muestreo se indican en el mapa de la [Figura 1](#). Todas ellas se hallan en el tramo del Río Uruguay bajo jurisdicción de la CARU y representativamente tanto en el margen argentino como uruguayo. En 2015 se tomaron muestras de 10 localidades: Bella Unión, Mocoretá, Arapey, Puerto Yeruá, Guaviyú, Concepción del Uruguay, Nuevo Berlín, Gualaguaychú, San Salvador y Villa Paranacito, mientras que en 2016 sólo 8, salteándose Concepción del Uruguay y Nuevo Berlín. Las principales especies de peces incluidas en el relevamiento son el sábalo (*Prochilodus lineatus*), la boga (*Megaleporinus obtusidens*) y el dorado (*Salminus brasiliensis*), pero ocasionalmente se incluyeron otras especies como la tararira (*Hoplias malabaricus*), el patí (*Luciopimelodus pati*), surubí (*Pseudoplatystoma corruscans*) y bagre amarillo (*Pimelodus maculatus*).

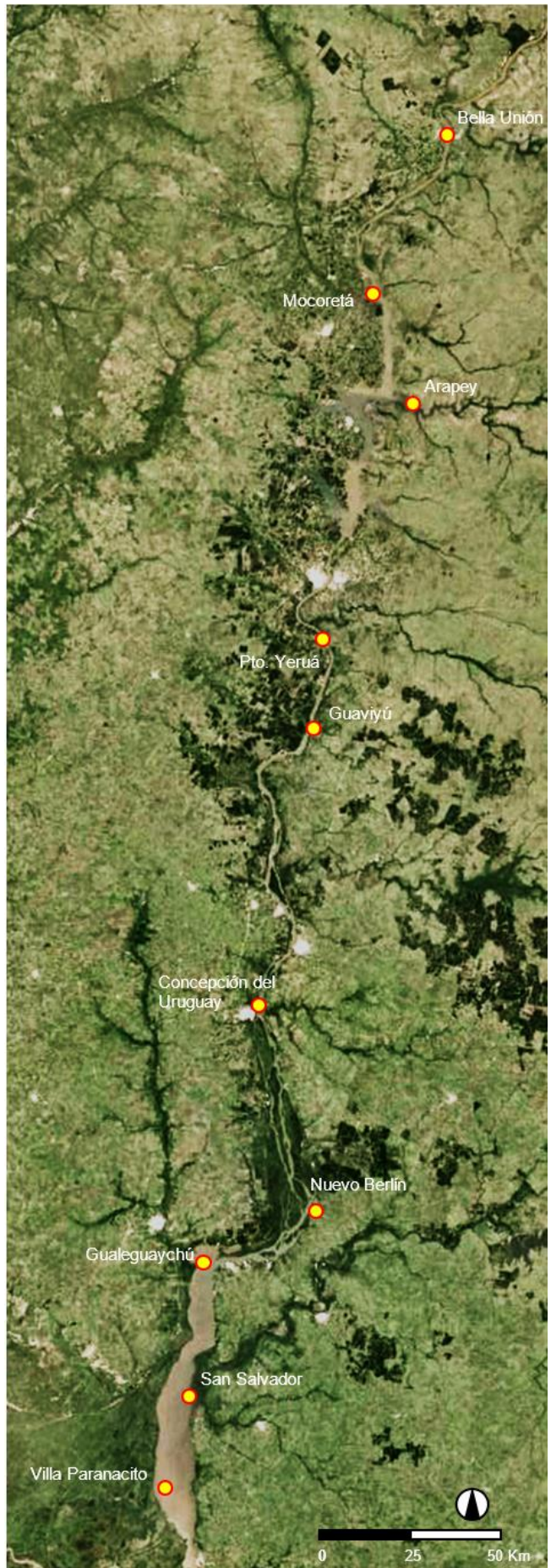
Los peces fueron capturados con diferentes artes de pesca (trenes de agalleras, trampas y red de arrastre). Las artes pasivas se dejaron trabajar durante la noche y el arrastre se realizó a primera hora de la mañana. Se levantaron las redes y las muestras se procesaron apenas se llegó de regreso al campamento.

**Figura 1.** Localidades en las que se realizaron los muestreos durante las campañas de abril de 2015 y octubre de 2016.

Los peces se disectaron sobre tablas de plástico utilizando instrumental de acero inoxidable. Las muestras de músculo (sin piel) se extrajeron de cada uno de los flancos a la altura del lomo, se envolvieron en papel aluminio y se colocaron en bolsas tipo Ziploc. Las muestras se conservaron primero en hielo y luego a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su arribo al laboratorio.

En el laboratorio, para aquellas especies con más de un ejemplar obtenidos de la misma campaña y localidad de muestreo, se confeccionaron muestras compuestas agrupando entre 2 a 5 individuos dependiendo del número de ejemplares capturados y recursos disponibles para los análisis. Dado que los muestreos se realizaron siguiendo la dinámica del Programa de Relevamiento de Ictiofauna, ello implica mantener el mismo esfuerzo de pesca por sitio de muestreo, el número de muestras compuestas por especie y sitio de muestreo dependió de la captura obtenida a partir de dicha unidad de esfuerzo (Tabla 1), no siendo por tanto posible obtener muestra de todas las especies y en igual número para cada localidad y campaña de muestreo. Se priorizó tener al menos una muestra de cada especie seleccionada por localidad y campaña, aunque ello no siempre fue posible.

Las muestras (individuales o compuestas) fueron luego homogenizadas y divididas en cuatro submuestras de 10 gr, una para cada tipo de análisis (PCBs y plaguicidas organoclorados, otros plaguicidas y metales) y otra conservada como respaldo. A excepción de la submuestra para análisis de metales, que directamente se colocaron en bolsas tipo Ziploc, las demás se envolvieron previamente en papel aluminio. Luego se conservaron a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis.



**Tabla 1.** Muestras compuestas analizadas por especie, campaña y localidad.

	Bagre amarillo	Boga	Dorado	Patí	Sábalo	Surubí pintado	Tararira	Total
<b>2015</b>								
<i>Abril</i>	5	14	10	6	14	2	4	55
Bella Unión		2	1		2		1	6
Mocoretá		1			1			2
Arapey		2	2	1	1			6
Puerto Yerúa		1	1			1		3
Guaviyú		1	1					2
Concepción del Uruguay					1			1
Nuevo Berlín		2	1	1	1		1	6
Gualeguaychú	1		1		1			3
San Salvador	1	2	1	2	2		1	9
Villa Paranacito	2	2	1	1	2			8
<b>2016</b>								
<i>Octubre</i>	2	12	13	1	8	1	5	42
Bella Unión		1					2	3
Mocoretá		2	2		2			6
Arapey		3			1	1	2	7
Puerto Yerúa		1	1		1			3
Guaviyú		1	1		1			3
Gualeguaychú		1	3		2			6
San Salvador		1	2		1		1	5
Villa Paranacito	2	2	4	1				9
<i>Total</i>	6	25	22	6	19	2	8	88

Para los análisis químicos, las muestras fueron remitidas a diferentes laboratorios según tipo de analito. Para los análisis de PCBs, PBDEs (éteres de bifenilos polibromados), y plaguicidas organoclorados se enviaron al Laboratorio de Ecotoxicología y Contaminación Ambiental de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Mar del Plata, para otros plaguicidas al Laboratorio de Contaminantes Químicos del Instituto de Tecnología de Alimentos perteneciente al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y para metales al Instituto de Ciencia y Tecnología en Alimentos de Córdoba (ICYTAC) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNCOR) de Argentina en 2015.

Las determinaciones realizadas por el Laboratorio de Ecotoxicología y Contaminación Ambiental incluyeron el análisis de 37 congéneres de PCBs, 7 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 sílica 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 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 0,1 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 vario entre el 80 y el 120%.

Aquellas determinaciones realizadas por el Laboratorio de Contaminantes Químicos del INTA incluyeron el análisis de 50 analitos comprendiendo insecticidas organofosforados, carbamatos, piretroides, neonicotinoides y benzoilureas, además de herbicidas y fungicidas. Determinación y cuantificación por HPLC MS-MS y GC-MS de las muestras recibidas 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 µg/kg y Límite de Cuantificación (LC) 4 µg/kg. Los porcentajes de recuperación estuvieron comprendidos entre el 72% y el 101%.

Los metales analizados en el Instituto de Ciencia y Tecnología en Alimentos de Córdoba fueron cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg) y plomo (Pb). Las muestras fueron mineralizadas por digestión ácida y luego los metales analizados por ICP-MS. Los límites de detección y cuantificación para los mencionados metales fueron en µg/kg: 2.19 y 6.64, 3.20 y 9.70, 18.84 y 50.98, y 0.88 y 2.67, respectivamente.

Los resultados se expresan como µg/kg músculo peso húmedo para los contaminantes orgánicos y en mg/Kg peso húmedo para los metales, presentándose como el promedio ±error estándar, salvo se indique de otra manera. Las diferencias estadísticas entre años se evaluaron mediante la prueba T de Student, mientras que las diferencias entre localidades y especies se evaluaron mediante la prueba de ANOVA. El valor de significancia escogido fue de un  $p < 0,05$ .

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

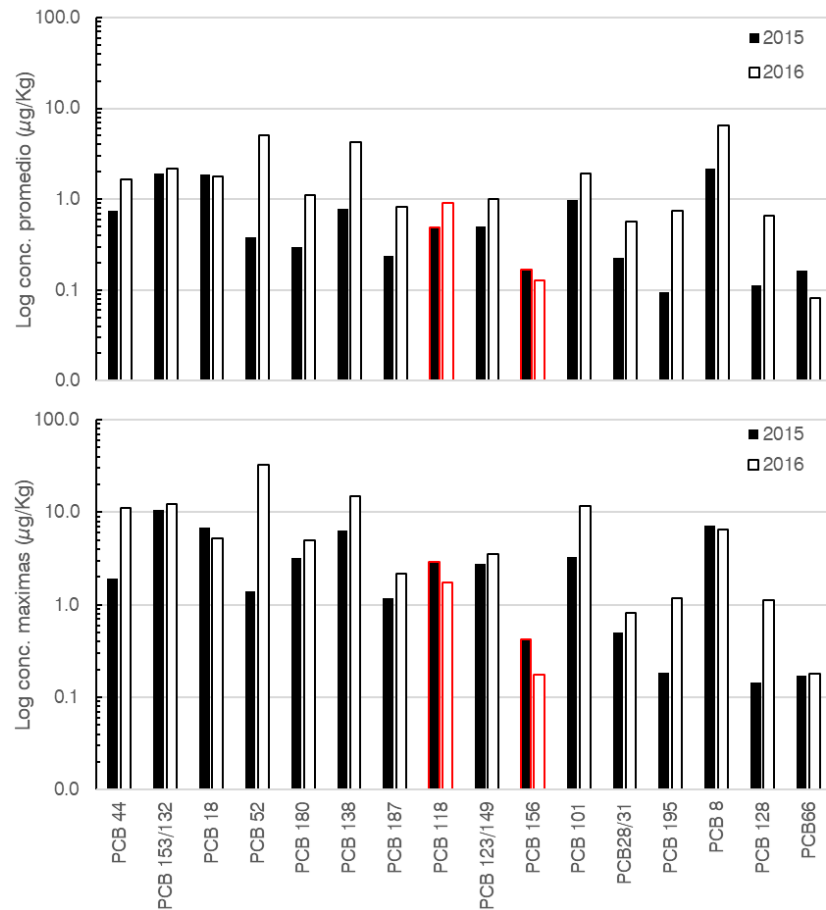
### 4.1. PCBs

Las determinaciones de PCBs en los músculos de las especies estudiadas mostró que la ocurrencia de estos compuestos es ubicua, habiéndose detectado al menos un congénere en todas las muestras analizadas. Las concentraciones promedio y máximas de PCBs totales fueron 32,6 y 6,4±0,82 µg/kg en 2015 y 65,7 y 11,4±2,65 µg/kg. Pese a la dispersión las concentraciones, los valores promedio resultaron significativamente mayores ( $p=0,041$ ) en 2016.

Los congéneres más frecuentes fueron los PCB#44, 153/132, 18, 52, 180, 138, 187 y 118. Los dos primeros con frecuencias mayores al 75% en las dos campañas de muestreo y el 18 sólo en 2015. Los demás por sobre el 50% pero sólo en 2015. Ello muestra que las frecuencias de ocurrencia fueron mayores en 2015, pero las concentraciones promedio más elevadas en 2016. En la [Figura 2](#), se muestran las concentraciones máximas y promedio para los congéneres detectados, diferenciando entre aquellos congéneres “similares a dioxinas” y “no similares a dioxinas”.

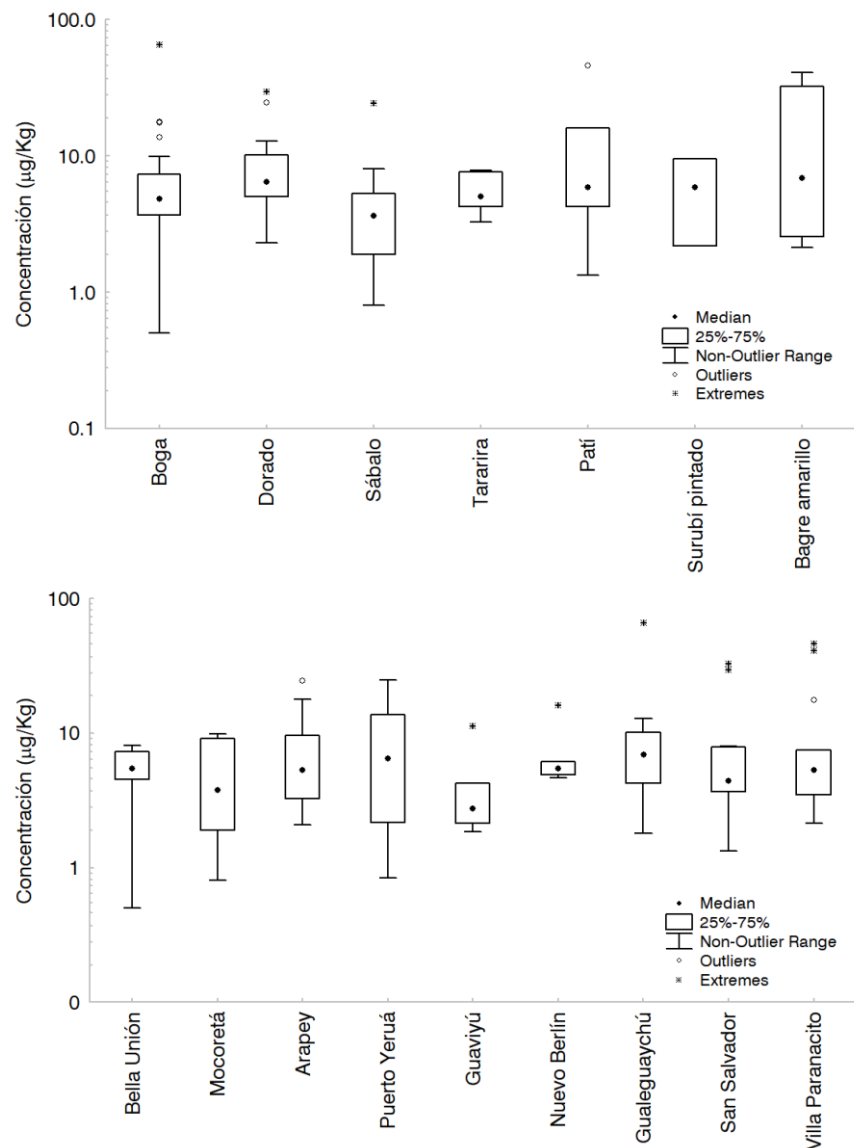
**Figura 2.**  
Concentraciones promedio y máximas de los congéneres de PCBs detectados en músculo de peces del Río Uruguay.

Congéneres no similares a dioxinas: línea negra;  
congéneres similares a dioxinas: línea roja.



En cuanto a las concentraciones de PCB totales entre las diferentes especies y localidades (Figura 3) no se observaron diferencias significativas para ninguno de los dos casos.

**Figura 3.** Concentración de PCBs totales en músculo de peces del río Uruguay por especie y por localidad.

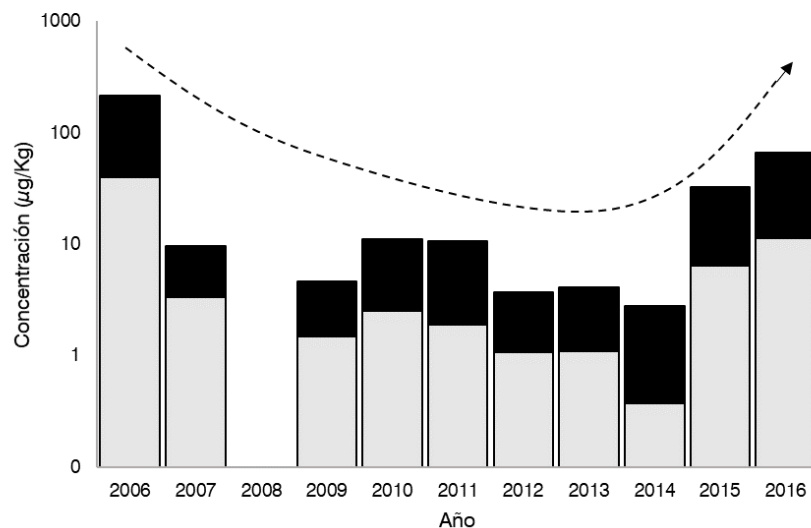


La especie que presentó las concentraciones promedio más elevadas fue el bagre amarillo ( $17,0 \pm 4,75 \mu\text{g/kg}$ ) seguido de patí ( $13,3 \pm 4,34 \mu\text{g/kg}$ ), el dorado ( $9,2 \pm 2,66 \mu\text{g/kg}$ ) y la boga ( $8,6 \pm 2,17 \mu\text{g/kg}$ ). La especie con las menores concentraciones promedio fue el sábalo ( $5,0 \pm 2,44 \mu\text{g/kg}$ ). Estos resultados muestran a las especies de hábito bentónico y amplio espectro trófico como aquellas más susceptibles a acumular PCBs, seguidas de un predador tope, debido a la conocida capacidad de estos compuestos a biomagnificarse. El sábalo, especie pelágica que se alimentan de detritos, mostró los menores valores de acumulación. La boga en promedio mostró valores promedio bajos ( $8,6 \pm 2,2 \mu\text{g/kg}$ ) en relación con su hábito omnívoro con un porcentaje de vegetales en la dieta. Sin embargo, resulta interesante notar que también mostró los valores extremos más elevados dado que, al igual que el bagre amarillo, cada vez es más común que algunos individuos presenten abundantes cantidades de mejillón dorado, molusco bivalvo filtrador de fondo, en su contenido estomacal.

En cuanto a las localidades, si bien las diferencias no fueron significativas, los valores promedio más altos de PCBs totales se encontraron, por un lado, en las localidades ubicadas más hacia el sur, más próximos al Río de la Plata, y por otro, en las localidades aguas arriba y aguas debajo de la presa de Salto Grande, circundando a las ciudades de Concordia (RA) y Salto (ROU). En orden descendente, los valores promedio para las 5 localidades con concentraciones más elevadas fueron: Gualeguaychú  $13,74 \pm 3,86$ , Villa Paranacito  $11,12 \pm 2,92 \mu\text{g/kg}$ , Puerto Yerúa  $9,09 \pm 4,46 \mu\text{g/kg}$ , San Salvador  $8,83 \pm 3,03 \mu\text{g/kg}$  y Arapey  $7,60 \pm 3,29 \mu\text{g/kg}$ .

Las concentraciones de PCBs totales en el músculo de los peces del Río Uruguay se han venido monitoreando en la actividad de Residuos de Contaminantes en Peces desde 2006 (Figura 4). Hasta 2014 se había observado un descenso sostenido de los valores de PCBs en los peces. Sin embargo, en 2015 pareciera haberse revertido la tendencia con un aumento de las concentraciones máximas y promedio. Considerando que a partir de 2001 luego de firmado el Convenio de Estocolmo se promovió la eliminación y restricción de Contaminantes Orgánicos Persistentes y que en consecuencia la producción, importación y comercialización de PCBs ha sido prohibida (incluyendo la eliminación de los aparatos que lo contengan) en Argentina desde 2002 (LEY 25670/02, Presupuestos mínimos para la gestión y eliminación de los PCBs) resulta llamativa la inversión de la tendencia en las concentraciones de PCBs encontrada. Dado que estos compuestos son altamente persistentes en el ambiente, los mismos pueden quedar sepultados e inmovilizados en los sedimentos durante muchos años y ser luego liberados producto de la remoción natural (ej. erosión causada por precipitaciones extremas) o artificial (ej. dragado) de los mismos. Por otro lado, el carácter migratorio de las especies de peces estudiadas es difícil determinar el origen de los mismos, aunque como se comentara anteriormente dado que los mayores valores se registraron en la zona baja del Uruguay, es probable que como ya ha sido reportado por otros autores (Speranza and Colombo, 2009), una parte de los aportes provenga del Río de la Plata próximo al área metropolitana de Buenos Aires. Otras áreas urbano-industriales importantes como Gualeguaychú y Concordia-Salto podrían también explicar las concentraciones más elevadas halladas en los peces capturados en las proximidades de estas localidades.

**Figura 4.** Variación de la concentración máxima (negro) y promedio (gris) de PCBs totales en músculo de los peces del Río Uruguay desde el inicio de su seguimiento en 2006.



En relación con la aptitud para el consumo, en la Tabla 2 se muestran 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). Considerando el valor máximo de concentración de PCBs totales hallado en músculo (65,7 µg/kg en boga) se podría consumir pescado hasta 3 comidas al mes o una comida mes por medio (0,5 comidas al mes) considerando puntos finales no carcinogénicos o carcinogénicos, respectivamente. Si se toma la mediana (valor más frecuente: 5,1 µg/kg) no habría restricción para el consumo para puntos finales no carcinogénicos y se podría comer pescado 8 veces al mes para puntos finales carcinogénicos.



<b>Tabla 2.</b> Límites de consumo de pescado basado en efectos carcinogénicos y no-cancerígenos USEPA 2000.		
Límite para el consumo basado en el riesgo <sup>a</sup>	Puntos finales no-carcinogénicos <sup>b</sup>	Puntos finales carcinogénicos <sup>c</sup>
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
<sup>a</sup> 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)		
<sup>b</sup> efectos sistémicos crónicos		
<sup>c</sup> Los valores para cáncer representan concentraciones en los tejidos a un nivel de riesgo de 1 en 100.000		

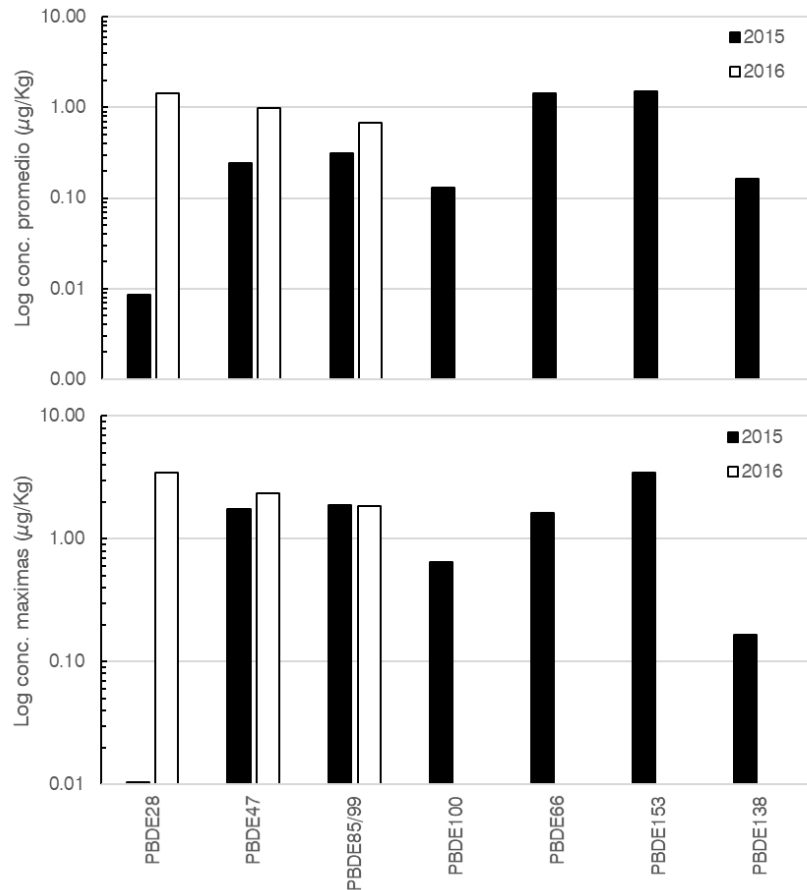
Por otra parte, respecto a los contenidos máximos de PCBs similares y no similares a dioxinas para carnes de peces de agua dulce capturados en estado salvaje que establece la normativa de la Unión Europea (UE 1259/2011) de 6,5 pg/g (ng/Kg) y 125 ng/g (µg/Kg) respectivamente, los valores hallados en las especies del Río Uruguay estuvieron por encima del límite para los PCBs similares a dioxinas en un 89 y 41% de los casos en 2015 y 2016, respectivamente, pero nunca excedieron los límites para los PCBs no similares a las dioxinas. Además, 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).

#### 4.2. PBDEs

Los éteres de bifenilos polibromados (PBDE) son compuestos bromados ampliamente utilizados como retardantes de llama en plásticos y espumas, incluidas las carcasas de plástico de equipos electrónicos. Los PBDE son sustancias hidrofóbicas de relevancia ambiental por su persistencia y capacidad de bioacumularse. Por ello desde 2014 se han incluido en los estudios de Residuos de Contaminantes en Peces de la CARU. Su ocurrencia ha sido ubicua en 2015, detectándose en todas las muestras analizadas, pero la frecuencia se redujo al 60% en el muestreo de 2016. Respecto a las concentraciones promedio y máximas de PBDEs totales, estas fueron 0,6±0,2 y 6,6 µg/kg en 2015 y 1,7±0,3 y 4,6 µg/kg en 2016, resultando los valores promedios significativamente mayores en 2016. En 2015 se registró un valor extremo de 133,6 µg/kg en un patí capturado en Nuevo Berlín, valor aportado principalmente por el congénere PBDE#85/99 (94,15 µg/kg) y PBDE#100 (37,76 µg/kg). Tal individuo fue considerado un valor extremo y excluido del análisis estadístico.

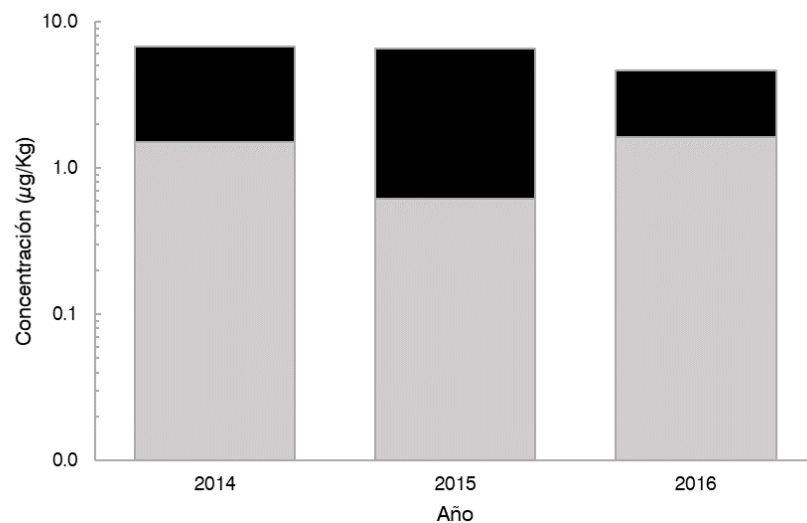
El congénere más frecuente en ambas campañas fue el PBDE#28 con una frecuencia de 100 y 38% en 2015 y 2016, respectivamente. Las concentraciones promedio y máximas para los congéneres detectados se muestran en la Figura 5.

**Figura 5.**  
Concentraciones promedio y máximas de PBDEs en músculo de peces del Río Uruguay.



Las variaciones anuales de las concentraciones promedio y máximas medidas de PBDEs totales en músculo de peces del Río Uruguay desde 2014, no mostraron grandes diferencias ni una tendencia clara manteniéndose generalmente ente 1 y 10 µg/kg (Figura 6).

**Figura 6.** Variaciones anuales de las concentraciones promedio (gris) y máximas (negro) obtenidas para PBDEs totales en músculo de peces del Río Uruguay.



#### 4.3. Plaguicidas organoclorados

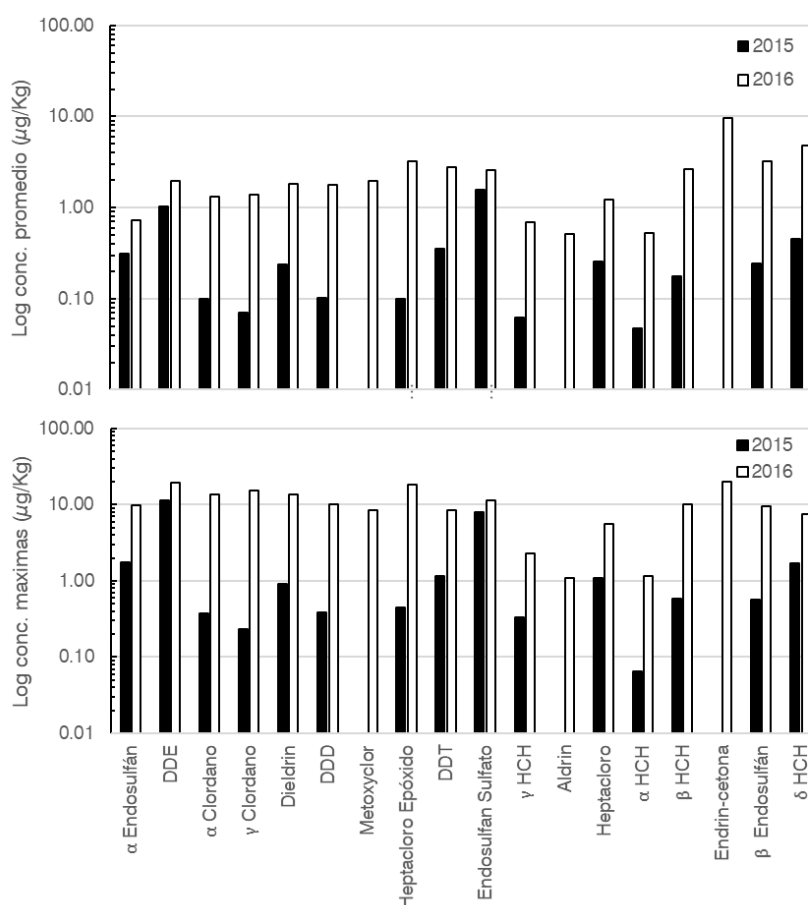
Los plaguicidas organoclorados (POCs) corresponden a un grupo de compuestos que paulatinamente están cayendo en desuso por su prohibición, algunos como el DDT han sido prohibidos ya hace muchos años mientras que para otros como el endosulfán su prohibición es relativamente reciente. Pese a su prohibición

esta familia de compuestos es relativamente persistente por lo que pueden ser todavía encontrados en el ambiente e incluso algunos de ellos podrían estar siendo utilizados de forma ilegal para terminar remanentes de producto almacenado. Además de los compuestos parentales es común encontrar en el ambiente los metabolitos de su degradación como es el caso del DDE y DDD para el DDT o el endosulfán sulfato para el endosulfán.

Durante los relevamientos de 2015 y 2016 la presencia de al menos uno de éste grupo de compuestos en el músculo de los peces analizados fue conspicua en 2015 (100%) y casi conspicua (97%) en 2016. Los POCs más frecuentes en 2015 fueron el  $\alpha$  y  $\beta$  endosulfán y los metabolitos del DDT, DDE y DDD con frecuencias superiores al 75%, mientras que el  $\gamma$ -clordano,  $\delta$  y  $\gamma$ -HCH, dieldrin, heptacloro y heptacloro-hepóxido presentaron frecuencias superiores al 50%. En 2016 los únicos POCs que presentaron frecuencias superiores al 75% fueron el  $\alpha$ -endosulfán y el DDE, mientras que para todos los demás las frecuencias fueron inferiores al 50%.

Las concentraciones promedio y máximas de POCs totales observadas en músculo fueron  $3.08 \pm 0.51$  y  $16.56 \mu\text{g}/\text{kg}$  en 2015 y  $10.1 \pm 5.70$  y  $177.4 \mu\text{g}/\text{kg}$  en 2016. Debido a la gran dispersión estas diferencias no resultaron significativas, pero al analizar cada compuesto individualmente las concentraciones de  $\gamma$ -HCH,  $\delta$ -HCH, dieldrin, heptacloro, heptacloro epóxido, DDT, DDD y  $\beta$ -Endosulfán fueron significativamente mayores en 2016. Las concentraciones promedio y máximas de los POCs individuales pueden verse en la [Figura 7](#). Allí puede observarse claramente que las concentraciones de la mayoría de los POCs fueron mayores en 2016 que en 2015. Las concentraciones promedio y máximas nunca superaron los 10 y 21  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , respectivamente. La diferencia entre el POC con menor y mayor concentración promedio y máxima en 2015 ( $\alpha$ -HCH: 0,05 y 0,07  $\mu\text{g}/\text{kg}$  y endosulfán sulfato: 1,58 y 7,99  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) fue menor que en 2016 ( $\alpha$ -HCH: 0,52 y 1.14  $\mu\text{g}/\text{kg}$  y endrin-cetona: 9,71 y 20,04  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ).

**Figura 7.** Concentraciones promedio y máximas de POCs en músculo de peces del Río Uruguay.



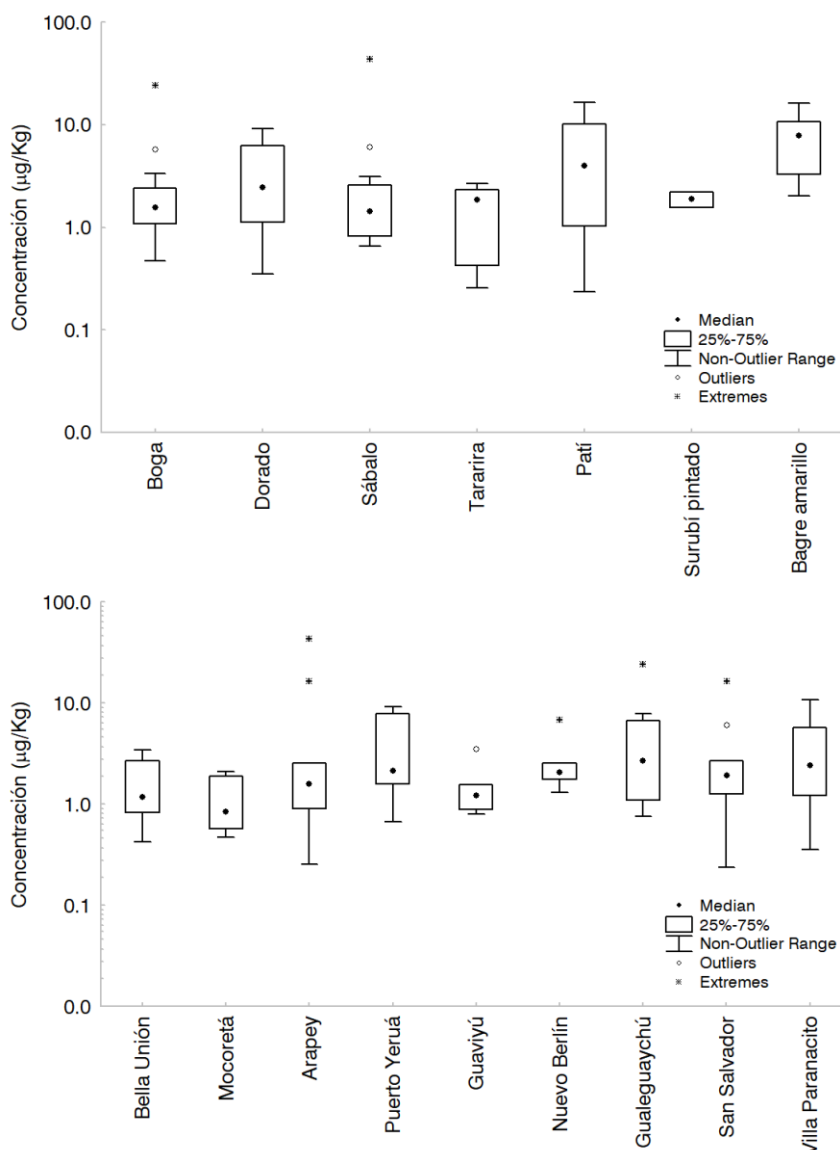
En cuanto a las diferencias de concentración de POCs totales observadas entre especies y localidades de muestreo ([Figura 8](#)), no se observaron diferencias significativas para ninguno de los dos casos. Sin embargo, las especies con mayores valores promedio fueron el dorado ( $14,2 \pm 5,26 \mu\text{g}/\text{kg}$ ), el bagre amarillo

( $8,03 \pm 9,41 \mu\text{g/kg}$ ) y el patí ( $6,00 \pm 8,59 \mu\text{g/kg}$ ), mostrando un patrón similar al de los PCBs, pero encabezado ahora el orden por el predador tope. Sin embargo, la capacidad de biomagnificación de estos compuestos no es clara ya que otras especies ictiófagas como la tararira y el surubí, presentaron valores más bajo, por lo que otros factores como los hábitos y tipo de ítem alimenticio parecieran influir sobre la acumulación de los mismos, tema que para comprenderlo requerirá de estudios específicos.

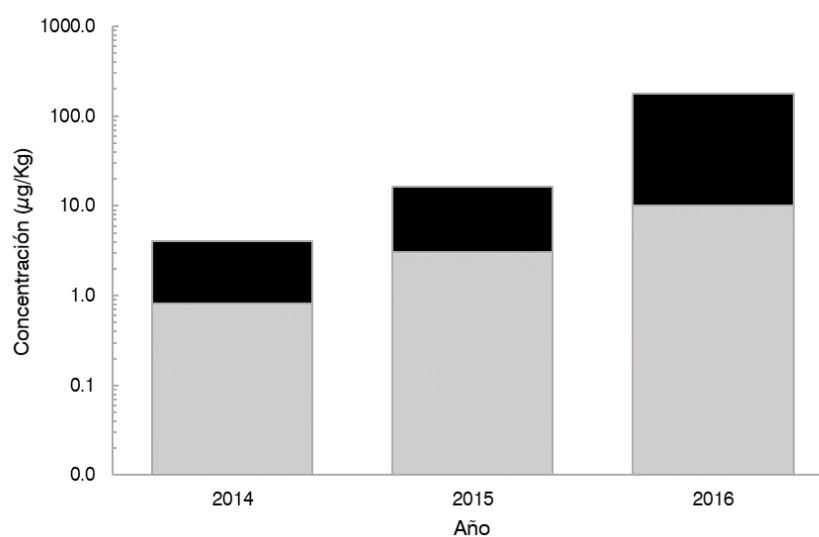
En cuanto a las variaciones de concentración de los POCs totales por localidad, si bien no se halló una relación general, se observó un patrón semejante al descrito para los PCBs, donde las mayores concentraciones se obtuvieron en el sector del Bajo Uruguay (San Salvador:  $16,58 \pm 5,88 \mu\text{g/kg}$ , Gualeguaychú:  $5,75 \pm 7,50 \mu\text{g/kg}$ , Villa Paranacito:  $3,73 \pm 5,67 \mu\text{g/kg}$ ) y aguas arriba y debajo de la presa de Salto Grande (Arapey:  $6,64 \pm 6,39 \mu\text{g/kg}$  Yerúa:  $3,91 \pm 8,66 \mu\text{g/kg}$ ), mientras que para los demás sitios las concentraciones promedio variaron entre 1 y  $3 \mu\text{g/kg}$ .

En la [Figura 9](#) se muestra la variación temporal de las concentraciones promedio y máximas de POCs totales en músculo de peces del Río Uruguay desde 2014. Puede observarse un incremento de aproximadamente un orden de magnitud en los valores promedio registrados desde 2014 ( $\approx 1 \mu\text{g/kg}$ ) a 2016 ( $\approx 10 \mu\text{g/kg}$ ). Sin embargo, si se toman como referencia las concentraciones máximas permitidas por la el CODEX o las FDA para diferentes POCs ( $200\text{-}5000 \mu\text{g/kg}$ ), los valores observados en el musculo de los peces del Río Uruguay estaría aún muy lejos de dichos valores, incluso expresados com POCs totales.

**Figura 8.** Concentraciones de POCs totales detectadas en las diferentes especies y localidades estudiadas.



**Figura 9.** Variación de la concentración promedio (gris) y máxima (negro) de POCs totales en músculo de peces del Río Uruguay desde 2014.



En cuanto a las concentraciones observadas en el músculo de los peces del Río Uruguay y las recomendaciones para la aptitud para el consumo humano, la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) en el *Codex Alimentarius* posee un apartado especial para plaguicidas. En particular para los estudiados a excepción del Lindano (hexaclorociclohexanos) cuyo Límite Máximo de Residuos (MRL) para peces es de 10 µg/kg, para el resto de los plaguicidas organoclorados no existe una MRL regulado para carne de peces. Si se toma como referencia los MRL regulados para carne de pollo o mamíferos los mismos son: 500 y 50 µg/kg de clordano, 200 y 200 µg/kg de heptacloro, 300 y 5000 µg/kg de DDT, 30 y 200 µg/kg de endosulfán y 100 µg/kg de endrín. De las 78 muestras compuestas analizadas en el relevamiento de 2015 y 2016 sólo una muestra de dorado colectada en San Salvador en 2016 excedió simultáneamente los MRLs para lindano y endosulfán presentando valores de lindano (sumatoria de todos los isómeros) de 20,62 µg/kg y de endosulfanes (sumatoria de los dos isómeros y el metabolito) de 30,33 µg/kg, por lo que puede ser considerado sólo un caso excepcional.

#### 4.4. Insecticidas

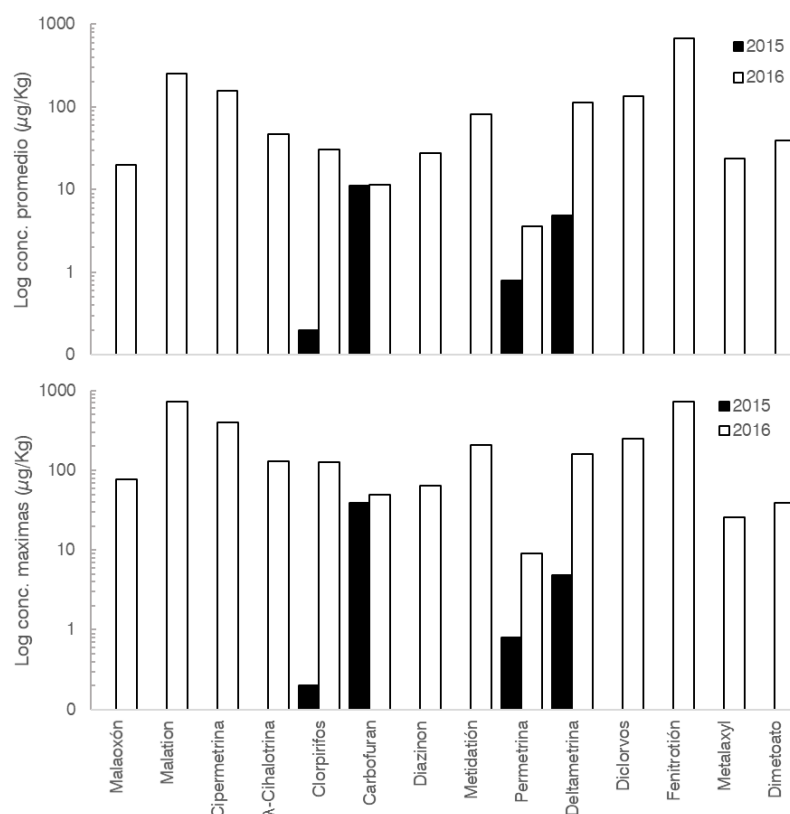
Los plaguicidas incluyen a un conjunto de compuestos biocidas diseñados para controlar insectos nocivos para los cultivos, los animales o incluso para el hombre. En particular los insecticidas han sido diseñados para combatir a insectos perjudiciales para la producción o la salud humana o de mascotas.

En los relevamientos de residuos de contaminantes en peces del Río Uruguay de 2015 y 2016 se determinó la concentración en músculo de 32 insecticidas. Entre ellos se analizaron 7 piretroides, 4 carbamatos, 17 organofosforados, 1 neonicotinoides, 1 regulador del crecimiento de los insectos, 1 inhibidor de la muda y 1 ovicida y larvicida. De los 32 insecticidas analizados sólo 15 fueron detectados en alguna de las dos campañas. Los piretroides, carbamatos y organofosforados fueron las únicas familias de insecticidas detectadas en ambas campañas con frecuencias de 13%, 17% y 17% en 2015 y 66%, 31% y 94% en 2016, respectivamente, siendo sensiblemente menores en 2015 que en 2016 para todos los grupos. Sólo el malatión, el malaoxón y la cipermetrina fueron detectados individualmente con frecuencias mayores al 50% y sólo en la campaña de 2016.

Las concentraciones promedio para cada familia de insecticidas entre 2015 y 2016 fueron respectivamente  $3.49 \pm 69.79$  µg/kg y  $169.16 \pm 30.46$  µg/kg para los piretroides,  $11.31 \pm 7.71$  µg/kg y  $11.50 \pm 4.87$  µg/kg para los carbamatos y  $0.2 \pm 0.46$  µg/kg y  $306.74 \pm 45.06$  µg/kg los organofosforados, siendo dichos valores significativamente diferentes entre años para piretroides ( $p=0.040$ ) y organofosforados ( $p=0.028$ ). Las concentraciones promedio y máximas para los insecticidas individuales detectados se muestran en la [Figura 10](#). Las mismas oscilaron entre 731 µg/kg (malatión) y 0,2 µg/kg (clorpirifós).



**Figura 10.** Concentraciones promedio y máximas de los insecticidas individuales detectados en el músculo de los peces del Río Uruguay.



Las variaciones de las concentraciones de insecticidas entre especie se muestran en la [Tabla 2](#):

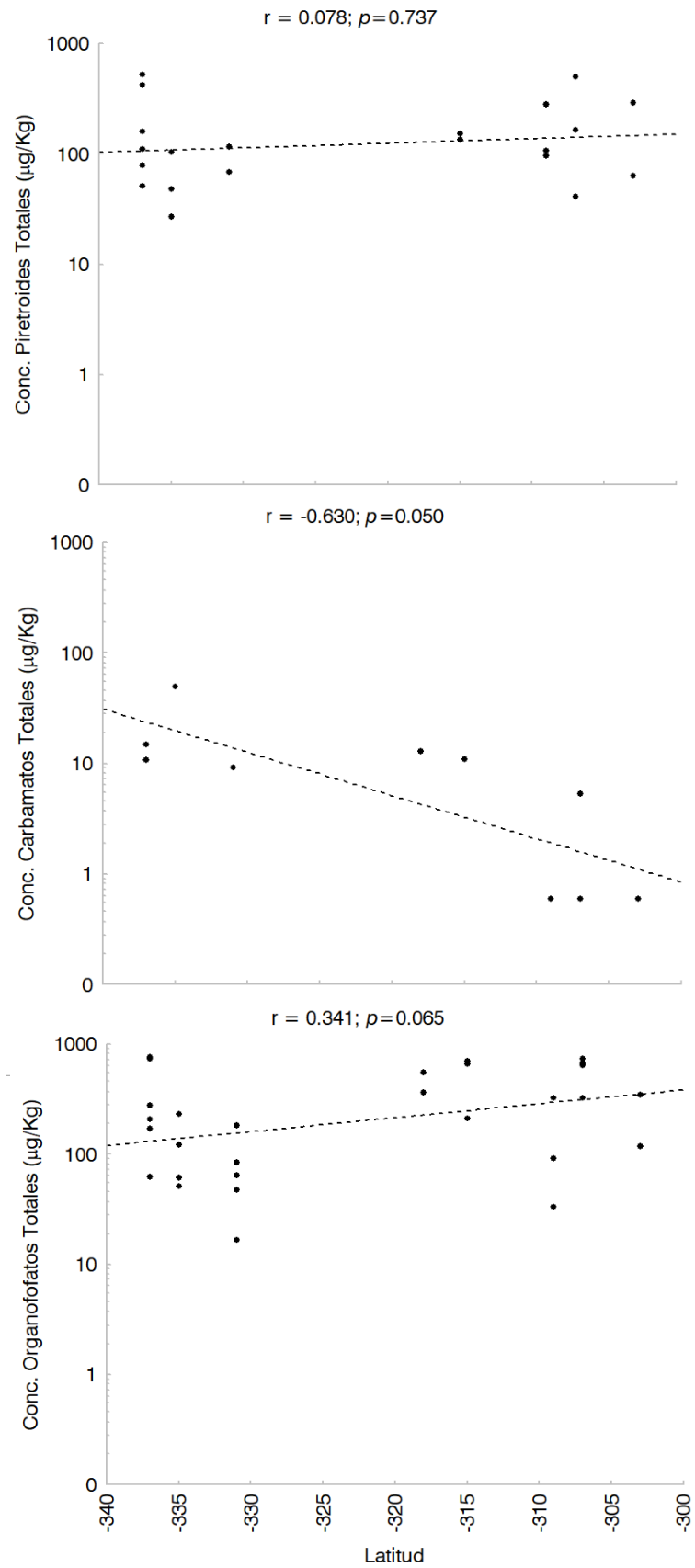
**Tabla 2.** Concentraciones promedios ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) de insecticidas detectados por especies.

	Piretroides			Carbamatos			Organofosforados		
	Promedio	SE	n	Promedio	SE	(n)	Promedio	SE	(n)
Patí	110,2±	168,4	(1)	10,8±	16,3	(1)	277,8±	273,9	(1)
Dorado	240,7±	68,8	(6)	12,9±	11,5	(2)	291,8±	103,5	(7)
Boga	141,1±	84,2	(4)	5,0±	9,4	(3)	395,2±	86,6	(10)
Sábalo	151,2±	75,3	(5)	20,9±	9,4	(3)	329,5±	96,8	(8)
Tararira	163,7±	97,3	(3)	0,6±	16,3	(1)	142,9±	158,1	(3)
Bagre amarillo	79,2±	168,4	(1)	ND		(1)	172,1±	273,9	(1)
Surubí pintado	107,0±	168,4	(1)	ND		(1)	ND		(1)

ND: no detectado

No se observaron diferencias significativas entre especies para ninguna de las familias de insecticidas, ello por un lado se debió a la gran variabilidad entre las concentraciones medidas entre individuos de una misma especie, pero también indicaría que, dados los diferentes hábitos de las especies estudiadas, no existiría un fuerte componente trófico que determine las concentraciones de los insecticidas.

**Figura 11.** Relación entre la concentración de insecticidas en el músculo de peces del Río Uruguay y la latitud de la localidad donde fueron capturados los ejemplares.

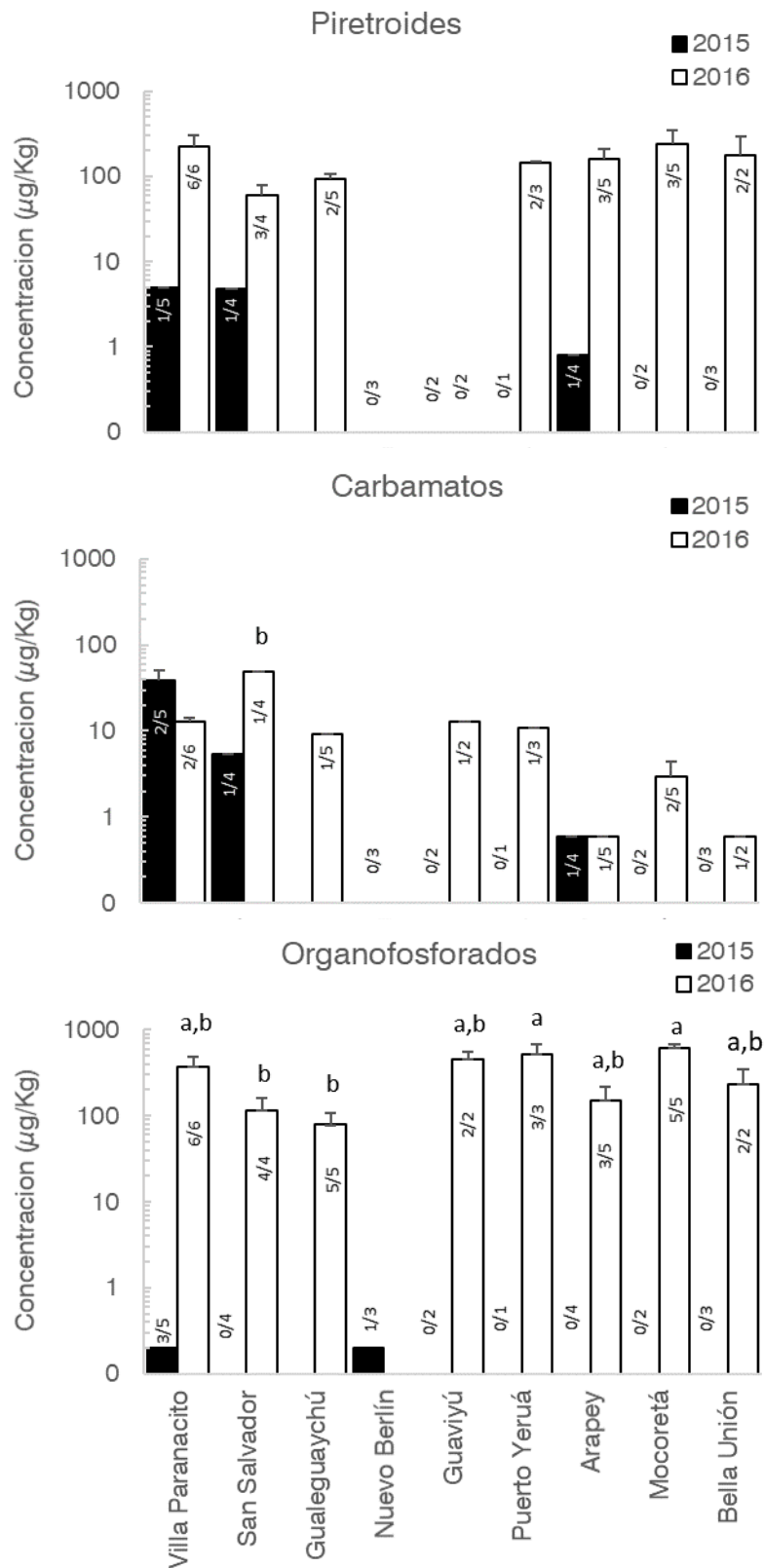


La relación entre las concentraciones de los insecticidas en el músculo de los peces colectados en 2016 y la latitud de la localidad se muestra en la [Figura 11](#). Sólo se sometieron al análisis los datos de 2016 debido a que para la mayoría de los grupos de insecticidas los mismos difirieron significativamente entre años y el

número de detecciones en 2015 fue muy bajo. Puede observarse una clara disminución, casi significativa, para las concentraciones de carbamatos en los peces colectados en las localidades ubicadas más hacia el norte, mientras que una tendencia opuesta se observó para los organofosforados y en menor medida para los piretroides.

**Figura 12.** Concentración promedio de los principales grupos de insecticidas detectados en músculos de peces del Río Uruguay por localidad de muestreo.

Los números en las barras indican la cantidad de muestras con valores detectables/no detectables. Letras diferentes indican diferencias significativas entre sitios muestreados en 2016.



En cuanto a las diferencias entre localidades ([Figura 12](#)), no se halló un efecto general de este factor sobre las concentraciones detectadas en las muestras de músculo. Sin embargo, para los carbamatos totales se observó que, en la campaña de 2016, los valores medidos en la muestra compuesta de peces capturados en San Salvador ( $49,29 \pm 3,09 \mu\text{g/kg}$ ) fueron significativamente superiores a los de los peces capturados en los demás sitios. En el caso de los organofosforados, ocurrió algo semejante, pero con los peces capturados en las localidades que presentaron los valores más elevados, como Mocoretá ( $606,46 \pm 86,11 \mu\text{g/kg}$ ) y Puerto Yeruá ( $524,06 \pm 111,16 \mu\text{g/kg}$ ) difirieron de las que presentaron los valores más bajos como Arapey ( $112,58 \pm 96,27 \mu\text{g/kg}$ ), Gualaguaychú ( $78,97 \pm 86,11 \mu\text{g/kg}$ ) y San Salvador ( $116,81 \pm 96,27 \mu\text{g/kg}$ ). No se hallaron diferencias entre sitios para los piretroides. Estos resultados indicarían que, pese a la movilidad de la mayoría de las especies miradoras estudiadas, pueden observarse escenarios locales donde las concentraciones de los insecticidas, dependiendo del grupo, puedan ser particularmente elevadas.

Respecto a los residuos de los insecticidas estudiados en el músculo de peces del Río Uruguay y la aptitud para el consumo humano, debe mencionarse que no existen MRLs establecidos en el *Codex Alimentarius* establecidos por la FAO para peces. Si se toman como referencia los MRLs en otras carnes, como aves o mamíferos, se observa que ninguna de las muestras de 2015 excedió dichos límites. En cambio, en 2016, el 5 y 14% de las muestras excedieron, respectivamente, los MRLs para los piretroides deltametrina y cipermetrina en carne aves ( $10 \mu\text{g/kg}$ ), pero no de mamíferos ( $500$  y  $2000 \mu\text{g/kg}$ ).

En el caso de los organofosforados, un porcentaje relativamente bajo (entre 2 y 5 %) de las muestras excedieron los MRLs para diclorvos, dimetoato ( $10 \mu\text{g/kg}$ ), metidation ( $20 \mu\text{g/kg}$ ) y fenitrotión ( $50 \mu\text{g/kg}$ ). Por otro lado, un porcentaje mayor (21 y 38%) de las muestras excedieron los MRLs de clorpirifós y malatión en carne aves ( $10 \mu\text{g/kg}$ ), pero no el de carne de mamíferos ( $1000$  y  $25000 \mu\text{g/kg}$ ).

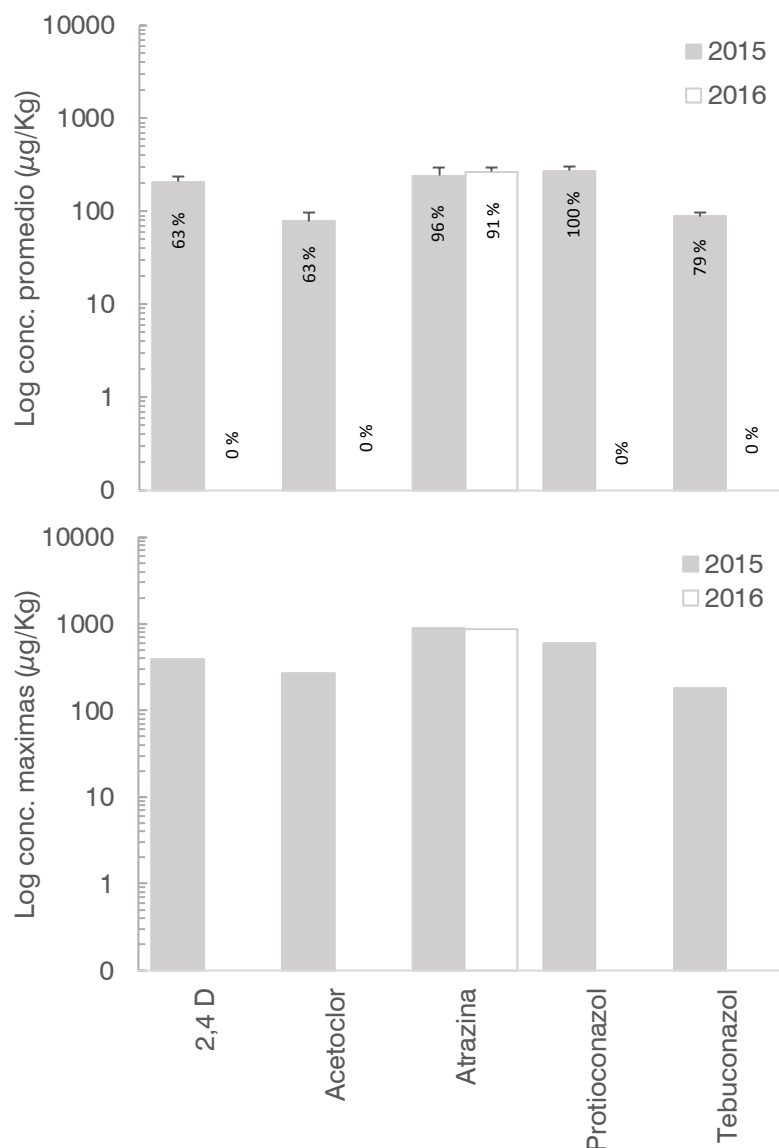
Los resultados muestran que existe una gran variación entre momentos de muestreo y que, tomando como referencia los MRLs establecidos para otros tipos de carnes, en el peor escenario evaluado sólo clorpirifós y malatión mostraron concentraciones altas en un porcentaje de muestras relevantes. Ello ameritaría continuar el relevamiento para comprender las fluctuaciones observadas y realizar un análisis de riesgo en función de los niveles aceptables de incorporación diarias (ADI) y los niveles de ingesta de la población en la región.

#### 4.5. Herbicidas y fungicidas

Los herbicidas y fungicidas son otros grupos de biocidas importantes utilizados en la región para combatir malezas y hongos perjudiciales para los cultivos. En los relevamientos de 2015 y 2016 se analizaron 7 herbicidas y 12 fungicidas, de los cuales sólo se detectaron en alguna de las dos campañas 3 herbicidas y 2 fungicidas. La frecuencia de detección de los herbicidas y fungicidas fue más alta en las muestras analizadas en 2015 (96% y 100%) que en 2016 (91% y 0%), respectivamente.

Las concentraciones promedio y máximas de herbicidas totales encontrada en 2015 fueron  $241,3 \pm 38,6 \mu\text{g/kg}$  y  $895,4$  y en 2016 fue  $267,1 \pm 31,0 \mu\text{g/kg}$ , no siendo significativamente distintas entre años. Por otro lado, los fungicidas sólo fueron detectados en la campaña 2015 con concentraciones promedio y máximas de  $342,2 \pm 38,9 \mu\text{g/kg}$  y  $780,5 \mu\text{g/kg}$ . Las concentraciones y frecuencias de cada herbicida y fungicida detectados en las campañas 2015 y 2016 se muestra en la [Figura 13](#).

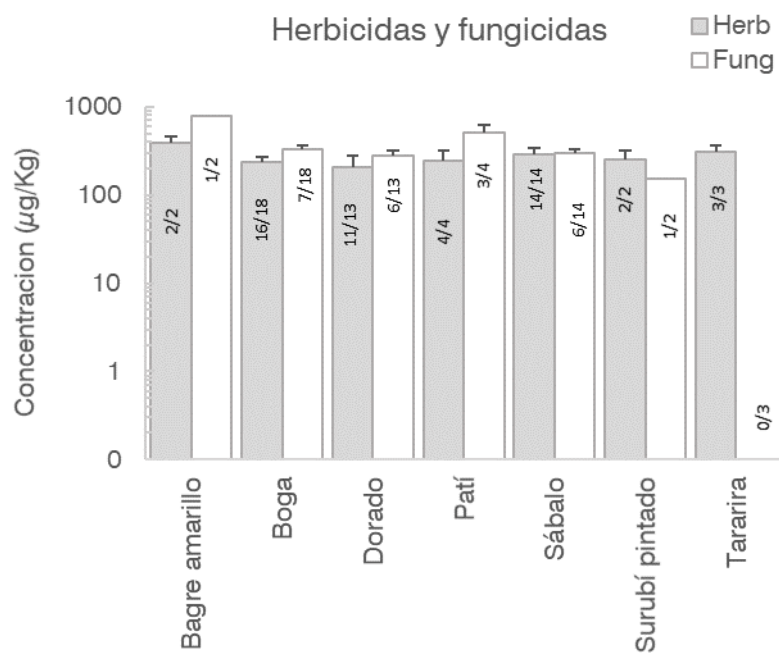
**Figura 13.** Frecuencias de detección y concentraciones promedio (gráfico superior) y máximas (gráfico inferior) de los herbicidas y fungicidas individuales detectados en el músculo de los peces del Río Uruguay.



En cuanto a los herbicidas y fungicidas individuales, el herbicida atrazina ha sido el único compuesto detectado en ambas campañas con frecuencias de 96% y 91% y concentraciones promedio  $241,4 \pm 38,6 \mu\text{g}/\text{kg}$  y  $267,1 \pm 31,0 \mu\text{g}/\text{kg}$  y máximas de  $895,4 \mu\text{g}/\text{kg}$  y  $864,5 \mu\text{g}/\text{kg}$  en 2015 y 2016, respectivamente. Otros herbicidas detectados en 2015 fueron el 2,4D y el acetoclor con frecuencias mayores al 50% y concentraciones promedio de  $78,0$  y  $208,9 \mu\text{g}/\text{kg}$  y máximas de  $267,4$  y  $391,6 \mu\text{g}/\text{kg}$ , respectivamente. En el caso de los fungicidas, sólo tebuconazol y protiocozazol que han sido detectados únicamente en 2015 con frecuencias elevadas y concentraciones promedio de  $88,9 \pm 8,3 \mu\text{g}/\text{kg}$  y  $271,8 \pm 34,6 \mu\text{g}/\text{kg}$  y máximas de  $178,6 \mu\text{g}/\text{kg}$  y  $601,9 \mu\text{g}/\text{kg}$ , respectivamente.



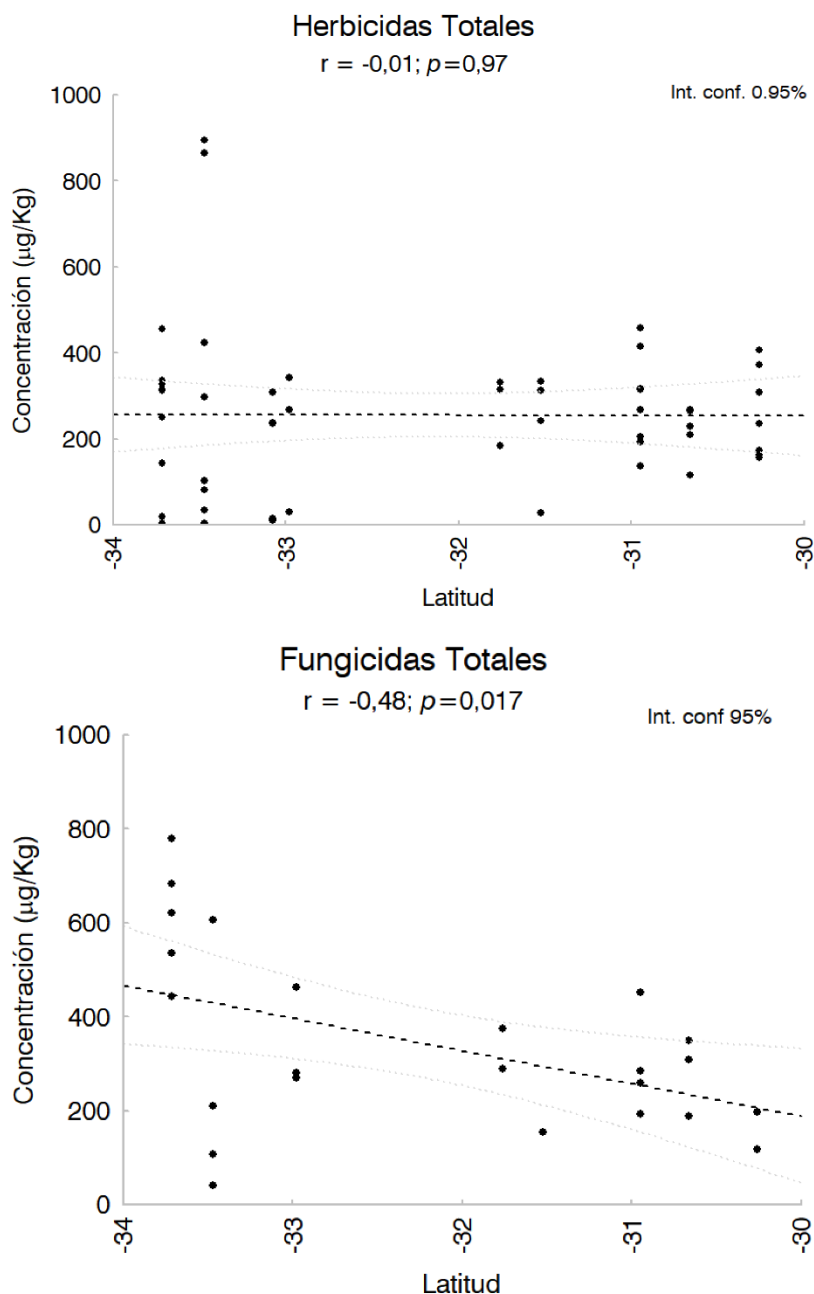
**Figura 14.**  
Concentraciones promedio y frecuencias de detección de herbicidas y fungicidas totales halladas en diferentes especies de peces del Río Uruguay.



En la [Figura 14](#) se muestran las frecuencias y las concentraciones promedio de herbicidas y fungicidas totales por especie, no habiéndose observado diferencias significativas entre especies para ninguna de las dos familias de compuestos. Ello indica que la acumulación de dichos compuestos no se vería modificada por los diferentes nichos tróficos o hábitos de las especies estudiadas. La especie que presentó mayor concentración promedio fue el bagre amarillo con  $392,4 \pm 89,9 \mu\text{g/kg}$  y  $780,5 \mu\text{g/kg}$ , mientras que las menores concentraciones las presentó el dorado con  $206,4 \pm 270,6 \mu\text{g/kg}$  y  $275,0 \pm 162,0 \mu\text{g/kg}$  para herbicidas y fungicidas totales, respectivamente.

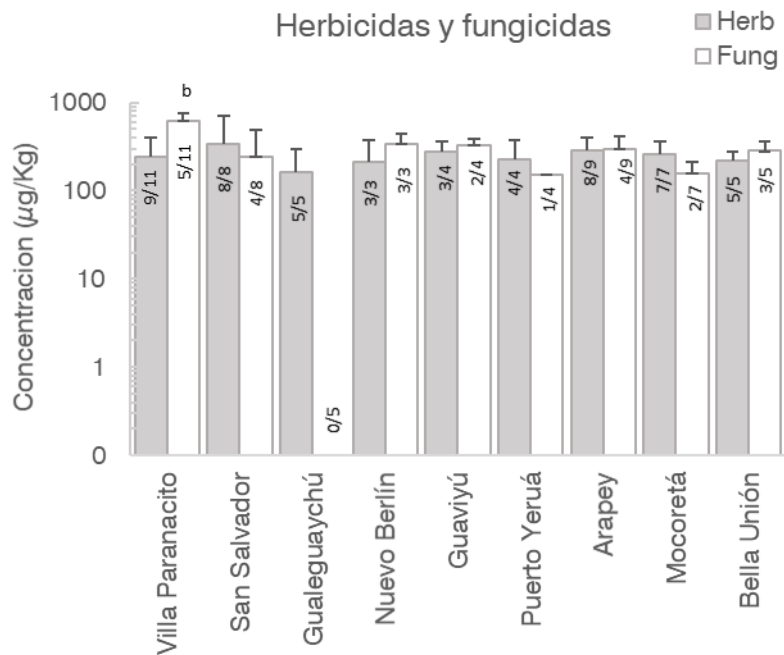
En cuanto a las variaciones de las concentraciones en función de las localidades de muestreo ([Figura 15](#)), no se observaron diferencias significativas para los herbicidas totales, mientras que los fungicidas totales mostraron un incremento desde los sitios ubicados al norte hacia los sitios ubicados más al sur.

**Figura 15.** Relación entre las concentraciones de herbicidas y fungicidas totales en músculo de peces del Río Uruguay y la latitud de la localidad de muestreo.



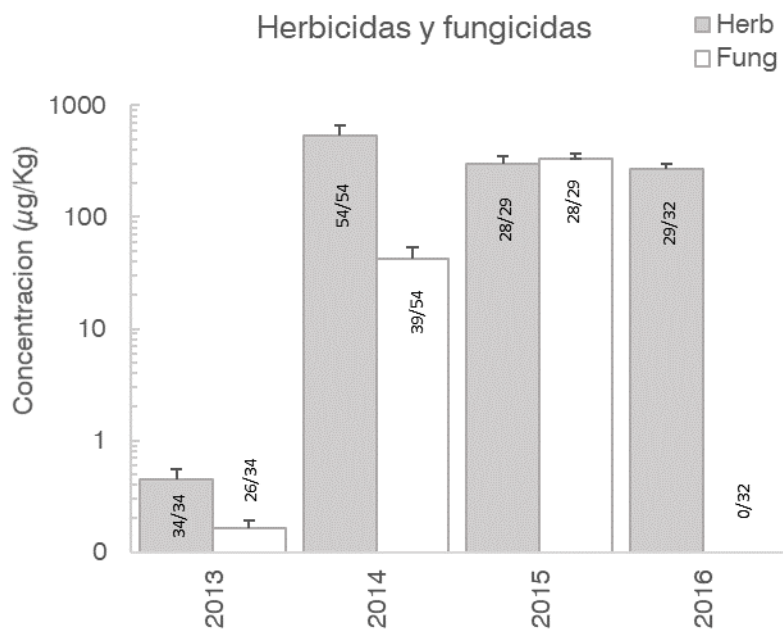
Cuando se analizan localidad por localidad (Figura 16), se observó una gran uniformidad entre sitios para el caso de los herbicidas siendo San Salvador el sitio con mayores concentraciones promedio ( $338,3 \pm 362,7 \mu\text{g/kg}$ ) mientras que las menores concentraciones se obtuvieron en los peces colectados en Gualeguaychú ( $162,0 \pm 139,0 \mu\text{g/kg}$ ). En el caso de los fungicidas, como se mencionó previamente, las contracciones aumentaron gradualmente hacia el sur, siendo Villa Paranacito el único sitio cuya concentración fue significativamente mayor al resto ( $613,0 \pm 130,4 \mu\text{g/kg}$ ). La más baja se obtuvo para los peces capturados en Mocoretá ( $158,1 \pm 56,6 \mu\text{g/kg}$ ).

**Figura 16** Concentración promedio y frecuencias de detección de herbicidas y fungicidas totales en músculo de peces del Río Uruguay capturados en las diferentes localidades de muestreo.



De acuerdo a los relevamientos de residuos de herbicidas y fungicidas en músculo de peces que viene realizando la CARU desde 2013 (Figura 17) se observa que las concentraciones aumentaron a partir de 2014, pasando de valores menores a 1 µg/Kg a alrededor más de 100 µg/Kg. Para el caso de los Fungicidas en 2016 la tendencia volvió a revertirse no habiéndose detectado fungicidas en dicho muestreo. Las causas de tal comportamiento no resultan sencillas de esclarecer.

**Figura 17.** Concentraciones promedio de herbicidas y fungicidas totales medidos en músculo de peces del Río Uruguay en los relevamientos de la CARU realizados desde 2013.



Cuando se analizan las concentraciones de herbicidas y fungicidas en músculo de peces del Río Uruguay en relación a 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. Al tomar como referencia los MRLs establecidos para carnes de aves y mamíferos, observamos que ninguna de las muestras colectadas en 2016 excedió dichos límites. Contrariamente, en 2015, un 23 y 16% de las muestras presentaron niveles de 2,4 D mayores que el MRL establecido para carne de aves (50 µg/Kg) y mamíferos (200 µg/Kg) respectivamente. Un porcentaje similar de muestras (23%) superó los MRLs de acetoclor estipulados para carne de aves y mamíferos (20 µg/Kg). Un caso que amerita especial atención, es el del herbicida atrazina que, si bien no se encuentra regulado por el Codex, presentó valores elevados en las muestras obtenidas en ambas campañas. Si se toman los límites inferiores y superiores para otros herbicidas, las muestras con atrazina excedieron un 54 y 41% de las veces un límite de 20 y 200 µg/Kg, respectivamente.

Para el caso de los fungicidas, sólo se hallaron en el muestreo de 2015 y los valores de tebuconazol y prothioconazol excedieron en un 30 y 43% de los casos los MRLs establecidos en el Codex para carne de aves y mamíferos de 10 µg/Kg, para el primero, y 50 µg/Kg para el segundo.

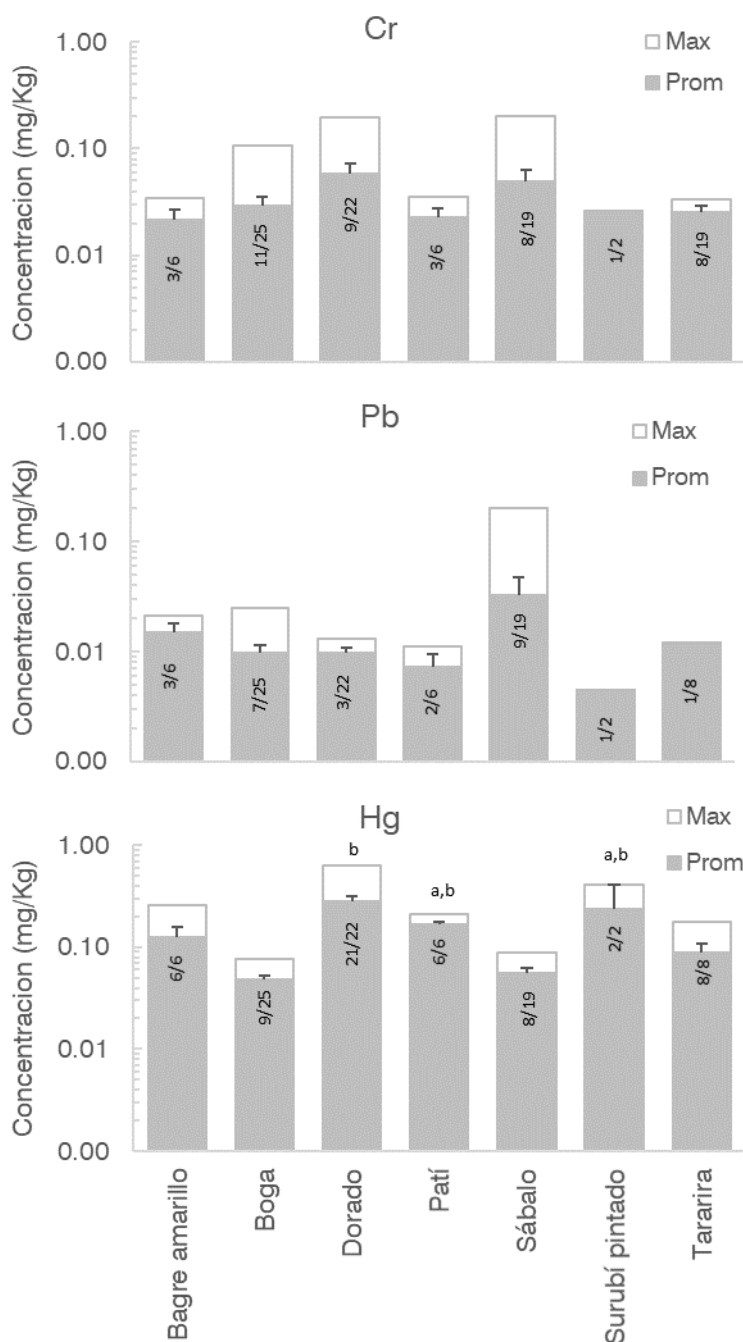
De los resultados obtenidos, podemos ver que de forma similar a la de los insecticidas, las concentraciones de los herbicidas y fungicidas también varían mucho de campaña a campaña, con niveles que superarían los MRLs establecidos para otras carnes en menos del 50% de los casos. Una atención especial debe dedicarse a la atrazina, que fue encontrada en ambos muestreos y con concentraciones que exceden los límites propuestos para otros herbicidas con frecuencias relativamente elevadas, que para los límites menores superan el 50% de las muestras. Dada la falta de MRL para éste compuesto en el Codex, de debería estimar el riesgo sobre la base de los niveles aceptables de incorporación diaria (ADI) y los niveles de consumo de pescado en la región.

#### 4.6. Metales

Los denominados metales pesados, como el Cd, Cr, Pb y Hg, son elementos que se encuentran naturalmente en la corteza terrestre pero cuyos ciclos biogeoquímicos suelen verse fuertemente alterados producto de las actividades antrópicas y en muchos casos se transforman en contaminantes ambientales de relevancias. Las concentraciones promedio y máximas de Cd, Cr, Pb y Hg, así como el número de muestras con niveles detectables respecto al número total de muestras, en músculo de peces del Río Uruguay obtenidas durante las campañas 2015 y 2016 se muestran en la [Figura 18](#).

**Figura 18.** Concentraciones promedio (gráfico superior) y máximas (gráfico inferior) de metales en músculo de peces del Río Uruguay.

En el gráfico superior, letras diferentes indican diferencias significativas entre años para un mismo metal. Además, se muestra el número de casos detectados sobre total de muestras analizadas.

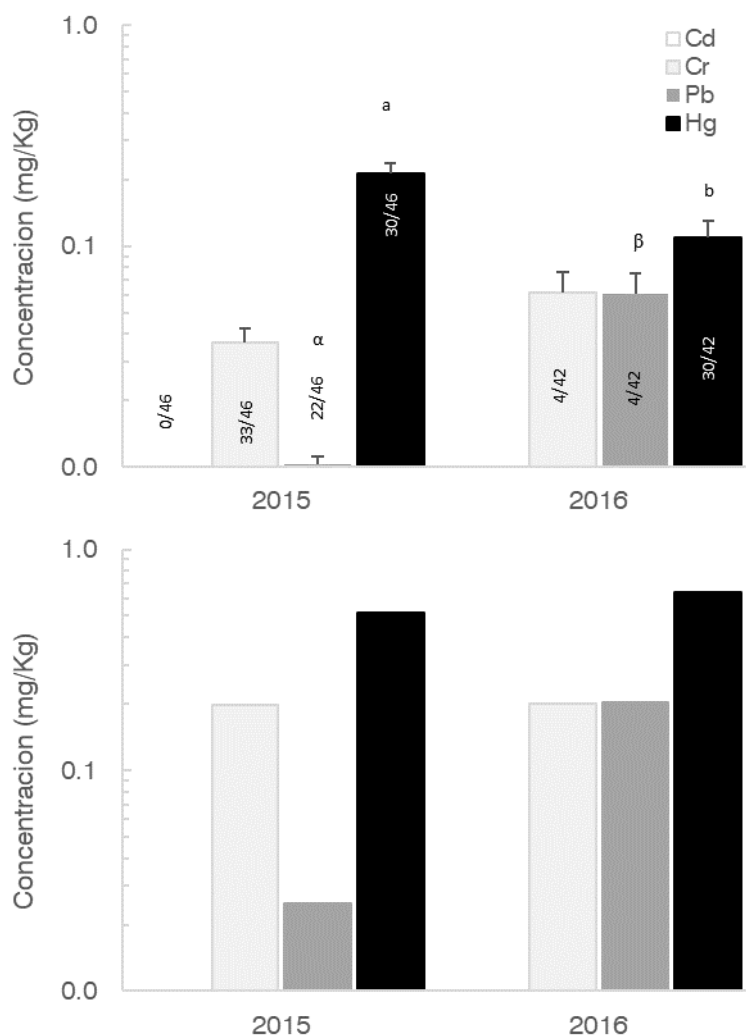


Los resultados muestran que Cd se encontró siempre por debajo de los límites de detección mientras que las frecuencias de detección en 2015 y 2016 para Cr fueron de 72 y 10%, para Pb de 48 y 10 % y para Hg de 65 y 71%, respectivamente. Por otra parte, mientras que las concentraciones de Cr no difirieron entre años, las concentraciones de Pb y Hg variaron significativamente, siendo las concentraciones de Pb mayores en 2016 y las de Hg en 2015. En promedio las concentraciones medidas de Cr fueron de  $0,049 \pm 0,018$  mg/Kg y la máxima de 0,200 mg/Kg. Para Pb, las concentraciones medias y máximas pasaron de  $0,010 \pm 0,006$  mg/Kg y 0,025 mg/Kg en 2015 a  $0,061 \pm 0,094$  mg/Kg y 0,202 mg/Kg en 2016. En el caso de Hg, las concentraciones medias y máximas pasaron de  $0,214 \pm 0,157$  mg/Kg y 0,519 mg/Kg en 2015 a  $0,109 \pm 0,132$  mg/Kg y 0,640 mg/Kg en 2016.



**Figura 19.** Concentraciones de Cd, Cr, Pb y Hg en músculo de diferentes especies de peces del Río Uruguay.

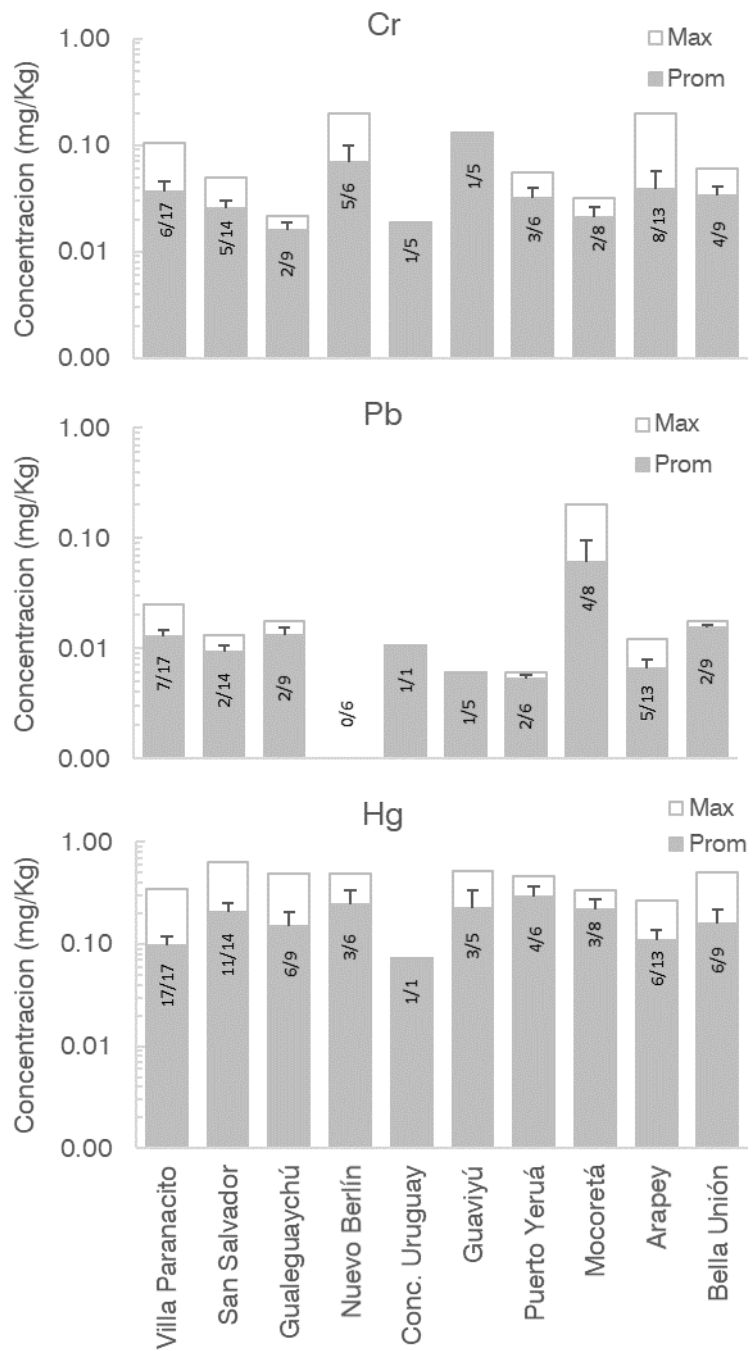
Concentraciones promedio (gris) y máximas (blanco). Número de muestras con valores detectables sobre número total de muestras analizadas (números dentro de las barras).



El análisis de los metales en las diferentes especies de peces del Río Uruguay (Figura 19), no mostró variaciones significativas para Cr y Pb. En cambio, sí se evidenció una diferencia significativa para Hg. Las frecuencias de detección de Cr oscilaron entre 41 y 50%, excepto para tararira que presentó una frecuencia menor (25%) al resto de las especies. En el caso de Pb, las frecuencias variaron más entre especies, siendo el surubí y el bagre amarillo los que presentaron las mayores frecuencias (50%) y la tararira y el dorado las más bajas (13 y 14%). Para el Hg, las especies ictiófagas y bentónicas presentaron frecuencias elevadas, entre el 95 y 100% mientras que las detritívoras y omnívoras pelágicas frecuencias más bajas, sábalo 42% y boga 36%. En cuanto a las concentraciones, los valores promedio y máximos para Cr oscilaron entre 0,022-0,059 mg/Kg y 0,026-0,200 mg/Kg, respectivamente. Respecto a las concentraciones de Pb, los valores promedio y máximos variaron entre 0,005-0,033 mg/Kg y 0,005-0,202 mg/Kg, respectivamente. Si bien las diferencias no fueron significativas, el sábalo fue la especie que mostró las concentraciones máximas más elevadas. Para el caso del Hg, el dorado presentó concentraciones significativamente más elevadas que el sábalo, la boga, la tararira y el bagre amarillo, mientras que el patí y el surubí presentaron niveles intermedios. Las concentraciones promedio y máximas en dorado fueron  $0,28 \pm 0,19$  mg/Kg y 0,64 mg/Kg, respectivamente. Los menores valores los presentó la boga ( $0,049 \pm 0,02$  mg/Kg y 0,077 mg/Kg) y el sábalo ( $0,057 \pm 0,02$  mg/Kg y 0,088 mg/Kg).

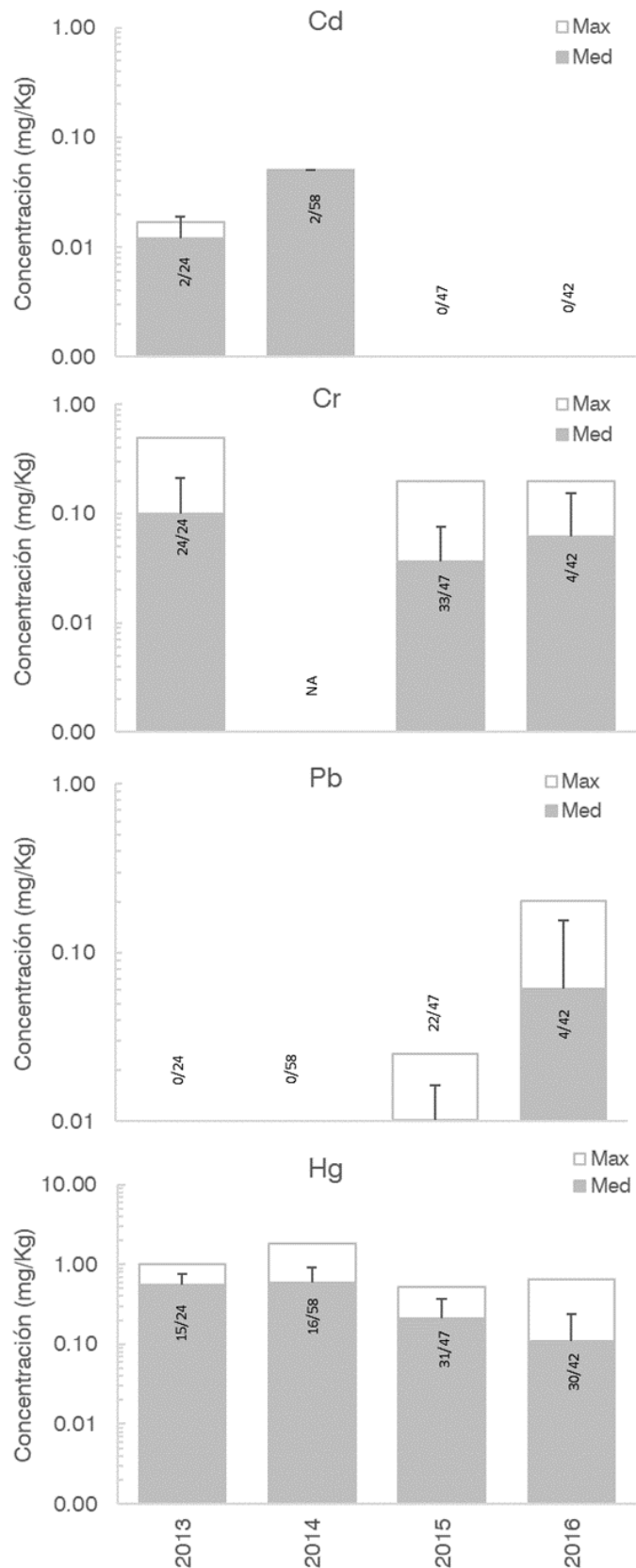
**Figura 20.** Concentraciones de Cr, Pb y Hg en músculo de peces del Río Uruguay colectados en diferentes localidades a lo largo del Río Uruguay.

Concentraciones promedio (gris) y máximas (blanco). Número de muestras con valores detectables sobre número total de muestras analizadas (números dentro de las barras).



**Figura 21.** Variación de las concentraciones de Cd, Cr, Pb y Hg en músculo de peces del Río Uruguay desde 2013.

Concentraciones promedio (gris) y máximas (blanco). Barras: error estándar. Números dentro de las barras: número de muestras con valores detectables sobre número total de muestras analizadas. NA: no analizado.



Respecto a la variación de las concentraciones de Cr, Pb y Hg en función de las localidades de muestreo (Figura 20), no se observaron tendencias claras. Para Cr el máximo valor se obtuvo en Arapey (0,200 mg/Kg) y el más bajo en Concepción del Uruguay (0,019 mg/Kg). Para Pb, el mayor valor se dio en Mocoretá (0,202 mg/Kg), mientras que el elemento no fue detectado en los peces de Nuevo Berlín. En el

caso de Hg, el máximo valor fue hallado en San Salvador (0,640 mg/Kg) y el menor en Concepción del Uruguay (0,073 mg/Kg).

La serie temporal de las concentraciones de metales en músculo de peces del Río Uruguay (Figura 21) muestra que el Cd siempre presentó frecuencias (<10) de detección y concentraciones muy bajas (<0,05 mg/Kg), pero que en particular en 2015 y 2016 los niveles no fueron detectable en ninguna de las muestras analizadas. En el caso de Cr, los niveles fueron más parejos entre años (máximos 0,49-0,20 mg/Kg) pero con frecuencias decrecientes. Un caso opuesto al Cd lo presentó el Pb, cuyos valores fueron no detectables en 2013 y 2014 pero que luego mostró concentraciones crecientes en 2015 y 2016 (máximos 0,025 y 0,202 mg/Kg). En el caso del Hg, las frecuencias de detección fueron siempre relativamente altas (28-71%) pero las concentraciones mostraron un descenso en los dos últimos años. El comportamiento del Cd, Pb y Hg estaría indicando algún cambio en las condiciones del Río desde 2014, que hubiese disminuido la biodisponibilidad del Cd y Hg, pero movilizado el Pb.

En cuanto a la aptitud para el consumo, el *Codex Alimentarius* sólo incluye el MRL para mercurio en peces, siendo 0,5 o 1,0 para especies no ictiófagas, o ictiófagas, respectivamente. Luego para Cd y Pb sólo establece límites en vegetales u otras carnes. Por otra parte, la Comunidad Económica Europea establece MRL para Cd, Pb y Hg (CE 1881/2006 y CE 629/2008). Los MRL para carne de peces establecidos para Cd van de 0,05 a 0,2 mg/Kg dependiendo de las especies, para Pb es 0,3 mg/Kg y para mercurio 0,5 o 1,0 mg/Kg si se trata de especies no ictiófagas o ictiófagas, respectivamente. Para Cr sólo establece un límite la legislación Australiana y Neozelandesa con un MRL de 0,1 g/Kg. De acuerdo a estos MRLs, ninguna de las concentraciones promedio ha superado los MRLs establecidos para metales. Sólo han excedido dichos límites algunas muestras para Cr (3 dorados, 2 tarariras, 1 patí y 1 boga 7 en 2013, 2 dorados y 1 boga en 2015 y 1 sábalo en 2016) y Hg (2 de dorado, una en 2013 y otra en 2014).

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los relevamientos realizados por la CARU durante 2015 y 2016 han aportado información sobre la concentración de más de 150 analitos diferentes en músculo de 7 especies de peces del Río Uruguay colectadas en 10 localidades diferentes. Las principales conclusiones que se desprenden de este estudio son:

- Si bien la producción, comercialización de compuestos persistentes como los PCBs han sido prohibidas desde hace muchos años, el relevamiento de las concentraciones de estos compuestos continúa siendo relevante dado que los remanentes acumulados en los sedimentos pueden ser movilizados por diferentes acciones naturales y/o antrópicas haciéndolos biodisponibles para los peces y otros organismos acuáticos en los que son capaces de acumularse a niveles que puedan representar un riesgo para la salud de los propios organismos o de las poblaciones humanas que los consuman. En tal sentido el incremento observado en las concentraciones de PCBs en los últimos años relevados, respecto a años previos, podrían vincularse con actividades de dragado realizadas por la propia CARU para el mantenimiento de la hidrovía, actividad fundamental para el transporte de cargas por el Río Uruguay, y que deberían nutrirse de la información obtenida de los relevamientos de modo tal de regular la misma y minimizar los impactos que pudieran ocurrir sobre la salud de los peces y otros organismo acuáticos, como así establecer recomendaciones sobre el consumo de los mismos durante los períodos que se realicen dichas actividades. De ello resalta la necesidad de una comunicación fluida entre las diferentes Subcomisiones.
- Otros contaminantes persistentes como los PBDEs no parecieran representar por el momento un inconveniente ni muestran tendencias a incrementar sus concentraciones, pero dada su persistencia, debieran continuarse su monitoreo a fin de confirmar su estatus.
- En cuanto a los POCs, si bien peces a la prohibición de muchos de ellos aún siguen siendo detectados en los peces y su comportamiento en el tiempo fue semejante a la observada para los PCBs (presentando un aumento de 2014 a 2016), aún las concentraciones halladas en el músculo sólo muy ocasionalmente exceden los MRLs y por tanto no representarían un riesgo para el consumo. Menos claro es el conocimiento sobre los potenciales efectos sobre la salud de los peces y otros organismos

acuáticos, por lo que no sólo debiera continuarse su relevamiento, sino que sería recomendable complementar el mismo con indicadores de salud.

- A diferencia de los compuestos orgánicos persistentes, cuya ocurrencia fue relativamente estable entre los años estudiados, los plaguicidas (insecticidas, herbicidas y fungicidas) mostraron un comportamiento bien diferente, con frecuencias de detección y concentraciones muy elevadas durante algún año y luego bajando o incluso no detectándose en otro. Ello tiene sentido en relación a la menor persistencia de este grupo de compuestos y el uso estacional de los mismos (ej. fungicidas más frecuentes y elevados en otoño e insecticidas en primavera). De todos los compuestos analizados, sólo una fracción menor fue detectada y otra menor aún presentó concentraciones relevantes. En particular se destacaron piretroides como la cipermetrina y la lambdacialotrina, organofosforados como el clorpirifós, malatión, diclorvos, dimetoato, metidation y fenitrotión, los herbicidas 2,4D, acetoclor y atrazina y los fungicidas tebuconazol y prothioconazol que ocasionalmente presentaron niveles por sobre los regulados para el consumo humano. Además, resultan particularmente interesantes compuestos como la permetrina, deltametrina, clorpirifós, carbofurán y en especial la atrazina por ser los únicos detectados en los diferentes años, indicando un uso más difundido. En cuanto a los efectos sobre los peces y otros organismos vivos, resulta importante contar con estos valores como referencia de valores para entender que los niveles observados son compatibles con la vida (no causan mortandades masivas), aunque resultaría importante conocer si pudieran tener consecuencias a largo plazo sobre el normal desempeño de los organismos (ej. reproducción, sistema inmune, etc.). Las fluctuaciones estacionales observadas sugieren continuar su relevamiento para comprender mejor las causas de dicho comportamiento.
- En relación a los metales relevados, el Cd pareciera no representar un problema en el Río Uruguay. Por otro lado, los niveles de plomo en el músculo de los peces tampoco fueron de relevancia para el consumo humano, pero mostró un comportamiento similar al de los PCBs y POCs, reflejando un origen común del comportamiento ligado posible movilización de los depósitos en los sedimentos. La interpretación de las concentraciones de Cr suele ser controversial, dado que para muchos autores se trata de un elemento esencial, ello explicaría su relativamente alta frecuencia de detección, y si bien se encuentra normado su MRL en Australia y Nueva Zelanda y algunos pocos peces excedieron dicho valor, las concentraciones observadas no parecieran representar un riesgo para el consumo o la salud de los peces. Diferente fue el caso del Hg, cuyas concentraciones, si bien generalmente por debajo de los límites para consumo humano, mostró una clara capacidad de biomagnificarse, presentando niveles particularmente altos en Dorado. Ello recomendaría la realización de estudios en detalle para comprender mejor su biomagnificación a través de las redes tróficas del Río Uruguay. Por otra parte, el relevamiento de este elemento resultará fundamental para el cumplimiento, por parte de los países miembros, del convenio de Minamata, adoptado en Kumamoto (Japón) en 2013 y puesto en vigor el 16 de agosto de 2017.

A modo de mensaje final, se desprende del presente relevamiento que, como es de esperar, los peces reflejan a través de la acumulación de las diferentes sustancias estudiadas en el músculo, el uso que los seres humanos hacemos tanto de aquellos compuestos de origen antrópico (xenobióticos) de las modificaciones de los ciclos biogeoquímicos (ej. metales) y de los cambios en su comportamiento ambiental. En tal sentido el relevamiento que realiza la CARU resulta de gran importancia para monitorear lo que está ocurriendo con tales sustancias en el ecosistema del Río Uruguay. Es importante que la información generada por estos relevamientos sea útil para la toma de decisiones y la elaboración de recomendaciones. Algunas de las actividades que particularmente señala el presente informe son la remoción de los sedimentos (ej. PCBs, POCs, Pb) y el uso de los plaguicidas (ej. atrazina). En cuanto al Hg, el origen de éste metal es más complejo (ej. transporte atmosférico a nivel global) y en tal caso actuar sobre la elaboración de recomendaciones para el consumo para poblaciones que basen su dieta fuertemente en el consumo de pescado sería una alternativa aconsejable. Finalmente, poder complementar el relevamiento de las concentraciones de contaminantes en músculo con el relevamiento de indicadores biológicos de la salud de los peces sería de gran ayuda para conocer la relación entre los niveles de acumulación de dichas sustancias y el desempeño biológico de los peces del Río Uruguay.



## 6. REFERENCIAS

- 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.
- 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.
- Speranza E.D., Colombo J.C., 2009. Biochemical composition of a dominant detritivorous fish *Prochilodus lineatus* along pollution gradients in the Paraná-Río de la Plata Basin. *Journal of Fish Biology*; 74: 1226-1244.
- 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.