



Bioacumulación de metales en bagre Otuno (*Diplomystes cuyanus*, familia: Diplomystidae; Orden: Siluriforme) del río Los Patos, San Juan, Argentina

Bioaccumulation of metals in Otuno catfish (Diplomystes cuyanus, Family: Diplomystidae; Order: Siluriformes) from the Los Patos River, San Juan, Argentina

FABRICIO RUBÉN GÓMEZ ^{1,2}, AGUSTINA DANIELA VALENZUELA ^{1,2}
& HÉCTOR JOSÉ VILLAVICENCIO ¹

¹Gabinete de Diversidad y Biología de Vertebrados del Árido (DIBIOVA),
Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,
Universidad Nacional de San Juan.

²CONICET, San Juan, Argentina.
fabrirub@gmail.com

ARK: <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s18527329g0e1pc4dl>

RESUMEN

Los peces son componentes vitales de los ecosistemas acuáticos de agua dulce, desempeñando roles fundamentales en la regulación de poblaciones de organismos, la ciclación de nutrientes, y el mantenimiento de la biodiversidad, además, son indicadores sensibles de la calidad del agua, reflejando los cambios ambientales y las perturbaciones antropogénicas en los sistemas acuáticos. La bioacumulación es un proceso mediante el cual ciertas sustancias tóxicas se acumulan en los tejidos de los organismos a lo largo del tiempo, a medida que son absorbidas a través de la alimentación o del medio ambiente. Muchos elementos bióticos como peces, crustáceos y plantas acuáticas tienen la capacidad de bioacumular metales en sus tejidos. El objetivo de este trabajo es presentar la primera determinación de bioacumulación de metales en la especie vulnerable *Diplomystes cuyanus* procedentes del río Los Patos, localidad de Barreal, provincia de San Juan - República Argentina.

Los individuos estudiados presentaron bioacumulación de metales en sus tejidos, en numerosos casos superando los niveles de consumo humano seguro para la población



humana establecidos por diferentes entes de regulación tanto nacional como internacional como plata, cadmio, plomo, selenio, mercurio y arsénico.

Estudios de este tipo son inéditos en Argentina y representan los primeros datos para la especie que serán tenidos de referencia en futuros estudios de ecotoxicidad.

ABSTRACT

*Fish are vital components of freshwater aquatic ecosystems, playing fundamental roles in regulating organism populations, cycling nutrients, and maintaining biodiversity. Additionally, they are sensitive indicators of water quality, reflecting environmental changes and anthropogenic disturbances in aquatic systems. Bioaccumulation is a process through which certain toxic substances accumulate in the tissues of organisms over time as they are absorbed through food or the environment. Many biotic elements, such as fish, crustaceans, and aquatic plants, have the capacity to bioaccumulate metals in their tissues. The aim of this study is to present the first determination of metal bioaccumulation in the vulnerable species *Diplomystes cuyanus* from the Los Patos River, Barreal locality, San Juan province - Argentina. The studied individuals showed bioaccumulation of metals in their tissues, in numerous cases exceeding the safe human consumption levels established by various national and international regulatory bodies such as silver, cadmium, lead, selenium, mercury and arsenic. Such studies are unprecedented in Argentina and represent the first data for the species that will serve as a reference in future ecotoxicity studies*

Palabras clave: *Diplomystes cuyanus*, bioacumulación, metales, sistemas acuáticos, Argentina

Keywords: *Diplomystes cuyanus*, bioaccumulation, metals, aquatic systems, Argentina

INTRODUCCIÓN

Los peces se pueden encontrar en muchos sistemas acuáticos, estos desempeñan un papel ecológico importante en las redes alimentarias debido a su función como portadores de energía desde los niveles tróficos inferiores a los superiores (Beyer, 1996). También son componentes vitales de los ecosistemas acuáticos de agua dulce, desempeñando roles fundamentales en la regulación de poblaciones de organismos, el ciclo de nutrientes y el mantenimiento de la biodiversidad; además, son indicadores sensibles de la calidad del agua, reflejando los cambios ambientales y las perturbaciones an-

tropogénicas en los sistemas acuáticos (Dudgeon et al., 2006).

No solo son importantes desde el punto de vista ecológico sino también como fuente de alimento humano. La alimentación mediante el consumo de peces es crucial para la salud humana debido a su aporte nutricional en ácidos grasos omega-3, proteínas de alta calidad, vitaminas y minerales esenciales. Una dieta rica en peces se asocia con numerosos beneficios para la salud, incluida la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, el mantenimiento de la salud cerebral y la función cognitiva y el apoyo

al desarrollo fetal durante el embarazo (Lee, 2009; Weichselbaum et al., 2013).

Sin embargo, en algunos estudios se advierte sobre consumo de pescado por su posible contenido de sustancias tóxicas como metales, microplásticos, bifenilos, agrotóxicos, entre otras (EPA, 2004; Dorea, 2008; Jarosz-Krzemińska et al., 2021).

Este fenómeno se denomina bioacumulación y es un proceso mediante el cual ciertas sustancias tóxicas se acumulan en los tejidos de los organismos a lo largo del tiempo, a medida que son absorbidas a través de la alimentación o desde el ambiente (Wajnberg & Colazza, 2013).

Las sustancias tóxicas ingresan al medio acuático a través de múltiples vías, que incluyen la escorrentía superficial desde áreas agrícolas y urbanas, las descargas industriales y municipales de aguas residuales, el escurrimiento de suelos contaminados, y los vertidos directos de residuos químicos y relaves de suelos con actividad minera (Del Moral, 2006; González, 2007; Barceló & López, 2008; Kan et al., 2021). También pueden ingresar al sistema acuático en función de la topografía, mineralogía y la dinámica natural de los ríos (Alarima & Masunaga, 2018).

En concentraciones suficientes pueden convertirse en tóxicas, causando daño a organismos acuáticos (plantas, animales y microorganismos), así como representar un riesgo para la salud humana cuando se ingieren o se entra en contacto con el agua contaminada (Pritchard, 1993).

Los microplásticos son fragmentos de plástico de menos de 5 mm de tamaño, resultan de la degradación y fragmentación de objetos de plástico más grandes en el ambiente, así como de la liberación

de productos de cuidado personal que contienen partículas plásticas (Andrady, 2011). Los bifenilos son compuestos orgánicos (fenilos) que consisten en dos anillos de benceno unidos por un enlace covalente, se utilizan como materias primas en la producción de plásticos y como intermediarios en la síntesis de productos químicos (Guardia & Hale, 2003).

Por otra parte, los agroquímicos incluyen herbicidas, insecticidas y fungicidas (Damalas & Eleftherohorinos, 2011).

Algunos metales, en concentraciones muy pequeñas (elementos traza), son importantes para la vida ya que cumplen funciones catalíticas de alto valor biológico; sin embargo, pueden ser beneficiosos o tóxicos (Mehri, 2020). La absorción de estos metales por los componentes bióticos representa el ingreso y movilidad de éstos dentro de las cadenas tróficas con el consiguiente riesgo ambiental, a la salud humana y alteración de dinámicas poblacionales y cascadas tróficas (Arim et al., 2007; Prieto Méndez et al., 2009).

Muchos elementos bióticos como peces, crustáceos y plantas acuáticas tienen la capacidad de bioacumular metales en sus tejidos (Prieto Méndez et al., 2009; Rodríguez Ayala, 2018; Cahuana & Aduvire, 2019).

En Argentina hay pocos estudios publicados donde se aborde la bioacumulación de metales en peces de sistemas naturales, entre ellos: Argota et al., (2012), Buti et al., (2015) o en ambientes marinos (La Colla et al., 2018); para la provincia de San Juan hasta el momento el trabajo de Rodríguez-Pacheco (2011).

Diplomystes cuyanus, especie vulnerable, requiere ser abordada con prioridad. En este trabajo se hipotetiza que

estos animales están bajo un proceso de bioacumulación de metales en sus tejidos.

La familia *Diplomystidae* Eigenmann, 1890, es endémica de la subregión Austral de América del Sur (Lundberg & Baskin 1969, en Arratia & Quezada-Romegialli, 2017). Familia considerada la más primitiva del orden Siluriforme (Sullivan, 2006), con presencia de maxilar funcional y dentífero (Ringuelet, 1965). En Argentina se encuentran tres especies: *D. cuyanus* en el centro-oeste, *D. viedmensis* del sistema del río Negro y *D. mesembrinus* en ríos de la cuenca Chubut y Senguer (Ringuelet, 1965; Azpilcueta, 1994).

Son peces dulceacuícolas estrictos, bentónicos, de hábitos nocturnos y carnívoros, su dieta está basada principalmente en larvas y adultos de insectos acuáticos (Arratia, 1987). A pesar de su tamaño presentan un gran rango de movilidad en el sistema fluvial (Oyanedel et al., 2018) evidenciando un alto flujo génico (Victoriano et al., 2012).

Según Sosa et al. (1999) *D. cuyanus* se categoriza como relictual, para Chebez (1994) como indeterminada y para López (2003) como rara. En la provincia de San Juan está categorizada como especie en peligro de extinción (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2011).

Entre las causas de la baja abundancia en poblaciones de *D. cuyanus*, Azpilcueta (1994) menciona: fragmentación de hábitat por construcciones de represas, contaminación con desechos de petróleo, en el caso de algunos ríos patagónicos, y competencia con salmónidos introducidos.

Esta especie solo ha sido registrada en el río de Los Patos, en Barreal, Departamen-

to de Calingasta, San Juan (cuenca alta del río San Juan). No se le conocen datos biológicos adicionales; sin embargo, y a pesar de intensos esfuerzos de captura, su abundancia es baja (Acosta et al., 2016).

El objetivo de este trabajo es presentar la primera determinación de bioacumulación de metales en *Diplomystes cuyanus* procedentes del río Los Patos, San Juan, Argentina.

MATERIAL Y MÉTODO

Área de estudio

El muestreo de peces se realizó en el río Los Patos (Barreal, departamento de Calingasta, San Juan 31°39'43"S 69°30'03"W), a 1700 msm (Figura 1.a, b, c). El área de estudio comprende un tramo del Río de los Patos entre 1700 y 2000 msm. El área pertenece a la ecorregión del Monte de Sierras y Bolsones (Rodríguez et al., 2022). En la vegetación de ribera dominan *Cortaderia rudiusscula*, *Tessaria absinthioides*, *Typha dominiguensis*, *Juncus balticus*, *Baccharis salicifolia*, *Suaeda divaricata* y otras como acompañantes. El clima es seco, de alta montaña (Pereyra, 1996), tipo BSk en el sistema Köppen-Geiger, con precipitaciones inferiores a los 100 mm anuales, la temperatura media anual es 13.4 °C (Climate-Data.org, s.f), los suelos de las márgenes del río son torrifluventes típicos (Castro, 1982, en Regairaz, 2000). El río de Los Patos forma parte de la cuenca N° 54, con un caudal promedio anual de 24 m³.s⁻¹ en la estación Álvarez Condarco y de 49,92 m³.s⁻¹ en la estación La Plateada (SSRH 2002; en Lupano, 2008).

Método de captura

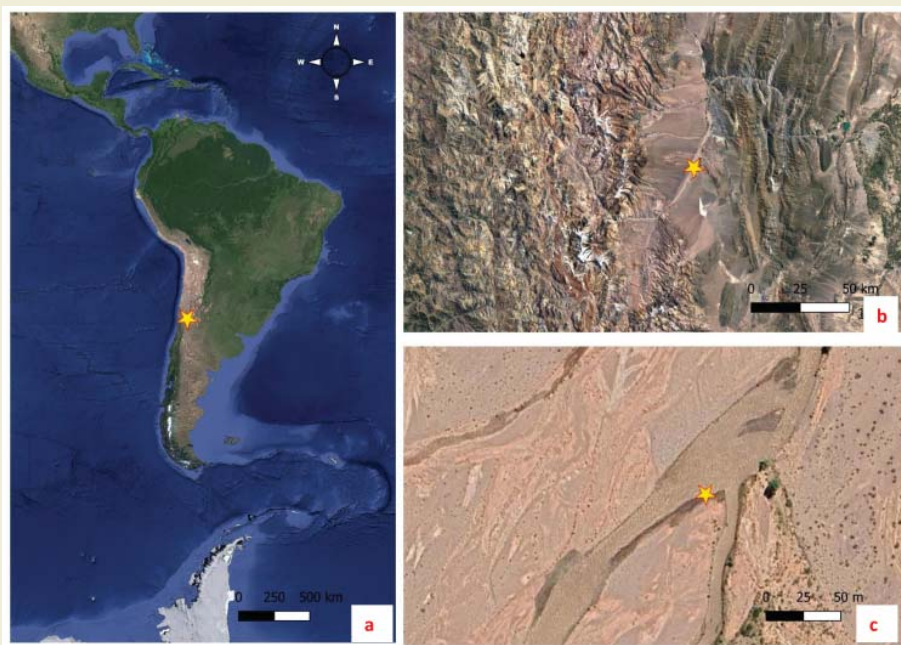


Figura 1. Localización del sector de muestreo en el río los Patos, en tres escalas de aproximación a, b, c. Bajo las cordenas 31°39'43"S -69°30'03"W (estrella)

Figure 1. Location of the sample area in Los Patos river, in three scales a,b,c. In 31°39'43"S -69°30'03"W (star) coordinates

Se capturaron 3 individuos adultos (Figura 2), utilizando pesca de fondo. Con un esfuerzo de 3 horas hombre (2 personas). El tamaño de la muestra ($n=3$) se corresponde con el estado de conservación de la población de *D. Cuyanus* en la provincia de San Juan, obteniendo el tejido mínimo necesario para realizar el estudio de bioacumulación (Sivaperumal et al., 2007; Barraza et al., 2018)

Cada ejemplar se transportó en envase plástico esterilizado proporcionado por el laboratorio y aprobados por la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). Las muestras fueron identificadas y conservadas en frío ($<6^{\circ}\text{C}$) hasta su traslado al laboratorio, asegurando mejor calidad del tejido postmortem (Ross

& Ross, 1999; De la Gándara, 2003; Duque et al., 2019).

Análisis de laboratorio

La determinación de metales se llevó a cabo en el laboratorio SGS Argentina S.A., Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance, <https://www.sgsgroup.com.ar/>) acreditado por la Organización Argentina de Acreditación (OAA). Se utilizó espectrofotometría de absorción atómica (EPA Método 6020B SW-846) y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente. La determinación de metales se realizó en individuos completos mediante homogeneización o macerado, de manera de minimizar la variabilidad asociada a

la distribución de metales en diferentes tejidos.

Como parte del control de calidad se incluyeron muestras duplicadas en el análisis para evaluar la reproducibilidad de los resultados. Estas submuestras permitieron verificar la precisión del procedimiento analítico, garantizando que las concentraciones de metales determinadas fueran confiables y consistentes.

RESULTADOS

Los elementos metálicos que presentaron valores por encima del Límite de Cuantificación (LC) fueron el Aluminio, Bario, Hierro, Magnesio y Zinc (Tabla 1, Figura 2, Figura 3). Los otros metales presentaron valores menores a este límite (Tabla 1).

Los resultados obtenidos en este estudio fueron comparados con los siguientes niveles de referencia: Ford (2004), Código Alimentario Argentino (2012), Estándar Internacional compilado por la FAO (1983, tomado de Burger & Gochfeld, 2005), Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2011) y European Commission (2006). En la categorización de Ford (2004) también se contempla la procedencia del consumidor: R= Residente, V= Visitante.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio representan las primeras determinaciones de contenido de metales en tejidos de peces de la especie *Diplomys tucumanus*. Existe para la región un solo antecedente de bioacumulación de metales en peces, en trucha marrón (*Salmo trutta*) en Calingasta, Provincia de San Juan, en un sector con pasivos ambientales Mineros (Rodríguez-Pacheco, 2011).

De los resultados obtenidos, se generaron dos grupos: metales que presentaron valores superiores al límite de cuantificación (LC) referenciados resaltados en la Tabla 1 (Figura 2 y Tabla 1) y metales detectados, pero con valores inferiores a LC (Tabla 1).

El aluminio actualmente no se encuentra con referencias sobre valores máximos en los niveles guías abordados; sin embargo, es considerado un elemento potencialmente tóxico (Mehri, 2020). En la dieta, la biodisponibilidad del aluminio depende en gran medida de su estado y de la presencia de otros componentes alimentarios con los que puede formar complejos, como ácido cítrico (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008).

Los valores de exposición al aluminio permitidos por la European Food Safety Authority en la alimentación de la población europea son de 0,2 a 1,5 mg/kg peso corporal/semana (EFSA, 2008).

En nuestro estudio el valor promedio de aluminio es de 14,6 mg/kg, se encuentra dentro del rango seguro desde el punto de vista del consumo humano, en función de las porciones y las frecuencias de consumo mencionadas anteriormente. No se encuentra tabulado en el Código Alimentario Argentino -C.A.A.- (2012).

Bario, no presenta niveles guía para el consumo humano seguro en los estándares abordados.

En cuanto al hierro no existen niveles máximos establecidos en el C.A.A. (2012). En este trabajo el hierro se encuentra dentro de los valores seguros recomendados por la FAO y la OMS (Bhupander et al., 2011).

Manganeso, se encuentra dentro de los rangos seguros para el consumo humano propuesto por Ford (2007).



Figura 2. Individuo adulto de la especie *Diplomystes Cuyanus* en toma lateral y gráfico circular presentando el resultado de bioacumulación de metales en mg/kg (corresponde al promedio de la muestra de peces capturados)

Figure 2. Adult individual of the species *Diplomystes Cuyanus* in lateral shot and pie chart showing the result of metal bioaccumulation in mg/kg (corresponds to the average of the sample of fish caught)

El Zinc registrado se encuentra dentro de los valores de referencia y la recopilación realizada por la F.A.O (1983) sobre los límites legales de sustancias peligrosas en pescado y productos pesqueros (Nauen,1983) y también para los niveles guía propuestos en Ford (2007). También se encuentra dentro de los valores seguros según los estándares propuestos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, 1987, 2005) donde se presenta la dosis de referencia Oral Crónica (mg/kg/día).

Teniendo en cuenta el C.A.A. (2012), donde se informa el límite máximo de algunos contaminantes inorgánicos en alimentos y el estándar internacional recopilado por la FAO (1983, tomado de Burger & Gochfeld, 2005), el contenido de arsénico se encuentra dentro de los valores permitidos. Sin embargo, si se toma como referencia a Ford (2004) los valores están fuera de rango para el consumo humano seguro.

Boro, no presenta valores de referencia para el consumo humano seguro en

el C.A.A. (2012), tampoco en otras propuestas de niveles guía.

Cadmio, los valores de bioacumulación en este metal fueron inferiores a 0.5 mg/kg y se encuentran fuera de los límites permitidos por el C.A.A. (2012), el Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2011) y la Comisión Europea (2006). Rodríguez-Pacheco, (2011) cita valores de cadmio en músculos del bagre de torrente *Hatcheria macraei* en el rango de 0,223 y 0,463 mg/kg.

Cobre, se encuentra dentro de los valores seguros propuesto por Ford (2007) y no presenta valores de referencia para el consumo humano seguro en el C.A.A. (2012), tampoco en otras propuestas de niveles guía.

Cobalto, no presenta valores de referencia para el consumo humano seguro en el C.A.A (2012), tampoco en otras propuestas de niveles guía.

Cromo, el valor registrado es inferior al valor de referencia de la recopilación de la FAO (1983, disponible en el trabajo de Nauen, 1983).

Metal	Este estudio														Ford (2004)	C.A.A (2012)	E.I (1983) Rango	E.A.O /O.M.S. (2011)	U.E (2006)
Aluminio	Método	LD	LC	Bagre 1 mg/Kg	Bagre 2 mg/Kg	Bagre 3 mg/Kg	R	V	mg/ Kg			mg/ Kg	µg/g	mg/Kg	mg/Kg				
	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.3	0.5	6.9	31.6	5.3													
Arsénico	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0,024	0,048				1,00	0,1 –5,0	0,50	0,50				
Bario	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	0.8	1.3	0.6													
Boro	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	1.7	5.0	<5	<5	<5													
Cadmio	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0,078	0,161				0,05	0,05–2	0,05	0,05				
Cobre	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	2,907	5,984											
Cobalto	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	<0.5	<0.5	<0.5													
Cromo	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	<0.5	<0.5	<0.5							1,0						

Hierro	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	1.7	5.0	14.3	58.3	26.3					100	
Manganeso	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	1.6	4.0	2.0	10,969	22,582				
Molibdeno	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	<0.5	<0.5	<0.5						
Níquel	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1,567	3,226				
Plata	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0,392	0,807				
Plomo	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0,2	0,2	0,30	0,5–10,0	0,30	0,30
Selenio	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	<0.5	0.6	<0.5	0,392	0,807		0,3–2,0		
Zinc	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.2	0.5	11.6	16.4	8.4	23,505	48,39		40–100		
Mercurio	Basado en ISO 27085/EPA 6020B	0.008	0.025	<0.025	<0.025	<0.025	0,024	0,048	0,5	0,1–1,0	0,50 (pes- cado en general) 0.1 (especies predado- ras)	0,50



Figura 3. Elementos metálicos con valores por encima del límite de cuantificación
 Figure 3. Metallic elements with values above the limit of quantification

Molibdeno, no presenta valores de referencia para el consumo humano seguro en las propuestas de niveles guía abordadas.

Níquel, se encuentra dentro de los rangos seguros propuestos en el trabajo de Ford (2007).

Plata, se encuentra fuera de los rangos seguros para el consumo humano propuestos por Ford (2007), no presenta valores de referencia para el consumo humano seguro en el C.A.A. (2012).

Para el plomo, el valor máximo para el consumo humano seguro según el C.A.A. (2012) es de 0,3 mg/kg, mientras que para el Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives JECFA (2011) y para la OMS es de 0,3 mg/kg, también para Comisión Europea (2006) y de 0,2 mg/kg para Ford (2004). En el presente estudio los valores de bioacumulación resultaron menores al valor LC (0,5 mg/kg); sin embargo, se considera fuera de rango para el consumo humano

seguro y será necesario una nueva y más precisa determinación.

Selenio, se encuentra en valores de 0.5 mg/kg, superando el nivel guía seguro para el consumo humano propuesto por Ford (2007)

El contenido de mercurio se encuentra en los límites seguros para el consumo humano seguro según el C.A.A. (2012), también para otras entidades regulatorias. Sin embargo, está fuera del límite de consumo humano seguro para residentes en el nivel guía propuesto por Ford (2007).

En la población de peces, algunos contaminantes, como metales, en concentraciones elevadas aislados o combinados con otras sustancias pueden llegar a generar alteraciones teratogénicas. Sanchez-Aceves (2021) evaluó el efecto del ibuprofeno y el aluminio actuando de forma combinada y aislados en peces juveniles y embriones de *Danio rerio*. Temática abordada también en la revisión de Jezierska et al. (2009).

Los peces son más susceptibles a cambios físico-químicos y biológicos del medio acuático, durante las etapas tempranas de su desarrollo (Van Leeuwen et al., 1990), como encontraron Gómez et al. (2022) con anoftalmia y microftalmia en peces del río Los Patos (San Juan)

Las poblaciones de peces son una herramienta clave en la bioindicación (Badii et al., 2005; Ibarra, 2005), estas pueden verse afectadas por cambios en las características del medio acuático, generando cambios en la abundancia o en la estructura poblacional en el contexto de una mortandad. Los cambios también pueden darse sobre el desarrollo por ejemplo mutagénesis, generando así individuos menos aptos dentro de una población, afectando la población de peces generando un cuello de botella ecológico mediante la pérdida de diversidad genética.

La población vulnerable de *Diplomys-tes cuyanus*, abordada en este trabajo puede estar siendo afectada por los efectos de la bio-acumulación de metales en sus tejidos, además de estar bajo la presión de numerosos factores como las especies exóticas introducidas en el sistema acuático, fragmentación de hábitat, cambio climático etc.

CONCLUSIÓN

Se confirma la bioacumulación de metales en ejemplares de *Diplomys-tes cuyanus*. Desde el punto de vista del consumo humano seguro, serán necesarias nuevas determinaciones para metales en general. En este trabajo varios de estos metales se encuentran superando los niveles permitidos por las diferentes entidades regulatorias a nivel nacional como internacional.

AGRADECIMIENTOS

A Luis Pablo Gómez por sus sugerencias y cooperación en los trabajos de campo, a la Secretaría de Estado de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la provincia de San Juan por los permisos de colecta otorgados.

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, J.C., A. LASPIUR, G. BLANCO & H.J. VILLAVICENCIO, 2016. Ictiofauna de San Juan: diversidad y distribución. En: Martínez Carretero, E. (ed.), San Juan Ambiental. San Juan, Editorial UNSJ. pp. 237-257.
- AGENCIA PARA EL REGISTRO DE SUSTANCIAS TÓXICAS Y ENFERMEDADES (ASTDR), EE. UU., 2008. Perfil Toxicológico del Aluminio. Último acceso el 20 de marzo de 2024. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp22.pdf>
- ALARIMA, C.I. & T. MASUNAGA, 2018. Effect of soil erosion and topography on distribution of cadmium (Cd) in Sumani watershed, West Sumatra, Indonesia. In MATEC Web of Conferences 229: 03001. EDP Sciences
- ANDRADY, A.L., 2011. Microplastics in the marine environment. Marine Pollution Bulletin 62 (8): 1596-1605.
- ARGOTA, G., Y. GONZÁLEZ, H. ARGOTA, R. FIMIA & J. IANNAONE, 2012. Desarrollo y bioacumulación de metales pesados en *Gambusia punctata* (Poeciliidae) ante los efectos de la contaminación acuática. Revista electrónica de Veterinaria 13(5): 1-12.
- ARIM, M.L., L. MARONE & F.M. JAKSIC, 2007. Redes Tróficas. Capítulo 11. En: Jaksic, F.M. & L. Marone (eds.), Ecología de Comunidades, 2da edición. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, 336 pp.
- ARRATIA, G, 1987. Description of the primitive family Diplomystidae (Siluriformes, Teleostei, Pisces): morphology, taxonomy

- and phylogenetic implications. *Bonner Zoologische Monographien* 24: 1-120.
- ARRATIA, G. & C. QUEZADA-ROMEGIALLI, 2017. Understanding morphological variability in a taxonomic context in Chilean diplomystids (Teleostei: Siluriformes), including the description of a new species. *Peer J*, 5: e2991.
- AZPELICUETA, M.M., 1994. Los diplomistidos en Argentina (Siluriformes, Diplomystidae). *Fauna de agua dulce de la República Argentina. Profadu-Conicet, La Plata* 40 (4): 5-27.
- BADII, M. H., R.G. CUEVAS, V.G. ALMANZA. & J.L. FLORES, 2005. Los indicadores biológicos en la evaluación de la contaminación por agroquímicos en Ecosistemas acuáticos y asociados. *Cultura Científica y Tecnológica* 2 (6): 1.
- BARCELÓ, D. & M.J. LÓPEZ, 2008. Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. *Jornadas de presentación de resultados: el estado ecológico de las masas de agua. Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas, Sevilla*, 1-27.
- BARRAZA, M., M. RECAVARREN, & P. SANZANO, 2018. Análisis cuantitativo de metales pesados en pescados para exportación a la Unión Europea (Doctoral dissertation). Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Disponible en: <http://ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/handle/123456789>
- BEYER, J., M. SANDVIK, K. HYLLAND, E. FJELD, E. EGAAS, E. AAS & A. GOKSØYR, 1996. Contaminant accumulation and biomarker responses in flounder (*Platichthys flesus* L.) and Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) exposed by caging to polluted sediments in Sør fjorden, Norway. *Aquatic Toxicology* 36 (1-2): 75-98.
- BHUPANDER, K., D.P. MUKHERJEE, K. SANJAY, M. MEENU, P. DEV, S.K. SINGH & C.S. SHARMA, 2011. Bioaccumulation of Heavy Metals in Muscle Tissue of Fishes from Selected Aquaculture Ponds in East Kolkata Wetlands. *Annals of Biological Research* 2 (5):125-134.
- BURGER, J. & M. GOCHFELD, 2005. Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environmental research* 99(3): 403-412.
- BUTI, C.I., F. CANCINO, S. FERULLO & C. GAMUNDI, 2015. Diversidad y evaluación toxicológica de peces como indicadores de contaminación por mercurio, plomo, cadmio, cobre y arsénico, provincia de Tucumán, República Argentina. *Serie Conservación de la Naturaleza* 20: 1-34.
- CAHUANA, L. & O. ADUVIRE, 2019. Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería* 4(2): 19-36.
- CHEBEZ, J.C., 1994. Los que se van. *Especies Argentinas en peligro*. Editorial Albatros, Buenos Aires, 604 pp.
- CLIMATE-DATA.ORG.(n.d.).Clima:Barreal. Climate-Data.org.
- CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO, 2012. Secretaría de Políticas, Regulación e Institutos y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-116-2012-199977/texto>.
- DAMALAS, C. A. & I.G. ELEFTHEROHORINOS, 2011. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 8(5): 1402-1419.
- DE LA GÁNDARA, F., 2003. ¿Son las tareas propias de un cultivo intensivo de peces mediterráneos compatibles con su bienestar? I Congreso Internacional sobre Bienestar Animal Murcia: 1-7.
- DEL MORAL, L., 2006. La Directiva Marco del Agua y la nueva política agraria. XII Informe socioeconómico de la Agricultura en España, Fundación de Estudios Rurales, Madrid.

- DOREA, J.G., 2008. Sustancias persistentes, bioacumulativas y tóxicas en los peces: consideraciones para la salud humana. *Ciencia del medio ambiente total* 400 (1-3): 93-114.
- DUDGEON, D., A.H. ARTHINGTON, M.O. GESSNER, Z.I. KAWABATA, D.J. KNOWLER, C. LÉVÊQUE & C.A. SULLIVAN, 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews* 81(2): 163-182.
- DUQUE, D.A.S., J.P. HOLGUÍN, A. ESTRELLA & G.L. MARTÍNEZ, 2019. Mejoramiento de la calidad en la carne de la trucha arcoíris mediante la técnica de sacrificio Ikejime: caso Ecuador. *CIENCIA ergo-sum* 26(1): 11.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 1987. Directrices de evaluación de riesgos de 1986. Oficina de Evaluación de Salud y Medio Ambiente, Washington, DC. EPA/600/8-87/045. Disponible en: <https://www.epa.gov/iris/reference-dose-rfd-description-and-use-health-risk-assessments#:~:text=The%20RfD%20is%20generally%20expressed,the%20chemical%20at%20other%20doses>.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2004. Lo que usted necesita saber sobre el mercurio en el pescado y los mariscos. Disponible en: <https://archive.epa.gov/epa/choose-fish-and-shellfish-wisely/lo-que-usted-necesita-saber-sobre-el-mercurio-en-el-pescado-y-los.html>.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2005. Zinc and compounds; CASRN 7440-66-6. Disponible en: https://iris.epa.gov/static/pdfs/0426_summary.pdf.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2014. Método 6020B (SW-846): Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente, Revisión 2. Washington, DC. Disponible en: <https://www.epa.gov/esam/epa-method-6020b-sw-846-inductively-coupled-plasma-mass-spectrometry>.
- EUROPEAN COMMISSION, 2006. Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, L364,5-24. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32006R1881>.
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA), 2008. Safety of aluminium from dietary intake. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/754.pdf>
- FORD, K.L., 2004. Risk management criteria for metals at BLM mining sites. *U.S. Bureau of Land Management Papers* 22. Disponible en: <https://digitalcommons.unl.edu/usblmpub/22>.
- GÓMEZ, F.R., A. VALENZUELA, & J.C. ACOSTA, 2022. Anoftalmia y microftalmia unilateral en *Diplomystes cuyanus* “bagre Otuno” en el centro-oeste de Argentina. *Neotropical Biodiversity* 8(1): 147-150.
- GONZÁLEZ, S., 2007. Contaminación difusa de las aguas. *Revista IniaTierra Adentro*: 21-25. Recuperado de <https://funcagua.org.gt/wp-content/uploads/2020/04/2007.-Contaminaci%C3%B3n-difusa-de-las-aguas.pdf>
- GUARDIA, M.J., & R.C. HALE, 2003. Bifenilos policlorados en el medio ambiente: evaluación y gestión del riesgo. *Environmental Science & Technology* 37(4): 745-756.
- <https://es.climate-data.org/americas-del-sur/argentina/san-juan/barreal-145327/>
- IBARRA, A.A., 2005. Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua. *Revista Digital Universitaria* 6(8): 1-14.
- JAROSZ-KRZEMIŃSKA, E., N. MIKOŁAJCZYK & E. ADAMIEC, 2021. Contenido de metales tóxicos y As en especies de peces marinos y de agua dulce disponibles para la venta en los supermercados de la UE y riesgo para la salud asociado a su consumo. *Revista de Ciencias de la Alimentación y la Agricultura* 101 (7): 2818-2827.

- JEZIERSKA, B., K. ŁUGOWSKA & M. WITESKA, 2009. The effects of heavy metals on embryonic development of fish (a review). *Fish physiology and biochemistry* 35: 625-640.
- JOINT FAO/WHO EXPERT COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES, 2011. Evaluation of certain contaminants in food: Seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). World Health Organization. Recuperado de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44521>
- KAN, X., Y. DONG, L. FENG, M. ZHOU & H. HOU, 2021. Evaluación de la contaminación y los riesgos para la salud de los metales pesados en los relaves de las minas de plomo y zinc de China: un metaanálisis. *Quimiosfera* 267: 128909.
- LA COLLA, N. S., S.E. BOTTÉ & J.E. MARCOVECCHIO, 2018. Metals in coastal zones impacted with urban and industrial wastes: Insights on the metal accumulation pattern in fish species. *Journal of marine systems* 181: 53-62.
- LEE, J.H., J.H. O'KEEFE, C.J. LAVIE & W.S. HARRIS, 2009. Ácidos grasos omega-3: beneficios cardiovasculares, fuentes y sostenibilidad. *Nat Rev Cardiol* 6(12):753-758.
- LÓPEZ, H.L., A.M. MIQUELARENA & R.C. MENNI, 2003. Lista comentada de peces continentales de la Argentina. Serie Técnica y didáctica n° 5, Probiota. La Plata, Buenos Aires, 85 pp.
- LUPANO, C.F., 2008. Cuenca del río San Juan. Buenos Aires, Argentina. Ministerio de Gobierno y Obras Públicas de la Nación. Recuperado de https://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/pdf/54_nueva.pdf
- MEHRI, A., 2020. Trace elements in human nutrition (II)–an update. *International journal of preventive medicine* 11(1): 2.
- NAUEN, C.E., 1983. Compilation of Legal Limits for Hazardous Substances in Fish and Fishery Products. United Nations Food and Agriculture Organization. Recuperado de <https://www.fao.org/3/q5114e/q5114e.pdf>
- OYANEDEL, A., E. HABIT, M.C. BELK, K. SOLIS-LUFI, N. COLIN, J. GONZALEZ & C. MUÑOZ-RAMÍREZ, 2018. Movement patterns and home range in *Diplomystes camposensis* (Siluriformes: Diplomystidae), an endemic and threatened species from Chile. *Neotropical Ichthyology* 16(1): 1-10.
- PEREYRA, B.R., 1996. Clima de la provincia de San Juan. Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT), Mendoza, Argentina. Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la Región Andina Argentina. Recuperado de <https://www.mendoza.conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap10.htm>
- PRIETO-MÉNDEZ, J., C.A. GONZÁLEZ RAMÍREZ, A.D. ROMÁN-GUTIÉRREZ & F. PRIETO- GARCÍA, 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10(1): 29-44.
- PRITCHARD, J.B., 1993. Aquatic toxicology: past, present, and prospects. *Environmental Health Perspectives* 100: 249-257.
- QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System (Versión 3.32). Open Source Geospatial Foundation. <https://qgis.org/en/site/>
- REGAIRAZ, C., 2000. Suelos de San Juan. Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT), Mendoza, Argentina. Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la Región Andina Argentina. Recuperado de <https://www.mendoza.conicet.gob.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap13.htm>
- RINGUELET, R., 1965. Diferenciación geográfica del "Otuno" *Diplomystes viedmensis* Mac Donagh, 1931 (Pisces, Siluriformes). *Physis* 25: 89-92.
- RODRÍGUEZ -PACHECO, R., 2011. Geo-disponibilidad y biodisponibilidad de metales en residuos mineros, aguas, suelos, sedimentos y peces. Evaluación y análisis de riesgo para el medioambiente

- te. Zona de Calingasta. Provincia de San Juan. República de Argentina. Reporte Técnico. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/281445672> DOI:10.13140/RG.2.2.11146.16321
- RODRÍGUEZ AYALA, S.M., 2018. Bioacumulación de metales pesados en *Schoenoplectus californicus* (Cyperaceae) de las áreas bentónicas en dos estaciones climáticas: el caso de estudio del Lago San Pablo. Imbabura-Ecuador. Tesis Doctoral, 139 pp.
- RODRÍGUEZ, A. F., M. SILVA & J. MORELLO, 2018. Ecoregión de Monte de Sierras y Bolsones, 255-284. En: Morello J.; S.D. Matteucci; A.F. Rodríguez & M.E. Silva (eds.), Ecoregiones y Complejos Ecosistémicos Argentinos. 2da ed. Ampliada, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Orientación gráfica Editora. 800 pp.
- ROSS, L.G. & B. ROSS, 2208. Anaesthesia of Fish. IV. Non chemical methods. En: ROSS, L.G. & B. ROSS (eds.), Anaesthetic and sedative techniques for aquatic animals. John Wiley & Sons, 218 pp.
- SANCHEZ-ACEVES, L.M., 2021. Toxicidad inducida por la mezcla de aluminio-ibuprofeno en el bioindicador pez zebra *Danio rerio*. Toluca, México, Año 2021. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/112683/TESIS%20LMSA.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE. Gobierno de la provincia de San Juan, 2011. Resolución N°: 0656
- SIVAPERUMAL, P., T.V. SANKAR & P. V. NAIR, 2007. Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards. Food chemistry 102(3): 612-620.
- SOSA, H. & S. VALVÉ, 1999. Lagunas de guanacache (centro-oeste de argentina). procedimiento de inclusión a la convención sobre los humedales (RAMSAR, 71). Multequina 8: 71-85.
- SULLIVAN, J.P., J.G. LUNDBERG & M. HARDMAN, 2006. Phylogenetic analysis of the major groups of cat fishes (Teleostei: Siluriformes) using rag1 and rag2 nuclear gene sequences. Molecular Phylogenetics and Evolution 41: 636-662.
- VAN LEEUWEN, C.J., E.M.M. GROOTELAR & G. NIEBEEK, 1990. Fish embryos as teratogenicity screens: a comparison of embryotoxicity between fish and birds. Ecotoxicology and environmental safety 20(1): 42-52.
- VICTORIANO, P.F., I. VERA, V. OLMOS, M. DIB, B. INSUNZA, C. MUÑOZ-RAMÍREZ, et al., 2012. Patrones idiosincráticos de diversidad genética de peces nativos del Río San Pedro (Cuenca del Río Valdivia), un sistema de la región glaciada del sur de Chile. Gayana 76(Suppl.1): 71-85.
- WAJNBERG, E. & S. COLAZZA, 2013. Chemical ecology of insect parasitoids. John Wiley & Sons.
- WEICHELBAUM, E., S. COE, J. BUTTRISS & S. STANNER, 2013. Pescado en la dieta: una revisión. Nutrition Bulletin 38 (2): 128-177.

Recibido: 08/2024
Aceptado: 11/2024