

# Elementos traza en peces comerciales de Argentina

## Trace elements in commercial fish from Argentina

LLAMAZARES VEGH, S<sup>1</sup>; AVIGLIANO, E<sup>1</sup>; THOMPSON, GA<sup>1</sup>; VOLPEDO, AV<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>CONICET. Universidad de Buenos Aires. UE Investigaciones en Producción Animal (INPA), Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup>Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias, Buenos Aires, Argentina. <sup>3</sup>Universidad de Buenos Aires. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA), Buenos Aires, Argentina

### RESUMEN

Argentina es un país productor de alimentos estratégico a nivel mundial. Entre los alimentos producidos se destaca la proteína animal proveniente de la pesca y de la producción acuícola. En 2019 se capturaron aproximadamente más de 463.000 toneladas (t) de peces marinos, 30.000 t de peces dulceacuícolas y se produjeron 3.000 t por acuicultura. El 90 % de todos estos productos se exporta. Los elementos traza presentes en los productos pesqueros pueden propiciar pérdidas económicas importantes debido al rechazo de dichos productos en los mercados externos e internos, así como también un potencial impacto sanitario en el caso que su consumo sea superior a los valores propuestos en el Código Alimentario Argentino y las normativas internacionales. Sin embargo, en Argentina son limitados los estudios sobre este tema. El presente artículo presenta una revisión de los estudios relacionados con la presencia de elementos traza regulados por el CAA (e.g. As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn) en músculo de las principales especies de peces comerciales de pesca de captura marino-costera y dulceacuícolas de Argentina. A su vez, se resumen los principales resultados de elementos traza en agua y sedimentos en los últimos 20 años de las regiones que concentran la pesca de captura. Se identifican los vacíos de información existentes y se discuten y proponen diferentes líneas científico-técnicas a seguir con el fin de contribuir con las autoridades competentes en la toma de decisiones.

**Palabras clave:** (elementos traza), (pesca), (riesgo de consumo)

## ABSTRACT

Argentina is a strategic food-producing country worldwide. Among the foods produced, animal protein from fishing and aquaculture production stands out. In 2019 approximately more than 463,000 tonnes (t) of marine fish were caught, 30,000 t of freshwater fish, and 3,000 t were produced by aquaculture; and around 90% of all these products are exported. The trace elements present in fishery products can lead to significant economic losses due to the rejection of these products in external and internal markets and a potential health impact if their consumption is higher than the values proposed in the Argentine Food Code, and international regulations. However, in Argentina, studies on this subject are limited. This article presents a review of the studies related to the presence of trace elements regulated by the CAA (eg As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb and Zn) in muscle of the main species of coastal-marine and freshwater commercial fish of capture fisheries from Argentina. Also, the main results of trace elements in water and sediments in the last 20 years of the regions that concentrate capture fisheries are summarized. Existing information gaps are identified and different scientific-technical lines to be followed are discussed and proposed in order to contribute to the competent authorities in decision-making.

**Key words:** (trace elements), (fishery), (risk consumption)

## INTRODUCCIÓN

Argentina es un país productor de alimentos estratégico a nivel mundial. Entre los alimentos producidos se destaca la proteína animal proveniente de la pesca y de la producción acuícola<sup>30</sup>. En 2019 se capturaron aproximadamente más de 463.000 toneladas (t) de peces marinos, 30.000 t de peces dulceacuícolas y se produjeron 3.000 t por acuicultura<sup>55,56</sup>. Las especies comerciales marino-costeras más importantes acorde a los volúmenes de captura son la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*), la pescadilla (*Cynoscion guatucupa*) y el pez palo (*Percophis brasiliensis*)<sup>58</sup> y las dulceacuícolas son el sábalo (*Prochilodus lineatus*), la boga (*Megaleporinus obtusidens*), la tararira (*Hoplias* spp.) y el pejerrey (*Odontesthes* spp.)<sup>59</sup>. En general, el 90 % de todos estos productos se exporta a diferentes países entre los que se destacan China, Estados Unidos, Colombia y Brasil. Para el año 2019, las especies marinas representaron el 95 % de las exportaciones, mientras que el 5 % fueron especies dulceacuícolas<sup>57</sup>.

A diferencia de la tendencia observada a nivel mundial<sup>30</sup>, en Argentina la pesca de captura concentra la mayor producción del sector destinada al consumo humano directo, tanto la pesca marina como la dulceacuícola, lo cual presenta grandes desafíos en términos de sustentabilidad y calidad de los productos pesqueros. En

las últimas décadas, el ordenamiento pesquero presenta una visión integral (ecosistémica) de las pesquerías, que incluye las especies de interés, el ambiente donde se las captura, el contexto socioeconómico de la actividad y la sustentabilidad de la pesquería; tomando en consideración el conocimiento científico-técnico necesario para hacer frente a las incertidumbres de los componentes bióticos, abióticos, humanos y sus interacciones<sup>28</sup>. Una producción pesquera sustentable no sólo depende de la comprensión de aspectos bioecológicos de la población de peces blanco, sino también de la calidad de los mismos para consumo humano. Por tanto, es necesario evaluar el grado de inocuidad de las diferentes poblaciones de peces que están siendo explotadas para garantizar un consumo seguro por parte de la población<sup>95</sup>. En este contexto, surge la necesidad de establecer de manera integral la calidad del ecosistema donde las especies de interés comercial se desarrollan además de la aptitud de los peces como alimento humano.

Los contaminantes presentes en la columna de agua y/o sedimentos y en el alimento, ingresan al cuerpo de los peces a través de diferentes rutas: branquias, piel y tracto digestivo<sup>3</sup>. En los sistemas productivos acuícolas es posible controlar la exposición a contaminantes a través del monitoreo de la

calidad del agua y del alimento suministrado. Sin embargo, en los sistemas naturales existen múltiples fuentes de contaminantes por lo cual detectar dichas fuentes y mitigar sus efectos, genera grandes desafíos para la gestión ambiental. Un ejemplo de esto son los “metales pesados” (Cr, Cd, y Pb, entre otros) que pueden acumularse produciendo un incremento en la concentración en los tejidos de los peces, perjudicando la calidad del producto y trayendo consecuencias para la salud humana en el caso de su consumo. Por lo general, el término “metales pesados” se usa para denominar a un grupo de elementos (metales, metaloides y no metales) que han sido asociados con contaminación o potencial toxicidad o eco-toxicidad. Se los considera elementos traza ya que se encuentran en baja concentración (inferior a 0.1 %) en algunas matrices ambientales (e.g., sedimentos, agua)<sup>26</sup>. Los elementos traza suelen ser agrupados en “no esenciales” (e.g. Ag, Al, As, Cd, Hg, Pb, Sr, y U) y “esenciales” (e.g. Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Se, y Zn)<sup>96</sup>. Este último grupo es requerido por plantas y/o animales para su ciclo vital. Sin embargo, pasado cierto umbral de concentración ambos grupos de elementos traza pueden volverse tóxicos para los seres vivos<sup>96</sup>. En particular, elementos como el As, Co, Cr, Cu, Mb, Mn, Ni, Se y Zn, pueden resultar muy tóxicos, ya que no son biodegradables y se ha evidenciado su acumulación en los organismos vivos<sup>16</sup>. En este sentido, su biodisponibilidad (capacidad para atravesar libremente la membrana celular de un organismo desde el medio) está relacionada de manera directa a su toxicidad potencial<sup>32</sup>.

La concentración natural de los elementos traza en ecosistemas acuáticos está asociada a su distribución, su movilización y transporte en el ambiente. Las actividades humanas, tanto industriales como urbanas, así como las prácticas agrícolas, pueden incrementar la carga de elementos traza en los ecosistemas acuáticos o alterar sus ciclos naturales al producir concentraciones elevadas en alguna matriz (e.g. agua, sedimento) en particular<sup>85</sup>. La mayoría de los elementos traza liberados al ambiente llegan a los sistemas acuáticos a través de descargas directas, precipitación húmeda o seca y erosión. Los sedimentos pueden incorporar y acumular los elementos traza que llegan al ambiente acuático. Los cambios en las condiciones físico-químicas del ambiente pueden removilizar y liberar estos elementos desde los sedimentos a la columna de

agua quedando biodisponibles para los organismos acuáticos<sup>41</sup> y llegar al hombre lo cual implica un impacto en la salud<sup>50</sup>.

Los elementos traza presentes en los productos pesqueros pueden propiciar pérdidas económicas importantes debido al rechazo de dichos productos en los mercados externos e internos, así como también producir un potencial impacto sanitario en el caso que estén en el producto de la pesca en concentraciones superiores a los valores propuestos en el Código Alimentario Argentino (CAA)<sup>22</sup> y las normativas internacionales (EC, FAO, MERCOSUR/GMC, USFDA, WHO). El objetivo principal de este trabajo es presentar los resultados más relevantes de los elementos regulados por el CAA (e.g. As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn) en músculo de las principales especies de peces comerciales de pesca de captura marino-costera (corvina blanca, pescadilla y pez palo) y dulceacuícolas (sábalo, boga, tararira y pejerrey) de Argentina. A su vez, se resumen los principales resultados de elementos traza en agua y sedimentos en los últimos 20 años de las regiones que concentran la pesca de captura, y se identifican los vacíos de información existentes a fin de proponer líneas científico-técnicas en la temática a desarrollarse.

## ELEMENTOS TRAZA EN LAS PRINCIPALES REGIONES PESQUERAS EN ARGENTINA

Las especies comerciales analizadas en esta revisión se distribuyen heterogéneamente en los sistemas naturales del territorio argentino y el esfuerzo de captura de las mismas se concentra en las lagunas de la región Pampeana, en la Cuenca del Plata (río Paraná, río Uruguay, Río de la Plata) y la costa atlántica bonaerense (Figura 1).

En las últimas décadas se ha observado un marcado deterioro de la calidad ambiental de los sistemas acuáticos, asociado con los cambios en el uso de la tierra y el desarrollo alcanzado en las distintas regiones del país por las actividades humanas<sup>15,17</sup>. El impacto de la actividad antrópica en los sistemas acuáticos varía dependiendo del sistema que se analice. Por ejemplo, en el Bajo Paraná, se encuentran altos niveles de metales y pesticidas, en su mayoría transportados por afluentes de la cuenca alta que atraviesan áreas urbanas e industrializadas, así como extensas tierras agrícolas de la llanura de inundación<sup>23,77</sup>. A

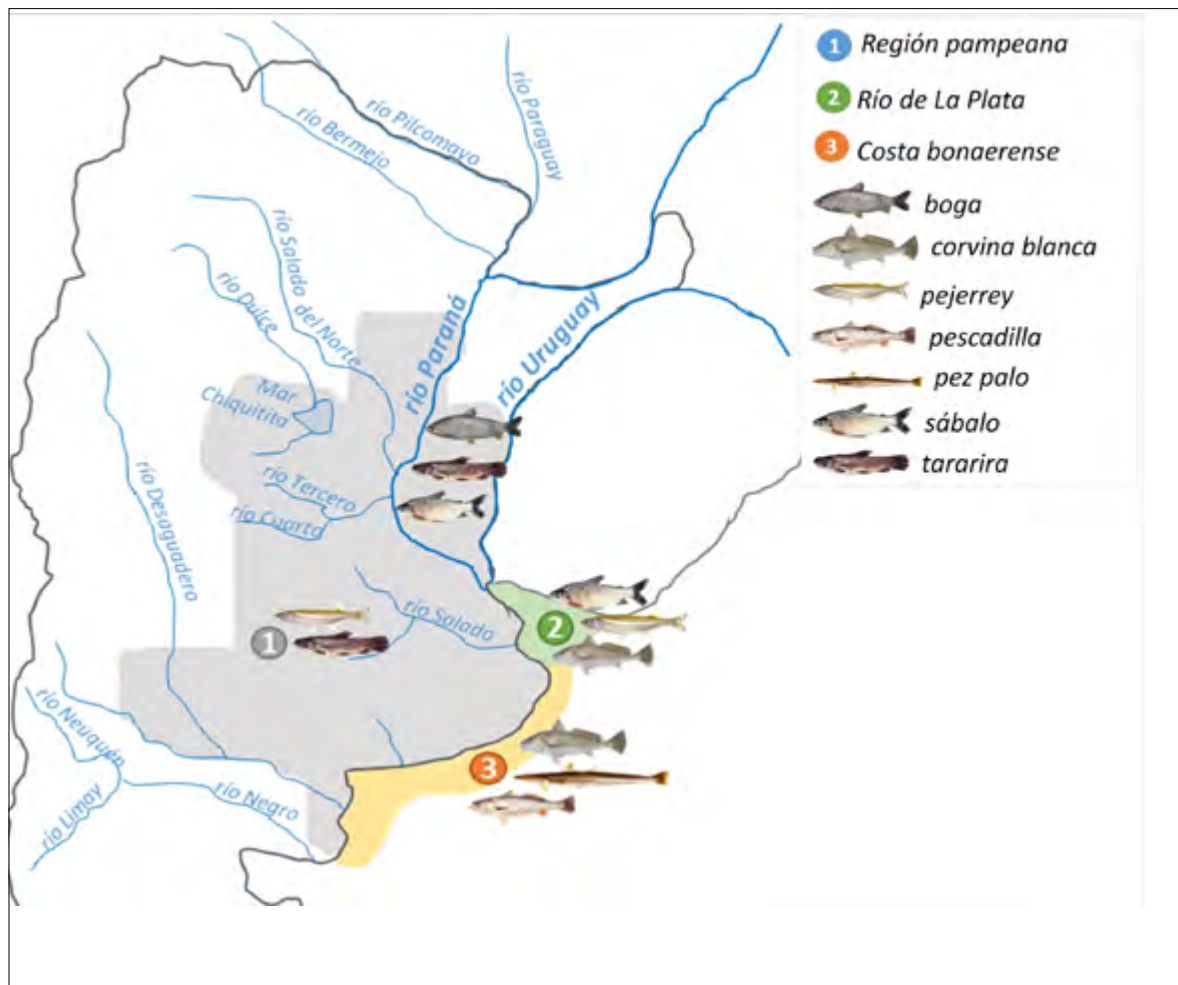
su vez, las prácticas de producción intensiva y los cambios en el uso de la tierra del Paraná Medio (e.g. a la sustitución de los bosques nativos por agricultura) están asociados con el ingreso por escorrentía de contaminantes inorgánicos y orgánicos a los cuerpos de agua<sup>6,10,14,70</sup>. Sin embargo, la presencia de ciertos elementos traza en el agua (e.g. Fe, Zn y As) pueden tener un origen natural en la región sudamericana, siendo el As uno de los elementos tóxicos de mayor preocupación para la salud en la zona<sup>78,83,84</sup>.

La calidad y parámetros físico-químicos del ecosistema acuático donde los peces se desarrollan impactan directamente en el crecimiento y la viabilidad de sus poblaciones, en particular, altas concentraciones de metales (esenciales y no esenciales) pueden retrasar el desarrollo y disminuir la supervivencia de los peces<sup>71</sup>. En los últimos años varios estudios han reportado en ambientes naturales la presencia elementos traza

en agua y sedimentos a fin de comparar estos valores con los niveles guías para la protección de la vida acuática propuestos por diversos organismos de gestión (Tabla 1). Así mismo estos autores han evaluado la distribución de estos elementos en diferentes tejidos de peces, incluido el músculo a fin de evaluar el riesgo para la salud humana asociado con el consumo del mismo.

Si bien los niveles de elementos traza reportados en aguas superficiales por los distintos autores están por debajo de los niveles máximos recomendados establecidos para protección de la vida acuática en Argentina (Tabla 2), en distintas regiones donde se realiza pesca de captura, se detectaron niveles superiores. Por ejemplo, los niveles de Cu, Cd, Pb, Ag, y As reportados en aguas de las lagunas y ríos de la región Pampeana<sup>81,82</sup>; y las concentraciones de Al, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn reportados en el embalse de río Tercero y San Roque de la provincia de Córdoba<sup>35,39,65</sup>.

**Figura 1.** Regiones de mayor captura de las especies comerciales en Argentina.



Otro ejemplo son los niveles de Cd, Cu, Fe y Zn en el Delta del Río Paraná y el Estuario del Río de la Plata<sup>6,7,51</sup>. Por otra parte los niveles medios de As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, y Pb en agua del río Uruguay<sup>6</sup> estuvieron por debajo de los niveles máximos recomendados (Tabla 2).

En la costa atlántica bonaerense descargan algunos cuerpos de agua dulce que atraviesan zonas urbanas y áreas de producción agropecuaria, así también como canales, siendo el principal aporte la descarga del Río de la Plata. Estos sistemas lóticos aportan nutrientes y metales pesados a la zona costera tanto en épocas de aguas altas como de aguas bajas<sup>19,82</sup>. Se han detectado valores elevados de Cu, Pb y Zn en agua marina costera<sup>33,87</sup>. Los estudios de la presencia de elementos traza en peces marinos costeros bonaerenses están focalizados en: la zona norte de la provincia de Buenos Aires<sup>6,88</sup>, Quequén<sup>91</sup> y el estuario de Bahía Blanca<sup>46,47,60</sup>.

## ELEMENTOS TRAZA EN LOS PRINCIPALES PECES DE INTERÉS COMERCIAL

### Especies dulceacuícolas

El sábalo (*P. lineatus*) es la especie de agua dulce comercial más importante de América del Sur y constituye la principal especie objetivo en las pesquerías de la Cuenca del Plata<sup>86</sup>. Siendo la especie predominante en las capturas de la baja Cuenca del Plata y en especial en el Río Paraná (tramo Medio e Inferior). Esta especie es migradora y su ciclo reproductivo está regulado por el caudal hidrométrico de los grandes ríos de la Cuenca del Plata<sup>1</sup>. Se alimenta de detritos y estudios recientes han determinado sus áreas de cría y sus stocks pesqueros<sup>8,52,54</sup>.

En los últimos 20 años varios estudios (Tabla 3) han determinado la presencia de elementos traza en el músculo de sábalos capturados en distintas zonas de pesca. En general, los resultados obtenidos por estos autores mostraron que el As, Cd, Hg, y Pb presentes en el sábalo se encuentran en niveles inferiores a los límites máximos establecidos por el Código Alimentario Argentino<sup>22</sup> (CAA). Sin embargo, existen reportes de Pb en el músculo de sábalos capturados en la provincia de Buenos Aires que superaron los valores permisibles de consumo<sup>83</sup>. En cuanto al riesgo de exposición a metales pesados por consumo de filete de sábalos provenientes del río Paraná y Estuario del Río de la Plata por parte de la población en general sería muy bajo ( $0,1 < \text{THQ}$ )<sup>7,93,95</sup>.

En el caso del *O. bonariensis* que es una especie nadadora plantófaga que usa la columna de agua para alimentarse, los valores de As, Cd, Cu, Hg, Pb y Zn reportados fueron inferiores a los máximos recomendados por el CAA en el río Paraná y en el estuario del Río de la Plata<sup>11,12</sup>. Por otra parte, en la provincia de Córdoba se registraron valores de As<sup>34,38,39,65</sup> y Pb<sup>34</sup> superiores a los establecidos por el CAA.

Las tarariras (*Hoplias* spp.) son peces ictiófagos depredadores con un amplio rango de distribución<sup>75</sup> que habitan generalmente ambientes lénticos (raramente lóticos), vegetados y de profundidad variada, tanto sujetos a estrés hídrico como permanentes, tolerando cambios de salinidad y de oxígeno<sup>74</sup>. En Argentina, las tarariras se encuentran presentes en el Paraná bajo y medio, bajo Uruguay y ríos y arroyos pampeanos y son capturadas con propósitos comerciales y recreativos<sup>27</sup>. En el año 2019, se extrajeron más de 1.500 t de tararira (*Hoplias* spp.) en la baja cuenca del Plata, de las cuales 517 t se comercializaron en el mercado interno<sup>59</sup> y 1.008 t se destinaron a la exportación<sup>55</sup>. El único estudio de elementos traza encontrado para el género mostraron variaciones estacionales en las concentraciones de As y Hg, (embalse de Río Tercero<sup>34</sup>). Estos autores reportaron que la exposición a As y Hg representa un riesgo para la salud de los residentes locales que consumen pescado con una frecuencia de consumo de dos veces por semana durante toda la vida.

Por último, la boga (*Megaleporinus obtusidens*) es un pez migrador de importancia económica y deportiva que se distribuye en ambientes lénticos y lóticos de áreas templadas y subtropicales de América del Sur<sup>18,69,73</sup>. La boga tiene una dieta omnívora, con prevalencia de plantas acuáticas y terrestres<sup>40,42</sup>. Sin embargo, a pesar de su importancia económica y ecológica, no se hallaron estudios sobre la presencia de elementos traza en peces adultos de esta especie en Argentina, existiendo solo un reporte para juveniles<sup>51</sup>.

### Especies marino costeras bonaerenses

La corvina rubia (*M. furnieri*) es la especie marino-costera comercial más importante de Argentina y Uruguay<sup>58, 25</sup>, predominando en las capturas desembarcadas en el Puerto de Mar del Plata, Quequén y Lavalle<sup>58</sup>. Es una especie frecuentadora de fondo que se alimenta principalmente de invertebrados bentónicos<sup>64,80</sup>. En la costa bonaerense se identificaron diferentes stocks pesqueros<sup>4,72,94,95</sup>.

**Tabla 1.** Estudios de elementos traza en peces y/o matrices ambientales en las regiones de pesca en territorio argentino entre 2001-2021.

| Región de captura                          | Matrices                                                        | Elementos                                                                                                            | Ref. |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Región pampeana (Córdoba)                  | agua, sedimento y músculo                                       | As                                                                                                                   | 78   |
| Región pampeana (Córdoba)                  | agua, sedimento y músculo                                       | Mn, Fe, Zn, Cu, Cd, Cr, Ni, Ag, Mo, Nd, Al, Ce, As, Sr, Pb, Pt, y Hg                                                 | 65   |
| Región pampeana (Córdoba)                  | músculo                                                         | Al, As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, y Sr                                                                                 | 34   |
| Región pampeana (Córdoba)                  | agua, sedimento, músculo, branquia, cerebro, hígado e intestino | Ag, Al, As, Ba, B, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Tl, U, V, y Zn                | 35   |
| Región pampeana (Córdoba)                  | agua, sedimento y músculo                                       | Ag, Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, P, Pb, Se, U, y Zn                                                           | 39   |
| Región pampeana (Bs.As.)                   | músculo, bra<br>hígado y gónadas                                | Cr, Mn, y Zn                                                                                                         | 89   |
| Región pampeana (Bs.As.)                   | agua                                                            | Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn                                                                                             | 36   |
| Región pampeana (Bs.As.)                   | agua, sedimento y músculo                                       | As, Al, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd, Hg, Pb, U, y Se                                                              | 40   |
| Región pampeana (Bs.As.) y Río de la Plata | agua y músculo                                                  | As, Ag, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Ga, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Te, Ti, U, V, y Zn | 11   |
| Río Uruguay, río Paraná y Río de la Plata  | agua                                                            | Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Li, Mn, Ni, Pb, Rb, Si, Sr, U, y V                                            | 6    |
| Río Uruguay, río Paraná y Río de la Plata  | agua y sedimentos                                               | Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, y Zn                                                                     | 68   |
| Delta del río Paraná                       | agua y sedimentos                                               | Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn                                                                                             | 21   |
| Río de la Plata y Delta del río Paraná     | músculo, hígado y estómago                                      | Cd, Cr, Cu, y Pb                                                                                                     | 92   |
| Río de la Plata y Delta del río Paraná     | músculo, hígado, branquia y escamas                             | As, Co, Fe, Hg, y Zn                                                                                                 | 12   |
| Río de la Plata y Delta del río Paraná     | agua, sedimento, músculo, hígado y branquias                    | Ag, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, U, V, y Zn                                                                       | 7    |
| Bajo río Paraná                            | agua, sedimento y músculo (juveniles)                           | As, Cd, Co, Cr, Cu, Mg, Mn, Ni, Pb, y Zn                                                                             | 51   |
| Río de la Plata                            | músculo e hígado                                                | Cd, Hg, y Zn                                                                                                         | 60   |
| Río de la Plata                            | músculo                                                         | Cu, Hg, y Zn                                                                                                         | 90   |
| Río de la Plata                            | branquias e hígado                                              | Cd, Cu, Pb, y Zn                                                                                                     | 53   |
| Río de la Plata                            | músculo, piel y escamas                                         | Li, B, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Ba, Ti, Pb, Bi, U, As, Na, Mg, K, y Ca | 83   |
| Río de la Plata                            | músculo e hígado                                                | As, Cu, Hg, y Zn                                                                                                     | 24   |
| Río de la Plata                            | músculo                                                         | Ag, Al, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, U, V, y Zn                                                                   | 95   |
| Río de la Plata                            | sedimentos                                                      | As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Sc, Al, Fe, y Mn                                                                         | 67   |

**Tabla 2.** Niveles Guía de Calidad de agua y sedimento para Protección de Vida Acuática Nacionales (Ley 24.051) e Internacionales (CCME, USEPA y OMEW).

|        | Agua ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) |              |             |        |             | Sedimento ( $\text{mg kg}^{-1}$ ps) |      |      |
|--------|-------------------------------|--------------|-------------|--------|-------------|-------------------------------------|------|------|
|        | Agua Dulce                    | Ley 24.051   |             | CCME   | USEPA (CCC) | Ley 24.051*                         | CCME | OMEW |
|        |                               | Agua Salobre | Agua Marina |        |             |                                     |      |      |
| Ag     | 0,1                           |              | 5           | 0,1    | 3,2         |                                     |      |      |
| Al     | 5                             |              | 1500        |        |             |                                     |      |      |
| As     | 50                            | 50           | 0,5         | 5      | 340         |                                     | 5,9  | 6    |
| Cd     | 0,2                           | 5            | 5           | 0,017  | 2           | 3                                   | 0,6  | 0,6  |
| Cr     | 2                             |              |             |        |             | 250**                               | 37,3 | 26   |
| Cr(VI) |                               | 50           | 18          |        | 16          |                                     | 8    |      |
| Cu     | 2                             | 50           | 4           | 2,4    |             | 100**                               | 35,7 | 16   |
| Fe     |                               |              |             |        |             |                                     |      |      |
| Hg     | 0,1                           | 0,1          | 0,1         |        | 1,4         | 0,8                                 | 0,17 | 0,2  |
| Mg     |                               |              | 0,1         |        |             |                                     |      |      |
| Mn     | 100                           |              |             |        |             |                                     |      |      |
| Ni     | 25                            | 100          | 7,1         | 25-150 | 470         | 100**                               | 100  | 16   |
| Pb     | 1                             | 10           | 10          | 1-7,0  | 65          | 375                                 | 35   | 31   |
| Se     | 1                             |              | 10          | 1      |             |                                     |      |      |
| U      | 20                            |              | 500         |        |             |                                     |      |      |
| V      | 100                           |              |             |        |             | 200                                 | 200  |      |
| Zn     | 30                            | 170          | 0,2         | 30     | 120         | 500**                               | 123  | 120  |

\* Ley 24.051. Residuos Peligrosos. Decreto 831/93. Tabla 9: limites o niveles guía para suelos-uso agrícola

\*\* Ley 24.051. Residuos Peligrosos. Decreto 831/93. Tabla 9: limites o niveles guía para suelos-uso residencial

En los últimos 20 años, varios estudios<sup>24,63,91</sup> han determinado la presencia de elementos traza en el músculo de corvina capturada en la costa bonaerense (Tabla 4). Los resultados obtenidos por estos autores mostraron la presencia de Cu, Cd, Hg, y Zn en el músculo de la corvina rubia en niveles inferiores a los límites máximos establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA)<sup>22</sup>.

La pescadilla de red (*C. guatucupa*) es la segunda especie comercial costera bonaerense en importancia y es una especie frecuentadora de fondo que se alimenta de invertebrados como crustáceos cuando es juvenil y que a medida que crece se hace ictiófaga, alimentándose de anchoíta, surel, anchoa, entre otros<sup>79</sup>. Los estudios sobre la presencia de elementos traza en músculo de esta especie están limitados a Bahía Samborombón y al estuario de Bahía Blanca<sup>61,62,47</sup>, con valores menores a los recomendados por el Código Alimentario Argentino (Tabla 4).

Otra especie de interés es el pez palo (*P. brasiliensis*) que es una especie comercial que se exporta principalmente a Australia y que habita la plataforma realizando desplazamientos desde el sur de Brasil<sup>9</sup>. No existen estudios de presencia de metales pesados para esta especie en Argentina.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La acumulación de elementos traza en el músculo de los peces puede variar por factores exógenos asociados al ambiente (los parámetros fisicoquímicos del agua), a las propiedades químicas del elemento analizado (grado y duración de exposición) y por factores endógenos propios de la biología del pez (edad, longitud, peso, el sexo y estado metabólico, el tipo de alimentación, entre otros)<sup>2,43</sup>. Por ello, es necesario monitorear de manera sistemática no solo a los peces, sino también los niveles de los elementos

traza en las matrices ambientales (agua y sedimento) de las zonas de captura.

En general, los niveles de elementos reportados en las aguas superficiales se encuentran de acuerdo con los estándares de calidad para la protección de la biota acuática establecidos por los lineamientos nacionales e internacionales. La biodisponibilidad de los elementos traza en la columna de agua y en los sedimentos está relacionada a diferentes parámetros como el pH, la dureza, la concentración de materia orgánica, la temperatura y la salinidad<sup>16</sup>. Por ejemplo, se sabe que el As precipita en presencia de Fe durante la mezcla en

la interfaz agua dulce-agua de mar<sup>49</sup>, mientras que valores bajos de salinidad promueven la movilidad del Zn del sedimento al agua<sup>76</sup>. Sin embargo, es necesario realizar estudios adicionales para comprender cómo los factores ambientales influyen la biodisponibilidad de los elementos traza en los diferentes ambientes dulceacuícolas y marinos.

Por otro lado, la historia evolutiva de las especies es muy importante, además de su bioecología, en la captación y acumulación de elementos traza. Por ejemplo, Rosso *et al.*<sup>76</sup> encontraron que diferentes especies de peces con historias evolutivas diferentes en un mismo cuerpo de agua poseen va-

**Tabla 3.** Valores de las concentraciones de As, Cd, Cu, Hg, Pb, y Zn en músculo (mg kg<sup>-1</sup>) de las especies dulceacuícolas comerciales.

|                                                       | As      | Cd        | Cu   | Hg     | Pb       | Zn      | Ref. |
|-------------------------------------------------------|---------|-----------|------|--------|----------|---------|------|
| <i>Hoplias</i> spp.                                   |         |           |      |        |          |         |      |
| Reservorio Río Tercero                                | 0,21    | <0,01     | -    | 0,66   | <0,04    | -       | 34*  |
| <i>Megaleporinus obtusidens</i>                       |         |           |      |        |          |         |      |
| Bajo Río Paraná                                       | 0,09    | 0,02      | 1,94 | -      | 0,11     | 18,78   | 51*  |
| <i>Odontesthes bonaerensis</i>                        |         |           |      |        |          |         |      |
| Bajo Río Paraná                                       | 0,03    | 0,02      | 2,30 | -      | 0,09     | 25,96   | 51*  |
| delta del Río Paraná                                  | 0,09    | -         | -    | 0,51   | -        | 5,83    | 12   |
| Río de la Plata                                       | 0,03    | 0,01      | -    | 0,3    | 0,19     | 12      | 11†  |
| Laguna Adela                                          | 0,05    | ND        | -    | 0,04   | 0,09     | 14      | 11†  |
| Laguna Adela                                          | -       | -         | -    | -      | -        | 39,85   | 89*  |
| Laguna Barrancas                                      | 0,04    | ND        | -    | 0,03   | 0,06     | 12,6    | 11†  |
| Laguna Barrancas                                      | -       | -         | -    | -      | -        | 41,84   | 89*  |
| Lago Chasicó                                          | 0,08    | 0,02      | -    | 0,42   | 0,04     | 18,4    | 11†  |
| Laguna Tabilla                                        | -       | -         | -    | -      | -        | 100,48  | 89*  |
| Río Salado                                            | 0,88    | -         | -    | -      | -        | -       | 78   |
| río Quequén                                           | 1,23    | -         | -    | -      | -        | -       | 78   |
| río Sauce Grande                                      | 1,01    | -         | -    | -      | -        | -       | 78   |
| Reservorio San Roque                                  | 5,4     | <0,01     | 1,4  | 0,035  | 0,08     | 72      | 65*  |
| Reservorio Río Tercero                                | 2,8     | <0,02     | 0,7  | 0,9    | 0,09     | 71      | 39   |
| Reservorio Río Tercero                                | 4,25    | <0,01     | -    | 3,56   | <0,04    | -       | 34*  |
| Lago Los Molinos                                      | 4,2     | <0,03     | 0,5  | 1,7    | 0,05     | 48      | 38   |
| <i>Prochilodus lineatus</i>                           |         |           |      |        |          |         |      |
| Alto Río Paraná                                       | <0,04   | <0,003    | 0,31 | <0,007 | <0,007   | 4,11    | 7*   |
| Medio Río Paraná                                      | <0,04   | <0,003    | 0,16 | 0,018  | <0,007   | 0,75    | 7*   |
| Bajo Río Paraná                                       | 0,04    | 0,02      | 1,01 | -      | 0,16     | 15,77   | 51*  |
| Río de la Plata                                       | <0,04   | <0,003    | 0,2  | <0,007 | <0,007   | 3,39    | 7*   |
| Río de la Plata                                       | -       | <0,03     | -    | <0,5   | <0,5     | 43,6    | 92   |
| Berisso                                               | 0,03    | <0,001    | 0,26 | 0,04   | 0,08     | 4,22    | 95†  |
| Laguna Chascomus                                      | 0,27    | <0,01     | 1,35 | -      | 1,3      | 20,8    | 83   |
| <i>Valores Permisibles</i>                            |         |           |      |        |          |         |      |
| CCA                                                   | 1       | 0,5       | 10   | 0,5    | 0,3      | 100     |      |
| MERCOSUR/GMC                                          | 1       | 0,5       | 10   | 0,5    | 0,3      | 100     |      |
| ECFSA                                                 | 1       | 0,05-0,10 | -    | 0,5    | 0,20-0,4 | -       |      |
| USFDA                                                 | -       | -         | -    | -      | 0,5      | -       |      |
| WHO (1985)                                            | -       | 2         | -    | 0,5    | 2        | -       |      |
| FAO (2003)                                            | -       | 0,05      | -    | -      | 0,2      | -       |      |
| Dosis Oral Diaria (kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ) | 0,05 mg | 25 µg     | -    | 0,1 µg | <0,6 µg  | <1,0 mg | 95   |

\*ug g<sup>-1</sup>; †peso húmedo.



lores diferentes de elementos traza (arsénico) en sus tejidos. Esto está asociado a las rutas de incorporación de dichos elementos, a su metabolización y también a los diferentes hábitos tróficos de los peces. Los peces depredadores y los iliófagos o detritívoros generalmente presentan valores mayores de elementos traza en músculo que los peces planctófagos y/o herbívoros<sup>20,44,52</sup>. Esto se debe a que, por ejemplo, para algunos elementos traza los predadores pueden bioacumular más debido a que son un eslabón tope en una trama trófica. En el caso de los iliófagos la incorporación de los elementos traza está asociada al hábito trófico, ya que se captan de la materia orgánica presente en el sedimento que es una matriz ambiental importante para la concentración de elementos.

En los trabajos analizados en esta revisión se evidencia que si bien diferentes autores (Tabla 3 y Tabla 4) han encontrado en las diferentes especies comerciales dulceacuícolas y marino-costeras valores de elementos traza no esenciales en músculo, dichos valores son en su mayoría menores a los recomendados por el Código Alimentario Argentino.

En el caso de los elementos esenciales como Co, Fe, Se y Zn hallados en músculos de especies de peces se obtuvieron altas concentraciones<sup>7,11</sup>. Si bien estos elementos son esenciales, el consumo de altas concentraciones de los mismos podría causar daños a la salud<sup>31,37,66</sup>. Por ejemplo, el Se puede influir directamente en la función del miocardio y la respuesta a la lesión<sup>66</sup>, mientras que la ingesta elevada de Zn puede provocar enfermedades gastrointestinales<sup>37</sup>. En este sentido, es necesario estudiar la acumulación de estos elementos en las especies de peces y estimar el riesgo potencial para los consumidores. Las concentraciones de Cd, Cu y Zn halladas en el músculo de las especies estudiadas provenientes de los diferentes sitios (Tablas 3 y 4) presentaron valores inferiores a los niveles permisibles para el consumo humano nacionales e internacionales tanto en las especies dulceacuícolas como marinas.

Una de las dificultades que existe para estimar el riesgo que generan la presencia de los elementos traza en peces en el consumo humano es que en Argentina no hay información detallada

**Tabla 4.** Valores de las concentraciones de As, Cd, Cu, Hg, Pb, y Zn en músculo ( $\mu\text{g g}^{-1}$  peso húmedo) de las especies marino-costeras bonaerenses comerciales.

|                                                      | As        | Cd               | Cu          | Hg                | Pb                 | Zn        | Ref. |
|------------------------------------------------------|-----------|------------------|-------------|-------------------|--------------------|-----------|------|
| <i>Micropogonia furnieri</i>                         |           |                  |             |                   |                    |           |      |
| Bahía Blanca                                         | -         | -                | -           | -                 | <LD                | -         | 47   |
| río Quequén                                          | -         | -                | 0,11±0,09   | -                 | -                  | 0,82±0,57 | 91   |
| Río de la Plata                                      | -         | -                | -           | -                 | -                  | 20,5±4,86 | 63   |
| Río de la Plata                                      | -         | -                | <0,56       | 0,124±0,128       | -                  | 9,44      | 90   |
| Río de la Plata                                      | 1,82±1,16 | -                | 0,40±0,17   | 0,05±0,04         | -                  | 2,58±5,27 | 24   |
| <i>Cynoscion guatucupa</i>                           |           |                  |             |                   |                    |           |      |
| Bahía Blanca                                         | -         | -                | -           | -                 | <LD                | -         | 47   |
| Bahía Blanca                                         | -         | -                | 0,018±0,012 | -                 | -                  | -         | 45   |
| <i>Valores Permisibles</i>                           |           |                  |             |                   |                    |           |      |
| CCA                                                  | 1         | 0,5              | 10          | 0,5               | 0,3                | 100       |      |
| MERCOSUR/GMC                                         | 1         | 0,5              | 10          | 0,5               | 0,3                | 100       |      |
| ECFSA                                                | 1         | 0,05-0,10        | -           | 0,5               | 0,20-0,4           | -         |      |
| USFDA                                                | -         | -                | -           | -                 | 0,5                | -         |      |
| WHO (1985)                                           | -         | 2                | -           | 0,5               | 2                  | -         |      |
| FAO (2003)                                           | -         | 0,05             | -           | -                 | 0,2                | -         |      |
| Dosis Oral Diaria ( $\text{kg}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) | 0,05 mg   | 25 $\mu\text{g}$ | -           | 0,1 $\mu\text{g}$ | <0,6 $\mu\text{g}$ | <1,0 mg   | 95   |

sobre qué especies se consumen principalmente en cada región del país. En otras palabras, el valor de consumo promedio de pescado a nivel nacional no es adecuado para estimar el riesgo para los diferentes sectores de la sociedad. Esto se debe a que el consumo de pescado es heterogéneo en el país, existiendo áreas donde su consumo (y su composición) es mayor. Por ejemplo en las provincias mesopotámicas, donde el perfil de los consumidores es diferente, ya que las personas asociadas a la actividad pesquera (pescadores y familiares) de esta región consumen una mayor cantidad de pescado que el resto del país. Por esto el cálculo de riesgo de consumo debiera diferenciarse a fin de tomar medidas de alerta temprana en el caso que los niveles de elementos traza sean elevadas en algunas de las especies consumidas.

Por ejemplo, el As es de suma importancia dado su potencial carcinogénico. A partir de los valores máximos de As total en músculo ( $1,23 \mu\text{g g}^{-1}$ ) en pejerreyes del Río Quequén (provincia de Buenos Aires) se estimó que una persona que consumiera diariamente esta especie incorporará alrededor de  $17 \mu\text{g}$  de As total por día considerando que el consumo de pescado es  $13,9 \text{ g día}^{-1}$  de pescado para un adulto de  $70 \text{ kg}$ <sup>78</sup>. En el caso de los pejerreyes del Lago Chasicó cuya concentración media de As fue de  $0,08 \mu\text{g g}^{-1}$  o sea que para tener problemas de salud, considerando estos valores una persona de  $60 \text{ kg}$  debería consumir más de  $0,38\text{-}1,9 \text{ kg}$  de pejerrey del Lago Chasicó por semana<sup>11</sup>, lo que es poco probable, excepto para un poblador que habite en la zona y que base su alimentación únicamente en el consumo de esta especie. Por otra parte, se han reportados valores de As total en músculo de bagre de mar *Genidens barbatus* provenientes del Río de la Plata superiores a  $23 \text{ mg kg}^{-1}$  en peso húmedo<sup>5</sup>. Por otro lado, hay que considerar que estas estimaciones están basadas en valores de As total y no en las especies tóxicas (e.g.  $\text{As}_{(\text{V})\text{yDMA}}$ ) que representan menos del 5-10 % de la concentración total de este elemento<sup>13</sup>. Esto sugiere que deben realizarse nuevos estudios tanto en las especies dulceacuícolas como en las marino-costeras que diferencien las formas tóxicas y no tóxicas de arsénico a fin de brindar cálculos de riesgo más realistas.

Por otra parte, el Panel CONTAM de la EFSA y la JECFA<sup>27</sup> (FAO 2010) han establecido para el Hg inorgánico una ingesta semanal tolerable (TWI) de  $4 \mu\text{g kg}^{-1}$  de peso corporal (pc). Sobre esta base, una persona de  $60 \text{ kg}$  tendría que consumir más de  $0,05 \text{ kg}$  de pejerrey del lago Chasicó por semana para obtener problemas de salud<sup>93</sup>.

Finalmente la EFSA<sup>31</sup>, ha sugerido que la ingesta máxima recomendada de Pb debe oscilar entre  $4,34$  y  $29,4 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ pc}$  por semana. Considerando estos límites y los valores de la Tabla 3, una persona de  $60 \text{ kg}$  tendría que consumir más de  $1,5\text{-}9,3 \text{ kg}$  de pejerrey del Río de la Plata por semana para tener problemas de salud<sup>93</sup>.

En Argentina, la tasa promedio de consumo de pescado oficial es  $0,1\text{-}0,2 \text{ kg}$  por semana<sup>29</sup>. Sin embargo, este valor no representa la variabilidad regional existente en el país, desconociéndose los valores de consumo por jurisdicción. Por lo que las poblaciones ribereñas que consumen en su dieta una mayor cantidad de pescado tienen un riesgo de exposición crónica a los elementos traza no esenciales mayor, pudiendo superar los valores límites estimados en los cálculos de riesgo.

Del análisis realizado se desprende que si bien las especies estudiadas son importantes recursos económicos, es limitado el conocimiento, el monitoreo de las poblaciones, y del ambiente en relación a la presencia de elementos traza. Esto se complejiza aún más en el caso de las especies que son migradoras como el sábalo, la boga o las especies marino-costeras que hacen grandes desplazamientos como la corvina, la pescadilla y el pez palo. Por lo que la determinación de los stocks pesqueros de estas especies, el monitoreo sistemático de los ambientes que utilizan, sus rutas migratorias y la inocuidad de sus tejidos respecto a elementos traza es un tema prioritario ya que de esta manera se puede garantizar la calidad de los productos pesqueros tanto para el consumo interno como para los mercados internacionales.

Para desarrollar a futuro este tipo de trabajos sistemáticos se debieran implementar grupos interdisciplinarios entre diferentes instituciones de ciencia y técnica y potenciar estos avances con fuertes vínculos entre el sector académico y gubernamental, para elaborar políticas públicas integrales con una sólida base científico-técnica que no sólo tienda a desarrollar una producción pesquera sustentable sino también que conserve la calidad de los productos pesqueros.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Buenos Aires (UBA-CYT 20020190100069BA), a la ANPCYT (PICT-2019-03888) y al CONICET (CPUE 22920180100047CO) por su apoyo financiero.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Agostinho, A.A.; Gomes, L.C.; Veríssimo, S.; Okada, E.K. Flood regime, dam regulation and fish in the Upper Paraná River: Effects on assemblage attributes, reproduction and recruitment. *Rev Fish Biol Fish.* 2004;14(1):11–19.
2. Ali, H.; Khan, E. Bioaccumulation of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in freshwater fish. Risk to human health. *Environ Chem Lett.* 2018;16(3), 903-917.
3. Ali, H.; Khan, E. Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs-Concepts and implications for wildlife and human health. *Hum Ecol Risk Assess.* 2019;25:1353–1376
4. Avigliano, E.; Alves, N.M.; Rico, M.R. et al. Population structure and ontogenetic habitat use of *Micropogonias furnieri* in the Southwestern Atlantic Ocean inferred by otolith chemistry. *Fish Res.* 2021; 240: 105953.
5. Avigliano, E.; de Carvalho, B.M.; Invernizzi, R.; Olmedo, M.; Jasan, R.; Volpedo, A.V. Arsenic, selenium, and metals in a commercial and vulnerable fish from southwestern Atlantic estuaries: distribution in water and tissues and public health risk assessment. *Environ Sci Pollut Res.* 2019; 26(8): 7994-8006.
6. Avigliano, E.; Clavijo, C.; Scarabotti, P. et al. Exposure to 19 elements via water ingestion and dermal contact in several South American environments (La Plata Basin): From Andes and Atlantic Forest to sea front. *Microchem J.* 2019a; 149:103986. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.103986>
7. Avigliano, E.; Monferrán, M.V.; Sánchez, S. et al. Distribution and bioaccumulation of 12 trace elements in water, sediment and tissues of the main fishery from different environments of the La Plata Basin (South America): Risk assessment for human consumption. *Chemosphere* 2019b; 236:124394. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124394>
8. Avigliano, E.; Pisonero J.; Bordel, N.; Dománico, A.; Volpedo, A.V. Mixed-stock and discriminant models use for assessing recruitment sources of estuarine fish populations in La Plata Basin (South America). *J. Mar Biol Assoc UK.* 2019c; 99:1429–1433. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S002531541900016X>
9. Avigliano, E.; Saez, M.B.; Rico, R.; Volpedo, A.V. Use of otolith strontium: calcium and zinc: calcium ratios as an indicator of the habitat of *Percophis brasiliensis* Quoy & Gaimard, 1825 in the southwestern Atlantic Ocean. *Neotrop Ichthyol.* 2015; 13: 187-194.
10. Avigliano, E.; Schenone, N. Water quality in Atlantic rainforest mountain rivers (South America): quality indices assessment, nutrients distribution, and consumption effect. *Environ Sci Pollut Res.* 2016; 23(15):15063-15075.
11. Avigliano, E.; Schenone, N.F.; Volpedo, A.V.; Goessler, W.; Fernández Cirelli, A. Heavy metals and trace elements in muscle of silverside (*Odontesthes bonariensis*) and water from different environments (Argentina): aquatic pollution and consumption effect approach. *Sci Total Environ.* 2015; 506:102-108.
12. Avigliano, E.; Lozano, C.; Plá, R.R.; Volpedo, A.V. (2016). Toxic element determination in fish from Paraná River Delta (Argentina) by neutron activation analysis: Tissue distribution and accumulation and health risk assessment by direct consumption. *J Food Compos Anal.* 2016; 54:27-36
13. Avigliano, E.; Schlotthauer, J.; de Carvalho, B.M.; Sigrist, M.; Volpedo, A.V. Inter-and intra-stock bioaccumulation of anionic arsenic species in an endangered catfish from South American estuaries: Risk assessment through consumption. *J Food Compos Anal.* 2020; 87: 103404.
14. Baigún, C.R.M.; Minotti, P.G. Conserving the Paraguay-Paraná Fluvial Corridor in the XXI Century: Conflicts, Threats, and Challenges. *Sustainability.* 2021;13(9):5198.
15. Barletta, M.; Jaureguizar, A.J.; Baigun, C. et al. Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. *J Fish Biol.* 2010; 76(9):2118-2176.
16. Barletta, M.; Lima, A.R.; Costa, M.F. Distribution, sources and consequences of nutrients, persistent organic pollutants, metals and microplastics in South American estuaries. *Sci Total Environ.* 2019;651: 1199-1218.
17. Barros, V.; Clarke, R.; Dias, P.S. *Climate change in the La Plata basin.* Publication of the Inter-American Institute for Global Change Research (IAI), São José dos Campos, Brazil; 2006.

18. Bechara, J.A.; Sanchez, S.; Roux, J.P.; Terraes, J.C.; Flores Quintana, C.I. Variations in the relative condition factor of the Parana River fish fauna downstream Yacyreta Dam, Argentina. *Revista de ictiología*. Corrientes. 1999; 7: 75-89.
19. Botté, S.E.; Freije, R.H.; Marcovecchio, J.E. Dissolved heavy metal (Cd, Pb, Cr, Ni) concentrations in surface water and porewater from Bahía Blanca estuary tidal flats. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2007; 79(4):415-421.
20. Campos, S.A.B.; Dal-Magro, J.; de Souza-Franco, G.M. Metals in fish of different trophic levels in the area of influence of the AHE Foz do Chapecó reservoir, Brazil. *Environ Sci Pollut Res*. 2018; 25(26): 26330-26340.
21. Cataldo, D.; Colombo, J.C.; Boltovskoy, D.; Bilos, C.; Landoni, P. Environmental toxicity assessment in the Paraná river delta (Argentina): simultaneous evaluation of selected pollutants and mortality rates of *Corbicula fluminea* (Bivalvia) early juveniles. *Environ Pollut*. 2001; 112(3):379-389.
22. *Código Alimentario Argentino* (CAA). Anexo I. Carnes y productos carneos. Resolución GMC 12/11. Artículo 156. Decreto 4238/68 3.
23. Colombo, J.C.; Cappelletti, N.; Migoya, M.C.; Speranza, E. Bioaccumulation of anthropogenic contaminants by detritivorous fish in the Río de la Plata estuary: 1-Aliphatic hydrocarbons. *Chemosphere*. 2007; 68 (11): 2128-2135
24. Corrales, D.; Acuña, A.; Salhi, M.; Saona, G.; Brugnoli, E. Copper, zinc, mercury and arsenic content in *Micropogonias furnieri* and *Mugil platanus* of the Montevideo coastal zone, Río de la Plata. *Braz J Oceanogr*. 2016; 64:57-65.
25. Dirección Nacional de Ganadería, Agricultura y Pesca (DINARA). Boletín Informativo DINARA N°29-Julio 2020. 2021 ISSN:1510-8503. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/boletin-informativo-dinara-nro-29-julio-2020-0>
26. Duffus, J.H. "Heavy metals" a meaningless term?(IUPAC Technical Report). *Pure Appl Chem*. 2002;74(5):793-807.
27. Espinach Ros, A.; Sánchez, R.P. Proyecto Evaluación del Recurso Sábalo en el Paraná. Informe de los resultados de la primera etapa (2005-2006) y medidas de manejo recomendadas (No. SA M01 ESP 17994); 2007. SAGPyA.
28. FAO. Código de Conducta para la Pesca Responsable. Roma, Italia; 1995. Disponible en: [www.fao.org/3/a-v9878s.pdf](http://www.fao.org/3/a-v9878s.pdf)
29. FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2012. Roma, Italia; 2012. Disponibles en: <http://www.fao.org/3/i3028s/i3028s00.htm>
30. FAO. El estado mundial de la pesca y la acuicultura-2020. Roma, Italia; 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca9229es/ca9229es.pdf>
31. FAO/OMS Importancia de la inocuidad de los alimentos para la salud y el desarrollo: informe de un Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Inocuidad de los Alimentos; 2005. Disponible en: <http://www.fao.org/3/j7050s/j7050s.pdf>
32. Fichet, D.; Boucher, G.; Radenac, G.; Miramand, P. Concentration and mobilisation of Cd, Cu, Pb and Zn by meiofauna populations living in harbour sediment: their role in the heavy metal flux from sediment to food web. *Sci Total Environ*. 1999; 243:263-272.
33. FREPLATA. 2005. Análisis Diagnóstico Transfronterizo del Río de la Plata y su Frente Marítimo. Proyecto "Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats". Documento Técnico. Proyecto PNUD/GEF.
34. Garnero, P.L.; Bistoni, M.D.; Monferran, M.V. Trace element concentrations in six fish species from freshwater lentic environments and evaluation of possible health risks according to international standards of consumption. *Environ Sci Pollut Res*. 2020; 27(22).
35. Garnero, P.L.; Monferran, M.V.; González, G.A.; Griboff, J.; Bistoni, M.A. Assessment of exposure to metals, As and Se in water and sediment of a freshwater reservoir and their bioaccumulation in fish species of different feeding and habitat preferences. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2018;163:492-501.
36. Gárriz, Á.; Pamela, S.; Carriquiriborde, P.; Miranda, L.A. Effects of heavy metals identified in Chascomús shallow lake on the endocrine-reproductive axis of pejerrey fish (*Odontesthes bonariensis*). *Gen Comp Endocrinol*. 2019; 273:152-162.

37. Goldhaber, S.B. Trace element risk assessment: essentiality vs. toxicity. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2003; 38(2):232-242.
38. Griboff, J.; Horacek, M.; Wunderlin, D.A.; Monferran, M.V. Bioaccumulation and trophic transfer of metals, As and Se through a freshwater food web affected by anthropic pollution in Córdoba, Argentina. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2018;148:275-284.
39. Griboff, J.; Wunderlin, D.A.; Horacek, M.; Monferrán, M.V. Seasonal variations on trace element bioaccumulation and trophic transfer along a freshwater food chain in Argentina. *Environ Sci Pollut Res.* 2020; 27(32):40664-40678.
40. Hahn, J.; Opp, C.; Evgrafova, A.; Groll, M.; Zitzer, N.; Laufenberg, G. Impacts of dam draining on the mobility of heavy metals and arsenic in water and basin bottom sediments of three studied dams in Germany. *Sci Total Environ.* 2018; 640: 1072-1081.
41. Harikumar, P.S.; Nasir, U.P.; Rahman, M.M. Distribution of heavy metals in the core sediments of a tropical wetland system. *Int J Environ Sci Technol.* 2009; 6(2):225-232.
42. Isaac, A.; Fernandes, A.; Ganassin, M.J.M.; Hahn, N.S. Three invasive species occurring in the diets of fishes in a Neotropical floodplain. *Braz J Biol.* 2014; 74: S016-S022.
43. Jezierska, B.; Witeska, M. The metal uptake and accumulation in fish living in polluted waters. In *Soil and water pollution monitoring, protection and remediation* Springer, Dordrecht; 2006. p. 107-114.
44. Kidwell, J.M.; Phillips, L.J.; Birchard, G.F. Comparative analyses of contaminant levels in bottom feeding and predatory fish using the national contaminant biomonitoring program data. *Bull Environ Contam Toxicol.* 1995; 54(6).
45. La Colla, N.S.; Botté, S.E.; Marcovecchio, J.E. Mercury cycling and bioaccumulation in a changing coastal system: from water to aquatic organisms. *Mar Pollut Bull.* 2019;140:40-50.
46. La Colla, N.S.; Botté, S.E.; Marcovecchio, J.E. Metals in coastal zones impacted with urban and industrial wastes: insights on the metal accumulation pattern in fish species. *J Mar Syst.* 2018;181:53-62.
47. La Colla, N.S.; Botté, S.E.; Oliva, A.L.; Marcovecchio, J.E. Tracing Cr, Pb, Fe and Mn occurrence in the Bahía Blanca estuary through commercial fish species. *Chemosphere.* 2017;175:286-293.
48. La Colla, N.S.; Botté, S.E.; Simonetti, P.; Negrin, V.L.; Serra, A.V.; Marcovecchio, J.E. Water, sediments and fishes: first multi compartment assessment of metal pollution in a coastal environment from the SW Atlantic. *Chemosphere.* 2021; 131131.
49. Langston, W.J. The behavior of arsenic in selected United Kingdom estuaries. *Can J Fish Aquat Sc.* 1983; 40(S2): s143-s150.
50. Li, N.; Wu, X.; Zhuang, W. et al. Fish consumption and multiple health outcomes: Umbrella review. *Trends Food Sci Technol.* 2020; 99:273-283.
51. Llamazares Vegh, S.; Biolé, F.; Bavio, M. et al. Bioaccumulation of 10 trace elements in juvenile fishes of the Lower Paraná River, Argentina: implications associated with essential fish growing habitat. *Environ Sci Pollut Res.* 2020; 28:365-378. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10466-z>
52. Llamazares Vegh, S.; Volpedo, A.V.; Sánchez, S.; Avigliano, E. Biogeochemical multi-tag approach reveals the habitat use of a large-scale migratory fish through a fluvio-estuarine system. *River Res Appl.* 2021. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/rra.3797>.
53. Lombardi, P.E.; Peri, S.I.; Guerrero, N.R.V. Trace metal levels in *Prochilodus lineatus* collected from the La Plata River, Argentina. *Environ Monit Assess.* 2010;160(1):47-59.
54. Lozano, I.E.; Llamazares Vegh, S.; Gómez, M.I.; Piazza, Y.G.; Salva, J.L.; Fuentes, C.M. Episodic recruitment of young *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) (Characiformes: Prochilodontidae) during high discharge in a floodplain lake of the River Paraná, Argentina. *Fish Manag Ecol.* 2019; 26(3):260-268.
55. MAGYP Producción de acuicultura destinada al consumo humano en Argentina durante el año 2019. 13 pp; 2020. Disponible en: <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/estadisticas/>
56. MAGYP. Informe de coyuntura, diciembre 2020. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Dirección Nacional

- de Coordinación y Fiscalización Pesquera, Dirección de Planificación y Gestión de Pesquerías. 30 pp.; 2020. Disponible en: [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/pesca\\_maritima/informes/coyuntura/index.php](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/pesca_maritima/informes/coyuntura/index.php)
57. MAGYP. Exportaciones e importaciones pesqueras-2019. 43pp; 2020. Disponible en: <https://www.magyp.gob.ar/>
  58. MAGYP. Informe Anual Variado Costero, 2020. Informe DPPN° 05/2021. 25pp; 2021. Disponible en: [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/pesca\\_maritima/](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/pesca_maritima/)
  59. MAGYP. Mercado interno de pescado de río procedente de frigoríficos de la baja cuenca del Plata en Argentina, datos 2019. Informe DPP° 01/2021. 16pp; 2021. Disponible en: [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/pesca\\_continental/](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/pesca_continental/)
  60. Marcovecchio, J.E.; Freije, H. Efectos de la intervención antrópica sobre sistemas marinos costeros: el estuario de Bahía Blanca. 2004.
  61. Marcovecchio, J.E.; Moreno, V.J.; Perez, A. Determination of heavy metal concentrations in biota of Bahía Blanca, Argentina. *Sci Total Environ.* 1988;75(2-3):181-190.
  62. Marcovecchio, J.E.; Moreno, V.J. Cadmium, zinc and total mercury levels in the tissues of several fish species from La Plata river estuary, Argentina. *Environ Monit Assess.* 1993; 25(2):119-130.
  63. Marcovecchio, J.E. The use of *Micropogonias furnieri* and *Mugil liza* as bioindicators of heavy metals pollution in La Plata river estuary, Argentina. *Sci Total Environ.* 2004; 323(1-3): 219-226.
  64. Mendoza-Carranza, M.; Vieira J. Whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* (Desmarest, 1823) feeding strategies across four southern Brazilian estuaries. *Aquatic Ecol.* 2008; 42(1):83-93.
  65. Monferrán, M.V.; Garnero, P.; Bistoni, M.; Anbar, A.A.; Gordon, G.W.; Wunderlin, D.A. From water to edible fish. Transfer of metals and metalloids in the San Roque Reservoir (Córdoba, Argentina). Implications associated with fish consumption. *Ecol Indic.* 2016; 63:48-60.
  66. Mozaffarian, D. Fish, mercury, selenium and cardiovascular risk: current evidence and unanswered questions. *Int J Environ Res Public Health.* 2009; 6(6):1894-1916.
  67. Muniz, P.; Marrero, A.; Brugnoli, E. *et al.* Heavy metals and As in surface sediments of the north coast of the Río de la Plata estuary: spatial variations in pollution status and adverse biological risk. *Reg Stud Mar Sci.* 2019; 28:100625.
  68. Nogueira, M.G.; Perbiche-Neves, G.; de Oliveira Naliato, D.; Casanova, S.M.C.; Debastiani-Junior, J.R.; Espíndola, E.G. Limnology and water quality in La Plata basin (South America)—Spatial patterns and major stressors. *Ecol Indic.* 2021; 120:106968.
  69. Oldani, N.O.; Iwaszkiw, J.M.; Padín, O.H.; Otaegui, A. Fluctuaciones de la abundancia de peces en el Alto Paraná (Corrientes, Argentina). *Actas del II Seminario El río Uruguay y sus recursos.* 1992; 1(1):43-53.
  70. Ondarza, P.M.; Haddad, S.P.; Avigliano, E.; Miglioranza, K.S.; Brooks, B.W. Pharmaceuticals, illicit drugs and their metabolites in fish from Argentina: implications for protected areas influenced by urbanization. *Sci Total Environ.* 2019; 649: 1029-1037.
  71. Paschoalini, A.L.; Bazzoli, N. Heavy metals affecting Neotropical freshwater fish: a review of the last 10 years of research. *Aquat Toxicol.* 2021; 105906.
  72. Pereira, A.N.; Márquez, A.; Marin, M.; Marin, Y. Genetic evidence of two stocks of the whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* in the Río de la Plata and oceanic front in Uruguay. *J Fish Biol.* 2009; 75(2): 321-331.
  73. Ramirez, J.L.; Birindelli, J.L.; Carvalho, D.C. *et al.* Revealing hidden diversity of the underestimated neotropical ichthyofauna: DNA barcoding in the recently described genus *Megaleporinus* (Characiformes: Anostomidae). *Front Genet.* 2017; 8:149.
  74. Rantin, F.T.; Kalinin, A.L.; Glass, M.L.; Fernandes, M.N. Respiratory responses to hypoxia in relation to mode of life of two erythrinid species (*Hoplias malabaricus* and *Hoplias lacerdae*). *J Fish Biol.* 1992; 41(5):805-812.
  75. Reis, R.E.; Kullander, S.O; Ferraris, C.J. Check list of the freshwater fishes of South and Central America. *Edipucrs.* 2003.
  76. Riba, I.; Garcia-Luque, E.; Blasco, J.; Del Valls, T.A. Bioavailability of heavy metals bound to estuarine sediments as a function of pH and salinity values. *Chem Speciat Bioavailab.* 2003;15(4): 101-114.

77. Ronco, A.E.; Marino, D.J.G.; Abelando, M. *et al.* Water quality of the main tributaries of the Paraná Basin: glyphosate and AMPA in surface water and bottom sediments. *Environ Monit Assess.* 2016; 188. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5467-0>
78. Rosso, J.J.; Schenone, N.F.; Pérez Carrera, A.; Fernández Cirelli, A. Concentration of arsenic in water, sediments and fish species from naturally contaminated rivers. *Environ Geochem Health.* 2013; 35(2): 201-214.
79. Ruarte, C.; Lasta, C.; Carozza, C. Pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*). El mar argentino y sus recursos pesqueros. 2004; 4: 271-281.
80. Sánchez, M.F.; Marí, N.R.; Lasta, C.A.; Giangio, A. Alimentación de la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) en la Bahía Samborombón. *Fronte Marítimo.* 1991; 8: 43-50.
81. Schenone, N.; Vackova, L.; Fernández Cirelli, A. Differential tissue accumulation of arsenic and heavy metals from diets in three edible fish species. *Aquac Nutr.* 2014; 20(4): 364-371.
82. Schenone, N.; Volpedo, A.V.; Fernández Cirelli, A. Trace metal contents in water and sediments in Samborombón Bay wetland, Argentina. *Wetl Ecol Manag.* 2007;15(4): 303-310.
83. Schenone, N.F.; Avigliano, E.; Goessler, W.; Fernández Cirelli, A. Toxic metals, trace and major elements determined by ICPMS in tissues of *Parapimelodus valenciennis* and *Prochilodus lineatus* from Chascomus Lake, Argentina. *Microchem J.* 2014; 112: 127-131.
84. Smedley, P.L.; Nicolli, H.B.; Macdonald, D.M.J.; Kiniburgh, D.G. Arsenic in groundwater and sediments from La Pampa province, Argentina. *Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America.* Taylor & Francis, 2008:35-45.
85. Souza, I.C.; Morozesk, M.; Azevedo, V.C. *et al.* Trophic transfer of emerging metallic contaminants in a neotropical mangrove ecosystem food web. *J Hazard Mater.* 2021; 408: 124424.
86. Sverlij, S.B.; Espinach Ros, A.; Ortí, G. Sinopsis de los datos biológicos del sábalo *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1847). FAO, sinopsis sobre la pesca 154. Roma;1993.
87. Thompson, G.; Bock, M.F.S.D. Mortandad masiva de *Mesodesma mactroides* (Bivalvia: Mactracea) en el partido de la costa, Buenos Aires, Argentina; 2007.
88. Thompson, G.A.; Volpedo, A.V. Presence of trace elements in the silverside *Odontesthes argentinensis*. *Mar Pollut Bull.* 2017; 123(1-2): 127-132.
89. Vazquez, F.J.; Arellano, F.E.; Fernández Cirelli, A.; Volpedo, A.V. Monitoring of trace elements in silverside (*Odontesthes bonariensis*) from pampasic ponds, Argentina. *Microchem J.* 2015; 120:1-5.
90. Viana, F.; Huertas, R.; Danulat, E. Heavy metal levels in fish from coastal waters of Uruguay. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2005; 48(4): 530-537.
91. Vilches, F.O.; Bobinac, M.A.; Labudía, A.C. *et al.* Metals concentration and bioaccumulation in the marine-coastal trophic web from Buenos Aires province southern coast, Argentina. *Chem Ecol.* 2019;35(6):501-523.
92. Villar, C.; Stripeikis, J.; Colautti, D.; D'huicque, L.; Tudiño, M.; Bonetto, C. Metals contents in two fishes of different feeding behaviour in the Lower Paraná River and Río de la Plata Estuary. *Hydrobiologia.* 2001; 457(1):225-233.
93. Volpedo, A.; Avigliano, E.; Fernández Cirelli, A. Presence of trace elements in fishes from the Chaco-Pampeana plain (Argentina). *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research.* 2015; 3(2).
94. Volpedo, A.V.; Miretzky, P.; Fernández Cirelli, A. Stocks pesqueros de *Cynoscion guatucupa* y *Micropogonias furnieri* (Pisces, Sciaenidae), en la costa atlántica de Sudamérica: comparación entre métodos de identificación. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 2007; (165): 115-130.
95. Volpedo, A.V.; Rabuffetti, A.P.; Llorente, C. *et al.* Evaluación de riesgos toxicológicos en población humana, por consumo de sábalo. 2017. Red de seguridad alimentaria del CONICET (RSA-CONICET). 60 pp. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/319904167>
96. Wood, C.M.; Farrell, A.P.; Brauner, C.J. (Eds.). (2012). Homeostasis and toxicology of essential metals (Vol. 1). Academic press; 2012