

INFLUENCIA DE METALES COMO CADMIO (Cd), CROMO (Cr), PLOMO (Pb), SELENIO (Se) Y ESTAÑO (Sn) EN ECOSISTEMAS DULCEACUÍCOLAS

Dr. M.V.Z Carlos Miguel Díaz Almeida¹

1. *Universidad de Matanzas –Vía Blanca Km.3, Matanzas,
Cuba. carlos.almeida@umcc.cu*

Resumen

Los metales constituyen uno de los principales problemas de contaminación. Su utilización en disímiles procesos industriales, la inadecuada gestión de los residuos de las empresas que los utilizan y la propia actividad humana; generan la contaminación de ecosistemas acuícolas. Pueden ser liberados a la columna de agua por cambios de las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, O₂ disuelto o la presencia de quelatos orgánicos, por esta razón las aguas contienen disueltos numerosos solutos. Metales como cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), selenio (Se) y estaño (Sn) en estos ecosistemas reviste especial importancia y es un tema cada vez en ascendencia por el impacto que posee, aumentado considerablemente la destrucción del hábitat de muchas especies acuáticas, debido a cambios bruscos en los ecosistemas, por lo que los científicos han centrado sus estudios en este aspecto.

Palabras claves: Metales, Ecosistemas dulceacuícolas

Introducción

El hombre es el sujeto transformador que ha generado mayor impacto sobre los ambientes naturales en la historia del planeta, pues su efecto no sólo es significativo desde el punto de vista de la explotación de los recursos, sino que además es sostenido y creciente en el tiempo. Toda actividad humana conlleva un cambio en el ecosistema que le rodea: las construcciones de ciudades, fábricas y todo tipo de edificaciones, la diversificación de las producciones, la agricultura y los avances tecnológicos han ido perfeccionando la civilización. Sin embargo, este cambio no ha tenido en cuenta el impacto causado en los ecosistemas y con regularidad se han arrasado los mismos en aras del progreso. Hoy en pleno siglo XXI la humanidad intenta reflexionar sobre este tema, debido principalmente al agotamiento y/o contaminación de los recursos que normalmente soportan la infraestructura económica del mundo desarrollado (Mesa, 2009a).

Los metales pesados constituyen uno de los principales problemas de contaminación. Su utilización en disímiles procesos industriales, la inadecuada gestión de los residuos de las empresas que los utilizan y la propia actividad humana; generan la contaminación de ecosistemas acuícolas. Una vez que estos metales ingresan a los ecosistemas acuáticos se fijan rápidamente en los sedimentos, por lo que éstos pasan a ser un almacén con un contenido de metales superior en varios órdenes de magnitud al del agua (Casteñe y Topalián, 2002).

Ejemplos de los efectos negativos que se producen en los animales acuáticos se evidencian por estudios realizados por Khan (1988) y Kiceniwk (1988) en bacalao contaminado con hidrocarburos aromáticos, presentándose lesiones caracterizadas por un exceso de mucus, hiperplasia, dilatación capilar y lesiones en las agallas, entre otras. Investigaciones realizadas por Daly, (1993) con salmones (*Salmo salar*) procedentes del lago Ontario, contaminados con diferentes sustancias químicas, revelaron cambios significativos en el comportamiento de ratas alimentadas con dichos peces, muchos de los cuales se transmitieron hasta sus descendencias.

En años recientes, el impacto de contaminantes antropogénicos ha aumentado considerablemente, provocando la destrucción del hábitat de muchas especies acuáticas, debido a cambios bruscos en los ecosistemas, por lo que los científicos han centrado sus estudios en este aspecto (Alonso, 2010b).

El presente trabajo se propone:

Compilar la bibliografía existente sobre la contaminación por cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), selenio (Se) y estaño (Sn) en ecosistemas dulceacuícolas.

Desarrollo

La contaminación se define como el incremento en la concentración (a partir de su valor o “índice” normal) de una sustancia y/o agente (bajo sus distintas formas), en cualesquiera de los tres medios (aire, agua y suelo) y que termina por provocar una situación tal que afecta la capacidad de un área para “mantener” la vida dentro de la misma. Uno de los problemas más graves que presenta la contaminación por metales pesados es que el tiempo de vida media de los mismos va desde 15-5900 años, dependiendo del metal, por lo que los efectos por acumulación son más drásticos que los producidos por la contaminación ocasionada en un momento puntual. El tema de la contaminación por metales pesados de ecosistemas dulceacuícolas ha sido objeto de numerosos estudios debido a la alta toxicidad que genera para humanos y animales, por ser estos, el último eslabón en la cadena trófica (Valdivia, 2009).

Para entender cómo el ser humano afecta o modifica las características de los ecosistemas acuáticos es importante determinar cuáles son los factores naturales que definen dichas características, ya que, si se toma en cuenta el ciclo hidrológico, éste permite la interacción del elemento tanto con gases como con líquidos y sólidos. Sin embargo, existen dos factores físicos de particular importancia en la composición de las aguas naturales (Gil *et al.*, 2006): el tiempo de residencia y los caminos o rutas que sigue el agua en el sistema:

-El tiempo de residencia: existe una relación directamente proporcional entre el tiempo de exposición o contacto entre un material y el agua, es decir que cuanto mayor sea el tiempo que el agua interactúa con un material, más oportunidades tendrá de interactuar ante él.

-Los caminos o rutas que sigue el agua en el sistema: estos caminos determinan las características de los materiales con los que el agua interactúa.

No obstante, la biota (acción de predadores, parásitos, enfermedades, entre otras) también interviene física y químicamente en multitud de reacciones que se llevan a cabo en el medio acuático. A continuación, se mencionan los tres tipos de factores que afectan la composición de las aguas según Vázquez *et al.* (2008):

-Factores atmosféricos: a través de éste medio se produce el transporte de materiales de unas zonas a otras y posteriormente depositados.

-Factores geológicos: reacciones de erosión entre las aguas naturales y los compuestos minerales de la superficie de las rocas.

-Factores biológicos: muchos organismos acuáticos pueden modificar físicamente el suelo en el que viven. Así mismo, toman nutrientes que pasan a ser excretados y modifican la composición química de las aguas al producir cambios en el pH, potencial redox, entre otros.

Los factores antropogénicos que afectan la composición de las aguas pueden tener un origen muy diverso (Alfonso, 2010):

-Fuentes puntuales: la descarga de efluentes de aguas residuales tratadas o de los efluentes procedentes de actividades industriales y cuyo origen está geográficamente bien delimitado, por lo que resulta más sencillo realizar un seguimiento de los cambios que producen en el medio receptor.

-Fuentes difusas: debidas a las escorrentías procedentes de zonas urbanas y agrícolas, al aporte de aguas subterráneas contaminadas, a la deposición atmosférica o al uso recreativo de los cursos de aguas. Los efectos producidos por estos aportes no puntuales pueden abarcar una zona geográfica extensa no delimitada, por lo que son más difíciles de controlar.

Las descargas de origen industrial traen inherentemente una gran variabilidad en las características de sus efluentes dependiendo del tipo de industria que los genere. En un sentido general, en los países industrializados los contaminantes son descargados indiscriminadamente a los ecosistemas acuáticos, ya que la mayoría de las industrias tratan primero sus residuos para posteriormente ser incorporados a la red de alcantarillado y de ésta a las estaciones de tratamiento de aguas residuales (Rodríguez y Álvarez, 2006).

La minería es una de las actividades industriales más peligrosas desde el punto de vista de la contaminación debido a la gran cantidad de residuos que se generan y a los elementos que los forman, estando principalmente compuestos de ácidos y metales fuertemente tóxicos para los organismos vivos. Además, aunque su origen suele estar localizado como una fuente puntual, el efecto de la contaminación asociada a este tipo de actividad puede extenderse lejos de dicha fuente.

Son tres los tipos de contaminación generada por la extracción de metales pesados a gran escala (Rondan y Elizabeth, 2007):

-Residuos producidos durante la explotación, la molienda y fundición y que son depositados cerca de la fuente de origen.

-Efectos producidos en suelos, atmósfera, ríos, aguas subterráneas, entre otros, como consecuencia del transporte de contaminantes generados en el lugar de explotación a través de corrientes de aguas o de la atmósfera.

-Removilización de contaminantes a kilómetros de distancia de la fuente.

Los contaminantes ambientales importantes son aquellos que tienden a acumularse en los organismos que son persistentes debido a su estabilidad química o escasa

biodegradabilidad. Entre los innumerables contaminantes, la contaminación por metales pesados en el medio ambiente se ha convertido en un fenómeno de interés mundial debido a su toxicidad, y su persistencia durante varias décadas en el medio acuático. Los metales pesados se encuentran naturalmente en el medio ambiente en cantidades mínimas y la mayoría de ellos son esenciales para el metabolismo normal de los peces y demás organismos acuáticos, pero en altas concentraciones inducen toxicidad directa, la cantidad de metales pesados esenciales y no esenciales en los compartimientos del medio ambiente se incrementan significativamente por diversas actividades. En los ecosistemas acuáticos el recurso íctico es de gran importancia a nivel alimenticio debido a su valor nutritivo, sin embargo, en la actualidad las actividades humanas y de industrialización provocan el vertimiento de aguas servidas y por consiguiente han contaminado los sistemas acuáticos descargando un sin número de desperdicios y varios elementos químicos que son perjudiciales para el medio ambiente y para el humano (Zorrilla, 2011).

Los metales pesados

Los metales pesados constituyen uno de los principales problemas de contaminación. Su utilización en disímiles procesos industriales y la inadecuada gestión de los residuos de las empresas que los utilizan generan cada año la contaminación de miles metros cúbicos de aguas y con ellos todo el desarrollo de las especies en donde estas habitan (García, 2002).

Estos son un grupo de elementos químicos heterogéneo, representado tanto por metales alcalinos como alcalinotérreos, elementos de transición y metaloides. Tienen como características comunes que su número atómico es mayor de 20 y su densidad es superior a 5g/dm^3 (Lozada, 2013). Son elementos peligrosos para el ambiente; se acumulan en los seres vivos y se biomagnifican a través de las cadenas tróficas. A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados persisten como tóxicos en el ambiente, ya que no pueden ser química o biológicamente degradados. En altas concentraciones los estos pueden causar daños oxidativos en las plantas que sirven de alimentos a los animales transmitiéndoles a estos los componentes tóxicos, incluyendo el incremento de la peroxidación de lípidos, oxidaciones de proteínas y reductores en las células. En bajas concentraciones, diversos metales pesados tales como Mn, Fe, Zn, Ni, Cu y Mo, son micronutrientes esenciales para las plantas, pero cuando sus concentraciones son elevadas causan una variedad de problemas ambientales, incluyendo toxicidad a las plantas, animales y humanos. Sin embargo, las actividades humanas incrementan el contenido de estos metales en cantidades considerables, siendo ésta, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas bioacumuladas por organismos (Cabimas, 2007).

Para la mayoría de los organismos la exposición a metales pesados, por encima de una concentración umbral, puede ser extremadamente tóxica. Los de mayor importancia toxicológica y ecotoxicológica en los ambientes acuáticos son: Hg, As, Cr, Pb, Cd, Ni y Zn. Los iones de estos elementos suelen penetrar en la célula a través de los mismos sistemas de transporte que utilizan otros cationes metálicos fisiológicamente importantes (Ca, Mg,

Cu, Zn). Dentro de la red trófica, los organismos fotosintetizadores o productores son las principales vías de acceso de los metales pesados hacia los consumidores, incluido el ser humano (Piriye *et al.*, 2012). La actividad industrial y minera ha incrementado dramáticamente la contaminación de los ambientes naturales periurbanos por metales pesados. Por ejemplo, luego de un prolongado monitoreo regular del Río Reconquista en Buenos Aires- Argentina se encontraron metales disueltos en el agua superficial cuyas concentraciones superaban ampliamente los límites máximos permitidos para la protección de la vida dulceacuícola en la legislación vigente: As 4 veces, Cd 40.000, Cr 150, Cu 65 y Zn 23 veces (Irigaray, 2013).

La captación y toxicidad de los metales pesados para los organismos acuáticos están influidos no sólo por su concentración; también son relevantes el tiempo de exposición y los factores bióticos y abióticos del ambiente. Para considerar las relaciones de los metales con la biota acuática se deben tener en cuenta tres niveles de interés:

- a) la especiación en el ambiente,
- b) las interacciones con la membrana plasmática en la interfase organismo-ambiente, así como otros factores secundarios que pueden afectar los mecanismos funcionales básicos del individuo.
- c) la partición del elemento en los compartimentos del organismo y los efectos biológicos resultantes de su interacción con los receptores en los sitios de acción (Casteñe y Topalián, 2002).

Cadmio (Cd):

El Cd, al igual que otros metales pesados, como el Pb y Hg, presenta una elevada neurotoxicidad. Atraviesa la barrera hematoencefálica y puede acumularse en distintas regiones cerebrales. También puede depositarse en el plexo coroideo que constituye la barrera hematoencefálica. Además, unido a la metalotioneína se fija en el plexo coroideo y destruye la ultraestructura del mismo. Algunas patologías neurológicas, podrían ser debidas a un aumento en la permeabilidad de la barrera hematoencefálica al cadmio. La neurotoxicidad asociada a la exposición al cadmio podría ser debida al efecto global de una serie de pequeñas perturbaciones en el metabolismo cerebral, y del estrés oxidativo en particular, ya que este metal parece intensificar la peroxidación lipídica a través de la inhibición de la superóxido dismutasa y otros enzimas relacionados (Romero y Babaleiro, 2008).

El modo de acción se basa en la competición con otros metales, especialmente con Zn, Fe, Cu y Ca. Desplaza al primero de estos como cofactor de ciertas reacciones enzimáticas y dificulta sus funciones normales. Compite de forma activa con el Ca en los sistemas enzimáticos implicados en la contracción muscular, sobre todo en las fibras musculares

lisas vasculares, y ejerce una acción competitiva con el Fe y el Cu como cofactor del sistema enzimático de las monoaminooxidasas, lo cual disminuye su actividad. A pesar de ello, esta competición puede desempeñar una función preventiva frente a la intoxicación (Palma *et al.*, 2013). Además, presenta gran afinidad por los grupos tiol, interfiere el metabolismo de los aminoácidos sulfurados y el funcionamiento de numerosas enzimas ATPasas, deshidrogenasa y anhidrasa carbónica, por citar algunas.

El Cd inhibe la fosforilación oxidativa en las mitocondrias, desacopla las reacciones redox y también puede inhibir la omegaoxidación de los ácidos grasos. Por otra parte, este metal aumenta el catabolismo de ciertas proteínas como la seroalbúmina y disminuye el de aquellas que son reabsorbidas por las células del túbulo proximal del riñón, de modo que se comprueba la disminución de la síntesis de proteínas y anticuerpos *in vitro*. En consecuencia, altera diversos procesos metabólicos y perturba la maquinaria energética celular (Boada *et al.*, 2007). La toxicidad aguda en organismos acuáticos es variable, incluso entre especies estrechamente emparentadas. Interacciona con el metabolismo del Ca y provoca hipocalcemia en los peces; asimismo, se han observado efectos subletales, como malformaciones en la espina dorsal. Las fases biológicas más susceptibles a los efectos tóxicos de este metal son el embrión y la larva joven; los huevos son menos vulnerables. El Zn aumenta la toxicidad del Cd en los invertebrados acuáticos en los que se han observado efectos subletales en el crecimiento y la reproducción, así como modificaciones estructurales en las branquias (Talib y Sif, 2009).

El Cd es asimilado y concentrado por los organismos vivos. En el pescado, las agallas, los riñones, el canal alimentario y el hígado son donde primeramente se acumula y esto hace que en dependencia de la concentración del metal puedan aparecer alteraciones histológicas y algunas patologías bioquímicas. Otros reportes bibliográficos plantean que la exposición de los organismos acuáticos al Cd, induce la biosíntesis de tioneína, una proteína de bajo peso molecular la cual se une firmemente al metal formando metaloteoneína, y es en esta forma en que se concentra en los riñones. En los peces este compuesto se almacena en el hígado, en los crustáceos en el hepatopáncreas y en los molusco en las vísceras y los riñones (Boada *et al.*, 2007).

Entre los efectos tóxicos que la presencia de este metal produce en los peces se encuentran deficiencias en la asimilación y deposición de metales esenciales como el Cu, Fe y Zn; pero aún el mecanismo a través del cual esto sucede no es completamente conocido. Otros autores describen entre los efectos tóxicos producidos, anemia, alteración en el metabolismo de los carbohidratos, cambios respiratorios y deformaciones en las vértebras (Romero y Babaleiro, 2008).

En los seres humanos se conoce que el Cd tiene propiedades carcinogénicas ya que resulta un antagonista del Se, anulando la acción antineoplásica de este último. Es conocido también que el Cd es un potente mutágeno, ya que interacciona directamente con el DNA

(ácido desoxiribonucleico) dando lugar a errores en la síntesis del mismo (Schinitman, 2004).

En la década de los años 60, la contaminación ambiental con este metal se puso de manifiesto cuando en Japón más de 100 personas murieron por una enfermedad que se nombró Itai- Itai, la cual estaba ocasionada por altas concentraciones de Cd en el cuerpo humano. Esto hechos motivaron un creciente interés por parte de los científicos por conocer todos los efectos que el metal producía tanto en el medio ambiente como en los seres humanos (Cadena, 2010).

En el medio ambiente acuático el Cd se presenta en diferentes formas, conociéndose que su absorción aumenta con el aumento del pH (Aguardo, 2013):

- Absorbido dentro de las partículas de materia orgánica.
- Disuelto en el agua.
- Unido a los sedimentos.
- Contenido en los organismos acuáticos.

En agua dulce, ellos están en íntimo contacto con puntos de difusión de residuales que pueden contener este metal, sus niveles resultan superiores, una concentración de hasta 10 µg/l. Por otra parte, este tipo de agua al no tener iones inorgánicos capaces de formar complejos con el Cd, la mayor parte del metal se encuentra en forma iónica (Cd^{2+}) (Aguardo, 2013).

En la actualidad existe una vigilancia de los niveles de este contaminante en el medio ambiente acuático y una gran preocupación por parte de todas las organizaciones internacionales relacionadas con la salud del hombre y la preservación del medio ambiente, en aras de reducir al mínimo la acumulación de este metal en los ecosistemas y por consiguiente en los organismos acuáticos que sirven de alimento al hombre (Schinitman, 2004).

Cromo (Cr):

Los diversos compuestos de Cr representan una gran amenaza al ambiente y al hombre debido a sus efectos nocivos. Las intoxicaciones se manifiestan en lesiones renales, gastrointestinales, del hígado, del riñón, de la glándula tiroides y la médula ósea, y la velocidad corporal de eliminación es muy lenta (Cadena, 2010).

El Cr puede encontrarse como hexavalente Cr^{6+} (en forma de ion cromato CrO_4^{-2} o del ion dicromato $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ o como trivalente Cr^{3+} ; este último es más estable y 1.000 veces menos tóxico que el Cr^{6+}). En la mayoría de casos, el nivel de Cr total que se encuentra en los cuerpos de agua es bajo (10 µg/L), dado que en el rango de pH en los que se encuentra el agua, el Cr^{3+} se encuentra en la forma de $\text{Cr}(\text{OH})_3$, que es insoluble. El Cr^{6+} es soluble

predominando la forma de CrO_4^{2-} y donde a pH ácidos solo existe el $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Sin embargo, cuando se vierten a los ríos los efluentes, la contaminación alcanza concentraciones superiores a los 25 $\mu\text{g/L}$. Los efectos tóxicos del Cr^{3+} son menores a los del Cr^{6+} , conocido cancerígeno, ya que éste puede ocasionar manifestaciones agudas y crónicas en las personas que hayan estado en contacto directo (Baudran, 2005).

Los compuestos Cr^{6+} se absorben por vía digestiva, cutánea y respiratoria; penetran con facilidad en el interior de los eritrocitos, se combinan con la fracción globínica de la Hb, y se reducen posteriormente a estado Cr^{3+} ; en esta forma tiene gran afinidad por las proteínas plasmáticas, principalmente a la transferrina. La principal vía de eliminación es la renal (80%) (Cadena, 2010). La ingesta produce un cuadro gastrointestinal en forma de vómitos, dolores abdominales, diarreas y hemorragias intestinales. Se han descrito casos de muerte, por colapso cardiocirculatorio; si el paciente sobrevive, puede aparecer una insuficiencia renal aguda.

La vía de absorción cutánea es de más fácil acceso al organismo, frente a lo cual cabe destacar el cuadro patológico de la dermatitis alérgica de contacto. En esta los compuestos de Cr^{6+} penetran en la piel más rápidamente que los compuestos de Cr^{3+} ; la penetración de los CrO_4^{2-} aumenta con el incremento de pH dependiendo de la naturaleza del anión y la integridad de la epidermis que forma la barrera más importante para la absorción de estos productos, ya que la piel y sus componentes facilitan la reducción de los CrO_4^{2-} y el Cr^{3+} se une fuertemente.

En muchos casos se presenta la intoxicación crónica, que es el contacto cutáneo con compuestos Cr^{6+} que producen úlceras de 5 a 10 mm, no dolorosas, que suelen afectar el dorso de las manos y de los dedos; reciben el nombre de úlceras en “nido de paloma”. También pueden ocasionar dermatitis de contacto irritativas y alérgicas; como también, la exposición se relaciona con cuadros de bronquitis y de asma, ulceraciones y perforaciones nasales (Baudran, 2005).

Por regla general la contaminación en el agua superficial y de los sedimentos no suele repercutir de forma peligrosa en los niveles del agua subterránea, debido a la retención de las partículas del suelo durante el proceso de infiltración. No obstante, en ocasiones se ha observado contaminación por Cr^{6+} en estas. Respecto a esto, la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., advirtió que el Cr, Ar, Pb y los S^{2-} que utilizan las curtiembres causan severos daños como la leucemia (Aguardo, 2013).

Los compuestos Cr^{6+} pueden absorberse por ingestión o inhalación, produciendo un efecto irritante inmediato y ulceraciones. Estas producen la necrosis del tejido circundante llegando a perforar el tabique. La intoxicación en trabajadores expuestos al contacto puede producirse por la inhalación de polvo y humos procedentes de la fabricación del $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (Cadena, 2010). También, puede producirse durante la soldadura del acero inoxidable, el contacto con cemento, cuero, materiales de la industria gráfica, curtido de pieles y varios

tipos de trabajo con metales. Existen numerosos trabajos que describen la interacción del Cr con proteínas del sistema inmune, formando complejos antígeno-anticuerpo. Esto explica la localización de las lesiones alrededor de las glándulas sudoríparas y por qué cantidades muy pequeñas de $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ pueden producir sensibilización. En cuanto a los efectos carcinogénicos, se ha descrito un aumento de la incidencia en los pulmones, en trabajadores expuestos durante 15 años o más (Baudran, 2005).

En relación con los efectos sobre el medio ambiente acuático, el Cr^{3+} puede ser oxidado a la forma Cr^{6+} a un pH entre 5.5 y 6, proceso que es favorecido por la presencia de MnO. El Cr^{6+} se encuentra principalmente en forma soluble, que puede ser lo suficientemente estable como para ser transportado por el agua. Sin embargo, éste finalmente se convierte en Cr^{3+} mediante la reducción de especies tales como las sustancias orgánicas, el H_2S , el S, el FeS, el NH_4 y el NO_2^- . Por lo general, esa forma Cr^{3+} no migra de manera significativa, sino que se precipita rápidamente y se adsorbe en partículas en suspensión y sedimentos del fondo. Se ha comprobado que se acumulan en muchas especies acuáticas, especialmente en peces que se alimentan del fondo acuático, como el bagre (*Ictalujrus nebulosus*), en los bivalvos, como la ostra (*Crassostrea gigas*), el mejillón azul (*Mytilus edulis*) y la almeja de caparazón blando (*Arctica islandica*) (Palma *et al.*, 2013).

En los suelos, el Cr^{3+} es relativamente inmóvil debido a su gran capacidad de adsorción en los suelos, pero el Cr^{6+} es muy inestable. Las reacciones redox afectan la biodisponibilidad y la toxicidad del mismo. La oxidación puede ocurrir en presencia de óxidos de Fe y Mg, en suelos frescos y húmedos (anaeróbicos) y en condiciones levemente ácidas. La reducción puede ocurrir en presencia de S^{2-} y Fe (condiciones anaeróbicas) y se acelera en presencia de materia orgánica. Debido a esta razón, aunque el Cr^{3+} (en muy bajas dosis) constituye un microelemento esencial en los animales, el Cr^{6+} es no esencial y tóxico en concentraciones bajas; por lo cual deben controlarse las actividades antrópicas que liberan Cr^{3+} . Aun cuando se libera al ambiente, no existe garantía alguna de que permanezca en ese estado químico. Por ejemplo, la práctica de depositar residuos en rellenos sanitarios con contenido de Cr^{3+} provenientes de curtiembres, junto con otros desechos industriales ácido, que crean condiciones ácidas al descomponerse, puede transformar el Cr^{3+} en Cr^{6+} (Mesa, 2009b).

Plomo (Pb):

Se estima que la concentración de Pb en la biosfera se ha incrementado sustancialmente como resultado de la acumulación a través de varios milenios. El contenido de Pb en casi todas las aguas no contaminadas varía entre 0.001 y 0.01 $\mu\text{g}/\text{ml}$, cantidad que es muy inferior al límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) el cual es de 50 partes por billón. En suelos no contaminados las concentraciones de este elemento varían de 0 a 200 $\mu\text{g}/\text{g}$, mientras que en suelos de sitios urbanos, la concentración llega a ser extremadamente elevada. El promedio de Pb en los alimentos es de 0.2 mg/kg aproximadamente (Boada *et al.*, 2007).

Los alimentos constituyen la fuente principal de ingestión de Pb en los adultos no expuestos ocupacionalmente. Este atraviesa la barrera placentaria y en ciertas circunstancias puede causar anomalías congénitas en animales. Los huesos son el principal compartimiento en donde se almacena, ya que aproximadamente el 90% de la concentración corporal total se encuentra en este tejido. La vida media de este elemento en los huesos se ha estimado en 10 años en el ser humano. Las fuentes de intoxicación de Pb en el organismo vienen del aire (por inhalación) y de la alimentación (por ingestión). Los grupos de riesgo son: los niños; los obreros que trabajan con productos a base de Pb; las personas viviendo en casas con cañerías de Pb y las comunidades de pescadores quienes se alimentan de peces contaminados (Palma *et al.*, 2013).

La ingestión máxima de Pb es de 0.05 mg/kg de peso corporal por semana. Para una persona o animal de 60 kg correspondería una ingesta máxima de 3 mg de Pb. De esto se puede deducir que una ingesta máxima diaria le correspondería una cantidad de 0.43 mg de Pb (3 mg/siete días), para alcanzar ese valor diario. Este metal no forma parte de las células y no es un componente enzimático, como lo son el Fe, el Mg, el Cu. Es decir el Pb no es necesario en el organismo. Los niveles altos de exposición pueden afectar la síntesis de Hb, la función renal, el tracto gastrointestinal, las articulaciones, el sistema nervioso y atraviesa la placenta observándose partos prematuros, abortos y muerte fetal. (Baudran, 2005 y González, 2010).

El Pb, por su parte, es el metal tóxico más extendido y presente en casi todos los compartimentos ambientales. El envenenamiento subletal por este metal en vertebrados, se caracteriza por la aparición de fallos neurológicos, disfunción del riñón y anemia. Este bloquea la transmisión del impulso nervioso y la liberación de la acetilcolina (Baudran, 2005). La anemia se produce como resultado de 2 efectos básicos: disminución de la longevidad de los glóbulos rojos e inhibición de numerosas enzimas que intervienen en la síntesis de Hb. En este sentido, también inhibe el metabolismo de los nucleótidos de pirimidina, que causa una acumulación de Pb en los glóbulos rojos, así como efectos en el metabolismo del triptófano, que bloquea una de sus vías metabólicas. Induce la inhibición en la síntesis de proteínas y la reducción reversible de los DNA y RNA en cultivos celulares.

Al respecto, han sido descritos efectos sobre diversas enzimas como la disminución de la actividad de la ATPasa a nivel de la membrana de los hematíes, riñón e hígado y se ha reseñado un marcado aumento de enzimas en el suero acompañando a lesiones hepáticas. Este elemento posee gran afinidad por las mitocondrias, donde inhibe la fosforilación oxidativa. En peces, el Pb tiene efectos sobre el oscurecimiento de las aletas y curvatura espinal; ambos procesos normalmente son reversibles, excepto en casos muy agudos. También se ha podido demostrar una disminución de la toxicidad del Pb al aumentar la dureza del agua en estos (Cardoso, 2012).

Selenio (Se):



Es un elemento muy estudiado en la actualidad, forma parte de la glutación peroxidasa que destruye los peróxidos formados de los lípidos insaturados, conociéndose su poder antioxidante (Cadena, 2010).

El Se es un mineral esencial en la nutrición humana y animal, se considera su participación en diversos procesos asociados a la producción, tan diversos como la fertilidad de la especie y la prevención de enfermedades. La glutación-peroxidasa (GSH-Px), fue la primera enzima en que se demostró la presencia activa del Se y su importancia al evitar el daño oxidativo de las membranas celulares. Con anterioridad se había demostrado que la conocida como “Enfermedad del músculo blanco” era consecuencia de la deficiencia de Se, determinando muerte en animales recién nacidos y ocasionalmente en animales en desarrollo y aún en adultos, en particular en rumiantes (Elghany y Tórtora, 2008).

La deficiencia de vitamina E y de Se producen síntomas similares, aunque actúan en mecanismos diferentes. El Se puede reemplazar al S en compuestos de importancia biológica como son las proteínas. Actualmente ha quedado claro que el Se también es crítico en la estructuración de las enzimas necesarias para la síntesis de la hormona tiroidea y para su activación en los tejidos periféricos.

La deficiencia de Se afecta seriamente la capacidad de respuesta inmune de los animales. Pero solo es importante su presencia en el organismo cuando se ingestan cantidades inferiores a 700 000 mg/día, cuando excede esta cantidad se considera potencialmente peligroso para la salud de cualquier organismo (Marston *et al.*, 2003).

La toxicidad por Se es una amenaza seria en las regiones donde el elemento se encuentra disponible en exceso en los suelos, originalmente la problemática del Se fue analizada por los efectos tóxicos del metal, antes de que se definiera su importancia como microelemento imprescindible para la vida animal. El cuadro ocurre en dos formas, la aguda que puede resultar de un gran consumo, en una sola oportunidad, de plantas seleníferas que contienen más de 20 mg/ kg o de la inyección de una sobre dosis de Se, de más de 1.65 mg/kg. de peso corporal. A partir de 3 mg/kg de peso corporal, por vía oral, pueden ocurrir cuadros de toxicidad aguda de Se, con trastornos motrices, ataxia, diarrea oscura, hipertermia, pulso débil y rápido, respiración dificultada, dolor abdominal, meteorismo, depresión, poliuria, disnea y mucosas pálidas. En estos casos a la necropsia se observan en forma dominante hemorragias sistémicas.

No hay tratamiento específico conocido para tratar los casos agudos de intoxicación por Se y los animales afectados mueren incluso antes de que se haya establecido el diagnóstico. La segunda forma de toxicidad de Se, la crónica, también se llama Enfermedad del álcali y ocurre cuando los animales consumen cantidades de 5 a 20 ppm por mucho tiempo. En estos casos se presenta parálisis de la lengua, respiración laboriosa y rápida, exceso de saliva, baja temperatura corporal (hipotermia), emaciación, anemia, alopecia y deformación

de estructuras córneas, uñas y cuernos en su caso. A la necropsia se observa degeneración del músculo cardíaco (Elghany y Tórtora, 2008).

El Se puede entrar al agua superficial en el drenaje de aguas de regadío. Hay cierta evidencia que indica que el Se puede ser incorporado en los tejidos de organismos acuáticos y aumentar en concentración a medida que pasa a través de la cadena alimentaria. Las concentraciones de este en organismos acuáticos se han convertido en un problema a causa del flujo de aguas en ciertas áreas áridas de los Estados Unidos (Aguardo, 2013).

Se conoce que en el pescado, la interacción del Se con el Hg disminuye la toxicidad de este último de lo que se ha tenido evidencia adicionando Se a dietas sintéticas en pescado contaminados con Hg. Otros autores también han planteado que no sólo inhibe la toxicidad del Hg sino también la del Cd debido a la formación de complejos Se-Cd que son menos tóxicos). A pesar de ser un metal muy estudiado, en pescado existe poca información de sus niveles, en perca amarilla se reportó un contenido de Se de 5.4 mg/kg y se plantea que este metal es sólo parcialmente acumulado por el pez a través de la cadena alimentaria (Fisher, 2005).

La mayor parte del Se que entra al cuerpo lo abandona rápidamente, generalmente en 24 horas. Aparte del Se que el cuerpo necesita, este es eliminado principalmente en la orina. Las heces y el aliento son rutas de eliminación de menor importancia. A medida que la exposición al Se aumenta, la cantidad de Se en la orina aumenta. Sin embargo, el Se puede acumularse en el cuerpo si los niveles de exposición son muy altos o si la exposición es prolongada. La cantidad que se acumula en el cuerpo depende de la forma química de Se. El Se se acumula principalmente en el hígado y los riñones, pero también en la sangre, los pulmones, el corazón y los testículos Garner (2003), Kenwright (2003) y Marston (2003).

Estaño (Sn):

El Sn es un componente de muchos suelos. Puede ser liberado en forma de polvo en tormentas de viento, en carreteras y durante actividades agrícolas. Los gases, polvos y vapores que contienen Sn pueden liberarse desde fundiciones y refinerías, y al quemar basura y combustibles fósiles (carbón o petróleo) (Loveridge, 2009). Las partículas en el aire que contienen Sn pueden ser transportadas por el viento o arrastradas al suelo por la lluvia o la nieve. El Sn se adhiere a los suelos y a sedimentos en el agua y en general se le considera relativamente inmóvil en el ambiente.

No puede ser destruido en el ambiente; solamente puede cambiar de forma o puede adherirse o separarse de partículas en el suelo, el sedimento y el agua. Los compuestos orgánicos de Sn pueden ser degradados (por exposición a la luz solar y por bacterias) a compuestos inorgánicos de Sn. En el agua, los compuestos orgánicos de Sn preferentemente se adhieren a partículas. También pueden depositarse en sedimentos y permanecer inalterados ahí por años. Los compuestos orgánicos de Sn pueden ser

incorporados en los tejidos de animales que viven en aguas que contienen estos compuestos (Gutiérrez y Facundo, 2014).

Usted puede estar expuesto a compuestos orgánicos de Sn (principalmente compuestos de butilSn) al comer mariscos de aguas costeras o por contacto con productos domésticos que contienen compuestos orgánicos de Sn. Este puede entrar a su cuerpo cuando ingiere alimentos o agua contaminada, cuando toca o ingiere tierra que contiene Sn, o cuando respira vapores o polvos que contienen Sn. Los compuestos de este elemento pueden entrar a su cuerpo por exposición al aire, agua o suelo contaminado cerca de sitios de residuos peligrosos. Cuando usted ingiere Sn en sus alimentos, muy poco pasa a la corriente sanguínea. La mayor parte del Sn se mueve a lo largo de los intestinos y abandona su cuerpo en las heces.

Cierta cantidad de Sn abandona su cuerpo en la orina. Si usted respira aire que contiene vapores o polvos de Sn, cierta cantidad de Sn puede permanecer atrapada en los pulmones. Sin embargo, esto no afecta la respiración si la cantidad es pequeña. Si usted traga partículas de Sn metálico, éstas abandonarán su cuerpo en las heces. Muy poco Sn puede entrar al cuerpo a través de la piel intacta. Su cuerpo puede eliminar la mayor parte del Sn inorgánico en semanas, pero cierta cantidad puede permanecer en su cuerpo 2 a 3 meses.

Los compuestos inorgánicos de Sn abandonan el cuerpo rápidamente y la mayoría desaparece en un día. Cantidades muy pequeñas de Sn permanecen en algunos tejidos, por ejemplo, los huesos, por períodos más prolongados. Los compuestos inorgánicos de Sn generalmente no causan efectos perjudiciales debido a que generalmente entran y abandonan el cuerpo rápidamente cuando los respira o los ingiere (Roth *et al.*, 2005).

Se ha demostrado que la inhalación, ingestión o contacto de la piel con algunos compuestos orgánicos de Sn produce efectos perjudiciales en seres humanos, pero el efecto principal depende del tipo de compuesto orgánico de Sn. Se han descrito casos de irritación de la piel, los ojos y las vías respiratorias, efectos gastrointestinales y problemas neurológicos en seres humanos expuestos brevemente a altas cantidades de algunos compuestos orgánicos de Sn. Ciertos problemas neurológicos persistieron durante años después de ocurrida la intoxicación. Se han descrito casos fatales de intoxicación a raíz de ingestión de cantidades muy altas (Ferrer, 2003).

Los derivados orgánicos del Sn son muy tóxicos, pueden causar un cuadro de agitación y delirio al que siguen con frecuencia un estado de coma con hipertensión endocraneana (Gutiérrez y Facundo, 2014).

Bioacumulación de metales pesados

La bioacumulación por metales pesados, constituye una de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos y las especies presentes en ellos. Estos son elementos con gran

estabilidad química ante los procesos de biodegradación, por lo que los peces son incapaces de metabolizarlo, generándose una contaminación por bioacumulación, llegando a alcanzar niveles altos de toxicidad ya que se absorben muy eficientemente a través de las membranas biológicas (Mustafa *et al.*, 2009). La mayoría de los metales pesados son de fácil fijación en tejidos musculares y adiposos, y órganos diana como hígado y branquias, que culminan en el consumo humano y animal. Por ejemplo, estos se acumulan en sedimentos, donde los microorganismos como las bacterias que viven allí pueden convertirlo a la forma orgánica, que es sacado por los gusanos y otros animales pequeños que viven en los sedimentos. Estos compuestos se acumulan en los peces que comen estos animales y en los peces más grandes que comen a los peces más pequeños, para luego de esto ser capturados por el hombre, utilizándolos en su propia alimentación y en la animal (González, 2010).

El suelo es una fuente de emisión de muchos contaminantes a la atmósfera, las aguas subterráneas y de los vegetales. La contaminación de los suelos agrícolas con metales es uno de los problemas actuales del medio ambiente. Los suelos contaminados aumentan la liberación y absorción de metales contaminantes por los vegetales lo cual es una amenaza para la salud humana, además mediante la transferencia trófica en la cadena alimentaria se transmiten de un organismo a otro, siendo los ecosistemas acuáticos los más afectados puesto que todas las aguas de lavado llegan a los recursos hídricos por procesos hidrodinámicos (Mesa, 2009a).

Estos elementos pueden ser liberados a la columna de agua por cambios de las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, O₂ disuelto o la presencia de quelatos orgánicos, por esta razón las aguas contienen disueltos numerosos solutos como gases, iones de metales alcalinos, metales pesados y materia orgánica (Fairhall, 2011). Además, contienen una gran cantidad de materiales suspendidos como coloides y material particulado. Al igual que en condiciones controladas, los cambios en los parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH, potencial redox, etc, producen cambios en la composición de los cuerpos de agua naturales debido a modificaciones en las diferentes solubilidades de los materiales disueltos en ellas. Por ejemplo, un cambio de temperatura podría provocar una modificación de la solubilidad de iones y gases; un cambio en el potencial redox o en el pH, modificación en la solubilidad de metales pesados.

Los metales pesados son muy dañinos debido a su carácter no biodegradable, larga vida media biológica y su potencial de acumulación en diferentes partes del cuerpo (Rosas, 2001).

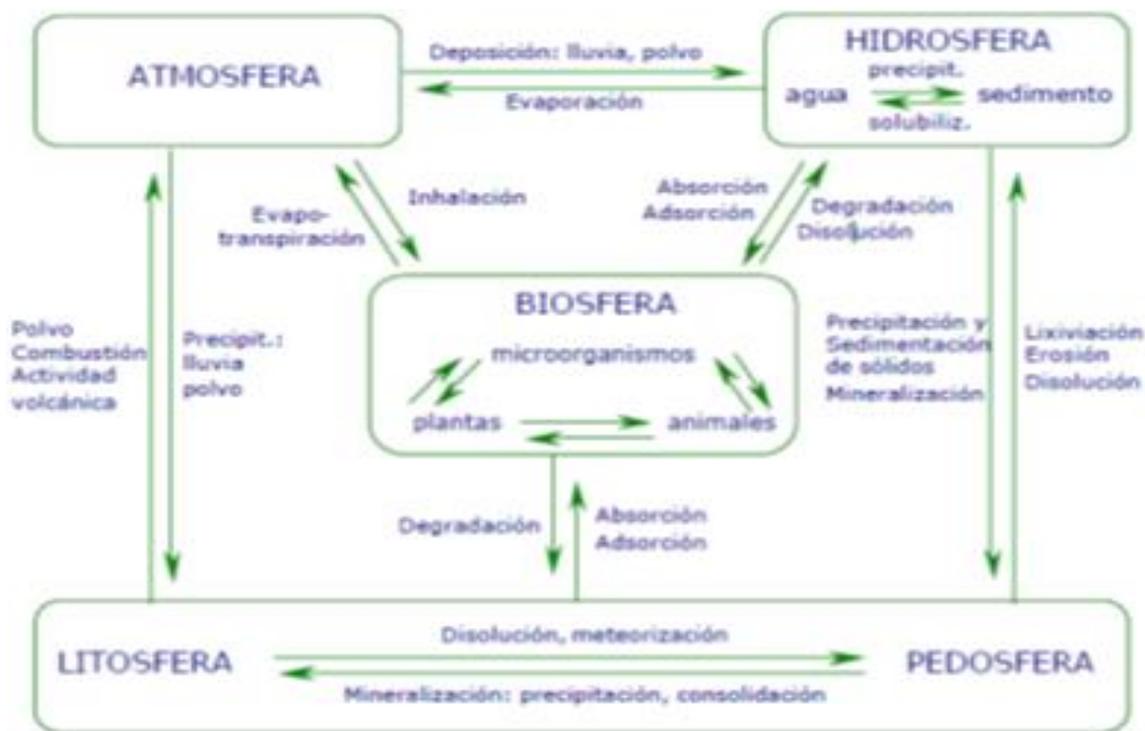


Figura 1. Ciclo biogeoquímico de los metales pesados (Rosas, 2001).

El pescado es frecuentemente el tope de la cadena alimentaria acuática y ellos pueden acumular grandes cantidades de metales en su cuerpo; siendo conocido en el mundo que los contaminantes en general incrementan la susceptibilidad del pescado a contraer enfermedades infecciosas. Por otra parte, la muerte de peces resulta una evidencia de que existen serios problemas en el medio acuático y si la muerte es debida a agentes químicos, puede tener repercusiones en la salud humana, lo cual justifica la importancia de los numerosos estudios reportados acerca de esto internacionalmente (Pis, 1999).

En la actualidad, una de las problemáticas ambientales más importantes se refiere a la contaminación por metales pesados. Este tipo de contaminación química es una de las más nocivas tanto para los ecosistemas acuáticos como para los organismos que habitan en ellos ya que los peces tienen la capacidad de almacenar en su organismo una concentración mayor de metales pesados en comparación con la presente en el medio. Debido a esta circunstancia la concentración de metales pesados que se encuentra en los peces es un indicador importante de la contaminación ambiental. Por otra parte, el consumo de peces contaminados se puede convertir en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso (García, 2002).

Aunque existen criterios para establecer los contenidos máximos de metales pesados en peces, generalmente se establecen por medio de bioensayos, estos elementos aunque se encuentren en cantidades inferiores son una amenaza si el organismo sigue expuesto a su

presencia, debido a la capacidad de bioacumularse en algunos tejidos, en la tabla 2 observamos algunas cantidades permitidas para Cd, Cr, Hg y Pb según la Normativa en México para regular concentraciones de metales pesados en biosólidos, agua para riego y suelo (NMRCMPBARS 001-002-087-004-147, 2013).

De acuerdo a estos contenidos para realizar el seguimiento a estos elementos es necesario usar métodos analíticos que involucren técnicas que garanticen una medición confiable, según los estándar métodos la técnica más confiable para detectar y cuantificar elementos a estas cantidades es la espectrofotometría de absorción atómica (Boucher, 2013).

Tabla 1. Contenidos de metales en organismos marinos según NMRCMPBARS 001-002-087-004-147, 2013 (Siebe y Cayetano, 2013).

Metal	Riesgo mínimo (ppm)	Niveles letales
Cd	0,00	10-4
Cr	0,01	0,1
Hg	0,01	0,05
Pb	0,01	0,02

En particular, los peces tienen la capacidad de almacenar estos compuestos en su organismo en una concentración mayor a la presente en el medio, por lo que su consumo puede convertirse en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso.

El contenido de metales en sus tejidos puede tener un efecto significativo en la abundancia y estructura de la comunidad de peces y afectar su desarrollo sobre todo en las primeras etapas del crecimiento, pudiendo emplearse como un indicador importante de la contaminación del medio acuático. La relación entre la concentración del metal en los tejidos de peces y sus dimensiones (edad y tamaño), proporciona información sobre el proceso de bioacumulación, proceso que representa un signo de contaminación y constituye un peligro para la salud humana (García, 2013)

Conclusiones

La contaminación por cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), selenio (Se) y estaño (Sn) es real. Los autores mencionados con bastos estudios sobre el tema evidencian todas las consecuencias en relación a estas formas que tienen especial repercusión en los ecosistemas dulceacuícolas, deteriorando la calidad de las aguas y de los productos que se obtienen de estos.

Bibliografía

AGUARDO, J. Eliminación de Metales Pesados de aguas contaminadas [en línea]. Madrid. España, 08 febrero 2013 [Consulta: 18 noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/02/08/131844>.

ALFONSO, L. A. Protección Ambiental en Cuba. Cuba: Política, 2010a.

ALONSO, J. A. Eliminación de metales pesados de aguas contaminadas mediante adsorción selectiva con materiales mesoestructurados híbridos [en línea]. Madrid: GIQA, 08 febrero 2010b [Consulta: 26 noviembre 2014].

BAUDRAN, Y. Metales Pesados, Ambiente y Salud [en línea]. Argentina, 01 marzo 2005 [Consulta: 18 noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.sertox.com.ar>.

BOADA, M.; MORENO, M. A.; GIL, H.; MARCANO, J. y MAZA, J. Metales pesados (cu+2, cd+2, pb+2, zn+2) en músculo y cefalotórax de camarones silvestres *litopenaeus schmitti*, *farfantepenaeus subtilis*, f. *Notialis* y f. *Brasiliensis* de la región oriental de Venezuela. Revista Científica de Maracaibo [en línea], 03 abril 2007, vol. 17, n° 2 [Consulta: 01 diciembre 2014]. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-22592007000200013&script=sci_arttext. ISSN 0798-2259.

BOUCHER, S. Informe resumido sobre contenido de mercurio en tejidos de peces de México. México: Comisión para la Cooperación Ambiental, 2013.

CABIMAS, N. Contaminación y Tratamientos de aguas en Venezuela. Tesis de Doctorado. Venezuela: Venezuela-Educación, 2007. h. 42.

CADENA, R. Intoxicación por Metales Pesados [en línea]. Barcelona, 03 febrero 2010 [Consulta: 18 noviembre 2014]. Disponible en: <http://intoxicacionpormetalespesados.blogspot.com/2012/12/que-son-los-metales-pesados-pese-que-el.html>.

CARDOSO, J. Tratamento e Purificação de água [cinta magnética]. Portugal, 03 octubre 2012 [Consulta: 01 diciembre 2014].

CASTEÑE, P. y TOPALIÁN, J. Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad. Argentina: Medio Ambiente, 2002.

DALY, S. Effect of the feeding with salmons contaminated by metals weighed in rats. Ontario-Canadá: Life and Health, 1993.

ELGHANY, A. y TÓRTORA, J. “Selenio y salud animal”. Importancia, deficiencia, suplementación y toxicidad. Arq. Cien. Vet. Zool. Unipar, julio 2008, vol. 11, n° 2, p. 13.

FAIRHALL, L. Precision Methods in the Determination of the Heavy Metals. Washington: Chemistry, 2011.

FERRER, A. Intoxicación por metales: (Sn, As, Hg). Anales Sis, enero 2003, vol. 26, n° 1, p. 14.

FISHER, A. Bioaccumulation du sélénium et effets biologiques induits chez le bivalve filtreur *Corbicula fluminea*. Francia: Une science et une Pêche, 2005.

GARCÍA, A. G. Evaluación de la contaminación por vertimiento de mercurio en la zona minera, Pacarní-San Luis departamento del Huila. Colombia: CUHC, 2013.

GARCÍA, J. P. ESTADO ACTUAL DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS Y PESTICIDAS ORGANOCOLORADOS EN EL PARQUE NATURAL DE MONFRAGUE. Tesis de Doctorado. España: Universidad de Extremadura, 2002. h. 344.

GIL, M. N.; TORRES, A.; HARVEY, M. y ESTEVES, J. L. Metales pesados en organismos marinos de la zona costera de la Patagonia argentina continental. Revista de Biología Marina y Oceanografía, diciembre 2006, vol. 41, n° 2, pp. 167-176.

GONZÁLES, P. R. Análisis de la contaminación por Plomo y Mercurio en el músculo de las Tilapias *Oreochromis niloticus* provenientes del Lago de Amatitlán. Trabajo de Diploma. Guatemala: Mar y Acuicultura, 2010. h. 56.

GUTIÉRREZ, J. C. y FACUNDO, J. ANALISIS HIDROGEOQUÍMICO DE LAS AGUAS DE LA SUBCUENCA MAMPOSTÓN. Ciencias de la Tierra y el Espacio, noviembre 2014, vol. 11, n° 1, p. 9.

IRIGARAY, J. I. El Riachuelo de Buenos Aires entra en el top ten de la contaminación. EL MUNDO [en línea]. 06 noviembre 2013. [Consulta: 12 diciembre 2014]. Disponible en:
<http://www.elmundo.es/internacional/2013/11/06/527a713463fd3d10218b4592.html>.

KHAN, J. Efectos sobre el Bacalao (*Gadus morhua*) de hidrocarburos aromáticos. Tesis de Maestría. Asturias-España: Instituto de Pesca, 1988.

KICENIWK, F. Efectos ambientales de los hidrocarburos en la costa de Cantabria-España. Cantabria-España: Medio Ambiente y Salud, 1988.

LOVERIDGE, M. Propiedades Químicas y Toxicidad. En: GILMAN, B.; EVANS, C. y HARBOUR, J. Metales. Quebec-Canadá: Metalurgia, 2009. p. 783.

LOZADA, J. Presencia de metales pesados en tejidos de peces. Colombia: Ciencia y Tecnología, 2013.

MARSTON, N.; GARNER, T. y KENWRIGHT, B. Resumen de Salud Pública: Selenio. EE.UU: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2003.

MESA, M. M. A. IMPACTO ECOLÓGICO DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN UN AGROECOSISTEMA DE. Tesis de Maestría. Mayabeque-Cuba: Pueblo y Educación, 2009a. h. 101

MESA, M. M. A. Papel de la biota edáfica presente en sitios contaminados por metales pesados. Elementos para su estudio. La Habana-Cuba: Pueblo y Educación, 2009b. p. 51.

MUSTAFA, T.; TEPE, Y.; TORE, Y. y ATES, A. Determination of metals in fish species from Aegean and Mediterranean seas. Food Chemistry, noviembre 2009, vol. 15, nº 8, p. 5.

PALMA, G.; ZIEGLER, K.; GONZÁLES, E. y ALVAREZ, M. L. A. Contenido de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni y Pb) en el agua y tejidos de tilapia del lago de Valencia, Venezuela. Venezuela: Medio Ambiente, 2013.

PIRIYE, M. H.; MOOSAEI, M.; PAKZAD, R. y NOORI, M. Effects of heavy metals on the antibacterial properties of *Verbascum speciosum* Schard. UDO Agrícola, abril 2012, vol. 12, nº 2, p. 9.

PIS, M. A. IMPACTO DE LOS METALES CONTAMINANTES EN LA CALIDAD DE LA TILAPIA (*Oreochromis aureus*) CULTIVADA EN CUBA. Tesis de Maestría. Cuba: Pueblo y Educación, 1999. h. 57.

RODRÍGUES, N. J. y ÁLVARES, R. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. Acta Biológica Colombiana [CD-ROM], 10 enero 2006, vol. 11, nº 1 [Consulta: 01 diciembre 2014].

ROMERO, A. y BABALEIRO, T. Posible papel protector de la melatonina frente a la toxicidad neuroendocrina inducida por cadmio. Toxicol, junio 2008, vol. 25, nº 1-3, p. 80.

RONDAN, C. y ELIZABETH, L. Presencia de metales pesados en la biota acuática (orestias sp y schoenoplectus tatora) de la desembocadura del río Ramis lago Titicaca. EEUU: Ciencia y Medio Ambiente, 2007. p. 55.

ROSAS, C. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Cataluña. Cataluña-España: Universidad Politécnica de Cataluña, 2001.

ROTH, T.; EMMS, R. y BRYANT, M. Resumen de Salud Pública: Estaño y Compuestos de Estaño. EE.UU: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2005.

SCHINITMAN, N. I. Metales Pesados, Ambiente y Salud [en línea]. Chile, 20 noviembre 2004 [Consulta: 18 noviembre 2014]. Disponible en: [http://www.Metales Pesados, Ambiente y Salud - EcoPortal.net.htm](http://www.MetalesPesados, Ambiente y Salud - EcoPortal.net.htm).

SIEBE, C. y CAYETANO, M. Normatividad en México para regular concentraciones de metales pesados en biosólidos, agua para riego y suelo. NMRCMPBARS 001-002-087-004-147. México: Instituto de Geología, mayo 2013.

TALIB, N. y SIF, J. Indice de condition et teneurs de quelques métaux (Cu, Cd, Zn et Hg) dans les organes de la moule Mytilus galloprovincialis de la côte d'El Jadida (Maroc) en mai et juin 2004. Sciences de la Vie, junio 2009, vol. 1, n° 31, p. 6.

VALDIVIA, J. C. Contaminación por metales pesados y arsénico en peces en las presas de Chihuahua. México: Ecología, 2009. p. 58.

VÁZQUEZ, F.; FLORVILLE-ALEJANDRE, T. R.; HERRERA, M. y DÍAZ, L. M. Metales pesados en tejido muscular del bagre Ariopsis felis en el sur del golfo de México (2001-2004). Latin american journal of aquatic research [cinta magnética], 10 junio 2008, vol. 36, n° 2 [Consulta: 01 diciembre 2014]. ISSN 0718-560X.

ZORRILLA, M. F. ESTADO DEL ARTE SOBRE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN TEJIDOS Y AGALLAS DE PECES. Colombia: Recursos Naturales, 2011.