

EFFECTOS DEL APROVECHAMIENTO DE METALES PRECIOSOS EN COLOMBIA: LOS METALES PESADOS EN LAS AGUAS CONTINENTALES, ESTUARINAS Y MARINAS

EFFECTS OF THE PROFIT OF PRECIOUS METALS IN COLOMBIA: THE HEAVY METALS IN THE CONTINENTAL, ESTUARINES AND SEA WATERS

Ricardo ÁLVAREZ-LEÓN

Fundación Maguaré. Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.
Universidad de Manizales. Manizales (Caldas), Colombia,
alvarez_leon@hotmail.com

RESUMEN

Se analizan las fuentes de metales pesados en las áreas continentales y costeras de Colombia sobre el Mar Caribe y el Océano Pacífico de Colombia, sus principales usos en actividades tales como: minería (Au, Ag, Pt), medicina, investigación, industria, uso doméstico y se presenta una discusión acerca del impacto que ocasiona su uso y la acumulación de sus residuos, en los diferentes compartimentos ambientales: aire, suelos, agua, biota (flora, fauna, hombre). Se hace referencia a ensayos biológicos que han sido realizados en Colombia y se presenta una síntesis de los resultados y conceptos presentados por diversos estudios sobre dichos metales en el país. Finalmente y a manera de conclusión, se incluyen algunas recomendaciones para adelantar investigaciones específicas sobre el uso de estos controvertidos metales en Colombia. Con bastante certeza es posible decir que a pesar de ser considerados como fundamentales para algunas actividades, el uso de los metales pesados debe ser restringido y controlado pues su alta toxicidad puede conducir a enfermedades crónicas y hasta a producir la muerte en plantas y animales.

Palabras clave: minería, oro, plata, platino, aprovechamientos, impactos, Colombia, Suramérica

ABSTRACT

The sources of heavy metals are analyzed in the continental and coastal areas of Colombia on the Caribbean Sea and the Ocean Pacific of Colombia, their main uses in such

activities as: mining (Au, Ag, Pt), medicine, investigation, industry, domestic use and a discussion is presented about the impact that causes its use and the accumulation of their residuals, in the different environmental compartments: air, floors, it dilutes, biota (flora, fauna, man). Reference is made to biological rehearsals that have been carried out in Colombia and a synthesis of the results and concepts presented by diverse studies on this metals in the country is presented. Finally and by way of conclusion, some recommendations are included to advance specific investigations on the use of these controversial metals in Colombia. With enough certainty it is possible to say that in spite of being considered as fundamental for some activities, the use of the heavy metals debit side to be restricted and controlled their high toxicity then it can drive to chronic illnesses and until to produce the death in plants and animals.

Key words: mining, gold, silver, platinum, uses, impacts, Colombia, South American

INTRODUCCIÓN

La tradición metalúrgica americana comprende aproximadamente 30 siglos de desarrollo, desde el primer milenio antes de Cristo hasta comienzos del siglo XVI. En el territorio colombiano, las piezas de oro más antiguas corresponden al primer siglo antes de Cristo, sin embargo la gran producción orfebre se registró en la época comprendida entre los años 400 después de Cristo y la conquista española.

Época precolombina. Los yacimientos auríferos de Colombia están localizados en las Cordilleras Occidental y Central, así como en los numerosos ríos que drenan de éstas cordilleras y que arrastran ricos aluviones. En las áreas más ricas en oro se destacan la región montañosa del Departamento de Antioquia así como la parte media de los valles de los ríos Cauca y Magdalena que desembocan en el Mar Caribe, así como las hoyas de los ríos cortos y caudalosos que desembocan en el Océano Pacífico. El aprovechamiento entonces era realizada principalmente de los aluviones de los ríos, utilizando las técnicas que aún hoy se practican: remoción (macanas o coas), lavado (bateas), molienda (morteros), lavado (agua dulce), fundición (hornillas y crisoles) y pesado (romanas y pesos). El aprovechamiento del oro de veta o de filón también se practicaba, empleando herramientas de piedra con las cuales excavaban pozos verticales muy estrechos (1 m de diámetro con 30-40° de inclinación, 20-27 m de profundidad) pero sin cámaras o galerías subterráneas, hasta cortar la vena de cuarzo.

El oro diseminado, otra fuente del metal, era aprovechado mediante quemas de la vegetación en áreas montañosas y su recolección manual se realizaba por el brillo evidente sobre el terreno, estas prácticas a veces eran previas al aprovechamiento del oro de veta. La característica principal del trabajo metalúrgico en Colombia fue el empleo de la “tumbaga”, aleación intencional de oro y cobre en porcentajes variables (Ley 0.300; 7 kilates; hasta el 30% de oro), solo en las regiones Calima y Tolima se usaba el oro fino (Ley 0.900-0.916; 22 kilates). Se cree que la afinación del oro se llevaba a cabo, calentando al rojo naciente el mineral en gránulos, en presencia de sal común y arcilla, volatilizando las impurezas en forma de cloruros. (Plazas de Nieto y Falchetti de Sáenz, 1983)

Época Colonial. A los métodos utilizados por los indígenas en el aprovechamiento artesanal, siguieron técnicas industriales, igualmente rústicas pero con fines comerciales a partir de la Colonia Española. Un cambio fundamental ocurrió en esta época y fue el reemplazo de los indígenas por esclavos negros traídos de diferentes países africanos en los duros y extenuantes trabajos en las minas. A las diferentes actividades relacionadas con el oro se debe gran parte de la fundación de ciudades y poblaciones del occidente colombiano. Las labores de explotación han venido cumpliéndose por compañías británicas, francesas, norteamericanas, canadienses y colombianas, las cuales llegaron a ser 35 en 1911. La mayor parte (80%) del oro aprovechado en Colombia proviene de los aluviones de los ríos y sólo el 20% proviene de los filones, desaprovechándose hasta ahora el oro diseminado. Las técnicas extractivas de aluvión incluyen dragado, tajo abierto, lavado a presión, alteración del cauce de los ríos y quebradas así como de su calidad. El oro de veta, incluye tala de bosques, quemas, pérdida de la capa vegetal, túneles, cortes y rellenos. El aprovechamiento del oro se lleva a cabo mediante procesos de concentración por gravedad, flotación, fundición, amalgamación con mercurio y cianuración.

Epoca Moderna. La minería del oro al igual que la del platino y la plata, así como el de otros recursos naturales no renovables, no ha seguido los principios del desarrollo sostenible y se constituye en una de las actividades que más impacto causan. Adicionalmente con la excepción de los estudios iniciales de prospección geológico-minera están ausentes los necesarios monitoreos ambientales y medidas más elementales de mitigación. Los factores que más inciden, son los generados por la pérdida de bosques primarios y la fauna silvestre asociada, la erosión y lixiviación de suelos, los derrames accidentales de mercurio y cianuro, la volatilización del mercurio en el proceso de separación de la amalgama.

Aunque los procesos son similares en las diferentes zonas mineras del país, son las del sur del Departamento de Bolívar de donde se tiene la mayor información. La zona ha tenido cuatro épocas de explotación aurífera: (1) Precolombina (Tribus Simitíes y Malibues), (2) Conquista-Colonia españolas, (3) Independencia-Primera mitad del siglo XX, (4) Década de los 80's – hasta nuestros días. El aprovechamiento en general es rudimentario por lo que existen pérdidas de oro fino, mercurio (65-70% de Hg por 30-35% de Au), cianuro (6 kg por cada ton de mineral), metales asociados (cobre, zinc, plomo, arsénico), es decir para aprovechar 30-40 gr se remueven 1 ton de material. Los mineros por lo general no usan ningún mecanismo de protección, por lo que están expuestos a la inhalación de vapores de mercurio cuando se separa la amalgama y a la acción del cianuro a través de la piel o a la intoxicación a través de las aguas, pues no se realiza neutralización antes de verterlas.

En el ambiente, la acumulación de nutrientes liberados por la lixiviación y lavado a presión de los suelos, causa eutrofización severa en las ciénagas, lo que unida a la gran carga sedimentaria, acelera el progresivo desecamiento y la pérdida de su gran potencial pesquero. La alteración de la biodiversidad es otro aspecto preocupante pues en la zona se han detectado la desaparición de especies de peces y aves. Las concentraciones de mercurio que han sido detectadas en las zonas mineras y en el sistema hídrico adyacente, son considerables. (Recuero et al., 1994; Olivero-Verbel et al., 1995; Olivero-Verbel y Solano, 1998; Olivero-Verbel et al., 2001; Olivero-Verbel y Jonson, 2002)

La técnica del amalgamado con mercurio, se practica en el país desde fines de la Colonia, utilizando primero cinabrio (HgS) extraído de las minas de Cajamarca (Tolima) las cuales se cerraron en 1923 y luego mercurio metálico procedente de las minas de Aranzazu (Caldas) que funcionaron entre 1948 y 1977. Sin embargo el país no ha sido suficiente en mercurio y ha tenido que recurrir a la importación para suplir la demanda nacional (industrias de cloro-álcalis, minería, joyería, odontología, pinturas, pesticidas, baterías, termómetros, calibradores, farmacéutica y de municiones, entre otros. (Lozano-Quiroga, 1987)

Los eventos de polución más notables, pero lamentablemente no bien documentados, incluyen (1) cierre de las minas de mercurio en Cajamarca (Tolima) por problemas tecnológicos ocupacionales y ambientales, (2) estudios recientes en las zonas mineras del noreste de Antioquia y sur de Bolívar, muestran como el poder depurador y asimilación tanto del agua como de los sedimentos esta seriamente afectado, (3) nuestros hidrocarburos son ricos en metales pesados entre los cuales se encuentra el mercurio, y (4) otras zonas como la cuenca del río Orinoco ha sido evaluada en cuanto a la existencia de niveles de mercurio y la percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guainía (Azcárate, 2001), debido al aprovechamiento que se hace del oro en algunos ríos de la cuenca binacional, puesto que se comparte con Venezuela (Carlos Lasso-Alcalá y Fernando Trujillo-González, com. pers.).

Época Actual. Una de las problemáticas ambientales más importantes en el país y de la cual no se han adelantado suficientes investigaciones se refiere al uso indiscriminado de precursores químicos en actividades ilícitas, el uso de metales pesados como mercurio en actividades mineras, el vertimiento de aguas servidas y otro tipo de compuestos relacionados con las actividades industriales y las prácticas agrícolas inadecuadas. Lo anterior, ha llevado a que la contaminación química en especial por metales pesados, constituya una de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos y las especies presentes en ellos, más teniendo en cuenta que el exceso en los niveles de emisión de contaminantes tóxicos, por mínimo que sea, puede ocasionar grandes daños a la salud humana o al funcionamiento de los ecosistemas. (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2003, 2005, 2006)

La concentración de metales pesados en peces de agua dulce es conocida de mejor manera en la cuenca del río Magdalena, especialmente en la región de la Mojana y en las ciénagas del sur del Departamento de Bolívar donde se ha estudiado los niveles de contaminación por mercurio y otros metales producida por el desarrollo de múltiples actividades industriales, entre las cuales sobresalen la minería de oro y la petroquímica. Sin embargo, es escaso el conocimiento que se tiene en el país de la problemática generada por la disposición en los cuerpos de agua de metales pesados y su impacto sobre el recurso íctico, el deterioro de ecosistemas y la salud humana. (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006)

Con base en las normas vigentes (Ley 23 de 1973, Decreto 2811 de 1974, Decreto 1594 de 1984) se han realizado bio-ensayos como criterio para comprobar los efectos de la contaminación acuática con organismos dulceacuícolas y la evaluación de por lo menos tres parámetros (metales pesados, temperatura, efluentes). (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006)

mineras del sur de Bolívar se han detectado concentraciones de mercurio muy preocupantes (>7 ppm) en pescadores, mineros y personas de otras ocupaciones, con edades que oscilaron entre 1 y 85 años, de ambos sexos y utilizando su cabello. Igualmente se han podido comprobar problemas médicos relacionados con audición, comunicación, masticación, deglución y equilibrio, así como raquitismo en los peces presentes y aun desaparición de seis especies que hacían aporte de la dieta alimenticia. Las aguas que se vierten en los complejos mineros llegan al sistema fluvial de los ríos Cauca y Magdalena, donde se han detectado concentraciones de Hg total (nd– 2.763 ug/lit en época seca; 0.384– 9.034 ug/lit en época lluviosa), Hg disuelto (nd–1.180 ug/lit), Hg disuelto/Hg total ($70\% < 0.300$ ugr/lit), Hg/sólidos suspendidos con correlaciones altas (0.58–0.97) igual que para Hg/turbidez (0.77–0.91). En los sedimentos se ha comprobado un rango de 186–476 ug/kg, y un aumento de la concentración en época lluviosa y la disminución de la concentración a medida que se aumenta la distancia de las áreas de alta concentración ($r=0.89$) y una relación Hg/materia orgánica con una correlación alta ($r=0.93$) y preferencia por la asociación con sedimentos arcillosos. (Galiano-Sedano, 1976, 1977; Díaz-Granados, 1998; Giraldo et al., 1996, 1999)

En Colombia se han realizado varios estudios desde la década de los 70's tendientes a conocer el estado de las aguas y los sedimentos inicialmente, luego en los peces y más recientemente en la vegetación acuática y en los mineros que aprovechan el oro de aluvión y de veta, así como en los pescadores que aprovechan el recurso en las aguas de los diferentes ríos. Los estudios pioneros han sido los realizados por los investigadores del desaparecido Instituto de Investigaciones Tecnológicas IIT, con el auspicio de COLCIENCIAS y el apoyo de la industria nacional. Vale la pena citar los aportes de las investigaciones de Galiano-Sedano (1976, 1977), en aguas de los ríos colombianos.

Proyecto CORPOICA / ICA / UDLA Grado de Contaminación de los Recursos Hídricos e Ictiológicos en la Región de la Mojana, se desarrolló entre 1995 y 1996, realizando sus muestreos en épocas de lluvias y de secas. Además del mercurio se analizaron Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn en aguas, plantas, peces y sedimentos, de los ríos Caibona, Nechí, San Jorge, Cauca y Magdalena. Las concentraciones de cobre y mercurio fueron particularmente altas, tanto en lluvias como en secas las muestras de peces presentaron una concentración similar, lo cual indica presencia de bio-acumulación del mismo orden, aunque también pudo encontrarse que un 8 % de las muestras en época de secas (peces en diferente estado de madurez), no tenían concentraciones detectables. En resumen, se destaca el efecto de la minería aurífera del norte de Antioquia y el sur de Bolívar, así como las concentraciones excesivamente altas (1359 ppb) de mercurio en la parte baja del río San Jorge. (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006).

La minería del oro en la región de la Orinoquía colombiana ha tenido un importante crecimiento en los últimos 15 años, pero se ha convertido también en un problema de salud pública debido a varios factores como el uso del mercurio durante el proceso de amalgamación del oro, la contaminación del ecosistema y la exposición de la población de la región. Los resultados indican un precario ambiente laboral y una falta de conocimiento del riesgo ecológico; los valores de mercurio en sangre en los mineros fluctuó entre 6.9–168.0 ug / l y entre los individuos indirectamente expuestos 17.7–100.8 ug / l, en el cabello de los mineros 3.0– 89.2 ug / l y entre los expuestos indirectamente 2.8–48.7 ug / l;

situaciones similares se presentan en otras regiones de Colombia, tales como Chocó, Bolívar, Santander y Caldas (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006).

En Colombia no se ha levantado sistemáticamente información sobre los efectos y el impacto ocasionado por la minería aurífera (Departamento del Amazonas, Antioquia, Bolívar, Caldas, Chocó, Cauca, Córdoba, Guainía, Nariño, Valle), sin embargo es conocido que cada aprovechamiento ejerce efectos muy particulares sobre el medio, los cuales dependen del tipo de depósito, su mineralogía, los métodos específicos y los procedimientos empleados. A pesar de la falta de datos, algunas instituciones han levantado bases de información sobre los efectos de la minería del oro a cielo abierto (aluvial) y subterránea (filoniana), sobre su inventario (GTZ et al., 1992; MMA et al., 1999; INGEOMINAS, 1999), así como sus aspectos geo-químicos y ambientales (Tabla 1) (González y Prieto, 1993; Prieto y González, 1994; Prieto, 1998; CYTED / INGEOMINAS, 2002).

Además del Magdalena, otros ríos del país también están sometidos a la descarga de cantidades considerables de estos contaminantes, sin embargo son escasos los estudios realizados para determinar la concentración en los cuerpos de agua, los sedimentos y la fijación de estas sustancias en los tejidos de peces.

Contenido de Metales Pesados

Los metales pesados agrupan sustancias como el cadmio y el mercurio, principales contaminantes dentro de este grupo de sustancias, además de otras como el cromo, el cobalto, el cobre, el molibdeno, el níquel, el plomo, el estaño, el titanio, el vanadio, el zinc o la plata. Estos constituyen un serio riesgo para el medio ambiente, ya que son sustancias altamente persistentes, presentan elevados niveles de bioacumulación, alcanzan altas cotas de toxicidad y se absorben muy eficientemente a través de las membranas biológicas por su elevada afinidad química por el grupo sulfhidrilo de las proteínas.

La contaminación por mercurio y otros metales pesados es muy difícil de detectar a través del monitoreo medio ambiental, ya que las técnicas específicas de análisis son extremadamente difíciles y costosas y sólo pueden ser manejadas por laboratorios especializados y experimentados. Adicionalmente, las concentraciones en el medio suelen ser más bajas que las encontradas en los sedimentos, o en las especies de fauna y flora presentes en los cuerpos de agua, por esto en ocasiones un bajo nivel de contaminación en la columna de agua no necesariamente indica baja contaminación. (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006)

Los peces por representar varios niveles de la cadena alimenticia acuática, son excelentes indicadores de contaminación por metales pesados, ya que pueden bio-acumular y bio-magnificar a través de ella altas concentraciones de estos elementos. Ejemplo claro de esto es el mercurio el cual es bio-amplificado casi en su totalidad por los peces en forma de metilmercurio sustancia altamente tóxica y de fácil fijación en los tejidos musculares y adiposos, convirtiéndola en elemento clave en el transporte de este metal en las cadenas alimentarias acuáticas que culminan en el consumo humano (OPS, 1978).

El mercurio se acumula en sedimentos en la base de los cuerpos de agua, donde los microorganismos como bacterias que viven allí pueden convertirlo a la forma orgánica del metilomercurio, que es sacado por los gusanos y otros animales pequeños que viven en los sedimentos. El metilomercurio se acumula en los peces que comen éstos animales y en los peces más grandes que comen a los peces más pequeños. De ésta manera, el metilomercurio se acumula en los peces a niveles mucho más elevados que en el contenido en el agua.

La contaminación de peces por metales pesados en Colombia ha sido estudiada principalmente en la cuenca del río Magdalena y sus afluentes, especialmente en la región de la Mojana, en las ciénagas del sur del Departamento de Bolívar y en áreas del Magdalena medio donde se ha estudiado los niveles de contaminación por mercurio. Respecto al contenido de otros metales pesados en peces, los estudios son mínimos. Ruiz *et al* 1995, evaluaron el riesgo de la contaminación por cadmio, cobre, plomo y zinc en la zona cercana al puerto de Honda en el río Magdalena para la población humana que consume las especies *Pimelodus clarias* (nicuro) y *Prochilodus magdalenae* (bocachico).

La alta contaminación del río Magdalena es producto del desarrollo a lo largo y ancho de toda su cuenca de múltiples actividades industriales, entre las cuales sobresalen la minería aurífera y la petroquímica. La región de la Mojana, se ha visto sometida a un proceso de contaminación por mercurio desde tiempos atrás, altamente relacionado con la minería de oro ubicada en las proximidades de sus tres principales afluentes los ríos Cauca, San Jorge y Magdalena. El mayor aporte de contaminantes esta dado por procesos mineros, principalmente por extracción de oro, que se dan en la zona nororiental del Departamento de Antioquia, estos procesos requieren el uso de mercurio metálico que es incorporado al ecosistema hídrico por deposición atmosférica luego de la combustión con amalgama oro-mercurio y por la descarga directa de los desechos del aprovechamiento artesanal del oro. (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006)

El río Magdalena, además es utilizado para el abastecimiento de agua de un gran número de ciudades, pero a la vez recibe las aguas del río Bogotá cuyas concentraciones de metales pesados estén por encima de los niveles máximos permitidos, y de efluentes de un parque industrial diversificado que comprende industrias de equipos eléctricos, curtiembres, metalúrgicas, manufactureras, petroquímicas, entre otras. Además de esto, este río presenta los problemas resultantes de la aplicación excesiva de plaguicidas y fertilizantes que llegan por arrastre hasta sus aguas. (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006)

Respecto a la normatividad ambiental en Colombia, el Decreto 1594 de 1984 fijó los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano, doméstico, recreativo y para la preservación de flora y fauna en aguas dulces estableciendo los valores máximos permisibles para los diferentes metales pesados. En cuanto a contaminación por mercurio la norma ICONTEC-1443 para consumo humano de pescado fresco, refrigerado, congelado y súper congelado establece como máximo valor permisible 0.5 ug/g de mercurio. Por su parte, para metilmercurio la normatividad en el país es nula e internacionalmente existen dos entidades que se han encargado de investigar sobre las concentraciones nocivas para el ser humano. Estas son la EPA (Environmental Protection Agency) que define la dosis o nivel de exposición que no causa efectos adversos en la

salud, y la FDA (The Food and Drug Administration) que define el nivel de ingestión diaria aceptable. (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006)

Bioensayos con Peces Dulceacuícolas.

Durante la última década, los bioensayos en Colombia se han constituido en una valiosa herramienta de las evaluaciones ambientales de los recursos hídricos, por esta razón se sintetizan dichos esfuerzos, discutiendo sus logros y principales limitantes.

Uno de los criterios más usados en la actualidad para comprobar los efectos de la contaminación acuática, son los bioensayos. Es obvio que entre los aspectos a conocer, para regular las descargas de aguas residuales potencialmente tóxicas los organismos acuáticos son de gran ayuda pues a través de los ensayos se puede evaluar y estimar el efecto tóxico en las aguas receptoras y la respuesta de los organismos que habitan en ellas.

El hecho de que las especies tropicales se hallen muy próximas a sus niveles de tolerancia a la temperatura, hace que las variaciones, así sean pequeñas, les resulten perjudiciales. Como el incremento en la temperatura aumenta la toxicidad de los químicos al igual que la rata de respiración y la disolución de oxígeno decrece; los contaminantes además de tener efecto tóxico, generan una alta demanda bioquímica de oxígeno y se vuelven extremadamente peligrosos. Por tanto, es prioritario hacer bio-ensayos sobre especies tropicales, ya que su resistencia es significativamente menor a la de las especies de zonas templadas, las cuales han sido tomadas como base de la legislación para los niveles de tolerancia a los diferentes tóxicos, bajo el supuesto erróneo de que estas cifras puedan perfectamente hacerse extensibles a lo largo y ancho de la biósfera (Ramírez-González, 1988).

RESULTADOS

-Contenido de Mercurio. La concentración de éste metal en las diferentes especies de peces depende de la posición en la cadena trófica y de los hábitos alimentarios de cada especie. El análisis de mercurio en secciones del músculo de peces realizado por Olivero-Verbel y Solano (1998) muestra que en especies iliófagas como *Prochilodus magdalenae* las concentraciones de mercurio son bajas, comparadas con las de especies carnívoras como *Hoplias malabaricus*, e incluso detritívoras como *Triporthus magdalenae* que presentan una acumulación considerable del metal principalmente durante la época seca del año. De la misma manera el estudio observó una homogenización de la acumulación de mercurio entre las especies en la época de lluvias, con respecto a la época seca y encontró una correlación directa entre la concentración de mercurio en el músculo de *Curimata magdalenae* y el contenido en los sedimentos, por lo que los autores sugieren a esta especie como indicadora de la contaminación de mercurio.

Olivero-Verbel et al. (1997), también encontraron resultados similares al comparar la acumulación de mercurio en *Prochilodus magdalenae*, *Triporthus magdalenae*, *Rhamdia sebae* y *Pseudoplatystoma fasciatum*, capturados en el Canal del Dique, observando que la mayor concentración de mercurio total la presentaba la arenca

Triportheus magdalenae especie con hábitos detritívoros, por lo que la alta concentración puede ser debida al transporte de este metal en los sedimentos que llegan al Canal del Dique que constituyen su alimento. Sin embargo, aunque la arenca presenta la concentración de mercurio más alta, esta no alcanza los niveles límite internacionalmente aceptados para considerar a los peces como no aceptables para consumo humano (WHO, 1991). A pesar de esto Olivero-Verbel et al. (1997) consideran que si existe un problema real para los pescadores y familias de estos en el Canal del Dique, especialmente en María la Baja, ya que la fuente de proteína en su dieta se basa en el alto consumo de arenca.

Olivero-Verbel et al. (1998) encontraron que en la Ciénaga Grande (río Cauca) las especies de los eslabones más altos de la cadena trófica (consumidores terciarios) como *Ageneiosus caucanus* (doncella), *Caquetaia kraussii* (mojarra amarilla) y *Hoplias malabaricus* (moncholo) presentan las concentraciones de mercurio más altas, siendo estas superiores a los límites aceptados internacionalmente de 0.5 ug/g de mercurio para consumo de peces (WHO, 1991), llegando a 1.236 ug/g de mercurio en la doncella. Para todas las muestras las especies pertenecientes a los diferentes niveles tróficos presentan diferencias estadísticas significativas, a la vez que también se detectaron diferencias significativas entre especies carnívoras capturadas en diferentes períodos de tiempo, siendo mayores durante los períodos más secos. Se determina que el consumo de pescado de esta ciénaga representa un alto riesgo de contaminación por mercurio para los pescadores y sus familias que dependen únicamente de este ecosistema para obtener su fuente de proteína.

En la Ciénaga de Simití, Olivero-Verbel et al. (1998) encontraron concentraciones más bajas que las observadas en Ciénaga Grande, río Cauca con valores menores medios menores a 0.25 ug/g, pero a pesar de esto si se determinó que existe una diferencia evidente en la acumulación de mercurio entre las especies carnívoras y las iliófagas. Por su parte en la Ciénaga de Capote en el Municipio de Soplaviento (Bolívar), se encontraron las concentraciones más bajas de los tres sitios estudiados, lo cual coincide con ser el sitio de referencia o estación blanco por estar ubicada aproximadamente a 290 km de las minas de oro, lo cual explica que la distribución espacial de la concentración de metales en peces esta directamente relacionada a la unión entre estos cuerpos de agua y las minas de oro, evidenciando que los procesos de biomagnificación tiene lugar a lo largo de la cadena trófica. Se observó que *Prochilodus magdalenae* que es la especie de mayor importancia económica presenta bajos niveles de acumulación por lo que representa un riesgo bajo su consumo.

Se ha podido determinar que las mayores concentraciones de mercurio se midieron en peces capturados en zonas con influencia directa de vertimientos de aguas de minería aurífera como el río Ité (Remedios, Antioquia), La Poza Don Alonso (recibe aguas del río Nechí), el río Pocuné (Remedios, Antioquia), Ciénaga de Bija (recibe aguas del río Cimitarra), Quebrada las Mercedes (vía Puerto Berrío-Remedios), Sector de Cuatro Bocas (confluencia del río Cimitarra al Magdalena) y río Tiguí (Bagre, Antioquia), en estas zonas casi todas las muestras presentaron valores superiores a la norma de 0.5 ug/g de mercurio. Las especies con mayores concentraciones fueron las asociadas al fondo de la columna del agua y las pertenecientes a niveles tróficos superiores como los bagres que tienen una marcada tendencia bentónica y de hábitos carnívoros, la dorada que es un excelente depredador y el comelón que es omnívoro. Lo anterior relaciona los altos niveles de

mercurio en estas especies con el fenómeno de bioacumulación y posterior biomagnificación de las concentraciones de mercurio a medida que se asciende en la cadena trófica. (ECOPETROL-ICP et al., 1993)

La región minera antioqueña presenta valores altos de concentración de mercurio en los tejidos de los peces analizados, los cuales sobrepasan ampliamente el máximo permisible para el consumo humano, lo que esta relacionado con la amplia utilización del mercurio en la explotación aurífera (ECOPETROL -ICP et al, 1993).

El 40% del mercurio contenido peces se bio-acumula en forma de metilmercurio quedando disponible hasta llegar al hombre por medio de la cadena trófica. Con respecto a las normas ambientales internacionales la región sobrepasa todo estándar máximo permisible para mercurio y metilmercurio haciendo necesaria la inmediata toma de medidas ambientales. Ramos et al. (2000)

Utilizando tejido muscular de hembras sexualmente maduras nueve especies diferentes, procedentes del bajo y medio río Magdalena y alto río Meta, se evaluó el contenido de mercurio, cuyo valor vario entre 0.02 y 0.43 mg/kg de peso húmedo, lo cual demuestra la contaminación de todas las especies evaluadas Cala-Cala (2001)

Tabla 1. Contenido de mercurio (Hg) y otros metales pesados (Cd, Cu, Pb, Zn), registrados en peces dulceacuícolas de Colombia. LD = límite de detección (ug/g): Cd: 0.025, Cu: 0.020, Pb: 0.017, Zn: 0.005; nd = no detectable. Las unidades de medición se han mantenido según la cita original, con base en Mancera-Rodríguez y Álvarez-León (2006)

PECES	CUENCA	MERCURIO	OTROS METALES
<i>Aequides pulcher</i>	Mina Santa Cruz, Quebrada Cuturú	0.4-1.3-50 ug/kg	-
<i>Ageneiosus caucanus</i>	Río Caribona – Río Cauca, Poza Don Alonso, Cga. Grande del Cauca, Cga. de Simití, Cga. de Capote, Cga. Grande de Achí,	>0.50 ug/g-1.236 ug/g	-
<i>Astyanax fasciatus</i>	Honda, Girardot, Neiva	0-0.36 ppm	-
<i>Astyanax sp.</i>	Quebrada Juan Vara	0.6-0.9 ug/g	-
<i>Brycon moorei moorei</i>	Río Pocuné	0.3-3.4 ug/g	-
<i>Caquetaia kraussii</i>	Río Caribona, Río Cauca, Cgas. Bajo Magdalena, Cga. de Simití, Cga. de Capote, C.ga. Grande del Cauca, Quebrada Malena Mina Santa Cruz	0.060-1.057 ug/g	-
<i>Chaetostoma sp.</i>	Río Tiguí	0.3-2.5 ug/g	-

<i>Ctenolucius hujeta</i>	Quebrada Cuturú	0.4-1.3 ug/g	-
<i>Curimata magdalenae</i>	Mina Santa Cruz, Río Caribona, Río Cauca, Río San Jorge, Cga. Grande del Cauca	nd-221 ug/kg	-
<i>Curimata mivartii</i>	Cga. Grande del Cauca, Mina Santa Cruz	0.017-38 ug/kg	-
<i>Hoplias malabaricus</i>	Río Caribona – Río Cauca, Cga. de San Marcos, Cga. de Ayapel, Cga. Grande del Cauca, Cga. de Simití, Cga. de Capote, Mina Santa Cruz	>0.50 ug/g-1.122 ug/g	-
<i>Hypostomus tenuicauda</i>	Barrancabermeja	0.05 mg/kg	-
<i>Leporinus muyscorum</i>	Río Ité	2.7-3.9 ug/g	-
<i>Loricaria gymnogaster</i>	Honda, Girardot, Neiva	0.05 – 0.08 ppm	-
<i>Leporinus muyscorum</i>	Río Ité	2.7-3.9 ug/g	-
<i>Oreochromis niloticus</i>	Embalse de Betania	0.03 mg/kg	-
<i>Oreochromis rendalli</i>	Embalse de Betania	0.03 mg/kg	-
<i>Paulicea lutkeni</i>	Puerto López	0.17 mg/kg	-
<i>Pimelodus clarias</i>	Río Nechí, Cga. Grande del Cauca, Cga. de Simití, Cga. de Capote, Girardot, Honda, Neiva	0.017-3.527 mg/kg 0.027-0.13 ppm	Cd nd-0.104; Cu nd-0.447; Pb nd; Zn 10.81-23.95 mg/kg
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	Embalse de Betania, Honda, Girardot, Neiva	0.07 mg/kg 0.14-0.17 ppm	-
<i>Plagioscion magdalenae</i>	Cga. de Capote, Mina Santa Cruz	0.037-195 ug/kg	-
<i>Prochilodus magdalenae</i>	Río Caribona, Río Cauca, Río Magdalena, Canal del Dique, Río San Jorge, Cga. de Lorica, Cgas. del bajo Magdalena, Cga. Grande de Achí, Cga. Grande del Cauca, Cga. de Simití, Cga. de Capote, Mina Santa Cruz	nd -129 ug/kg	Cd nd-0.256; Cu nd-6.512; Pb nd-4.76; Zn 9.14-41.89 mg/kg
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Barrancabermeja, Puerto López, Canal del Dique,	0.060 – 129 ug/kg	-

	Cgas. Bajo Magdalena, Cga. de Simití, Cga. de Capote		
<i>Rhamdia sebae</i>	Canal del Dique	9-102 ug/kg	-
<i>Sorubim cuspidatus</i>	Barrancabermeja, Cga. de Simití, Cga. de Capote Cga. Bijá, Quebrada Las Mercedes	0.059–0.16 ug/kg	-
<i>Triportheus magdalenae</i>	Río Caribona, Río Cauca, Canal del Dique, Cga. Grande del Cauca, Cga. de Capote, Mina Santa Cruz	0.23-219 ug/g	-

Ruiz et al (1995), encontraron que la contaminación por metales pesados (Cd, Cu, Hg, Pb, Zn) es principalmente peligrosa en el caso del mercurio que exhibe niveles que pueden presentar un peligro para la salud de los pescadores y sus familias en la localidad de Honda sobre el río Magdalena. El estudio no detectó niveles de contaminación por plomo en *Pimelodus clarias* (nicuro) y en *Prochilodus magdalenae* (bocachico) este metal solo fue detectado en tres individuos de 39 analizados que exhibieron un máximo de 4.76 ug/g. El bocachico presentó en tejido muscular niveles superiores de cadmio, cobre y zinc, que el nicuro el cual presentó niveles más altos de mercurio.

Bioensayos con Peces Dulceacuícolas

En la tabla 2 puede observarse la síntesis de los trabajos realizados en cuanto a bioensayos que involucran evaluaciones ambientales de por lo menos seis parámetros. Los trabajos incluyen 28 especies de peces dulceacuícolas, de las cuales *Prochilodus magdalenae* con cinco trabajos, *Oreochromis niloticus* con cuatro, *Pimelodus clarias* y *Poecilia sphenops* con tres, han sido las más utilizadas.

La periodicidad y continuación de las evaluaciones no ha seguido un programa nacional o regional a corto y mediano plazo, sino que se han formulado para evaluar problemas accidentales o persistentes en áreas hasta el momento bastante localizadas en Bogotá, Cali, Medellín (debido en parte a la presencia en dichas ciudades de laboratorios idóneos) y los Llanos Orientales. En general se utilizan los métodos sugeridos por APHA, EPA, FAO, IMCO, PAC, PNUMA, los cuales permiten una estandarización y especificidad suficientes para garantizar las bases científicas y poder determinar las normas de calidad de las aguas.

Tabla 2. Síntesis de los estudios realizados en los bioensayos realizados en Colombia con algas marinas, algas estuarinas, aguas dulces, peces dulceacuícolas vrs metales pesados, según Álvarez-León y Caycedo-Lara (1996), Álvarez-León (1998), Peña-Salamanca et al. (2002), Grosso et al. (1996, 2000), Malaver y Sánchez, 1999).

No	ESPECIES	METALES PESADOS
	ALGAS	
1	<i>Tetraselmis chuii</i>	Cr
2	<i>Daphnia magna</i>	Hg
	FANERÓGAMAS	
3	<i>Eichhornia crassipes</i>	Cd, Cr, Hg, Zn
4	<i>Ipomea setifera</i>	Cd, Cr, Zn
5	<i>Avicennia germinans</i>	Ba, Cd, Cu, Pb, Zn
6	<i>Laguncularia racemosa</i>	Ba
7	<i>Rhizophora mangle</i>	Ba, Cd, Cu, Pb, Zn
	CRUSTÁCEOS	
8	<i>Artemia franciscana</i>	Hg
9	<i>Parhyale hawaiiensis</i>	Cd
10	<i>Litopenaeus schmitti</i>	Hg
	PECES	
11	<i>Astyanax fasciatus</i>	Hg
12	<i>Carassius auratus</i>	Hg
13	<i>Oreochromis spp.</i>	Ni, Va
14	<i>Piractus brachypomus</i>	Ni, Va
15	<i>Prochilodus magdalenae</i>	Cr

CONCLUSIONES

Desde la promulgación del Código de Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (Decreto 2811 de 1974) y su reglamentación sobre el aprovechamiento de la pesca y los recursos hidrobiológicos (Decreto 1681 de 1979) y del Código Sanitario Nacional (Ley 09 de 1979) y de su reglamentación, sobre emisiones atmosféricas (Decreto 02 de 1982), disposición de sólidos (Decreto 2104 de 1983), niveles de metales pesados en aguas (Decreto 2105 de 1983), vertimientos líquidos (Decreto 1594 de 1984) e introducción de residuos tóxicos peligrosos (Resolución 189 de 1994), se han venido formulando planes concretos de ordenación ambiental y convenios de producción más limpia con la industria minera, las entidades ambientales (ministerio del medio ambiente, corporaciones tanto autónomas regionales, como de desarrollo sostenible). Estas acciones se han reflejado tanto en planes y programas de cumplimiento y saneamiento de los cuerpos de agua asociados a los diferentes sistemas hídricos del país, así como acciones de educación ambiental con la población.

Los aportes continentales fruto de la erosión y lixiviación de suelos por la tala indiscriminada de los bosques en las cuencas de los ríos Magdalena-Cauca, Sinú-San Jorge, Atrato y Orinoco, la minería del oro, la explotación petrolera, las actividades agropecuarias y la creciente actividad industrial de las ciudades capitales así como de las portuarias, ha comenzado a generar problemas ambientales muy diversos. Se calcula que en 20 años la colonización sólo en la cuenca del río Magdalena a destruido 3.5 millones de hectáreas de bosques, el transporte de sedimento alcanza las 133.000 ton / año y en varias estaciones del río, la concentración de metales pesados (cadmio, hierro, mercurio, plomo, zinc) superan los niveles permitidos en aguas naturales (DNP, 1995).

La contaminación de peces por metales pesados en Colombia ha sido estudiada principalmente en la cuenca del río Magdalena y sus afluentes, especialmente en la región de la Mojana, en las ciénagas del sur del Departamento de Bolívar y en áreas del Magdalena medio donde se ha estudiado los niveles de contaminación por mercurio. Respecto al contenido de otros metales pesados en peces, los estudios son mínimos. Los estudios realizados para determinar las concentraciones de mercurio muestran que existe una relación directa entre las altas concentraciones en peces con la cercanía a las zonas con influencia directa de vertimientos de aguas de minería aurífera, encontrándose valores críticos en la región de la Mojana y zona del Nordeste Antioqueño, zonas donde casi todas las muestras presentaron valores superiores a la norma de 0.5 ug/g de mercurio.

Las concentraciones de mercurio más altas se encontraron en las especies carnívoras como *Hoplias malabaricus*, que se encuentran en la parte alta de la cadena alimenticia. Sin embargo, también se encontraron niveles altos en especies detritívoras como *Triporthus magdalenae* que presentan una acumulación considerable del metal, esto debido a la manera en que estas especies obtienen su alimento de los sedimentos, los cuales presentan niveles altos de este metal debido a que este tiende a precipitarse en el fondo donde las concentraciones son varias veces superiores a los encontrados en la columna de agua. Por su parte, en especies iliófagas como *Prochilodus magdalenae* las concentraciones de mercurio son bajas. Esta misma situación se presenta con otros metales pesados y los residuos organoclorados, en los cuales también se encontraron los mayores niveles de estas sustancias en los peces de hábitos predadores y detritívoros.

Bioensayos estáticos han permitido conocer algunos aspectos sobre el efecto tóxicos y la bioacumulación del mercurio (Hg) en organismos dulceacuícolas (*Colossoma bidens*, *Prochilodus magdalenae*, *Oreochromis* spp.), estuarinos (*Tetraselmis chuii*) y marinos (*Artemia franciscana*); del cadmio (Cd) en organismos estuarinos (moluscos, *Crassostrea rhizophorae*; anfípodos (*Parhyale hawaiiensis*), camarones (*Litopenaeus schmitti*, *L. vannamei*; peces (*Ariopsis bonillai*, *Cathorops spixii*, *Megalops atlanticus*); del cobre (Cu) en organismos estuarinos (moluscos, *C. rhizophorae*; camarones (*L. vannamei*; del cromo (Cr) en organismos estuarinos (*T. chuii*, *L. schmitti*); del zinc (Zn) en organismos estuarinos (moluscos, *C. rhizophorae*); y de la metalotionina como indicadora de estos metales en organismos estuarinos (camarones, *L. vannamei*).

Especies utilizadas como posibles indicadoras de contaminación por metales pesados (Ba, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn), en las costas del Caribe colombiano: algas verdes (*Caulerpa sertularioides*, *Enteromorpha* sp.), ascidias, moluscos pelecípodos (*Brachiodontes exustus*, *Crassostrea rhizophorae*, *Isognomon alatus*, *I. bicolor*, *Donax* sp.), moluscos gasterópodos (*Melongena melongena*), peces (*Ariops multiradiatus*, *Cathorops spixii*, *Megalops atlanticus*), aves (*Pelecanus occidentales*) y, hombres-mujeres pescadores (*Homo sapiens*).

Especies utilizadas como posibles indicadoras de contaminación por metales pesados (Cu, Hg, Pb), en las costas del Pacífico colombiano: algas verdes (*Rhizoclonium riparium*) y algas rojas (*Bostrychia calliptera*).

Especies utilizadas como posibles indicadoras en las aguas dulceacuícolas, peces (*Ageneiosus caucanus*, *Astyanax fasciatus*, *Caquetaia kraussii*, *Carassius auratus*, *Colossoma bidens*, *Curimata magdalenae*, *Hoplias malabaricus*, *Oreochromis* spp., *Piractus brachypomus*, *Prochilodus magdalenae*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Rhamdia sebae*, *Triportheus magdalenae*) y, hombres-mujeres mineros y pescadores (*Homo sapiens*).

Es necesario revisar la legislación y reglamentación existente a nivel nacional en el tema que permita tener una mejor regulación de las sustancias químicas utilizadas en la explotación de oro y otros metales así como de la utilización de plaguicidas en el país. Se debe estudiar la posibilidad de crear impuestos y sanciones económicas por concepto de emisiones descontroladas de estas sustancias, buscando incentivar el uso de tecnologías “limpias” que permitan la introducción de mejoras técnicas en el proceso de producción en el aprovechamiento minero. El tratamiento de la contaminación industrial debe comenzarse desde el mismo inicio del proceso productivo, tratando de incorporar los residuos generado al proceso mismo de producción, buscando tener una máxima rentabilidad con un mínimo impacto.

Es necesario establecer los riesgos que existen por la persistencia en los ecosistemas durante años de estas sustancias, por lo que es necesario tener información acerca de la distribución en el medio ambiente y sus concentraciones en aguas, sedimentos y peces.

También es necesario incluir dentro de los monitoreos, un mayor numero de especies de hábitos bentónicos y estudios de sedimentos que permitan tener un mayor conocimiento de la dinámica de estas sustancias en los cuerpos de agua y realizar estudios que determinen como afecta los procesos reproductivos la exposición a estas sustancias, ya que puede generarse una disminución en el numero de puestas y de huevos por puesta de muchas especies.

Cinco ecosistemas han sido evaluados especialmente: (1) Ciénaga Grande de Santa Marta, (2) Bahía de Cartagena, (3) Bajo Río Cauca y Bajo Río Magdalena (Canal del Dique), (4) Bahía de Santa Marta y (5) Bahías de Chengue y Nenguange.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez-León, R. 1998. Los bioensayos con organismos acuáticos y la protección ambiental en Colombia. Rev. AINSA, 31: 10-15.

Álvarez-León, R. & M. del P. Caycedo-Lara. 1996. Estado del conocimiento sobre los metales pesados en la zona costera del Caribe colombiano, pp. 114-123 In: Mem. Resúmenes y Trabajos. In: 2nd. Internal. Symp. Environmental Geochemistry in Tropical Countries, INGEOMINAS / IDEAM / UFF / OPS. Cartagena (Bol.) Colombia nov. 18-21, 1996, 127 p.

Azcárate, E. 2001. Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guainía (Orinoquía colombiana). Biomédica, 21: 134-141.

Cala-Cala, P. 2001. Occurrence of mercury in some commercial fish species from the Magdalena and Meta rivers in Colombia. Dahlia (Rev. Aso. Colomb. Ictiol.), 4: 15-19.

Caldasía, 16 (77): 231-244.

CYTED / INGEOMINAS. 2002. Aspectos ambientales en el aprovechamiento de minerales auríferos. Geonegocio/UNGeorecursos/Oro y Medio Ambiente. Santa Fe de Bogotá D. C. (Colombia). Inf. Técnico, 8 p.

Díaz-Granados, M. 1998. Grado de contaminación de los recursos hídricos e ictiológicos en la región de la Mojana. Tesis Profesional. Depto. de Ing. Civil y Ambiental. Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Univ. de Los Andes.

DNP. 1995. CONPES-2764. Depto. Nal. de Planeación. Santa Fe de Bogotá D. C. Inf. Técnico, 20 p, 1 anexo.

ECOPETROL / ICP / Oleoducto de Colombia S. A. / Biología Aplicada / Ecology Ltda. / Alberto Ramírez-González. 1993. Oleoducto Vasconia – Coveñas: Estudio de línea base, componentes biológicos y fisicoquímicos de los ecosistemas acuáticos. Empr. Col. de Petróleos-Inst. Col. del Petróleo. Santa Fe de Bogotá D. C. Inf. Final, 171 p. + anexos A- J.

Galiano-Sedano, F. 1976. Investigación sobre el contenido de mercurio en aguas de ríos colombianos. Proy. IIT / COLGATE PALMOLIVE / COLCIENCIAS. Bogotá D. E. (Colombia). Inf. Técnico.

Galiano-Sedano, F. 1977. Mercurio total en aguas de los ríos colombianos. Rev. IIT Tecnol., 105: 9-18.

González, H. & G. Prieto. 1993. Diagnóstico del impacto ambiental ocasionado por la minería del oro en Colombia. INGEOMINAS. Santa Fe de Bogotá D. C. (Colombia), 80 p.

Grosso, J. L., R. Restrepo, L. E. Sánchez, D. Avendaño & I. Mantilla. 1996. Evaluación preliminar de la participación de especies de mangle en el control de metales pesados en aguas de producción. CTF-Ciencia, Tecnología y Futuro, 1 (2): 55-65.

Grosso, J. L., L. E. Sánchez, D. Avendaño & R. Restrepo. 2000. Retención de cloruros, bario y cromo en dos especies de mangle *Avicennia germinans* y *Rhizophora mangle*, desarrolladas en aguas de producción de la industria petrolera mediante la técnica de cultivo hidropónico. CTF-Ciencia, Tecnología y Futuro, 2 (1): 57-67.

GTZ / CORPONARIÑO / P-CONSULT. 1992. Mitigación de emisiones de mercurio en la pequeña minería aurífera de Nariño. Santa Fe de Bogotá D. C. (Colombia).

INGEOMINAS. 1999. Inventario minero ambiental de Colombia por Departamentos. Min. Minas y Energía, Inst. de Inv. Geológicas y Mineras. Santa Fe de Bogotá D. C. (Colombia)

Lozano-Quiroga, H. 1987. Minerales de mercurio, pp. 275-294 In: Villegas-Betancourt, A. (ed.) Recursos minerales de Colombia. Min. Minas y Energía-INGEOMINAS. Publ. Geol. Esp., 1, Tomo 1. Bogotá D. E. (Colombia), 564 p.

Malaver, I. & L. E. Sánchez. 1999. El milagroso mangle: El que se come los químicos de las aguas desechadas por las curtiembres. El Tiempo. Sección del Medio Ambiente. Lunes 8 de nov. de 1999: 19A.

Mancera-Rodríguez, N. J. & R. Álvarez-León. 2003. Estado del conocimiento de las concentraciones de metales pesados en los peces dulceacuícolas de Colombia, pp. 52 In: Mem. VIII Simp. Colombiano de Ictiología. ACICTIOS / UDC. Montería (Córdoba) Colombia, mayo 19-21 (resumen).

Mancera-Rodríguez, N. J. & R. Álvarez-León. 2005. Estado del conocimiento de las concentraciones de hidrocarburos y residuos organoclorados en los peces dulceacuícolas de Colombia. *Dahlia* (Rev. Asoc. Colomb. Ictiol.), 8, 2005: 89-103.

Mancera-Rodríguez, N. J. & R. Álvarez-León. 2006. Estado del conocimiento de las concentraciones de metales pesados en los peces dulceacuícolas de Colombia. *Rev. Acta Biol. Colomb.*, 11 (1): 3-23.

MMA / CENSAT / AGUA VIVA. 1999. Guía ambiental para la pequeña y mediana minería del oro. Min. del Medio Ambiente. Santa Fe de Bogotá D. C. (Colombia).

Olivero-Verbel, J. & B. Solano. 1998. Mercury in environmental samples from a waterbody contaminated by gold mining in Colombia, South America. *The Science of the Total Environment*, 217: 83-89.

Olivero-Verbel, J., C. Mendoza & J. Mestre. 1995. Height levels of mercury in people from southern Bolivar. *Rev. Saúde Pública* (Brasil), 29.

Olivero-Verbel, J., B. Solano & I. Acosta. 1998. Total mercury in muscle of fish from two marshes in goldfields, Colombia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 61: 182-187.

Olivero-Verbel, J., B. Solano, V. Navas & A. Pérez. 1996. Mercury levels in muscle of some fishes species from the Dique Chane. In: 2nd. Internal. Symp. Environmental Geochemistry in Tropical Countries, INGEOMINAS / IDEAM / UFF / OPS. Cartagena (Bol.) Colombia nov. 18-21, 1996, 127 p.

Olivero-Verbel, J., V. Navas, A. Pérez, B. Solano, I. Acosta, E. Arguello & R. Salas. 1997. Mercury levels in muscle of some fish species from the Dique Channel. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 58: 865-870.

OPS. 1978. Criterios de salud ambiental No. 1. Mercurio. - Organización Panamericana de la Salud Publicación Científica 362. Washington D. C. (USA).

Peña-Salamanca, E. J., M. L. Palacios-Peñaranda & N. Ospina-Álvarez. 2005. Algas como indicadores de contaminación. Edit. Univ. del Valle. Cali (Valle), 235 p.

Prieto, G. 1998. Geochemistry of heavy metals derived from gold-bearing sulphide minerals in the Marmato District (Colombia). *J. Geochemical Exploration*, 64: 215-222.

Prieto, G. L. M. González. 1994. Estudio de la movilización geoquímica del oro en ambientes tropicales. INGEOMINAS. Santa Fe de Bogotá D. C. Inf. Técnico.

Plazas de Nieto, C. & A. M. Falchetti de Sáenz. 1983. La orfebrería prehispánica de Colombia. Banco de la República-Museo del Oro. Bogotá D. E. (Colombia), 53 p.

Ramírez-González, A. 1988. Lineamientos y estadísticas para estudios biológicos de impacto ambiental. INDERENA/ INFOTEC LTDA. Bogotá D. E., 498 p.

Ramos, C. X., S. L. Estévez & E. Giraldo. 2000. Nivel de contaminación por metilmercurio en la región de la Mojana.

http://www.hruschka.com/hg-net/members/claudia/metilmercurio_en_la_mojana.doc. Depto. de Ing. Civil y Ambiental. Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). Univ. de Los Andes.

Recuero, A., E. Londoño, A. Otero. Y. Meza, J. Vergara, J. Olivero-Verbel, E. Daza, L. A. Correa, J. Pineda, W. Mantilla & A. García. 1994. Plan de desarrollo minero del sur de Bolívar. Resumen Ejecutivo. Univ. De Cartagena / Gobernación de Bolívar / CORPES C. A. Cartagena (Bol.) Colombia, 26 p.

Ruíz, J., C. Fandiño, G. E. Romero & M. Guevara. 1996. Contaminación de peces por metales pesados en el río Magdalena. *Licania arborea*, 1 (1): 18-22.

Sánchez, J. 1999. Identificación de variables y diseño experimental en la fase de laboratorio para la extracción de mercurio absorbido en el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*). Convenio CORPOMOJNA / MMA. San Marcos (Sucre). Inf. Final, 52 p.

Toro-Suárez, I., A. Torrado & E. Giraldo. 1996. Grado de contaminación de los recursos hídricos e ictiológicos en la región de la Mojana. In: Roveda, G., J. León, M. Díaz-Granados, C. Terán, A. López, E. Aguilera, I. Toro-Suárez, A. Torrado, E. Giraldo, H. M. Correcha, L. F. Herrera, J. Romero, C. Sánchez. Investigación sobre la adaptabilidad de la producción agropecuaria sostenible en los ecosistemas de la región de La Mojana.. Convenio CORPOICA / INAT 262 / 94. Santa Fe de Bogotá D. C. Resumen Ejecutivo, s.p.

Tovar, A. & G. Thous. 1989. Estudio de la contaminación por metales tóxicos (Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn) en el bajo y medio Magdalena y bajo Cauca. Tesis Profesional. Fac. de Química y Farmacia. Univ. Cartagena, 70 p.

Troncoso-Olivo, W. & N. H. Campos-Campos. 2004. Variación de la concentración de cadmio, cobre y zinc en la planta *Ipomea setifera* en el Canal el Clarín (Ciénaga Grande de Santa Marta). In. Contribuciones en Ciencias del Mar en Colombia: Investigación y Desarrollo en Territorios Promisorios. Unibiblos. Bogota D. C. (Colombia).

UDA. 1988. Estudio del impacto ambiental por minería en el bajo Cauca y nordeste antioqueño. Univ. de Antioquia. Centro de Investigaciones. Medellín (Ant.), Vol. 4 pp. 29-39.

WHO. 1991. Environmental health criteria 101. Methylmercury. Geneva (Italy).