



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA COSTA SUR
Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de
la Biodiversidad



IMPACTO DE METALES PESADOS EN EL ECOSISTEMA
ACUATICO DEL RIO AYUQUILA

Luis Manuel Martínez R.
Demetrio Meza R.
Ángel Aguirre G
Josue M. Corza Camacho

Diciembre 2008

Este estudio para el muestreo de metales pesados en la cuenca del río Ayuquila fue financiado por la Gerencia Operativa de la Comisión de Cuenca del río Ayuquila-Armería y por La Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila.

El documento debe citarse de la siguiente manera:

Martínez R., Luis Manuel, Demetrio Meza R., Angel Aguirre A. y Josue Corza C. 2008. Impacto de Metales Pesados en el Ecosistema Acuático del Río Ayuquila. Universidad de Guadalajara. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Autlán de Navarro, Jalisco. Octubre. 24 p.

INTRODUCCION.

El deterioro en la calidad del agua supone un grave problema ambiental, económico y social a nivel mundial, esto es particularmente importante en los países en vías de desarrollo, en donde el tratamiento de las aguas residuales tiene grandes rezagos tecnológicos y de infraestructura, por lo cual la mala calidad de las aguas aumenta la presión sobre los recursos hídricos existentes y limita las posibilidades de desarrollo de los países del mundo (CNA, 2007).

La cuenca del Río Ayuquila-Armería recibe desde el principio hasta su desembocadura en el mar, una gran variedad y cantidad de desechos que lo contaminan, entre las que se destacan aguas urbanas, industriales y residuos agropecuarios (Santana *et al.*, 1993).

Resultados de estudios realizados por Montgomery Watson (2001) se encontraron metales pesados en algunos de los sitios, aunque de acuerdo con este informe, las concentraciones encontradas no representaban un riesgo para la biodiversidad. Sin embargo, las concentraciones encontradas de cianuro si constituían una restricción al aprovechamiento seguro y productivo del agua en uso agrícola y en actividades de recreación con contacto primario, particularmente en El Corcovado ya que superó el nivel máximo de 0.02 mg/l, que aplica para uso recreativo con contacto primario y riego agrícola. Otro estudio más reciente, realizado Juárez *et al.* (2007), se encontró la presencia de la mayoría de los metales pesados a excepción del Zinc, Arsénico y Mercurio, siendo la presencia de Cadmio y Níquel los más abundantes y con los valores más altos siguiéndoles el Plomo, Cianuros, Cromo y El Cobre en orden descendente. En ambos casos, se presentaron variaciones a lo largo de los muestreos realizados y ambos fueron hechos solamente en agua.

El objetivo de este estudio es realizar un monitoreo de metales pesados en los mismos trece sitios realizados en 2007, pero considerando el muestreo no solo en agua, sino también en sedimentos para valorar la posible concentración en el lecho del río y su posible impacto en la biodiversidad del río.

El análisis de metales pesados en sedimentos, tiene la ventaja de que permite una estimación integrada en tiempo y espacio de la contaminación. Los sedimentos son destinatarios de la mayor parte de los metales pesados que llegan al río, pero además,

una fuente importante de estos metales, ya que puede producirse una disolución parcial de los mismos y su paso a las aguas y a los organismos acuáticos, como resultados de cambios físicos y químicos en las condiciones del río (Cazorla *et.al.*, 2005).

LOS METALES PESADOS

Los minerales forman parte de la corteza terrestre, formando depósitos superficiales o profundos en donde se encuentran concentrados. En ciertos medios del ecosistema, la concentración de algunos metales se puede elevar tanto que llega a constituir una contaminación, la cual puede ser de origen natural, de acuerdo a un ciclo biogeoquímico, o bien puede ser una contaminación causada por una actividad humana, entonces considerada antropogénica. Entonces, la variación de los metales pesados contenidos en sedimentos de ríos y arroyos esta en función de algunos factores como: influencia de unidades litológicas, efectos hidrológicos, de características geológicas y de influencias culturales (influencia antropogénica). (Forstner, 1981).

Por definición, un metal pesado es aquel que tiene una gravedad específica de 5 o mayor y es usualmente tóxico. El término "metal pesado" es ampliamente aplicado para incluir otros elementos potencialmente tóxicos, aun si estos no cumplen la estricta definición química (Tuckett *et al.*, 2005). La presencia de algunos metales pesados en medio ambiente acuático y su acumulación en los peces y en otros organismos han sido investigados durante años recientes. Alta acumulación de metales pesados en el agua, sedimentos y en otros organismos puede resultar en cambios ecológicos severos. (Ünlü y Gümüş, 1993). Éstos constituyen un riesgo serio para el medio ambiente, ya que son sustancias con una gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación, por lo que los seres vivos son incapaces de metabolizarlos, generándose una contaminación por bioacumulación y un efecto multiplicador en la concentración del contaminante en la cadena trófica. Alcanzan niveles altos de toxicidad y se absorben muy eficientemente a través de las membranas biológicas por su elevada afinidad química por el grupo sulfidrilo de las proteínas (Mancera y Alvarez, 2006).

Los metales pesados se clasifican en dos grupos (Navarro-Aviño *et al.*, 2007):

1. Oligoelementos o micronutrientes. Necesarios en pequeñas cantidades para los organismos, pero tóxicos una vez pasado cierto umbral. Incluyen As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.

2. Sin función biológica conocida. Son altamente tóxicos e incluyen Ba, Cd, Hg, Pb, Sb y Bi

La contaminación por metales pesados está asociada usualmente con las descargas municipales y con los procesos industriales que van directamente hacia los ríos, estuarios y al aire libre. Sin embargo, se relaciona también con la lixiviación de desechos, descargas sólidas y por el intemperismo de las rocas que aportan materiales al sistema fluvial. (Forstner y Wittman, 1981).

Entre los metales pesados más peligrosos para la vida acuática se encuentran el Pb, Cu, Zn y Cd, ya que son muy tóxicos aún en concentraciones relativamente bajas, no son biodegradables y por el contrario se acumulan a lo largo de la cadena trófica (Ferguson, 1992)

Plomo. El contenido de plomo en casi todas las aguas no contaminadas varía entre 0.001 y 0.01 µg/ml, cantidad que es muy inferior al límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (1979). Los cuerpos de agua superficiales constituyen trampas de acumulación para los compuestos de plomo. Los compuestos insolubles se hunden y se adsorben en los sedimentos o se adhieren a partículas en suspensión (especialmente a partículas de arcilla). Las plantas acuáticas también acumulan plomo. La oxidación bioquímica de las sustancias orgánicas se ve inhibida por concentraciones de plomo superiores a 0,1 mg/l; a partir de los 0,2 mg/l de plomo; asimismo, se reduce la fauna. El umbral de la toxicidad para los peces es 0,3 mg/l de plomo (truchas y peces blancos) (DVGW, 1985)

El plomo además de su presencia natural en el ambiente, puede llegar a contaminar todo el ambiente global durante los procesos de minería, fundición, procesamiento y uso del metal, el plomo entra a los ambientes acuáticos por medio de la lluvia ácida, erosión y lixiviación del suelo, por descargas de aguas residuales urbanas e industriales. (EPA, 1976). La toxicidad del plomo igual a la de otros metales pesados, es afectada por el pH, la dureza del agua, la materia orgánica y la presencia de otros metales. La solubilidad en el agua del plomo va desde los rangos de 300 mg/l en agua baja en dureza hasta a 3 mg/l en aguas con dureza alta (EPA, 1986).

Cadmio. No hay evidencia de que el Cadmio (Cd) es biológicamente esencial o benéfico; al contrario, este metal ha sido implicado como la causa de numerosas muertes humanas

y efectos negativos en la pesca y la fauna silvestre. En altas concentraciones es tóxico para todas las formas de vida, incluyendo microorganismos, plantas superiores, animales y el hombre. Este es un metal relativamente raro y es comercialmente obtenido como subproducto en la producción de zinc, cobre y plomo. Los mayores usos del cadmio son la producción de pigmentos, enchapados y en la manufactura de estabilizadores plásticos y en las baterías. Además puede provenir de fertilizantes y aguas residuales urbanas e industriales (Eisler, 1985).

Este metal es extremadamente peligroso y venenoso para los mamíferos, peces y probablemente para otros animales, el envenenamiento insidioso, progresivo, crónico es no es perceptible porque no hay casi ninguna excreción del metal (EPA, 1986)

EPA (Environmental Protection Agency) de EE.UU. establece que el contenido de cadmio en aguas naturales no debe sobrepasar 0,01 mg/l. Aún cuando las aguas naturales no superan las concentraciones empleadas normalmente en los ensayos agudos de toxicidad, es bien sabido que la bioacumulación del cadmio en los peces produce malformación de la estructura ósea y desórdenes en el sistema nervioso (Roberts, 1989).

Pruebas crónicas de toxicidad realizadas con cadmio para 12 especies de peces de agua dulce y para cuatro especies de invertebrados dieron valores críticos de 0.15 µg/l para *Daphnia* a 156 µg/l para el salmón Atlántico.

La resistencia al cadmio es mayor en organismos marinos que en los de agua dulce. ; y la sobrevivencia es mayor a bajas temperaturas y altas concentraciones de sales para un nivel dado de cadmio en el medio. Las aves y los mamíferos son comparativamente resistentes a las propiedades biocidas de el cadmio (Eisler, 1985).

Niquel. De acuerdo con EPA (1986) el criterio (µg/l) para definir los límites para vida acuática se deriva utilizando la siguiente fórmula para el promedio de 24 horas:

$$e^{(0.76[\ln(dureza)]+1.06)}$$

y la concentración (en µg/l) no debe exceder el valor numérico dado por:

$$e^{(0.76[\ln(dureza)]+4.02)}$$

la dureza es medida como CaCO_3 en mg.

De acuerdo con el criterio ecológico de calidad de agua (CE-CCA-001/89), el límite para el desarrollo de vida acuática se calcula con la siguiente formula:

$$e^{(0.8460[\ln(dureza)]+1.1645)}$$

En ríos, el Ni es principalmente transportado como un precipitado asociado con partículas de materia orgánica; en lagos en cambio, se combina también a éstas pero en forma iónica. Este metal puede ser absorbido por partículas de arcilla de los sedimentos y ser ingerido por la biota. Diversos estudios demuestran que el Ni en plantas acuáticas presenta factores de bioconcentración muy altos. En peces, la concentración de este metal alcanza valores de 0.02 a 2 mg/kg, incrementándose hasta diez veces en lugares muy contaminados (Martinez-Tabche, 2002).

Cromo

El cromo es uno de los elementos no gaseoso más abundante en la tierra, aunque es muy abundante, es raro encontrarlo naturalmente en cuerpos de agua (EPA, 1976). Los compuestos del cromo son utilizados en el medio industrial como procesadores de cromita, de aceros inoxidables, industrias galvánicas, curtidos, textil y hasta en algunos pigmentos (EPA, 1986).

El es un elemento duro, blanco, brillante, que por su densidad elevada ($7,19 \text{ g/cm}^3$ a 20° C) pertenece al grupo de los metales pesados. El Cr puede presentarse en los estados de oxidación de II a VI. El estado VI (cromatos y dicromatos) es fuertemente oxidante y el más tóxico. Los dos estados de oxidación mas frecuentes en el ambiente, Cr VI y Cr III, son fácilmente interconvertibles, dependiendo la dirección de esta conversión fundamentalmente del pH del medio, de la presencia de condiciones aerobias o anaerobias y de la temperatura. En un medio alcalino y en condiciones aerobias, puede ocurrir la oxidación del Cr III a Cr VI. Esta oxidación es más intensa a temperaturas más altas. El contenido natural de Cr en suelos superficiales varía ampliamente y depende fuertemente del tipo de roca madre a partir del cual se haya formado. Histosoles y otros suelos

orgánicos tienen contenidos de Cr relativamente bajos. También los suelos arenosos suelen contener relativamente poco Cr. No obstante, existen suelos que de forma natural contienen mucho más Cr. Estos suelos derivan de rocas ultramáficas o máficas muy ricas en Cr. Son los llamados suelos serpentinos (poco productivos para agricultura) (Fernandez y Ramos, 2000).

Fuentes de aportación de Cromo al ambiente.

Fuente	
Emisiones volcánicas	< 1%
Ciclos biológicos:	
• Absorción por las plantas	15%
• Intemperismo de rocas	15%
Emisiones de fuentes antropogénicas:	
• Producción Minero Metalúrgica	3%
• Diversos Usos	60%
• Procesos de combustión	7%
70%	

Cianuro.

El cianuro se encuentra generalmente combinado con otros productos químicos formando compuestos. Ejemplos de compuestos simples de cianuro son el ácido cianhídrico, el cianuro de sodio y el cianuro de potasio. El cianuro puede ser producido por ciertas bacterias, hongos y algas, y ocurre en un sinnúmero de alimentos y plantas. En el organismo, el cianuro se combina con otro producto químico para formar la vitamina B12. El cianuro de sodio y el cianuro de potasio son sólidos blancos de aroma amargo almendrado en aire húmedo. El cianuro y el ácido cianhídrico se usan en enchapados electrolíticos, industria metalúrgica, manufactura de productos químicos, desarrollo de fotografías, fabricación de plásticos, fumigación de barcos y en ciertos procesos de minería (ATSDR,1997). Estos compuestos por lo general no son persistentes en el medio ambiente, y tampoco se acumulan en los organismos acuáticos, ya que se evaporan

rápidamente en la atmósfera y pueden ser degradados por microorganismos. No obstante presentan una elevada toxicidad para los peces y otras formas de vida acuáticas, interfiriendo en el funcionamiento de las enzimas respiratorias de los organismos aerobios. Efectos adversos en la natación y en la reproducción se observan a rangos entre 5 a 7.2 µg de cianuro libre por litro.; efectos letales usualmente ocurren entre 20 a 70 µg/L. La propiedades biocidas de cianuro en ambientes acuáticos fue significativamente modificado por el pH, la temperatura y el contenido de oxígeno; a la etapa fisiológica, y las condiciones del pez; a la previa exposición a cianuros y a la presencia de otras sustancias químicas (Eisler, 1991).

La toxicidad de los metales pesados depende, como ha quedado expuesto previamente, de la concentración, forma química y la persistencia. Un elemento indispensable para un ser vivo en concentraciones traza, puede llegar ha ser tóxico en concentraciones elevadas. Por otra parte, la mayoría de los metales pesados se combina con otros elementos antes de entrar a los organismos o cuando se encuentran adentro de los mismos; por tanto, antes de determinar la toxicidad de un elemento es necesario determinar la forma química en la que se encuentra. La persistencia se define como el tiempo que tarda un contaminante en transformarse en una forma no toxica (Navarro-Aviño, *et al.*, 2007).

Los metales pesados son considerados como muy peligrosos para los seres vivos en general, pues poseen una gran toxicidad, debido al a su elevada tendencia a bioacumularse. La bioacumulación es un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, de forma que llega a ser superior la concentración del producto químico que la se encuentra en el ambiente. La toxicidad está causada frecuentemente por la imposibilidad del organismo de mantener los niveles necesarios de excreción. El proceso se agrava durante el paso de las cadenas tróficas, debido a que los niveles de incorporación sufren un fuerte incremento a lo largo de sus sucesivos eslabones, siendo en los mayores donde se encuentran los mayores niveles de toxicidad. A este proceso se le llama biomagnificación; es decir, muchas toxinas que están diluidas en un medio, pueden alcanzar concentraciones dañinas dentro de las células, especialmente dentro de las cadenas tróficas (Navarro, *et al.*, 2007).

Los efectos de los metales pesados son mayores en arroyos pequeños, con elevadas altitudes, comparado con aquellos grandes y de poca elevación. Se ha encontrado que los *Ephemeropteros* de arroyos pequeños y elevados, eran más sensibles al Zinc, que los de arroyos grandes y de baja altitud. Hay varios posible mecanismos interrelacionados que pueden explicar las diferencias encontradas y una explicación de la diferencia de la sensibilidad al metal, es afectado por el tamaño del cuerpo del organismo, ya que la temperatura del agua es una variable importante que influye en el tamaño del cuerpo de los insectos acuáticos. Siendo los arroyos de alta montaña más fríos, ya que la temperatura del agua se acopla más a la temperatura ambiental. La investigación preliminar ha mostrado que algunos taxa de altitud alta, eran más pequeños que aquéllos de altitud baja. En varios estudios se mostraron disminuciones significativas en la abundancia de macroinvertebrados cuando se expusieron a Cd, Cu, y Zn correspondientes a las concentraciones del criterio de la EPA 1980. Lo que reveló, que las comunidades de invertebrados de arroyos pequeños y grandes altitudes eran 12 - 85% más sensibles a metales que las comunidades de de arroyos grandes y de bajas altitudes. Aunque hipotéticamente el tamaño del cuerpo del insecto juega un rol muy importante en la respuesta de los insectos a los efectos de los metales pesados (Kiffney y Clements, 1996).

METODOLOGIA.

Para la realización de este estudio el muestreo se dividió en dos partes de acuerdo a los recursos financiados por la Gerencia Operativa de la Comisión de la Cuenca (GERENCIA) y la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente para la Gestión Integral de la Cuenca Baja del Río Ayuquila (JIRA) en dos etapas entre Noviembre de 2007 a Junio de 2008 ; la primera comprendió de 2 muestreos en 10 sitios a lo largo de la cuenca del río Ayuquila-Armería, siendo estos El Corcovado, Palo Blanco, Achácales, Antes Manantlán, Zenzontla, Río Armería, Río Ayuquila, Río Tuxcacuesco, San Buenaventura, Río Ayutla (GERENCIA). La segunda con tres muestreos en 5 sitios que son: El Corcovado, Palo Blanco, Achácales, Zenzontla y Río Armería (JIRA). En los muestreos se tomaron muestras de agua y sedimentos para los análisis de los metales pesados que aparecen en la NOM-001-ECOL-1996; además se tomo una muestra de sedimentos, ya que los metales pesados tienden a unirse a las partículas más pequeñas como lo son la arcilla, el limo y la materia orgánica, lo cual hace más fácil su precipitación y acumulación en el lecho del río. Las muestras colectadas se conservaron a una baja temperatura. La figura 1, nos detalla

los puntos de muestreo de agua y sedimentos. Las muestras fueron analizadas por el Departamento de Ingeniería de Proyectos, en el Centro de Estudios y Proyectos Ambientales (CEPA) del CUCEI, con el espectrógrafo de absorción atómica, para calcular cantidades de As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Hg, Zn y CN, ya con los datos obtener la concentraciones apropiadas según la Norma Ecológica de 1996 y la CNA en su documento "Calidad requerida para uso o aprovechamiento del agua, 1989", en el cual la cantidad de algunos metales pesados se ve alterada según la dureza del agua como CaCO_3 (Cuadro 1).

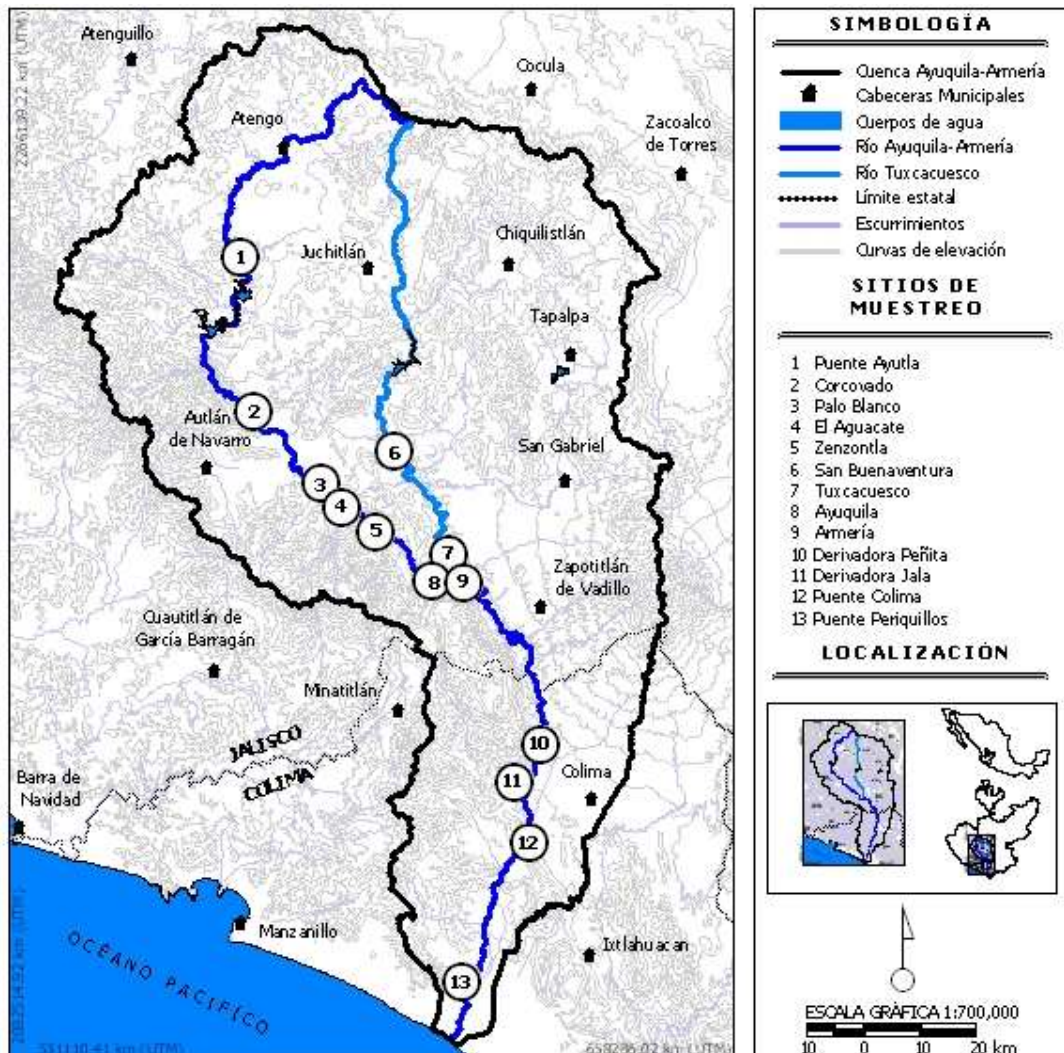


Figura 1. Sitios de Muestreo de la Cuenca Ayuquila-Armería

Cuadro 1. Calidad requerida para uso o aprovechamiento del agua

Parámetros Inorgánicos	Fuente de Abastecimiento de Agua Potable	Recreativo con Contacto Primario	Riego Agrícola	Pecuario	Protección de la Vida Acuática
					Agua dulce
Arsénico	0.05	-	0.1	0.2	0.2 (Como As)
Cadmio	0.01	-	0.01	0.02	$Cd \text{ (mg/l)} = e^{(0.7852 [\ln (\text{dureza en mg/l})] - 2.490)}$
Cianuro	0.02	0.02	0.02	-	0.005
Cobre	1.0	-	0.2	0.5	$Cu \text{ (mg/l)} = e^{(0.8545 [\ln (\text{dureza en mg/l})] - 1.465)}$
Cromo	0.05	-	1.0	1.0	0.01
Mercurio	0.001	-	-	0.003	0.00001
Níquel	0.01	-	0.2	1.0	$Ni \text{ (mg/l)} = e^{(0.8460 [\ln (\text{dureza en mg/l})] + 1.1645)}$
Plomo	0.05	-	5.0	0.1	$Pb \text{ (mg/l)} = e^{(1.278 [\ln (\text{dureza en mg/l})] - 4.705)}$
Zinc	5.0	-	2.0	50.0	$Zn \text{ (mg/l)} = e^{(0.0472 [\ln (\text{dureza en mg/l})] + 10.7604)}$

Fuente: Criterios Ecológicos de Calidad de Agua Publicados en el Diario Oficial de la Federación el 13 de Diciembre 1989.

De acuerdo a la concentración de carbonatos contenidos en el agua, ésta puede clasificarse en niveles de dureza. El siguiente cuadro 2 indica las cantidades de sales:

Denominación	CaCO ₃ (mg/l)
Muy suaves	0 - 15
Suaves	16 - 75
Medias	76 - 150
Duras	150 - 300
Muy Duras	> 300

RESULTADOS

En términos generales, las concentraciones de metales pesados en el agua se encontraron en valores bajos que no representan un problema ambiental o ecológico para la biodiversidad del río Ayuquila. El cuadro 3 y 4, nos detalla los resultados de los análisis de agua y sedimentos desde Ayutla hasta el Puente Colima.

Sin embargo si es importante hacer un análisis de la distribución de estos metales a lo largo del río para prevenir un incremento en dicha concentración.

La figura 2, nos muestra los valores promedio encontrados para los metales pesados en agua a lo largo del río, en estos podemos observar un ligero incremento en las concentraciones en la zona comprendida entre el Corcovado y Achacales, que es prácticamente la zona del valle Autlán-El Grullo, a partir de ahí el comportamiento en cuanto a concentración en agua es prácticamente homogéneo.

En el caso de los metales pesados en sedimentos, el patrón es diferente (figura 3), aunque aquí también encontramos un incremento en la zona de valle para los metales pesados, estos prácticamente se distribuye en todo el río Ayuquila hasta que se forma el Armería. Para el caso del Armería ya en el estado de Colima estos ya se reducen drásticamente, lo cual puede ser causado por el poco flujo de agua que tiene el río debido a la desviación del agua para riego. En el caso del Río Ayuquila, la más probable fuente de aportación de metales son las aguas urbanas de las poblaciones de los municipios del Grullo y Autlán.

Es importante resaltar el incremento en dos sitios principalmente, Palo Blanco, donde trae las descargas de las aguas residuales del municipio de Autlán y Achacales que se encuentra en el Aguacate al final del valle y ahí se descargan las aguas residuales de El Grullo.

La figura 3 nos muestra una relación del incremento en la concentración de metales pesados en sedimentos con respecto a los metales pesados en agua, es relevante este análisis porque nos indica la diferencia de hacerlo en uno o en otro. Podemos observar una dramática variación entre las concentraciones encontrada en agua y sedimentos, que aunque varía con el metal, esta se mueve de rangos tan minúsculos como 0.1 veces mayor, hasta que la variación en incremento de agua a sedimentos va de

2300 veces un incremento en concentración. Esto es debido a que en los sedimentos los metales pesados se van acumulando en los sedimentos, además que en las zonas en donde esta relación es mayor, se encuentran en la parte baja de los ríos en donde hay acumulación de sedimentos, en este caso Ayuquila y el sitio de Armeria que acumula sedimento de Ayuquila y Tuxcacuesco.

El cuadro 5, nos detalla el cálculo de los límites sugeridos por los criterios ecológicos desarrollados en el cuadro 1, los cuales son calculados en base a dureza medida como carbonato de calcio en mg/l. De acuerdo con estos cálculos, solamente el plomo rebasa en muy pequeñas cantidades la concentración recomendada. Lo interesante es que este se encuentra principalmente en el Corcovado en 4 muestreos realizados y solamente en uno en Palo Blanco rebasa la concentración. La situación es rara para el Corcovado, ya que no existen a esta altura descargas de aguas urbanas. Lo único que se encuentra aguas arriba del sitio de muestreo es una granja porcina, aunque no queda claro qué tipo de desecho de una granja puedan tener concentraciones de plomo.

Finalmente las figuras 4 y 5, son gráficos de variabilidad por metal pesado para Cr, Ni, Cd y Pb que son los que presentan variabilidad a lo largo del río. Las gráficas también presentan los valores promedio de todos los sitios y unas barras que nos indican los valores de cada sitio con respecto a la media. Para el caso del Cr los sitios que rebasan la media son Corcovado, Palo Blanco, Achacales (El Aguacate) y Armeria. Para el Ni son Corcovado, Achacales y Armeria; para el caso del Cr los sitios fueron Corcovado, Palo blanco, Achacales, Ayuquila y Armeria; y para el caso del Pb, este predominó el Corcovado y Palo Blanco.

Cuadro 3. Resultados de los análisis de metales pesados en Agua (mg/l)

FECHA	SITIO	Cr	Ni	Cd	Pb	CN	Dureza
30-nov-07	Ayutla	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	420.00
12-dic-07	Ayutla	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	684.00
02-nov-07	Corcovado	0.0067	0.0032	0.0010	0.0511	<0.05	90.00
30-nov-07	Corcovado	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	78.00
12-dic-07	Corcovado	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	192.00
19-feb-08	Corcovado	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	80.00
02-abr-08	Corcovado	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	73.45
01-jun-08	Corcovado	0.0035	0.002	0.0001	0.0014	<0.05	92.58
02-nov-07	Palo Blanco	0.0068	0.0010	0.0010	0.0014	<0.05	138.00
30-nov-07	Palo Blanco	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	720.00
12-dic-07	Palo Blanco	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	282.00
19-feb-08	Palo Blanco	0.0035	0.001	0.0015	0.0014	<0.05	200.00
02-abr-08	Palo Blanco	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	207.93
01-jun-08	Palo Blanco	0.0038	0.001	0.0001	0.0156	<0.05	157.17
02-nov-07	Achacales	0.0075	0.0010	0.0010	0.0035	<0.05	192.00
30-nov-07	Achacales	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	228.00
12-dic-07	Achacales	0.0035	0.001	0.0012	0.0014	<0.05	228.00
19-feb-08	Achacales	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	190.00
02-abr-08	Achacales	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	194.49
01-jun-08	Achacales	0.0035	0.0014	0.0001	0.0014	<0.05	150.71
30-nov-07	Manantlán	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	70.00
12-dic-07	Manantlán	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	174.00
02-nov-07	Ayuquila	0.0069	0.0029	0.0010	0.0014	<0.05	280.00
30-nov-07	Ayuquila	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	444.00
12-dic-07	Ayuquila	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	384.00
19-feb-08	Ayuquila	0.0035	0.001	0.0012	0.0014	<0.05	180.00
02-abr-08	Ayuquila	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	182.07
01-jun-08	Ayuquila	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	127.03
30-nov-07	S.Buenaventura	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	150.00
12-dic-07	S.Buenaventura	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	162.00
30-nov-07	Tuxcacuesco	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	852.00
12-dic-07	Tuxcacuesco	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	234.00
02-nov-07	Armería	0.0074	0.0021	0.0010	0.0014	<0.05	186.00
30-nov-07	Armería	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	168.00
12-dic-07	Armería	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	180.00
19-feb-08	Armería	0.0035	0.001	0.0013	0.0014	<0.05	170.00
02-abr-08	Armería	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	171.73
01-jun-08	Armería	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	124.87
30-nov-07	P.Peñitas	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	
12-dic-07	P.Peñitas	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	
30-nov-07	M. Zacualpan	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	
12-dic-07	M. Zacualpan	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	
30-nov-07	P.Periquillos	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	
12-dic-07	P.Periquillos	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	
30-nov-07	D. Jala	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	
12-dic-07	D. Jala	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	
30-nov-07	P. Colima	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	
12-dic-07	P. Colima	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	<0.05	

Cuadro 4. Resultados de análisis de metales pesados en sedimentos

FECHA	SITIO	Cr	Ni	Cd	Pb	CN
30-nov-07	Ayutla	0.00645	0.00140	0.000100	0.00087	<0.05
12-dic-07	Ayutla	0.00798	0.0016	0.000170	0.00097	<0.05
02-nov-07	Corcovado	0.00144	0.00030	0.000210	0.00089	<0.05
30-nov-07	Corcovado	0.00890	0.00025	0.000090	0.00072	<0.05
12-dic-07	Corcovado	0.0089	0.00025	0.00009	0.00072	<0.05
19-feb-08	Corcovado	0.000007	0.0001	0.000007	3E-06	<0.05
02-abr-08	Corcovado	0.00103	0.00033	0.00012	0.00083	<0.05
jun-08	Corcovado	5.197	2.542	0.966	8.189	<0.05
02-nov-07	Palo Blanco	0.00231	0.00042	0.000220	0.00146	<0.05
30-nov-07	Palo Blanco	0.00236	0.00033	0.000130	0.00596	<0.05
12-dic-07	Palo Blanco	0.00236	0.00033	0.00013	0.00596	<0.05
19-feb-08	Palo Blanco	0.0005	0.000001	0.000001	2E-06	<0.05
02-abr-08	Palo Blanco	0.00139	0.00039	0.0001	0.0005	<0.05
jun-08	Palo Blanco	7.868	4.758	1.538	12.426	<0.05
02-nov-07	Achacales	0.00211	0.00043	0.000240	0.00055	<0.05
30-nov-07	Achacales	0.00227	0.00048	0.000220	0.00090	<0.05
12-dic-07	Achacales	0.00227	0.00048	0.000220	0.0009	<0.05
19-feb-08	Achacales	0.0071	0.0015	0.0003	0.0021	<0.05
02-abr-08	Achacales	0.00122	0.00043	0.00012	0.00035	<0.05
jun-08	Achacales	7.91	4.406	1.279	4.63	<0.05
30-nov-07	Manantlán	0.00152	0.00019	0.000210	0.00034	<0.05
12-dic-07	Manantlán	0.00152	0.00019	0.000210	0.00034	<0.05
02-nov-07	Ayuquila	0.00195	0.00046	0.000210	0.00023	<0.05
30-nov-07	Ayuquila	0.00124	0.00032	0.000110	0.00071	<0.05
12-dic-07	Ayuquila	0.00124	0.00032	0.000110	0.00071	<0.05
19-feb-08	Ayuquila	0.001	0.0003	0.0001	0.0001	<0.05
02-abr-08	Ayuquila	0.00129	0.00077	0.00011	0.00033	<0.05
jun-08	Ayuquila	8.349	5.184	1.387	7.275	<0.05
30-nov-07	S.Buenaventura	0.00156	0.00054	0.000090	0.00050	<0.05
12-dic-07	S.Buenaventura	0.00156	0.00054	0.000090	0.0005	<0.05
30-nov-07	Tuxcacuesco	0.00171	0.00104	0.000060	0.00080	<0.05
12-dic-07	Tuxcacuesco	0.0071	0.00104	0.000060	0.00008	<0.05
19-feb-08	Tuxcacuesco	0.00001	0.0001	0.000003	2E-06	<0.05
02-nov-07	Armería	0.00141	0.00061	0.000130	0.00077	<0.05
30-nov-07	Armería	0.00209	0.00063	0.000130	0.00025	<0.05
12-dic-07	Armería	0.00209	0.00063	0.000130	0.00025	<0.05
02-abr-08	Armería	0.00144	0.00063	0.00009	0.00027	<0.05
jun-08	Armería	6.868	6.515	0.715	7.564	<0.05
30-nov-07	P.Peñitas	0.00074	0.00033	0.000040	0.00004	<0.05
12-dic-07	P.Peñitas	0.00074	0.00033	0.00004	0.00004	<0.05
30-nov-07	M.Zacualpan	0.00044	0.00003	0.000020	0.00002	<0.05
12-dic-07	M. Zacualpan	0.00044	0.00003	0.00002	0.00002	<0.05
30-nov-07	P.Periquillos	0.00310	0.00110	0.000120	0.00084	<0.05
12-dic-07	P.Periquillos	0.0031	0.0011	0.00012	0.00084	<0.05
30-nov-07	D. Jala	0.00113	0.00007	0.000050	0.00002	<0.05
12-dic-07	D. Jala	0.00113	0.00007	0.00005	0.00002	<0.05
30-nov-07	P. Colima	0.00110	0.00042	0.000040	0.00052	<0.05
12-dic-07	P. Colima	0.0011	0.00042	0.00004	0.00052	<0.05

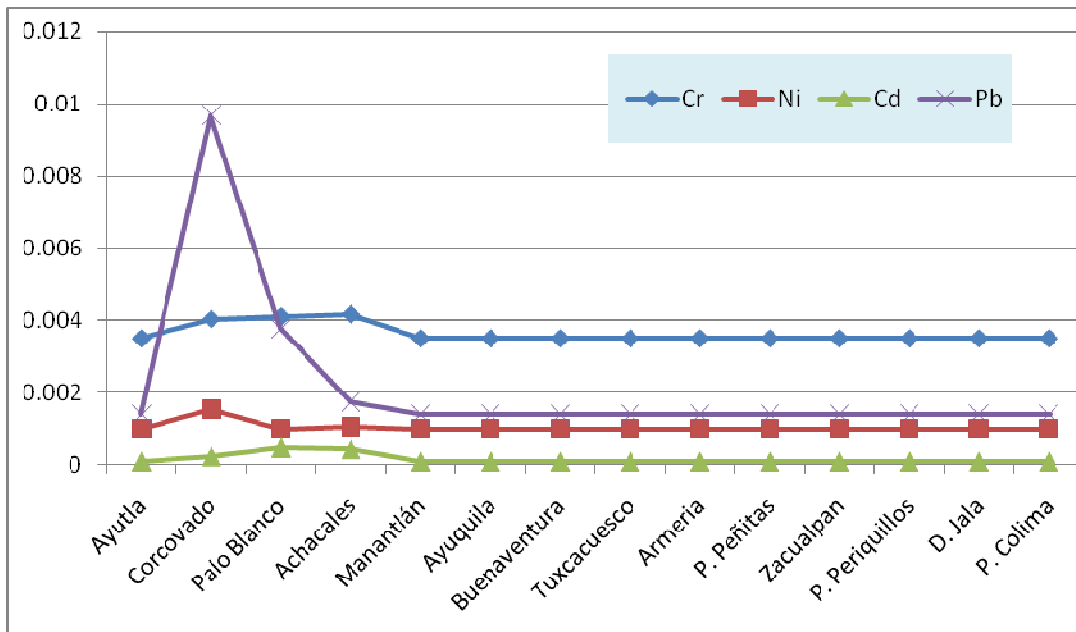


Figura 2. Valores promedio de metales pesados en agua en el río Ayuquila-Armería

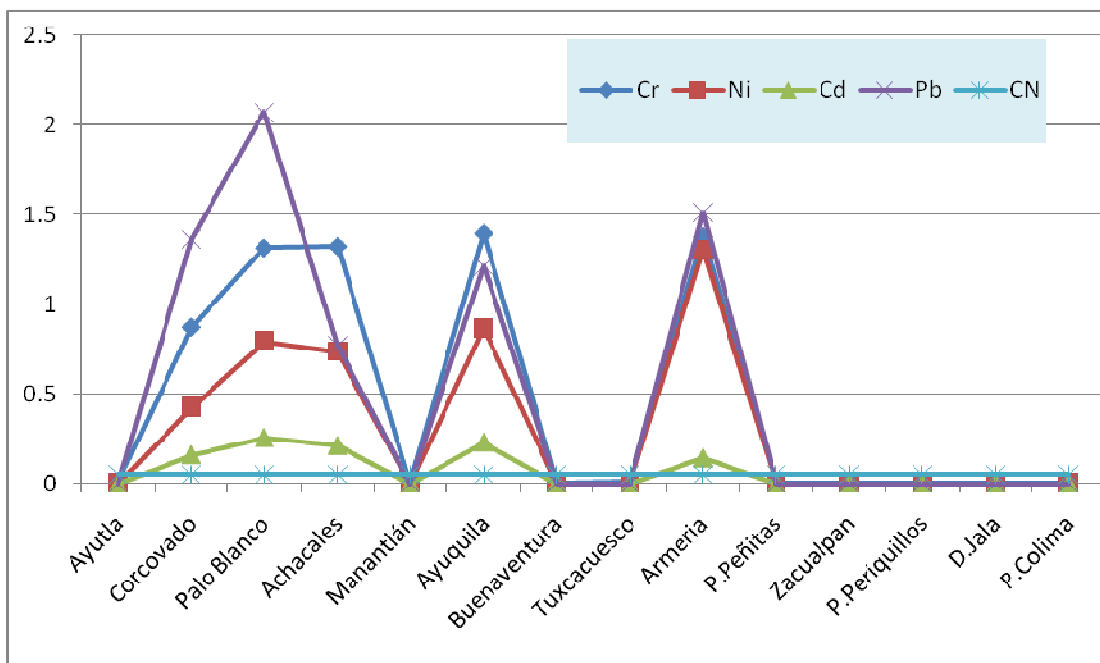


Figura 3. Valores promedio de metales pesados en sedimentos en el río Ayuquila-Armería

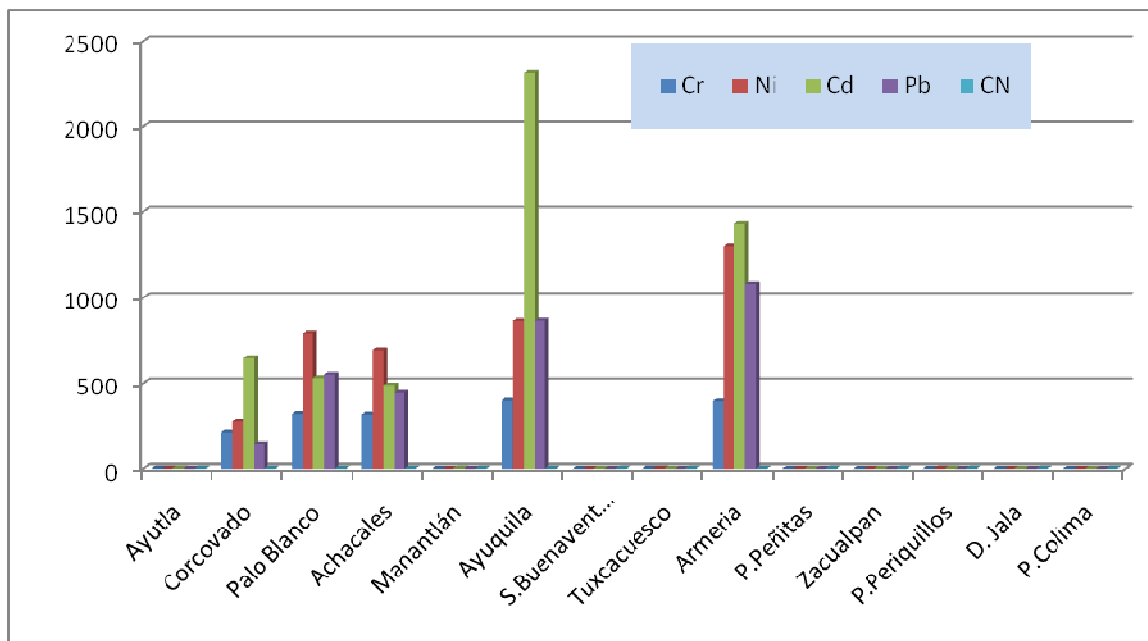


Figura 4. Relación entre concentraciones de metales pesados de agua con respecto a sedimentos.

Cuadro 5. Comparativa de concentración medida en el agua y la recomendada de acuerdo a los criterios ecológicos. Los valores en rojo representan valores arriba de lo que marcan los criterios ecológicos

FECHA	Concentración de metales en Agua						SITIO	Concentración de Acuerdo Criterios Ecológicos (Cuadro 1)					
	Cr	Ni	Cd	Pb	CN	Dureza (mg/l)		Cr	Ni	Cd	Pb	CN	
02-nov-07	0.0067	0.0032	0.0010	0.0511	0.050	90.00	Corcovado	0.01	144.219866	1.04419949	0.00143339	0.005	
30-nov-07	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	78.00	Corcovado	0.01	127.775609	0.93322194	0.00126972	0.005	
12-dic-07	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	192.00	Corcovado	0.01	273.784441	1.89304258	0.00272381	0.005	
19-feb-08	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	80.00	Corcovado	0.01	130.541937	0.9519596	0.00129725	0.005	
02-abr-08	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	73.45	Corcovado	0.01	121.439504	0.89019341	0.00120666	0.005	
01-jun-08	0.0035	0.002	0.0001	0.0014	0.050	92.58	Corcovado	0.01	147.709849	1.06763191	0.00146813	0.005	
02-nov-07	0.0068	0.0010	0.0010	0.0014	0.050	138.00	Palo Blanco	0.01	207.049236	1.46064715	0.00205899	0.005	
30-nov-07	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	720.00	Palo Blanco	0.01	837.604913	5.34428653	0.00834744	0.005	
12-dic-07	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	282.00	Palo Blanco	0.01	379.00651	2.56004652	0.00377252	0.005	
19-feb-08	0.0035	0.001	0.0015	0.0014	0.050	200.00	Palo Blanco	0.01	283.404865	1.95470404	0.00281967	0.005	
02-abr-08	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.005	207.93	Palo Blanco	0.01	292.882779	2.01530511	0.00291411	0.005	
01-jun-08	0.0038	0.001	0.0001	0.0156	0.050	157.17	Palo Blanco	0.01	231.134434	1.61771387	0.0022989	0.005	
02-nov-07	0.0075	0.0010	0.0010	0.0035	0.050	192.00	Achacales	0.01	273.784441	1.89304258	0.00272381	0.005	
30-nov-07	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	228.00	Achacales	0.01	316.627626	2.16651999	0.00315075	0.005	
12-dic-07	0.0035	0.001	0.0012	0.0014	0.050	228.00	Achacales	0.01	316.627626	2.16651999	0.00315075	0.005	
19-feb-08	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	190.00	Achacales	0.01	271.369773	1.87754167	0.00269975	0.005	
02-abr-08	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	194.49	Achacales	0.01	276.780483	1.91226196	0.00275366	0.005	
01-jun-08	0.0035	0.0014	0.0001	0.0014	0.050	150.71	Achacales	0.01	223.071514	1.56527054	0.00221858	0.005	
02-nov-07	0.0069	0.0029	0.0010	0.0014	0.050	280.00	Ayuquila	0.01	376.731226	2.54577926	0.00374984	0.005	
30-nov-07	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	444.00	Ayuquila	0.01	556.44458	3.65626248	0.00554196	0.005	
12-dic-07	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	384.00	Ayuquila	0.01	492.13034	3.26233936	0.00490049	0.005	
19-feb-08	0.0035	0.001	0.0012	0.0014	0.050	180.00	Ayuquila	0.01	259.236688	1.79950157	0.00257886	0.005	
02-abr-08	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	182.07	Ayuquila	0.01	261.75901	1.81574639	0.00260399	0.005	
01-jun-08	0.0035	0.001	0.0001	0.0014	0.050	127.03	Ayuquila	0.01	193.037041	1.36867232	0.00191944	0.005	

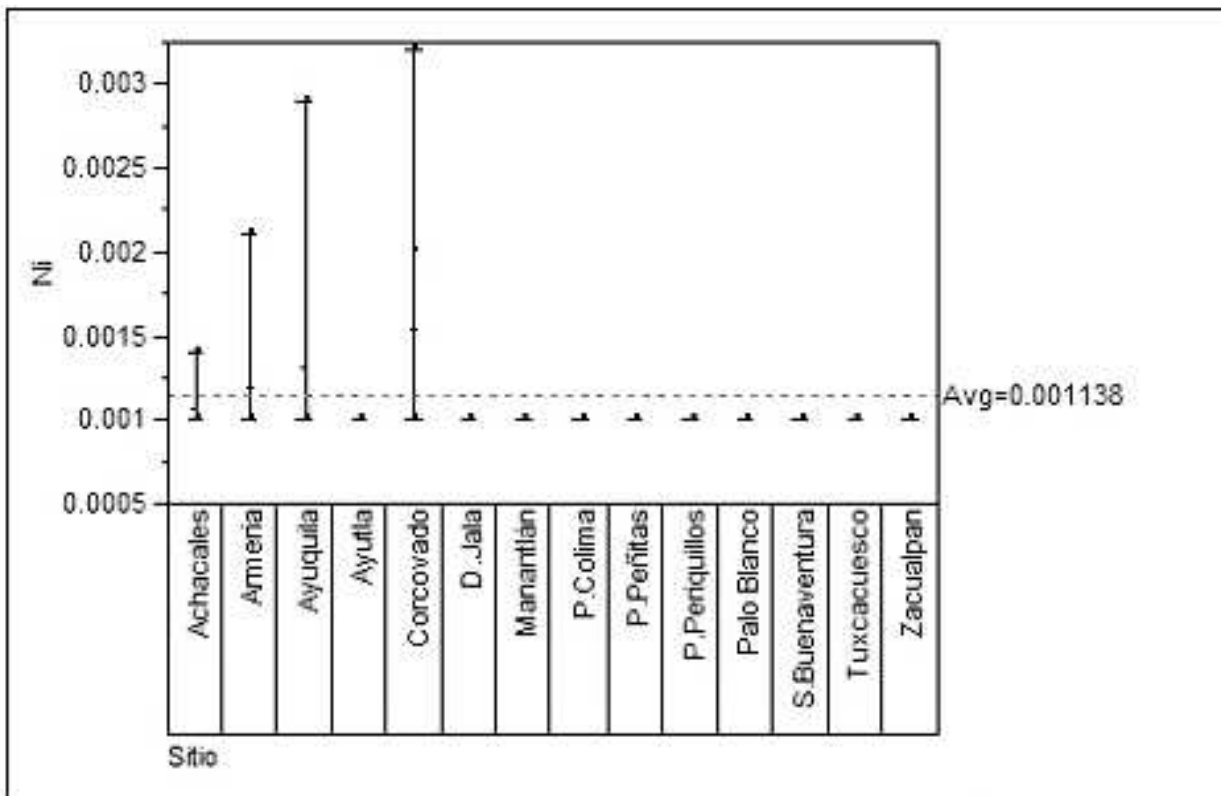
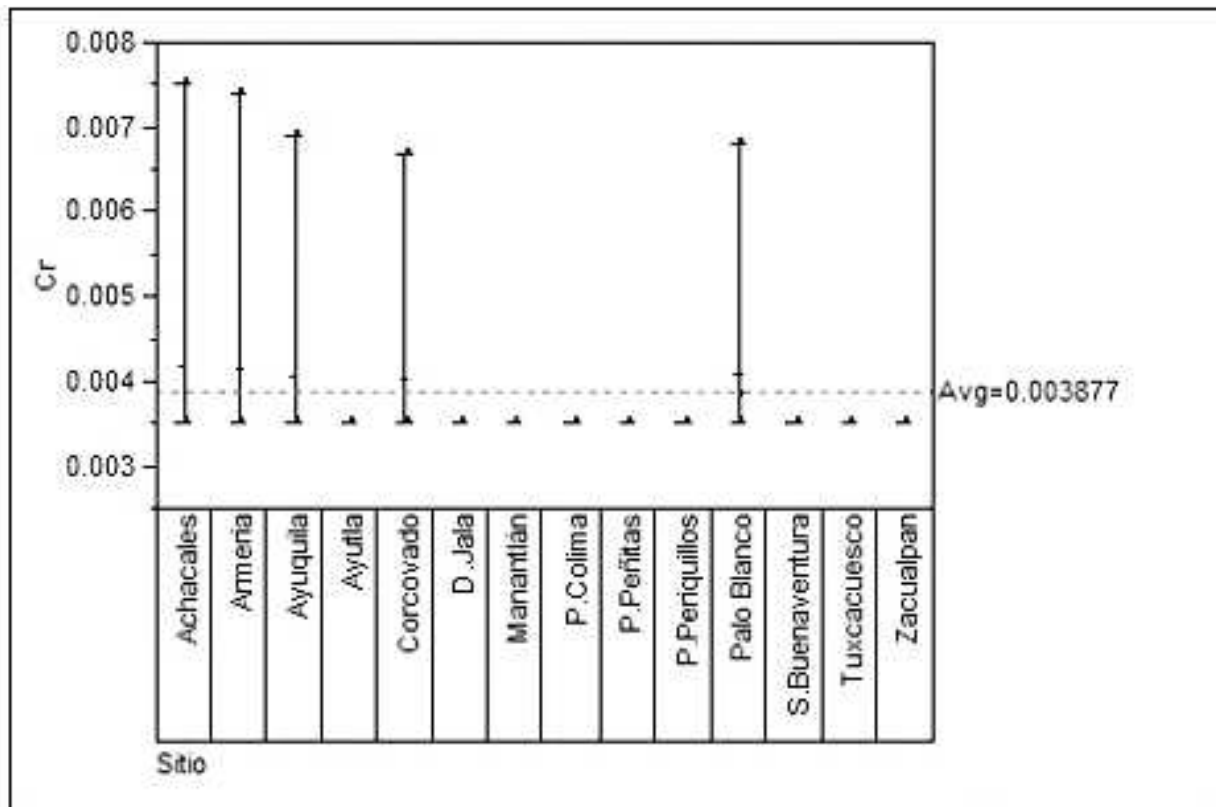


Figura 4. Variabilidad de Cr y Ni a lo largo del río Ayuquila-Armería

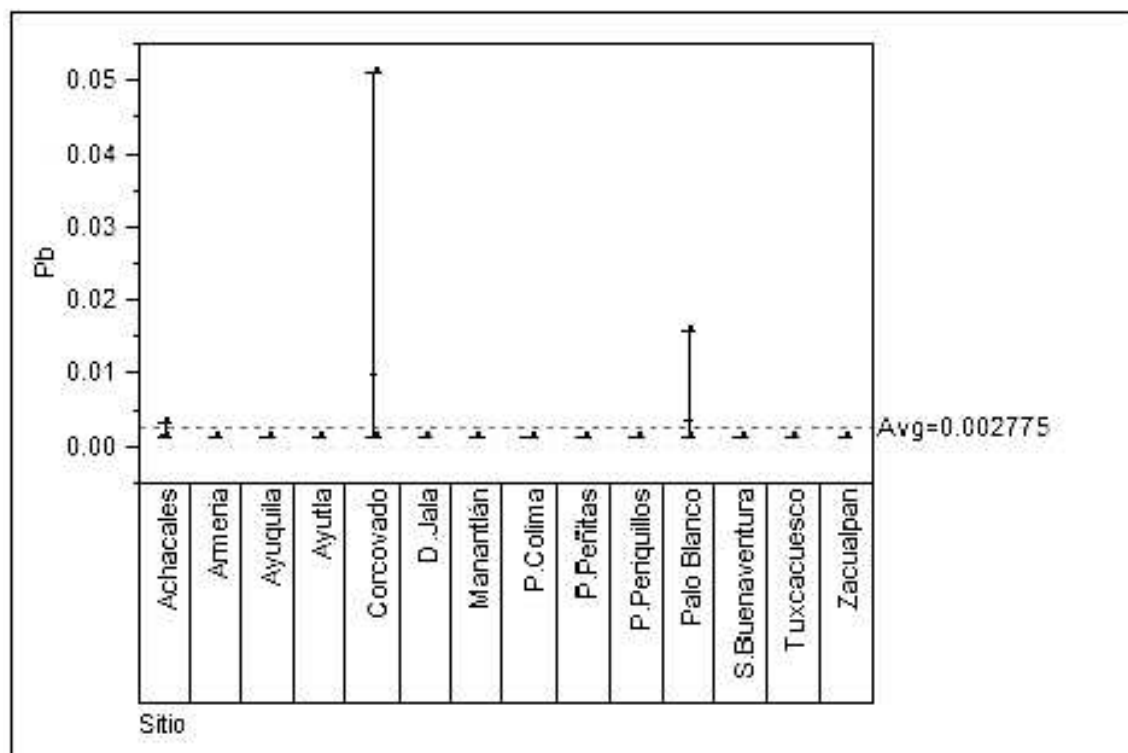
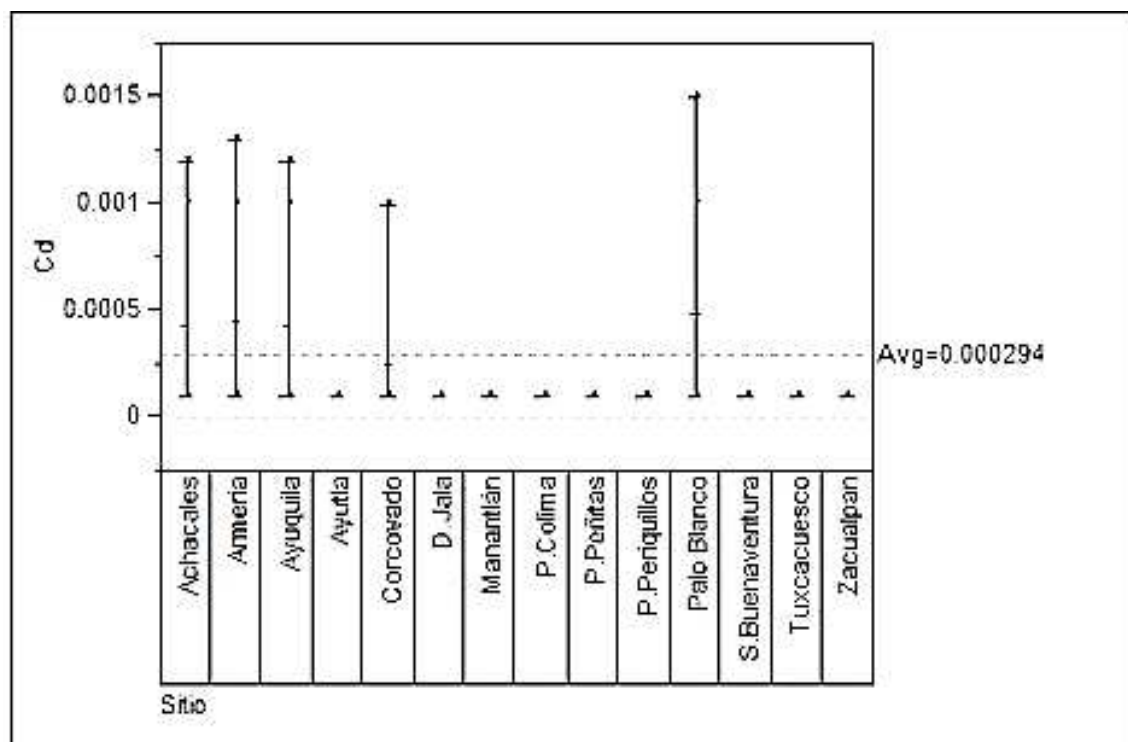


Figura 5. Graficas de variabilidad de Cd y Pb a lo largo del río

CONCLUSIONES.

- 1) Las concentraciones encontradas no representan un riesgo para la biota del río.
- 2) Es conveniente mantener el muestreo de metales pesados principalmente en la zona de Jalisco e incrementarla en el temporal de lluvias, ya que se vio un incremento de los metales pesados con los arrastres de sedimentos.
- 3) Los muestreos deben considera tanto metales pesados en agua como en sedimentos, por las altas diferencias que se encuentran entre ambas. Sobre todo para asegurar que estos no se estén acumulando en el lecho del río y puedan en un futuro afectar los organismo acuáticos del río.
- 4) La zona con mayor concentración de metales se ubica en el valle Autlán-El Grullo, debido a la aun descarga de aguas urbanas de la correspondientes ciudades.
- 5) El sitio del Corcovado merece una especial atención, ya que aun cuando no hay descargas de aguas urbanas en el sitio muestreado presenta incrementos de metales pesados, sobresaliendo el Plomo. Es importante investigar las fuentes posibles.

Bibliografía:

Cazorla, L.L., S. Olivares, I. Columbie, D. de la Rosa M. y R. gil Castillo. 2005. Niveles de plomo, zinc, cadmio y cobre en Río Almendares, Ciudad Habana, Cuba. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 21 (3): 115-124. México.

CNA y Montgomery-Watson. 2001. Estudio de la Calidad del Agua del Río Ayuquila en una Longitud de 240 km, en los Estados de Jalisco y Colima. Comisión Nacional del Agua y Montgomery-Watson. CD-ROM. Diciembre 2001.

CNA. 2007. Estadísticas del Agua en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua. Edición 2007. México D.F., Agosto de 2007. Pp 48-56, 71-79, 98, 213, 223. 252 p.

Eisler, R. 1985. Cadmium hazards to fish, wildlife and invertebrates: A synoptic reviews. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 85 (1.2). 30 pp).

Eisler, R. 1986. Chromium hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 85 (1.6). 60 pp).

Eisler, R. 1991. Cyanide hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 85 (1.23). 58 pp).

Environmental Protection Agency (EPA). 1976. Quality Criteria of Water. U. S. Environmental Protection Agency. Washington D. C. 20460. 501 p.

Environmental Protection Agency (EPA). 1986. Quality Criteria of Water. U. S. Environmental Protection Agency. Washington D. C. 20460. 447 p.

Forstner V. y G.T.W. Wittman. 1981. Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlang. New York. 486 p.

Fernandez, G. y A. G. Ramos. 2000. Presencia Antropogénica de Cromo (Cr) en el Ambiente y su Impacto en la Salud de los Pobladores de las Toscas (Santa Fe - Argentina). Ambiente Ecologico. Edición 72. Julio. Consultado 02/02/2009
<http://www.ambiente-ecologico.com/ediciones/072-07-2000/072-aldoguzmanramos.html>

Fergusson J.E. 1992. The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon Press. Nueva York. 502 p.

Kiffney, Peter M. y Clements, W. 1996. Effects of metals on stream macroinvertebrate assemblages from different altitudes. Department of Fishery and Wildlife Biology, Colorado State University, Fort Collins, Colorado 80523 USA Ecological Applications, Vol. 6, No. 2. (May, 1996), pp. 472-481.

M. Ray Tucker, David H. Hardy and Catherine E. Stokes. 2005. Heavy Metals in North Carolina Soils Occurrence & Significance. NCDA&CS Agronomic Division
www.ncagr.com/agronomi/.

Mancera, R., N.J. y R. Álvarez L. 2006. Estado del Conocimiento de las Concentraciones de Mercurio y Otros Metales Pesados en Peces Dulceacuícolas de Colombia. Acta Biológica Colombiana, Vol. 11 No. 1: 3 - 23

Martinez-Tabche, Laura, Gomez Olivan, Leobardo, Galar Martinez, Marcela. López L. E. /. Estrés producido por sedimentos contaminados con níquel en una granja de trucha arcoiris, *Oncorhynchus mykiss* (Pisces: Salmonidae). *Rev. biol. trop.*, dic. 2002, vol.50, no.3-4, p.1159-1168. ISSN 0034-7744.

Navarro Aviño, J. P; Aguilar Alonso, I. y López Moya, J. R. 2007. Revista Ecosistemas, año/vol. XVI. Numero 002. Asociación Española de Ecología Terrestre. Alicante, España. Pág. 17.
<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=488>

OMS/OPS: Criterio de Salud Ambiental 3. PLOMO. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la O.M.S. OMS/OPS. 1979.p. 1- 3, 21-27; Cap. 8,p. 100-137.

Unlu E. y B. Gumgum. 1993. Concentrations of copper and zinc in fish and sediments from the Tigris River in Turkey. *Chemosphere*. Vol.26 (11): 2055-2061

Roberts R. J. 1989. The pathophysiology and systematic pathology of teleosts. *En* R.J. Roberts (Ed) *Fish Pathology*. 2^{da} Ed. Bailliere Tindall, Londres. pp. 56-133.

Santana, E., S. Navarro, L.M. Martínez, A. Aguirre, P. Figueroa, C. Aguilar. 1993. Contaminación, Aprovechamiento Y Conservación De Los Recursos Acuáticos Del Río Ayuquila, Reserva De La Biosfera Sierra De Manantlán, Jalisco-Colima. *Tiempos de Ciencia* 30:29-38.