

***Pomacea canaliculata* (Lamarck, 1828) como bioindicador de la presencia de cadmio en el río Guayas, Daule y Babahoyo**

***Pomacea canaliculata* (Lamarck, 1828) as bioindicator of the presence of cadmium in the rivers Guayas, Daule and Babahoyo**

Nelson Ramírez-Prado^{1,*}, Beatriz Pernía², Mariuxi Mero³, Erwin Larreta²,
Alfredo Noboa-Cárdenas², Lissette Ramírez-Moreira¹, David López¹, Josué
Zambrano⁴, Jorge Muñoz¹, Kenya Bravo¹, Michelle Baquerizo¹, Ámbar
Benavides¹ & Roberto Castro⁴.

¹ Egresado de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Av. Raúl Gómez
Lince s/n y Av. Juan Tanco Marengo, Guayaquil, Ecuador. Tel. (+593 04) 3080777

² Docente de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil

³ Investigador del Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales (IIRN),
Universidad de Guayaquil

⁴ Estudiante de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil

Recibido 23 de marzo 2016; recibido en forma revisada 17 de abril 2016, aceptado 9 de mayo 2016
Disponibile en línea 30 de junio 2016

Resumen

La cuenca del río Guayas es la más grande del Ecuador, formado por la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo. Estudios anteriores evidencian que están expuestos a descargas directas de aguas residuales y químicos usados en prácticas agrícolas. Por lo que existe concentraciones de cadmio (Cd) en agua y sedimento que podría estar siendo bioacumulado por el caracol manzana (*Pomacea canaliculata*). El cadmio es un contaminante cosmopolita que causa un gran impacto ambiental, atribuyéndosele efectos carcinogénicos al ser humano. Con el objetivo de comprobar si esta especie es un bioindicador de la presencia de cadmio en los ríos Guayas, Daule y Babahoyo se compararon las concentraciones en agua, sedimento y el caracol manzana. Todas las muestras se llevaron a peso seco, se digirieron y se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica de llama. Por medio de correlación de Pearson y análisis de componentes principales se comprobó que existe correlación entre las concentraciones biodisponibles de Cd en sedimento y Cd en agua ($r^2=0,768$, $p=0,000$), así mismo, *Pomacea canaliculata* presentó una correlación positiva con las concentraciones de Cd biodisponible en sedimento ($r^2=0,528$, $p=0,004$). Finalmente, concluimos que *Pomacea canaliculata* es un bioindicador confiable de la presencia de Cd en el medio acuático. **Palabras clave:** Babahoyo, biodisponibilidad, bioindicador, cadmio, caracol manzana, Daule, Guayas, *Pomacea canaliculata*.

Abstract

The Guayas river basin is the largest of Ecuador, it is formed by the confluence of the Daule and Babahoyo rivers. Previous studies demonstrate that they are exposed to direct discharge of wastewater and chemicals used in agricultural practices. Thereby, concentrations of cadmium (Cd) in water and sediment that might be bioaccumulate for the apple snail (*Pomacea canaliculata*) have been recorded. Cadmium is a cosmopolitan pollutant that causes a great environmental impact, assuming carcinogenic effects to the human. The aim of this work is verify if *Pomacea canaliculata* is a bioindicator of the presence of Cd in the Guayas, Daule and Babahoyo rivers, for this purpose concentrations of Cd in water, sediment and *Pomacea canaliculata* are tested and compared. All samples were carried to dry weight, digested and analyzed for atomic absorption spectrophotometry of flame. Pearson's correlation and Principal Components Analysis proved a correlation between the bioavailable concentration of Cd in sediment and water ($r^2=0,768$, $p=0,000$); moreover, *Pomacea canaliculata* presented a positive correlation when compared to the concentrations of bioavailable Cd in sediment ($r^2=0,528$, $p=0,004$). Finally, we conclude that *Pomacea canaliculata* is a reliable bioindicator of the presence of Cd in the aquatic environment. **Keywords:** Apple snail, Babahoyo, bioavailability, bioindicator, cadmium, Daule, Guayas, *Pomacea canaliculata*.

* Correspondencia del autor:
E-mail: nramirezprado@hotmail.com



Introducción

El aporte de metales pesados al ciclo hidrológico procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen litogénico a partir de los minerales que por causas de erosión, lluvias, etc., son arrastradas al agua. No obstante, en la actualidad la mayor concentración es de origen antropogénico. Actividades como la minería, los procesos industriales y los residuos domésticos son fuentes importantes de contaminación, debido a que aportan metales al aire, al agua y al suelo especialmente (Rosas, 2000, 2005). Los metales pesados tienen tendencia a formar asociaciones, con sustancias minerales (carbonatos, sulfatos, etc.) y en mayor grado con sustancias orgánicas, mediante los fenómenos de intercambio iónico, adsorción, quelación, formación de combinaciones químicas, entre otros, por lo que se acumulan en el medio ambiente, principalmente en los sedimentos de ríos, lagos y mares, pueden solubilizarse por distintos fenómenos y ser directamente incorporados a las cadenas tróficas (Förstner y Wittmann, 1981; Dekov et al., 1998).

El cadmio, metal pesado, posee cuatro de las características más temidas de un tóxico: 1. Efectos adversos para el hombre y el medioambiente; 2. Bioacumulación; 3. Persistencia en el medio ambiente; y, 4. Viaja grandes distancias con el viento y en los cursos de agua (Ramírez, 2002; Ruíz, 2003). Además, puede desplazar al zinc de algunos de sus sitios activos y por el otro, compite con el calcio en ciertos sistemas biológicos (Olavarria, 2007).

Existen evidencias de contaminación en los ríos Guayas, Daule y Babahoyo. En los ríos Guayas y Daule se descargan aguas residuales sin tratar o sin el tratamiento adecuado, que al sumarle el deficiente sistema de alcantarillado de la ciudad y el crecimiento poblacional generaría en poco tiempo un colapso ambiental en la ciudad de Guayaquil. Así también, se ha reportado contaminación por metales pesados (As, Cd, Pb, Ni, Hg, Cr, Cu) en ambos ríos (Suárez y Zambrano, 1997; Solano, 2009; Huayamave, 2013).

La importancia que tiene el estudio de los metales pesados en aguas, sedimentos y organismos se debe a su elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación, aunque los efectos tóxicos no se detectan fácilmente a corto plazo, si puede haber una incidencia muy importante a mediano y largo plazo (Mero, 2010). No obstante, existen antecedentes investigativos sobre los ríos del Ecuador donde sólo se toman en cuenta a los metales pesados en agua y sedimento, obviando a los organismos. En el presente trabajo se propone la realización de un biomonitorio, el cual se basa principalmente en utilizar organismos que permitan estudiar de manera regular y sistemática el efecto de un contaminante en un ecosistema en un tiempo determinado (Hawksworth et al., 2005). Según Phillips y Rainbow (1993), un bioindicador ideal presenta los siguientes requisitos: Abundante, sedentario, de fácil identificación, capaz de poder

ser muestreado durante todo el año y aclimatable a condiciones experimentales. Basándonos en estas características, se seleccionó el uso de moluscos como organismos centinelas, por su reconocida capacidad para acumular una variedad de sustancias químicas como metales pesados y compuestos orgánicos (Kimbrough et al., 2008).

En el área de estudio habita el caracol manzana (*Pomacea canaliculata* Lamarck, 1828), éste presenta una concha esférica y globosa, su epíteto "canaliculata" hace referencia a las uniones de las espirales de su concha que son profundas, semejando "canales". Son dioicos, las hembras depositan huevos de color rosado de consistencia gelatinosa y de cáscara calcárea en agrupaciones en forma de racimos, sobre plantas acuáticas emergentes o en superficies sólidas fuera del agua (Figura 1). Resiste temperaturas muy bajas, más que ningún otro caracol de su género e incluso sobrevive a 0° C durante algunas horas, además puede vivir en agua contaminada o con escasez de oxígeno, se encuentra distribuido desde Colombia y Guayana hasta el sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina) (Gobierno de Aragón, s.f.; Cazzaniga, 1990; Cowie, 2006; Ghesquiere, 2007; Báez et al., 2013). También posee ciertas características que lo convierten en un potencial biomonitor: Es fácil de localizar, siempre está disponible, posee suficiente masa corporal para el análisis, puede adaptarse

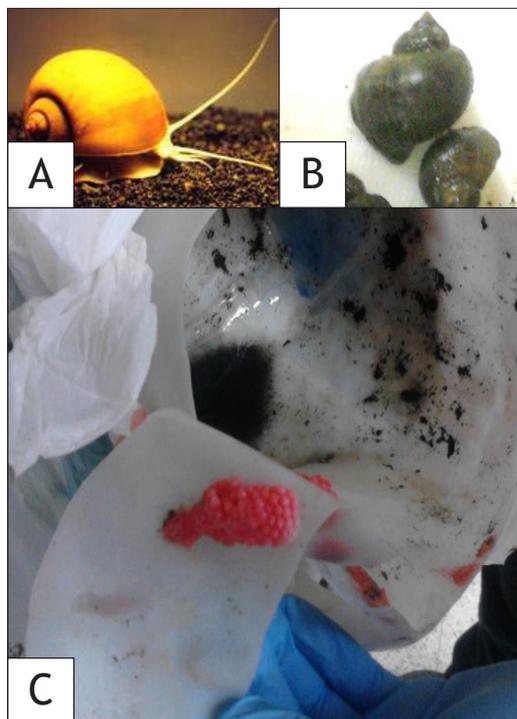


Figura 1. Caracol manzana (*Pomacea canaliculata*): A. Color café o marrón con bandas espirales oscuras (variedad silvestre), B. Color amarillito (variedad de acuario). C. Huevos de color rosado (característica determinante en la especie) puestos en racimos. Fuentes: Propia y The Apple snail Website, 2007. (<http://applesnail.net/>).

fácilmente a las diferentes condiciones ambientales, puede estar expuesto a largos periodos sin alimentarse y es sedentario (Bryan *et al.*, 1980; Phipps *et al.*, 1993). Con este antecedente, el objetivo del presente trabajo fue detectar la presencia de cadmio en los ríos Guayas, Daule y Babahoyo, utilizando al caracol manzana (*Pomacea canaliculata*) como bioindicador y comparando sus concentraciones de cadmio con las halladas en el agua y sedimento.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

La cuenca del río Guayas es la más grande del país, está formada por la confluencia de los ríos Daule y Babahoyo, estos ríos atraviesan extensas zonas de varias provincias y confluyen en la ciudad de Guayaquil. Se encuentra ubicada en la parte occidental del país, entre los meridianos 78° 36' W - 80° 36' W y los paralelos 00° 14' S - 02° 27' S; tiene una extensión de 33.214 Km², constituye más del 12% de la extensión territorial del Ecuador, es el área más fértil y desde el punto de vista económico la zona más importante, genera aproximadamente el 40% del producto interno bruto. El río Daule posee una longitud de 260 km, recibe agua de los ríos Macul, Puca, Paján, Colimes y Pedro Carbo y aporta aproximadamente el 40% del caudal del río Guayas. El río Babahoyo posee una longitud aproximada de 175 km y a su vez recibe algunos tributarios que en sus cursos inferiores reciben los nombres de Vinces, Balzar, Quevedo, Catarama, Zapotal (Caracol), San Pablo y Yaguachi (Pesantes, 1998; Torres, 2012; Huayamave, 2013).

Se establecieron un total de seis estaciones de muestreo entre los ríos Guayas, Daule y Babahoyo (Figura 2), éstas fueron posicionadas geográficamente usando un GPS portátil modelo Triton (Magellan®) (Tabla 1). En cada estación se fijaron cinco puntos de muestreo con separación de 10 metros entre cada punto. Se colectaron muestras de agua superficial, sedimento y del organismo de estudio (*Pomacea canaliculata*) en período de marea baja entre septiembre de 2014 a octubre de 2015. En cada punto de muestreo se tomaron los parámetros de pH, temperatura y salinidad usando un pHmetro modelo YSI pH10 (EcoSense®) y un refractómetro modelo ATC/mil-E (Atago®) respectivamente.

Toma de muestras, metodologías aplicadas en laboratorio y análisis de datos.

Se colectaron muestras de agua superficial que fueron conservadas en envases de polietileno de 1000 ml, tratados previamente con HNO₃ al 3% y lavadas con agua ultra pura (COVENIN 2709: 2002). Los sedimentos se tomaron de las orillas en la capa superficial (5-10 cm de profundidad) utilizando una espátula de plástico, éstos fueron conservados en fundas tipo ziploc con cierre hermético (Mero *et al.*, 2012). Las muestras de organismos de *Pomacea canaliculata* se colectaron manualmente utilizando guantes de examinación de nitrilo y fueron conservadas en fundas tipo ziploc con cierre hermético.

Siguiendo la metodología recomendada por Standard Methods (2005): Las muestras de agua al llegar al laboratorio se preservaron añadiendo 1 ml de HNO₃ concentrado (Merck). Después, las muestras se homogenizaron, se filtraron por triplicado en papel Whatman N° 40.

Los sedimentos se extendieron en una superficie plástica y secaron a temperatura ambiente por 2 semanas aproximadamente. Se disgregaron y tamizaron mediante un tamiz de 71 µm, posteriormente se secaron a 100 ° C en una estufa por 1 hora para eliminar la humedad (Procedimiento específico de ensayo IIRN, 2013). Para detectar la fracción total de cadmio en las muestras de sedimento, se procedió a usar la metodología interna del Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales (IIRN), donde por cada muestra de sedimento se pesó 0,5 gramos por triplicado en tubos de ensayo en una balanza analítica modelo BL210S (Sartorius), se añadió a cada tubo con muestra 5 ml de HNO₃ (Merck), se colocó a cada tubo una contratapa que fue cubierta con cinta de teflón y una tapa rosca para sellarlos herméticamente, fueron llevados a baño maría a 100 ° C por 1 hora, finalmente se filtraron con papel Whatman N° 40 y enrasaron a 50 ml con agua ultrapura.

Para detectar la fracción de Cd biodisponible en sedimentos se pesó un gramo (sedimento seco) por triplicado de cada muestra en una balanza analítica modelo BL210S (Sartorius), se añadió 15 ml de HCl 0,1 N (Merck) por 24 horas, luego se filtró con papel Whatman N° 40 y se enrasó a 50 ml con el mismo ácido (Parra & Espinosa, 2008).

A un total de 70 individuos colectados de *Pomacea canaliculata* se les retiró el cuerpo partiendo la concha con un mortero y teniendo mucho cuidado de no dañarlo, después se colocaron en cápsulas de porcelana y fueron secados en una estufa a 80 ° C durante 48 horas, se trituraron las muestras en un mortero y nuevamente fueron llevadas a la estufa por una hora. Posteriormente se pesó un gramo por triplicado de cada muestra en una balanza analítica modelo BL210S (Sartorius), donde se añadió 3 ml de HNO₃ (Merck) para la digestión en frío durante 3 horas. Finalmente, mediante un plato calentador, a 85 ° C se realizó la digestión en caliente de las muestras hasta la eliminación de humos marrones o rojos, se filtraron a través de papel Whatman N° 40 y se enrasaron a 25 ml con agua ultrapura (Alcívar & Mosquera, 2011).

Las lecturas de cadmio se realizaron por triplicado de cada muestra de agua superficial, sedimento y del organismo de estudio (*Pomacea canaliculata*) en un espectrofotómetro de absorción atómica de llama Perkin Elmer modelo AAnalyst100. Además, se usó blanco de reactivos, calibración del equipo con estándares certificados y material de referencia certificado para sedimento (Tabla 2).

Los cálculos (ppm) se realizaron a través del programa

Tabla 1. Coordenadas geográficas (UTM) por cada estación de muestreo.

Río	Estación	Puntos de Muestreo	UTM	
			X	Y
Guayas	Instituto Nacional de Pesca	INP 1	624089	9755932
Guayas	Instituto Nacional de Pesca	INP 2	624087	9755922
Guayas	Instituto Nacional de Pesca	INP 3	624085	9755912
Guayas	Instituto Nacional de Pesca	INP 4	624283	9755902
Guayas	Instituto Nacional de Pesca	INP 5	624084	9755892
Guayas	Isla Santay	IS 1	624779	9754764
Guayas	Isla Santay	IS 2	624771	9754799
Guayas	Isla Santay	IS 3	624770	9754743
Guayas	Isla Santay	IS 4	625452	9756292
Guayas	Isla Santay	IS 5	625244	9755962
Daule	Mucho Lote 2	ML 1	623294	9771540
Daule	Mucho Lote 2	ML 2	624059	9772471
Daule	Mucho Lote 2	ML 3	623703	9772521
Daule	Mucho Lote 2	ML 4	623563	9772497
Daule	Mucho Lote 2	ML 5	623121	9772417
Daule	Malecón de Daule	MD 1	613265	9794143
Daule	Malecón de Daule	MD 2	613275	9794149
Daule	Malecón de Daule	MD 3	613287	9794155
Daule	Malecón de Daule	MD 4	613298	9794156
Daule	Malecón de Daule	MD 5	613315	9794166
Babahoyo	Ferrocarriles del Ecuador	FE 1	628121	9760724
Babahoyo	Ferrocarriles del Ecuador	FE 2	628114	9760716
Babahoyo	Ferrocarriles del Ecuador	FE 3	628106	9760709
Babahoyo	Ferrocarriles del Ecuador	FE 4	628098	9760702
Babahoyo	Ferrocarriles del Ecuador	FE 5	628090	9760695
Babahoyo	Barrio Guajala	BG 1	634457	9768544
Babahoyo	Barrio Guajala	BG 2	634785	9768946
Babahoyo	Barrio Guajala	BG 3	634798	9768964
Babahoyo	Barrio Guajala	BG 4	634813	9768987
Babahoyo	Barrio Guajala	BG 5	634430	9775133

Tabla 2. Condiciones standard para absorción atómica del elemento cadmio.

Longitud de Onda (nm)	Límite de detección (ppm)	Rango Lineal (ppm)	Concentración de comprobación (ppm)	Soluciones Estándar (ppm)	Curvas de calibración (ppm)	Reslope (ppm)
228,8	0,028	2,0	1,5	0,5 - 1,0 - 1,5	0,5 - 1,0 -2,0	1,0

Tabla 3. Promedio de variables físico-químicas (temperatura, pH y salinidad). Letras iguales señalan que no hay diferencias estadísticamente significativas según Kruskal Wallis o ANOVA de 1-vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.

Río	Temperatura (C°)		pH		Salinidad (°/OO)	
Guayas	27,7±0,07	B	7,23±0,10	B	1,9±0,60	A
Daule	28,7±0,52	A	7,92±0,25	A	0,4±0,60	B
Babahoyo	28,2±0,42	AB	7,68±0,15	AB	0	B

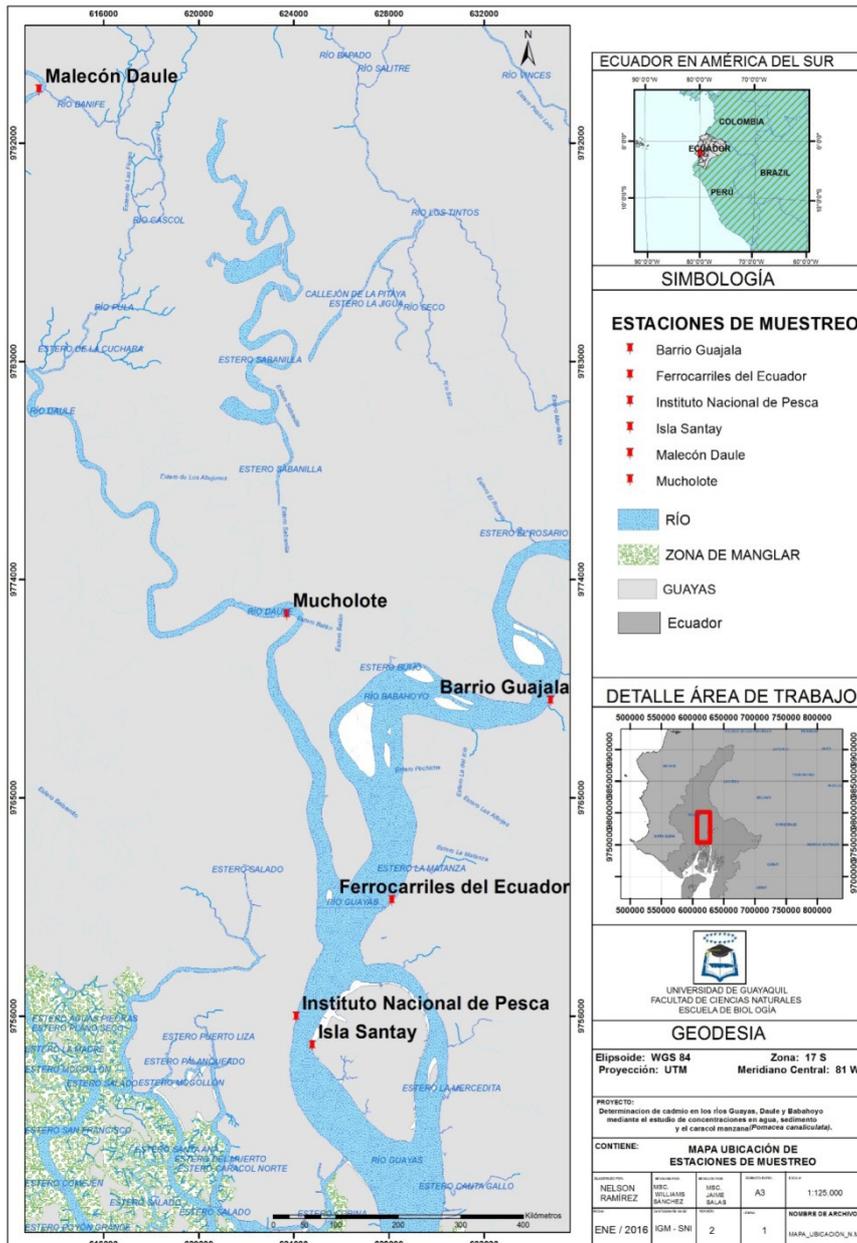


Figura 2. Área de estudio

Excel utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{ppm} = \frac{\text{pm en solución muestra (Lectura del equipo)} \times \text{Volumen Masa}}{\text{Masa}}$$

Se determinó la normalidad de los datos utilizando una prueba de Anderson-Darling. Se comparó las medias de las concentraciones de Cd por cada muestra de agua, sedimentos y *Pomacea canaliculata* en los distintos sitios de muestreo. Así también, se realizó una prueba de igualdad de varianzas (homocedasticidad de Levene). Después, para comparar las medias de

las concentraciones de Cd en los distintos sitios de muestreo se aplicó ANOVA de una vía, con $p < 0.05$ como valor significativo y un test a posteriori de Tukey.

Para estudiar la correlación de los parámetros físico-químicos sobre la concentración de Cd en agua, sedimento y el organismo de estudio (*Pomacea canaliculata*), se realizó un test paramétrico de Pearson y se construyó una matriz de datos para realizar un análisis de componentes principales de correlación (ACP).

Todas las pruebas estadísticas se realizaron usando el programa MINITAB versión 17.0.

Resultados

Las concentraciones de cadmio detectadas en agua fueron: $0,011 \pm 0,002$ ppm para Guayas, $0,011 \pm 0,003$ ppm para Daule (Figura 3). Comparativamente, no existe diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones halladas de los ríos Guayas y Daule. En cambio, para Babahoyo no se detectó concentración alguna de Cd en agua.

Las concentraciones de cadmio total en sedimento no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ríos: Guayas ($1,491 \pm 0,168$ ppm), Daule ($1,922 \pm 0,581$ ppm) y Babahoyo ($1,997 \pm 0,361$ ppm) (Figura 4).

Se encontró concentraciones biodisponibles de cadmio con diferencias estadísticamente significativas entre sí: $0,733 \pm 0,114$ ppm para Guayas, $0,301 \pm 0,057$ ppm para Daule y $0,061 \pm 0,071$ ppm para Babahoyo (Figura 5).

Los promedios de temperatura determinados por cada río fueron: $27,7 \pm 0,07^\circ\text{C}$ ($27,2^\circ\text{C}$ Min., $28,8^\circ\text{C}$ Max.) para Guayas, $28,7 \pm 0,52^\circ\text{C}$ ($27,9^\circ\text{C}$ Min., $30,6^\circ\text{C}$ Max.) para Daule y $28,2 \pm 0,42^\circ\text{C}$ ($27,2^\circ\text{C}$ Min., $30,2^\circ\text{C}$ Max.) para Babahoyo. Los promedios obtenidos en Guayas y Daule presentaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 3).

La salinidad fue tomada en bajamar y en época seca presentándose en promedios de: $1,9 \pm 0,60^\circ/\text{OO}$ (Guayas), $0,4 \pm 0,60^\circ/\text{OO}$ (Daule) y $0^\circ/\text{OO}$ (Babahoyo) (Tabla 3), observándose diferencias estadísticamente significativas.

El pH promedio presentó diferencias estadísticamente significativas entre los ríos Guayas y Daule: $7,23 \pm 0,10$ (Guayas), $7,92 \pm 0,25$ (Daule) y $7,68 \pm 0,15$ (Babahoyo) (Tabla 3).

En *Pomacea canaliculata* se halló concentraciones considerables de cadmio que no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los ríos: Guayas ($1,221 \pm 0,751$ ppm), Daule ($0,954 \pm 0,602$ ppm) y Babahoyo ($0,738 \pm 0,598$ ppm) (Figura 6).

El análisis de componentes principales dio a conocer que no existe correlación entre los parámetros físico-químicos y las concentraciones de Cd en la especie de estudio, y que, por el contrario, se observó correlación entre las concentraciones de Cd biodisponible, Cd en agua y en la especie en estudio (Figura 7). De igual manera, se realizó un análisis de correlación de Pearson, el cual comprobó que existe correlación entre las concentraciones de Cd en agua y en *Pomacea canaliculata* ($r^2=0,502$, $p=0,006$), concentraciones biodisponibles de Cd en sedimento y concentraciones de Cd agua ($r^2=0,768$, $p=0,000$),

finalmente concentraciones biodisponibles de Cd en sedimento y concentraciones de Cd en *Pomacea canaliculata* ($r^2=0,528$, $p=0,004$), por lo que se indica que a mayor concentración de Cd biodisponible en sedimento - mayor será la concentración de Cd en agua y en el organismo de estudio (Figura 8).

Discusión

El Anexo 1 - Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Ambiental del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA) establece 0.001 ppm como el límite máximo permitido para el Cd, dentro de los criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario. En este estudio, se determina que las concentraciones de Cd obtenidas en los ríos Guayas y Daule superan 11 veces al límite máximo establecido en el TULSMA. De manera similar, las concentraciones excedieron los límites máximos expuestos en la Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (0.00009 ppm) y la National Oceanic and Atmospheric Administration o NOAA (0.002 ppm), en 122 veces y 5,5 veces, respectivamente. Así también, los resultados obtenidos en el agua se hallaron dentro del rango de concentración de Cd en muestras de aguas obtenidas del río Mazán, de 0,005-0,5 ppm (Cuenca-Ecuador), publicado por Hewitt & Candy (1990), los cuales indican que las partículas de cadmio llegan al medio acuático debido a la influencia de emisiones vehiculares y no de una fuente antropogénica directa, la cual no existe en dicho río. Sin embargo, el caso es distinto en el río Guayas, ya que el Cd podría provenir de las aguas residuales urbanas e industriales que se vierten sin ningún tratamiento y en el río Daule quizás se deba a la intensa actividad agrícola que se desarrolla en sus riberas, la cual estaría aportando agroquímicos contaminados con metales pesados.

La normativa ambiental vigente del estado ecuatoriano no posee criterios de calidad admisibles y límites máximos permitidos para el elemento cadmio en sedimentos, por lo que las concentraciones de cadmio total halladas en sedimento se compararon con el límite permitido de 0,6 ppm de Cd para sedimentos en aguas dulces de la Canadian Environmental Quality Guidelines, superándolos en 2,48 veces (Guayas), 3,20 veces (Daule) y 3,32 veces (Babahoyo), respectivamente. A su vez, también están muy por encima del rango permitido para Cd de 0,1 - 0,3 ppm en sedimentos de aguas dulces propuesto por la NOAA en: 14, 1 veces (Guayas), 19,22 veces (Daule) y 19,97 veces (Babahoyo), respectivamente. Así mismo, estos resultados son de gran importancia ya que según Arcos y Castro (2005), los sedimentos actúan como un reservorio para los compuestos metálicos de forma insolubles que dependiendo de las condiciones físico-químicas podrían transformarse en biodisponibles y convertirse en una fuente de contaminación.

Según Brunetti *et al.* (2009), el cadmio puede subir a través de la columna de agua y ser bioacumulado

llegando a biomagnificarse, debido a que el mismo se libera de las arcillas de los sedimentos al cual está retenido mediante diversos factores medio ambientales y por su comportamiento químico. Con lo antes mencionado, es necesario que se estudie concentraciones biodisponibles de Cd en el sedimento, para conocer si el Cd de verdad se encuentra en fracciones biodisponibles para la biota.

En cuanto a temperatura, solo se pudo observar diferencias estadísticamente significativas entre los ríos Guayas y Daule, denotando que estos valores se relacionan con las variaciones de temperatura medioambientales, debido a que los valores fueron tomados *in situ* durante la época seca.

Se registró un promedio alto de salinidad en el río Guayas, éste quizás se debe a que cerca de las estaciones de muestreo se encuentran varaderos de barcos y tuberías de descargas de aguas residuales domésticas e industriales y a su vez, también los puntos de muestreo se encuentran muy cerca al estuario del río Guayas. En las zonas donde se detectó mayor salinidad también se detectaron los valores más altos de Cd biodisponible, hecho que coincide con lo reportado por García & Dorronsoro (2005), quienes señalan que al aumentar la salinidad incrementa la biodisponibilidad del Cd, debido a que los cationes asociados a las sales pueden reemplazar a los metales en los lugares de adsorción y los cloruros pueden generar complejos solubles con el Cd.

El cadmio al ser considerado el más móvil y biodisponible de los metales en sedimento presenta un alto grado de importancia debido a que el ion cadmio predomina en un pH inferior a 6,5 como sulfato de cadmio o cloruro de cadmio, además en sedimentos con pH<8 y bajo condiciones oxidantes el Cd está principalmente en forma de iones intercambiables y carbonatos (Rosas, 2000; Pozo, Sanfeliu y Carrera, 2011), esto hace resaltar que el Cd es uno de los elementos químicos que presenta mayores proporciones de iones intercambiables, por lo que quizás el cadmio influiría de esta manera en el área de estudio.

La idea de usar al caracol manzana (*Pomacea canaliculata*) como bioindicador de cadmio se basa en bioensayos de laboratorio, donde se demostró que era capaz de acumular concentraciones de Zn, Ba, Fe, U, Br, As, Se, Hg, Cr, Mn, Sb, Cu y Zn; así mismo, se ha detectado que puede llegar a acumular altas concentraciones de Pb halladas en individuos muestreados en campo, pudiendo ser usado como biomonitor de contaminación por metales en sedimento (Losussachan, 2006; Peña & Pocsidio, 2008; Dumme *et al.*, 2012; Vega *et al.*, 2012). No obstante, ninguno de los estudios mencionados anteriormente ha detectado concentraciones de cadmio en *Pomacea canaliculata*. Lamentablemente, *Pomacea canaliculata* en Ecuador es considerado una especie invasora y muy destructiva para los agricultores que poseen parcelas de cultivo cercanas a las riberas de los

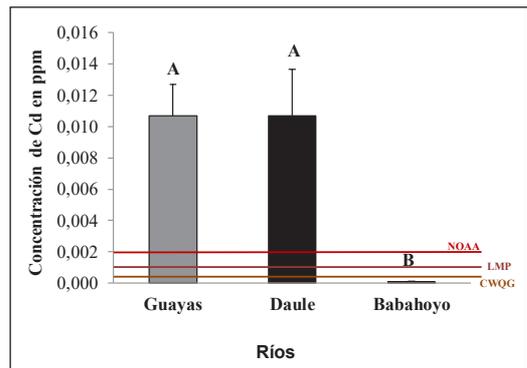


Figura 3. Concentraciones de Cd en agua superficial por cada río: Guayas (plomo), Daule (negro) y Babahoyo (café, imperceptible). LMP: Limite máximo permisible según TULSMA, CWQG: Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration. Los resultados obtenidos se presentan como barras representando la Media \pm DS. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.

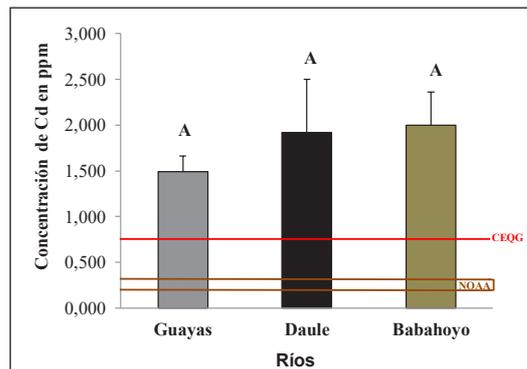


Figura 4. Concentraciones totales de Cd en sedimento por cada río: Guayas (plomo), Daule (negro) y Babahoyo (café). CEQG: Canadian Environmental Quality Guidelines, NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration. Los resultados obtenidos se presentan como barras representando la Media \pm DS. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.

ríos Guayas, Daule y Babahoyo, pero al ser un especie común en el área de estudio debería ser tomado en cuenta, debido a que todo organismo es indicador de las condiciones del medio en el cual se desarrolla y habita, porque su existencia en un espacio y momento determinados responde a su capacidad de adaptarse a los distintos factores ambientales (Layana, 2013). Finalmente, lo mencionado demuestra que *Pomacea canaliculata* es un bioindicador bueno y confiable de la presencia de Cd dentro del área de estudio.

Conclusiones

Se detectaron concentraciones considerables de cadmio en *Pomacea canaliculata* dentro del área de

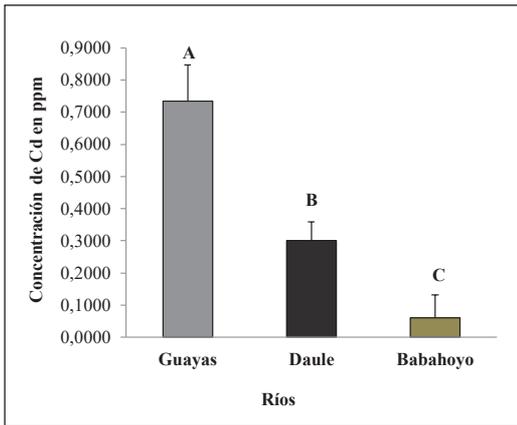


Figura 5. Concentraciones promedio de Cd biodisponible en sedimento por cada río: Guayas (plomo), Daule (negro) y Babahoyo (café). Los resultados obtenidos se presentan como barras representando la Media ± DS. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.

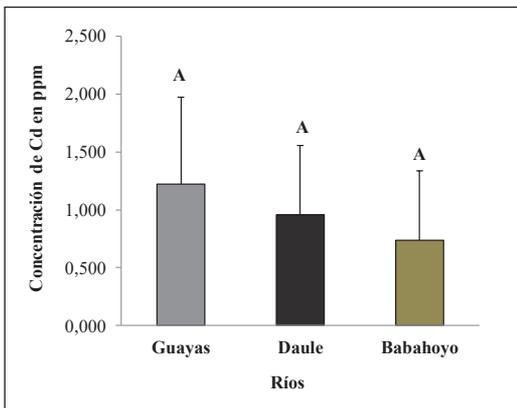


Figura 6. Concentraciones promedio del organismo de estudio (*Pomacea canaliculata*) por cada río: Guayas (plomo), Daule (negro) y Babahoyo (café). Los resultados obtenidos se presentan como barras representando la Media ± DS. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según ANOVA de 1 vía ($p < 0.05$) y test de Tukey.

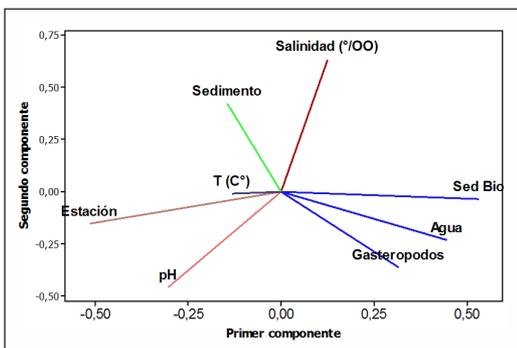


Figura 7. Representación de componentes principales y su correlación entre las concentraciones (Cd) de agua, sedimentos biodisponibles y el organismo de estudio (*Pomacea canaliculata*).

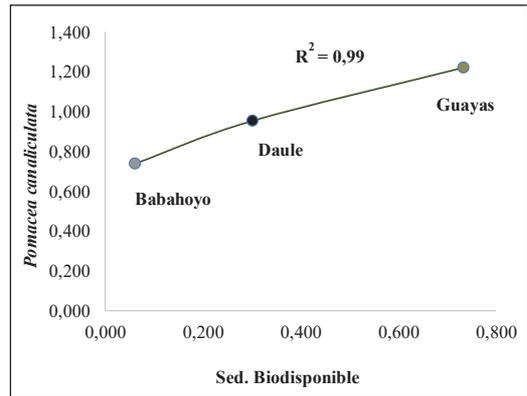


Figura 8. Correlación lineal resultante entre las concentraciones de Cd obtenidas de sedimentos biodisponibles y el organismo de estudio (*Pomacea canaliculata*).

estudio, demostrando ser un excelente bioindicador de la presencia y de contaminación por este elemento.

Los valores promedio de concentraciones de Cd en agua de los ríos Guayas y Daule sobrepasan los valores máximos permisibles según las normas ecuatorianas, canadienses y la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) respectivamente.

Los promedios en concentraciones totales de Cd obtenidos por cada río (Guayas, Daule y Babahoyo) exceden los límites máximos permitidos en la norma canadiense y en la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Se presentaron concentraciones biodisponibles de cadmio en niveles considerables en el área de estudio, demostrándose así que en esta forma los metales pesados ingresan a las cadenas tróficas.

Todos los valores obtenidos de cadmio en agua, sedimentos (concentraciones totales y biodisponibles) y en *Pomacea canaliculata* proporcionan antecedentes primarios (línea base) para comparar a futuro con otros estudios realizados con este metal pesado.

Recomendaciones

Continuar con la evaluación de cadmio dentro del área de estudio dado el impacto que puede generar a la salud y su posible incorporación a la cadena trófica y crear planes de monitoreo anuales para controlar la contaminación.

Realizar futuros estudios con otros metales pesados (Hg, Cr, Ni, Pb, As) en agua y sedimentos (totales y biodisponibles) dentro del área de estudio.

Se sugiere realizar estudios en concentraciones biodisponibles con otros metales pesados (Pb, Hg, Cr, Ni, As, Sb) en sedimento dentro del área de estudio, debido a que de esta manera se puede saber si éstos están incidiendo directamente en la biota.

Realizar otros estudios en *Pomacea canaliculata* en diversos metales pesados aparte del cadmio, como: Hg, Pb, Ni, As, Sb, Cr, dada su capacidad como bioindicador.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración del Sr. Oswaldo Álvarez Amores, egresado de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Guayaquil, durante el período de colección de las muestras.

Referencias

- Alcívar, M. y Mosquera, J. 2011. Concentración de metales pesados (Cr total, Pb, Cd) en agua superficial y sedimentos en el Estero Salado (Guayaquil). *Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales* 5: 28 - 40.
- Arcos, V. y Castro, R. 2005. Metales pesados en agua, sedimentos y organismos. *Revista de Ciencias Naturales y Ambientales*, 1 (1): 103 - 120.
- Báez, P., Letelier, S., Rojas, G., Rebollo, A., Martínez, A. y Paredes, P. 2013. Patrimonio natural acuático y bioseguridad en los humedales costeros del semiárido de Chile: reflexiones para un estudio de caso, el caracol exótico *Pomacea canaliculata*. *Gestión Ambiental*, 26: 51-63. http://ceachile.cl/revista/cdn_numero26/4_GA_26_2013_Baez.pdf. (Consultado Mayo 27, 2015).
- Brunetti, P., Soler-Rovira, G., Farrag, K. y Senesi, N. 2009. Tolerance and accumulation of heavy metals by wild plant species grown in contaminated soils in Apulia region, Southern Italy. *Plant Soil*, 318: 285-298.
- Bryan, G.W., Langston, W.J., Hummerstone, L.G. 1980. The use of biological indicators of heavy metal contamination in estuaries: with special reference to an assessment of the biological availability of metals in estuarine sediments from south - west Britain. *Occ Publ Mar Biol Ass UK*, 1: 1 - 73
- Cazzaniga, N.J. 1990. Sexual dimorphism in *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae). *Veliger*, vol. 33, No. 4: 390 - 394.
- Cowie, R. 2006. Apple snail as agricultural pests: their biology, impacts and management. Honolulu. Hawái.
- Dekov, V.M., Araujo, F. Van Grieken, R. y Subramanian, V. 1998. Chemical composition of sediments and suspended matter from the Cauvery and Brahmaputra (India). *The Science of the Total Environment*, 212: 89 - 105.
- Dumme, V., Kruatrachul, M., Trinachartvanit, W., Tanhan, P., Pokethitiyook, P., Damrongphol, P. 2012. Bioaccumulation of heavy metals in water, sediments, aquatic plant and histopathological effects on the Golden Apple snail in Beung Boraphet reservoir, Thailand. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 86: 204 - 212. Doi:10.1016/j.ecoenv.2012.09.018. (Consultado Abril 14, 2015).
- Förstner, U. y Wittmann, G.T.W. 1981. Heavy metal pollution in the aquatic environment (2nd Ed.). Spring - Verlag. Berlín. Heidelberg. New York, pp. 486.
- García, I. y Dorronsoro, C. 2005. Contaminación por metales pesados. En: Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola.
- Ghesquiere, S. 2007. The Apple snail Website. <http://applesnail.net/> (Consultado Abril 14, 2015).
- Gobierno de Aragón - Departamento de Medio Ambiente. "*Pomacea canaliculata*. Caracol Manzana". s.f. http://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/06/docs/%C3%81reas/Biodiversidad/EspecExotInvasor/FichasEspeciesInvasorasFauna/Invertebrados/CARACOL_MANZANA.pdf. (Consultado Abril 4, 2015).
- Hewitt, C.N. & Candy, G.B. 1990. Soil and Street Dust Heavy Metal Concentrations in and around Cuenca, Ecuador. *Environmental Pollution*, 63: 129 - 136.
- Huayamave, J. 2013. Estudio de las aguas y sedimentos del río Daule, en la provincia del Guayas, desde el punto de vista físico químico, orgánico, bacteriológico y toxicológico. (Tesis doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria).
- Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales (IIRN). 2013. Procedimiento específico de ensayo, determinación de metales pesados en sedimentos por espectrofotometría de absorción atómica. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil.
- Kimbrough, K L., W. E. Johnson, G., G. Lauenstein, J., D. Christensen y D. A. Apeti. 2008. An Assessment of two decades of contaminants monitoring in the nation's coastal zone. *Silver Spring, MD. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 74*, 2008: 105 pp.
- Layana, E. 2013. Estudio de la Calidad del Agua del río Babahoyo y sus afluentes: Índice Saprobio. Universidad de Guayaquil.
- Losussachan, W. 2006. Accumulation and distribution of heavy metals in water, sediment, *Pomacea canaliculata* and some fish species in the Phi Lok canal system, Samut Songkhram province. (Tesis de Maestría en Ciencias, Mahidol University). <http://www.etm.sc.mahidol.ac.th/thesis/index.asp?ls=gp&group=9&sort=desc>. (Consultado Noviembre 21, 2015).
- Mero, M. 2010. Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en moluscos bivalvos de interés comercial de cuatro esteros del golfo de Guayaquil. (Tesis de maestría, Universidad de Guayaquil).
- Mero, M., Arcos, V., Egas, F., Siavichay, R. & Lindao, G. 2012. Determinación de metales pesados (Cd y Pb) en moluscos bivalvos de interés comercial *Anadara tuberculosa* y *A. grandis* de Puerto El Morro, Ecuador. *Revista de Divulgación de La Dirección de Investigaciones y Proyectos Académicos de La Universidad de Guayaquil*. 4 (4), 19-32
- Olavarría, Y. 2007. Determinación de trazas de cadmio en cholga (*Aulacomya ater*), chorito (*Mytilus chilensis*) y ostra chilena (*Ostrea chilensis*) en la zona de Chiloé. (Hueihue). (Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar de Químico Farmacéutico, Universidad Austral-Chile).
- Parra, J. y Espinosa, L. 2008. Distribución de metales pesados (Pb, Cd y Zn) en perfiles de sedimento asociado a *Rhizophora mangle* en el río Sevilla, Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 37(1), 95-110.
- Peña, S. y Pocsidio, G. 2008. Accumulation of copper by Golden apple snail *Pomacea canaliculata* Lamarck. *Philippine Journal of Science*, 137 (2): 153 - 158. <http://philjournalsci.dost.gov.ph/vol137no2/pdfs/accumulation%20of%20copper%20by%20golden%20apple%20snail.pdf>. (Consultado Abril 9, 2015).
- Pesantes, F. 1998. Algunas características geográficas y oceanográficas del estuario interior del Golfo de Guayaquil y sus afluentes Daule y Babahoyo durante 1994 - 1996. *Instituto Nacional de Pesca*, Guayaquil, Ecuador, pp. 5 - 13.
- Phillips, D. y Rainbow, P. 1993. *Biomonitoring of trace aquatic contaminants*. New York: Elsevier.
- Pozo, W., Sanfeliu, T. y Carrera, G. 2011. Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas. *MASKANA*, 2 (1): 17 - 30.
- Ramírez, A. 2002. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina. Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 63 (1): 51 - 64.
- Rosas, H. 2000. Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Universidad Politécnica de Catalunya. Departamento de Ingeniería Minera y Recursos Naturales. <http://www.tesisenred.net/handle/10803/6978>. (Consultado Octubre 9, 2014).

- Rosas, H. 2005. Contaminación de sedimentos del río Anoia por metales pesados (Barcelona - España). Investigación & Desarrollo, 5: 75 - 89. <http://www.upb.edu/sites/default/files/7RosasN5.pdf> (Consultado Octubre 8, 2014).
- Ruiz, J. (Ed.). 2003. *Didáctica de la Química y Vida Cotidiana*. Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. pp. 275 - 280. https://www.academia.edu/2159057/QU%C3%8DMICA_DIVERTIDA_EXPERIENCIAS_DE_C%C3%81TEDRA_QU%C3%8DMICA_PARA_ESTUDIANTES_DE_NIVEL_MEDIO. (Consultado Octubre 29, 2014).
- Solano, J. 2009. Simulación, evaluación y diagnóstico de la contaminación de las aguas del río Guayas, desde el extremo sur del Malecón 2000 (2° 12' Latitud Sur) hasta el estero Cobina (2° 15' 30'' Latitud Sur), aplicando el modelo exams y recomendaciones. (Tesis de Maestría, ESPOL).
- Suárez, P. & Zambrano, I. 1997. Influencia de la contaminación por vertientes industriales terrestres sobre el río Guayas en La Grilla de latitud 02° 12' Sur - 02° 14' Sur entre la ciudad de Guayaquil y la isla Santay. (Tesis de Grado previa a la obtención del título de Ingeniero Civil, ESPOL. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 2005. Edición 21.
- Torres, J. 2012. Fortalecimiento de la institucionalidad para la Gestión Integrada de la subcuenca del río Daule, Prefectura del Guayas - Dirección de Medio Ambiente. pp. 1 - 4.
- Vega, I. A., Arribére, M. A., Almonacid, A. V., Ribeiro Guevara, S. y Castro-Vásquez, A. 2012. Apple snails and their endosymbionts bioconcentrate heavy metals and uranium from contaminated drinking water. *Environ Sci Pollut Res.*, 19: 3307-3316. DOI 10.1007/s11356-012-0848-6. (Consultado Octubre 29, 2015).