



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v5i1.1048>

Ciencias técnicas y aplicadas  
Artículo de investigación

***Modelación matemática de la contaminación por metales pesados en la especie  
guaña (*H. Plecostomus*) Cuenca del Rio Santiago***

***Mathematical modeling of heavy metal contamination in the Guaña species (*H.  
Plecostomus*) Santiago River Basin***

***Modelagem matemática da contaminação por metais pesados na espécie Guaña  
(*H. Plecostomus*) Bacia do Rio Santiago***

Carlos Manuel Montaña-Torres <sup>I</sup>  
[cm96478@gmail.com](mailto:cm96478@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-0942-489X>

María Celina Santos-Falcón <sup>II</sup>  
[santoscelina97@yahoo.es](mailto:santoscelina97@yahoo.es)  
<https://orcid.org/0000-0001-6047-8426>

Jorge Gabriel Palacios -Revelo <sup>III</sup>  
[jpalaciosrevelo@gmail.com](mailto:jpalaciosrevelo@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-8509-8486>

Joseph Alfonso Cruel-Siguena <sup>IV</sup>  
[josephcruel1983@gmail.com](mailto:josephcruel1983@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-3949-0049>

**\*Recibido:** 18 de septiembre de 2019 **\*Aceptado:** 15 de octubre de 2019 **\* Publicado:** 12 de noviembre de 2019

<sup>I</sup> Magíster en Ciencias Ambientales, Químico y Farmacéutico, Docente de la Facultad de Ingenierías en la Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.

<sup>II</sup> Ingeniera Química, Docente de la Facultad de Ingenierías en la Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.

<sup>III</sup> Ingeniero Químico, Docente de la Facultad de Ingenierías en la Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.

<sup>IV</sup> Magíster en Gestión Ambiental, Ingeniero Químico, Docente de la Facultad de Ingenierías en la Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.

## Resumen

El objetivo de esta investigación fue: diseñar un modelo estadístico que explique la contaminación por metales pesados en Guaña (*H. Plecostomus*) en la cuenca del río Santiago. Como metodología se empleó el Índice Rápido de Calidad de Agua B.M.W.P, para la captura de los peces se siguieron los protocolos de custodia de frío constante, y su traslado hasta el laboratorio para su análisis fue hecho en envases previamente rotulados. La recolección de los peces se contrató a personal nativo del sector y bajo supervisión técnica se procedió a la captura en un perímetro que no excediera los 100m<sup>2</sup>. Se utilizó un trasmallo artesanal con una granulometría apropiada. El monitoreo se realizó desde el 2012-2017, invierno y verano, en 14 estaciones georreferenciadas seleccionadas por incidencias de minas auríferas. Para la recolección de la muestra de aguas se tomó con una botella. En el modelo propuesto la variable a ser explicada es la concentración de metales pesados en la especie “Guaña” del Río Zapallito, tal concentración responde a 0,76 mg/l en función de la concentración de metales pesados en el agua del río y de 56,6 mg/l en sedimento del mismo río si se mantienen constantes, obteniéndose una explicación del modelo del 99,9%, aunque la abundancia de las especies capturadas fue escasa, el 70% reportaron la presencia de metales pesados, como medida de remediación se propone el diseño y construcción de un humedal artificial a base de zeolitas naturales para depurar 10 metros cúbicos/ h con un diámetro hidráulico de 0,8 metros.

**Palabras claves:** Pucese; escorrentía; arenisca; guaña; humedal artificial; metales pesados.

## Abstract

The objective of this research was: to design a statistical model that explains heavy metal pollution in Guaña (*H. Plecostomus*) in the Santiago river basin. As a methodology the Rapid Water Quality Index B.M.W.P was used, for the capture of the fish the protocols of constant cold custody were followed, and its transfer to the laboratory for analysis was done in previously labeled containers. The collection of the fish was hired to native personnel of the sector and under technical supervision the capture was carried out in a perimeter that did not exceed 100m<sup>2</sup>. An artisanal trasmallo with an appropriate grain size was used. The monitoring was carried out from 2012-2017, winter and summer, in 14 georeferenced stations selected for incidences of gold mines. To collect the water sample, it was taken with a bottle. In the proposed model, the variable to be explained is the concentration of heavy metals in the “Guaña” species of the Zapallito River, such concentration

responds to 0.76 mg / l depending on the concentration of heavy metals in the river water and 56.6 mg / l in sediment of the same river if they remain constant, obtaining an explanation of the 99.9% model, although the abundance of the captured species was scarce, 70% reported the presence of heavy metals, as a measure of Remediation proposes the design and construction of an artificial wetland based on natural zeolites to purify 10 cubic meters / h with a hydraulic diameter of 0.8 meters.

**Keywords:** Pucese; runoff; sandstone; scythe artificial wetland; heavy metals.

### Resumo

O objetivo desta pesquisa foi: projetar um modelo estatístico que explique a poluição por metais pesados em Gúaña (*H. Plecostomus*) na bacia do rio Santiago. Como metodologia, foi utilizado o Índice de Qualidade da Água Rápida B.M.W.P, para a captura dos peixes foram seguidos os protocolos de custódia constante a frio, e sua transferência para o laboratório para análise foi realizada em recipientes previamente rotulados. A coleta dos peixes foi contratada por pessoal nativo do setor e, sob supervisão técnica, a captura foi realizada em um perímetro que não excedia 100m<sup>2</sup>. Foi utilizado um trasmallo artesanal com tamanho de grão apropriado. O monitoramento foi realizado entre 2012 e 2017, inverno e verão, em 14 estações georreferenciadas selecionadas para incidência de minas de ouro. Para coletar a amostra de água, ela foi coletada com uma garrafa. No modelo proposto, a variável a ser explicada é a concentração de metais pesados na espécie “Gúaña” do rio Zapallito, que responde a 0,76 mg / l, dependendo da concentração de metais pesados na água do rio e 56,6 mg / l em sedimentos do mesmo rio, se permanecerem constantes, obtendo uma explicação do modelo de 99,9%, embora a abundância das espécies capturadas seja escassa, 70% relataram a presença de metais pesados, como medida de A remediação propõe o projeto e a construção de um pântano artificial baseado em zeólitos naturais para purificar 10 metros cúbicos / h com um diâmetro hidráulico de 0,8 metros.

**Palavras chaves:** Pucese; escoamento; arenito; foice zonas húmidas artificiais; metais pesados.

## Introducción

El Cantón San Lorenzo, según el GADPE (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas), está ubicado en la frontera Norte de la Provincia de Esmeraldas, al Norte limita con la República de Colombia, hacia el Sur con el Cantón Eloy Alfaro, al Este con las Provincias de Carchi e Imbabura y hacia el Oeste con el Océano Pacífico, las coordenadas geográficas del cantón oscilan desde los 78° 48' 20" hasta 78° 50' 30" longitud oeste; y, 01° 15' 30" hasta 01° 17' 40" Latitud Norte.

Con el propósito de conducir esta investigación se elaboró los siguientes objetivos.

- Elaborar un análisis de situación actual para la identificación de las causas de impacto ambiental de la minería aurífera artesanal en San Lorenzo.
- Evaluar la concentración de metales pesados en el organismo de los peces, el agua de los ríos y sedimentos, para la verificación del cumplimiento de la normativa ambiental.
- Diseñar un modelo estadístico que explique la contaminación por metales pesados en una especie de pez en un río donde se desarrolla la minería aurífera.
- Proponer una medida de control ambiental para la mitigación de los efectos de la contaminación en los ríos debido a la minería aurífera artesanal.

La importancia del proyecto radica en que alrededor del 50% de la población del cantón San Lorenzo desarrolla sus actividades diarias en el área rural, siendo el pescado el principal componente de la dieta de los habitantes; y, a esto se suma que el área rural del cantón carece de sistemas de potabilización de aguas. Por lo tanto, los ríos son la única fuente de abastecimiento de agua, en consecuencia, la contaminación de ecosistemas por metales pesados pone en alto riesgo la salud de la población de la cantidad

Según Rebolledo y col (2013), los efectos de la contaminación por actividades mineras informales son la causa de la contaminación por metales pesados en peces, sumado a la deforestación que en el año 1990-2000 y 2000-20008, tiempo en el cual se talaron un promedio de 17.282 y 12.485 ha/año, lo que indica que hay un aprovechamiento forestal, el cual se duplicó de 20.112 a 42.459 en el periodo 2007-2012

Desde el punto de vista de la abundancia relativa ( $H'$ ) comparando una estación sin contaminación, Estero Camba, y uno de los Ríos más contaminados Zapallito, se evidencia una marcada diferencia tanto en la diversidad biológica, como de riqueza.

En cuanto al impacto de los metales pesados sobre la población, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha determinado una lista de contaminantes prioritarios en la que los metales tóxicos son: arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo, (EPA, 2017); así como de enfermedades (ATSDR, 2017).

De acuerdo con la tabla 1, se observa la presencia de metales pesados en la cuenca del Río Santiago en este sentido los ríos que presentan mayor presencia de contaminación por metales pesados son Ricaurte (Río Tululbí), Wimbi, Los Ajos y Zapallito.

Es importante mencionar que esta contaminación ambiental es un hecho público y comunicacional, toda vez que en el diario El Universo del Domingo 10 de septiembre 2017, página 8 y 9, reportó la contaminación de metales pesados en la provincia de Esmeraldas, así también ECUAVISA, canal 2, en la misma fecha, en su programa VISIÓN 360, transmitió reportajes y videos de la misma problemática en la provincia de Esmeraldas.

Según Rebolledo y col (2013) Producto 8.7 sobre el informe de calidad del agua de los Cantones de San Lorenzo y Eloy Alfaro. 24 enero 2014:

El mal estado del agua (que aun en muchas comunidades utilizan para actividades cotidianas de subsistencia: beber, cocina, bañarse, lavar...) En algunas comunidades existen serias dificultades para acceder a agua potable segura, pues si bien en ocasiones recibían agua entubada en la actualidad y debido a causas diversas no disponen de la misma y se ven obligados a coger el agua del río, como es el caso de Maldonado”.

Por otra parte, desde 1993 en EEUU se inició una alternativa denominada Tratamiento Pasivo de Drenajes Mineros In Situ, sostenido por un consorcio llamado PIRAMID, del cual partimos para proponer el diseño y construcción de un Humedal Artificial a base de zeolitas naturales, que según pruebas obtenidas en laboratorio contenidas en las Tablas. 3, 4 y 5, se propone proveer de agua segura para 500 habitantes en una hora de tratamiento, este diseño permitirá la movilidad y

ensamblaje por cuanto todas sus estructuras son desmontables y se tendrá información de calidad de agua en tiempo real a un ordenador autorizado por medio de un sistema de sensores.

## **Materiales y métodos**

Utilizando el Índice Rápido de Calidad de Agua B.M.W.P (Hellawell 1978) (J. Alba-Tercedor., 1988), aplicando un sondeo ecológico en un área de explotación minera, este índice asigna un número del 1 al 10 por familia de especies y su cómputo total permite la clasificación de la contaminación, mientras más alto es el número más grave es la contaminación.

Partiendo de lo anterior, en Esmeraldas determinó que ciertas comunidades de peces estaban afectadas por metales pesados, considerando necesario que al examinar las aguas se empleen los estándares internacionales (Methods, 2012). Por otra parte, los protocolos de captura de especies en este proyecto se desarrollaron básicamente teniendo una custodia de frío constante, es decir, de la captura de los peces hasta el laboratorio para su análisis, envases para su transporte previamente rotulados.

Para la recolección de los peces se contrató a personal nativo del sector y bajo supervisión técnica se procedió a la captura en un perímetro que no excediera los 100m<sup>2</sup> de la estación que corresponde a un río de la cuenca; como herramienta se utilizó un trasmallo artesanal con una granulometría apropiada para capturar peces. Luego de su captura, los peces eran pesados y puestos en recipiente previamente rotulado; y, en cadena de frío fueron transportados hasta el laboratorio donde se efectuó el análisis respectivo, teniendo como objetivo determinar la concentración de arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc

El monitoreo se realizó desde el 2012-2017, invierno y verano, en 14 estaciones georreferenciadas seleccionadas por incidencias de minas auríferas.

Para la recolección de la muestra de aguas se tomó con una botella horizontal, Van Dorn, luego se procedió a reencauzar en botellas de 500ml, 5 por cada estación, las mismas que se rotularon y empezaron la cadena de frío y acidificación hasta el laboratorio. Con excepción del río Santiago y Wimbí, Cachaví, corresponde a primer orden y segundo orden respectivamente Del mismo modo

es importante señalar que de los demás ríos el 70%, en su mayoría son ríos de tercer, cuarto y quinto orden, este hecho facilitó la toma de muestras de aguas y sedimentos.

Los resultados obtenidos muestran que la especie más afectada es la Guaña, dado que la incidencia de metales pesados se evidenció en los dos ríos donde se capturó esta especie. Aun cuando en las especies Cagua y Barbudo no se supera de forma abrumadora los valores de referencia, será tema de futuros análisis los hallazgos encontrados.

Otro de los aspectos considerados en la metodología fue el hecho de que en las mismas estaciones donde fueron capturados los peces de la sección anterior y de preferencia en un lugar donde no hubiera tránsito de cualquier tipo, se tomaron muestras de sedimentos por medio de una draga Van Veen por cable para sedimento y se depositaban en fundas especiales con capacidad de 1 Kg, dos por estación, se rotulaban y se guardaban para análisis. Para ello se consideraron los ríos Zapallito, Los Ajos, La Boca y Cachaví, siendo en este último el único río en que se observó un exceso de concentración de cobre, según la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de remediación para suelos contaminados (Calidad-Ambiental) se puede observar la evaluación de la concentración de metales pesados en la cuenca del Río Santiago respecto a los Límites permitidos por la normativa ecuatoriana para agua dulce contemplada en la *Norma de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes: Recurso Agua* (Norma-Agua); los datos mostrados evidencian que en todos los ríos analizados existe al menos un metal pesado que excede el límite permisible; además, se puede apreciar que los ríos que presentan mayor presencia de contaminación por metales pesados son Ricaurte (Río Tululbí), Wimbi, Los Ajos y Zapallito.

## Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos que permiten estructurar el modelo estadístico

*Tabla 1: Evaluación de la concentración de metales pesados en la Cuenca del Río Santiago*

<b>Cuenca Río Santiago</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Ni</b>
<b>Límites permitidos*</b>	<b>0.18 mg/l</b>	<b>0.02 mg/l</b>	<b>0.05 mg/l</b>	<b>0.3 mg/l</b>	<b>0.025 mg/l</b>
Punto Limpio Cachaví	0.06	<b>0.15</b>	0.02	0.03	0.009
Valle de la Virgen	0.11	<b>0.04</b>	0.02	0.02	0.000
San José de Durango	0.02	<b>0.06</b>	0.02	0.00	0.000
Minas Viejas	<b>0.22</b>	<b>0.41</b>	<b>0.08</b>	0.19	0.006
La Boca	<b>0.48</b>	<b>0.14</b>	0.04	<b>0.66</b>	0.021
Ricaurte (Río Palaví)	0.06	<b>0.10</b>	0.02	0.02	0.000
<b>Ricaurte (Río Tululbí)</b>	<b>0.19</b>	<b>0.37</b>	<b>0.14</b>	<b>0.71</b>	0.002
<b>Wimbi</b>	<b>0.53</b>	0.00	<b>0.15</b>	<b>0.44</b>	<b>0.143</b>
Wimbicito	<b>0.22</b>	<b>0.09</b>	0.03	0.22	0.007
Concepcion	0.16	<b>0.19</b>	0.04	0.08	0.023
<b>Los Ajos</b>	<b>0.51</b>	<b>0.68</b>	<b>0.14</b>	<b>0.40</b>	<b>0.103</b>
Maldonado	<b>0.19</b>	<b>0.04</b>	0.06	0.09	0.004
<b>Zapallito</b>	<b>0.48</b>	<b>0.92</b>	<b>0.18</b>	<b>3.02</b>	0.015
Río Cachaví (San Antonio)	0.18	<b>0.04</b>	0.02	0.06	0.004

\* Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua (Norma-Agua)

Los hallazgos hasta aquí encontrados son el insumo para la construcción de un modelo estadístico que posibilite la caracterización de la especie de pez con mayor contaminación debido a metales pesados, que es la Gúaña, misma que puede ser hallada en uno de los ríos con mayor presencia de contaminación, el Río Zapallito, análisis que se explicará en la siguiente sección.

*Tabla 2: Concentración de Metales pesados en el Río Zapallito*

	<b>Especie</b>	<b>Río</b>	<b>Sedimento</b>
<b>Metales pesados</b>	<b>Guaña</b>	<b>Zapallito</b>	<b>Río Zapallito</b>
As	1.3	0.0025	2.5
Cd	1.5	0.0005	0.1
Cu	22	0.0270	28
Hg	0.1	0.0005	0.1
Pb	1.6	0.0025	4
Zn	42	0.1800	44

En el modelo propuesto, la variable a ser explicada es la concentración de metales pesados en la “Guaña” del Río Zapallito, en función de la concentración de metales pesados en el agua del río y el sedimento; bajo estas condiciones, el modelo planteado es de Regresión Lineal Simple obtenido mediante la utilización del software estadístico Minitab. Los resultados evidencian que con base al Valor p de las pruebas de significancia de los coeficientes, los parámetros del modelo son significativos; y, se obtuvo una alta potencia de explicación ( $R^2 \times 100\%$ ) de 99.7%, lo cual indica que el modelo es bueno.

El tema de discusión se centra en el hecho de que los datos con respecto a las otras especies estaban en su conjunto estandarizados, lo cual dificultó realizar un modelo estadístico a otra especie, esto es, tenían una variabilidad mínima, lo cual responde a la uniformidad de los procesos de explotación minera aurífera.

## **Conclusiones**

El análisis de el no cumplimiento de la normativa ambiental vigente respecto a la concentración de metales pesados en los recursos hídricos del cantón San Lorenzo son por diferentes actores citados en el presente estudio una evidencia que amerita un tratamiento urgente al impacto y

pasivo ambiental presentes en el cantón San Lorenzo en la provincia de Esmeraldas, este estudio presenta una alternativa como mecanismo de control.

La evaluación de las concentraciones de los metales pesados en las especies de peces evidenció que la Guaña del Río Zapallito presentó mayores niveles de contaminación, mientras que, en lo referente al sedimento, se pudo observar que el Río Cachaví presentó un alto nivel de cobre de alrededor de 40% sobre la normativa.

### Alternativa natural para remediación de los recursos hídricos de metales pesados

A continuación, se formaron dos columnas de lechos filtrantes para proceder a realizar el ensayo de adsorción del catión zinc <sup>+2</sup>

#### Muestra n°1

Tabla 3: Datos de la columna de adsorción, muestra 1 de zeolita

<b>ZEOLITA</b> (g)	<b>DIÁMETRO</b> (cm)	<b>ALTURA</b> (cm)	<b>VOLUMEN</b> (cm <sup>3</sup> )	<b>DENSIDAD</b> AD (g/cm <sup>3</sup> )	<b>CAUDAL</b> (cm <sup>3</sup> /h)
18,0545	1	10,02	15,85	1,13	60

Tabla 4: Datos de la columna de adsorción, muestra 1 de zeolita

#### Muestra #2

<b>MUESTRA</b> A 2 (g)	<b>DIÁMETRO</b> (cm)	<b>ALTURA</b> (cm)	<b>VOLUMEN</b> (cm <sup>3</sup> )	<b>DENSIDAD</b> AD (g/cm <sup>3</sup> )	<b>CAUDAL</b> (cm <sup>3</sup> )
18,0606	1	9,85	15,03	1,20	60

Luego de hacer el ensayo se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 5: Resultados finales de la absorción de las zeolitas**

<b>ZEOLITAS</b>	<b>TIEMPO DE RUPTURA</b>	<b>TIEMPO DE SATURACIÓN</b>	<b>MASA ABSORBIDA POR GRAMO DE ZEOLITA</b>
<b>MUESTRA 1</b>	<i>1.40 H</i>	<i>4 H</i>	<i>161 MG / Zn<sup>2+</sup></i>
<b>MUESTRA 2</b>	<i>10.0 H</i>	<i>14 H</i>	<b>813 MG / Zn<sup>2+</sup></b>

Como se observa la muestra 2 logró adsorber más del 80% del área total de su celda unitaria, lo cual se corroboró con examen de difracción de rayos X.

## Referencias

1. ATSDR. (2017). Tóxic Substances Portal. <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp>. Atlanta.
2. Bancomundial. (2016). Las tendencias de la inversión minera a nivel mundial y el caso de américa latina [www.bancomundial.org](http://www.bancomundial.org) <https://www.ritimo.org>. Las-tendencias. Nueva York
3. BCE. (2017). Banco Central del Ecuador - reporte de minería Disponible en <https://contenido.bce.fin.ec/Estadistica>. Quito: bce.
4. Bustos, F. (2016). Manual de Gestión y Control Ambiental 5ta Edición. Quito: Acierto Gráfico.
5. Calidad-Ambiental. (s.f.). Norma de Calidad Ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. Disponible en <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/39/LIBRO%20VI%20Anexo%202%20Remediacion%20de%20suelos.pdf>
6. Canovas R., C. (2013). Geology, a tool to solve current environmental: Remediation of mining in the Iberian Pyrite Belt. Iberian: Geología.
7. COA. (2017). Suplemento – Registro Oficial N° 983 - Código Orgánico del Ambiente, Disponible en: <http://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/private/asambleanacional/filesasambleanacionalnameuid-29/Leyes%202013-2017/102-ambiente/ro-cod-ambiente-ro-s-983-12-04-2017.pdf>
8. Convenioramsar. (2012). Convenio Sobre Humedales Ramsar. Disponible en: [www.ramsar.org](http://www.ramsar.org). <https://youtu.be/ynw61DCOfs>. Ramsar: UNESCO.
9. Dante, J. (2016). Diseño del sistema de tratamiento Pasivo de filtraciones provenientes del depósito e material adecuado d eminería la zanja. España: Tesis de maestría p18-20.
10. Domínguez, M. (2013). La Minería a Gran Escala en Ecuador: Una Perspectiva de desarrollo. Revista E+E ESPAÑA Y EMPRESA: Año 3 # 1, p 18.

11. EPA. (2017). Heattly Watersheds Protection. <https://epa.gov/hwp>. Pennsylvania. ERMISA. (2006). Remediación Pasiva In Situ de Drenajes Minero/Industrial. ERMITE,P.6-8.
12. European-Commission. (2006). Legislation on heavy metals in feed and food. Obtenido de <https://ec.europa.eu/jrc/en/eurl/heavy-metals/legislation>
13. Group (2014). Remediación Ambiental [www.Tolsa.com](http://www.Tolsa.com).remediación ambiental.
14. Hallberg, J. y. (2005). The importance of biological oxidati6n of iron in the aerobic cells of the Jane pilot passive treatment system. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969704006242>, 67-72.
15. Indeglia, P. A. (2012). Anuario de investigaciones y desarrollo. PUCESE. Esmeraldas: Don Bosco.
16. J. Alba-Tercedor., A. S.-O. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). Asociación Española de Limnología.Disponible en: [www.cienciaviva.pt](http://www.cienciaviva.pt).Alba-Tercedor1988., p.3.
17. Ley-Gestión-Ambiental. (2004). Congreso Nacional Registro Oficial Suplemento 418 de 10-sep-2004. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/>
18. Methods, S. (2012). Examination of water and wastewater.Dsiponible en: <https://revista.ucm.es/index.php/ANHM/article/viewFiel/40440/38790>.
19. Minera(2015) Reglamento General de la Ley Minera a. [www.minería.gob.ec/uploads.2015/08](http://www.minería.gob.ec/uploads.2015/08)
20. Morante, F. (2014). Zeolitas Naturales del Ecuador: Geología, caracterización y aplicci6n 1 ra E dici6n. Guayaquil
21. Norma-Agua. (s.f.). Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua. Disponible en <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
22. Pezo, R. H. (1992). Determinaci6n de metales pesados bioacumulable en especies icticas de consumo humano en la amazonia Peruana. Folia Amazonica, Volumen 4 p 35.
23. Pushini, L. (2017). Drenajes anoxicos calizoz. Disponible en: <https://es.slideshare.net>
24. Rebolledo (2013). La actividad minera en el norte de Esmeraldas-Ecuador. Anuario de investigaci6n y desarrollo. PUCESE. Esmeraldas: Don Bosco.

25. Salas, J. J. (2017). Jornadas Técnica Depuración de Aguas Residuales. Diseño, construcción y explotación de humedales artificiales en
26. Pequeños municipios .Disponible en: [www.jornadashumedales.com](http://www.jornadashumedales.com) :
27. Senagua. (2012). Muestra de Calidad del Agua en el río Cayapas. Disponible en [www.agua.gob.ec](http://www.agua.gob.ec)
28. Telégrafo. (20 de Septiembre de 2016). Economía. Minería generará \$ 8000 MM de dólares hasta 2025, pág. 1.
29. Universo (2017). Metales Pesados son una amenaza según informe,p8-9. Guayaquil: El Universo.

## References

1. ATSDR. (2017). Toxic Substances Portal. <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/index.asp>. Atlanta
2. Bancomundial. (2016). Trends in global mining investment and the case of Latin America [www.bancomundial.org](http://www.bancomundial.org) <https://www.ritimo.org>. Las-tenencias. New York
3. ECB. (2017). Central Bank of Ecuador - mining report Available at <https://contenido.bce.fin.ec/Estadistica>. Quito: bce.
4. Bustos, F. (2016). Environmental Management and Control Manual 5th Edition. Quito: Graphic Success.
5. Environmental Quality. (s.f.). Environmental Quality Standard of the soil resource and remediation criteria for contaminated soils. Available in. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/39/LIBRO%20VI%20Annex%202%20Remediation%20de%20suelos.pdf>
6. Canovas R., C. (2013). Geology, a tool to solve current environmental: Remediation of mining in the Iberian Pyrite Belt. Iberian: Geology.
7. COA. (2017). Supplement - Official Registry No. 983 - Organic Code of the Environment, Available at: <http://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/private/asambleanacional/filesasa>

- mbleanacionalnameuid-29/Leyes%202013-2017/102-ambiente / ro-cod- Ambiente-ro-s-983-12-04-2017.pdf
8. Convenramsar. (2012). Ramsar Wetlands Convention. Available at: [www.ramsar.org](http://www.ramsar.org). <https://youtu.be/ynw61DCOfs>. Ramsar: UNESCO.
  9. Dante, J. (2016). Design of the Passive treatment system of leaks from the deposit and adequate material of the trench mining. Spain: Master's thesis p18-20.
  10. Domínguez, M. (2013). Large-scale Mining in Ecuador: A Development Perspective. E + E ESPAÑA AND COMPANY Magazine: Year 3 # 1, p 18.
  11. EPA. (2017). Heattly Watersheds Protection. <https://epa.gov/hwp>. Pennsylvania ERMISA (2006). In Situ Passive Remediation of Mining / Industrial Drains. ERMITE, P.6-8.
  12. European Commission. (2006). Legislation on heavy metals in feed and food. Retrieved from <https://ec.europa.eu/jrc/en/eurl/heavy-metals/legislation>
  13. Group (2014). Environmental Remediation [www.Tolsa.com/remediaciónmedia](http://www.Tolsa.com/remediaciónmedia).
  14. Hallberg, J. and. (2005). The importance of biological oxidation of iron in the aerobic cells of the Jane pilot passive treatment system. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969704006242>, 67-72.
  15. Indeglia, P. A. (2012). Research and development yearbook. PUCESE. Esmeraldas: Don Bosco.
  16. J. Alba-Tercedor., A. S.-O. (1988). A quick and simple method to assess the biological quality of running waters based on that of Hellawell (1978). Spanish Association of Limnology. Available at: [www.cienciaviva.pt](http://www.cienciaviva.pt).Alba-Tercedor1988., P.3.
  17. Law-Environmental Management. (2004). National Congress Official Registry Supplement 418 of 10-Sep-2004. Available at: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/>
  18. Methods, S. (2012). Examination of water and wastewater. Available at: <https://revista.ucm.es/index.php/ANHM/article/viewFiel/40440/38790>.
  19. Mining (2015) General Regulations of the Mining Law a. [www.minería.gob.ec/uploads.2015/08](http://www.minería.gob.ec/uploads.2015/08)

20. Morante, F. (2014). Natural Zeolites of Ecuador: Geology, characterization and application 1st Edition. Guayaquil
21. Norma-Agua. (s.f.). Environmental quality and effluent discharge standard: water resource. Available at <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
22. Pezo, R. H. (1992). Determination of bioaccumulable heavy metals in fish species for human consumption in the Peruvian Amazon. Amazon Folia, Volume 4 p 35.
23. Pushini, L. (2017). Chalky anoxic drains. Available at: <https://es.slideshare.net>
24. Rebolledo (2013). Mining activity in northern Esmeraldas-Ecuador. Research and development yearbook. PUCESE. Esmeraldas: Don Bosco.
25. Salas, J. J. (2017). Wastewater Treatment Technical Conference. Design, construction and exploitation of artificial wetlands in
26. Small municipalities. Available at: [www.jornadashumedales.com](http://www.jornadashumedales.com):
27. Senagua. (2012). Sample of Water Quality in the Cayapas River. Available at [www.agua.gob.ec](http://www.agua.gob.ec)
28. Telegraph. (September 20, 2016). Economy. Mining will generate \$ 8,000 million dollars until 2025, p. 1.
29. Universe (2017). Heavy metals are a threat according to report, p8-9. Guayaquil: The Universe.

©2019 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).