

## **PREDICCIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS, PLOMO Y CADMIO EN EL RÍO RAMIS-CUENCA HIDROGRÁFICA TITICACA, PUNO-PERÚ**

### *ECOTOXICOLOGICAL PREDICCTION OF CHEMISTRY-PHYSICAL PARAMETERS, LEAD AND CADMIUM IN THE RAMIS RIVER-TITICACA WATERSHED, PUNO-PERU*

**<sup>1</sup>George Argota Pérez, <sup>2</sup>Edmundo Miranda Paca & <sup>3</sup>Humberto Argota Coello <sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Ecotoxicología, Grupo de Estudios Preclínicos, Centro de Toxicología y Biomedicina (TOXIMED). Universidad de Ciencias Médicas. Santiago de Cuba, Cuba. C.E. [george.argota@gmail.com](mailto:george.argota@gmail.com)

<sup>2</sup>Programa de Maestría en Ecología, Mención Ecología y Gestión Ambiental (Promoción 2012), Escuela Postgrado. Universidad Nacional del Altiplano. Departamento de Puno. C.E.

<sup>3</sup>Departamento Técnico. Laboratorio de Minerales - Geominera Oriente. Santiago de Cuba, Cuba. C.E.

#### **RESUMEN**

La contaminación de las aguas en cuencas hidrográficas, representa un grave peligro tanto para los ecosistemas como a la salud pública, siendo la misma en la actualidad una preocupación de seguridad nacional en varios países. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la predicción ecotoxicológica de parámetros físico-químicos de calidad ambiental de las aguas, así como el efecto de toxicidad por exposición a plomo y cadmio mediante bioensayo piloto con la especie *Gambusia punctata* para el río Ramis-cuenca hidrográfica Titicaca en Puno, Perú. El estudio se realizó desde enero hasta junio del 2013. Como parámetros físico-químicos se determinó la conductividad eléctrica, dureza total, alcalinidad total, sólidos totales, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno. Con todos los parámetros se realizó una predicción ecotoxicológica mediante el programa Gecotox, además de determinarse el efecto de toxicidad aguda de las aguas a través de la especie como modelo experimental. Con esta especie fue determinado conjuntamente, el efecto bioacumulativo en las branquias e hígado, niveles de plomo y cadmio, los cuales se trataron vía ácida y cuantificados mediante espectrometría por plasma inductivamente acoplado con vista axial. Se obtuvo como resultados que entre los meses no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) en cuanto a las variaciones de los parámetros. Al realizarse un análisis de componentes principales, alcalinidad total, dureza total y demanda química de oxígeno, tuvieron un gran peso dentro del sistema, explicando el 82,89 % del peso y la varianza. El programa Gecotox, indicó riesgo alto para las aguas en la zona de convergencia residual ambiental. Las propias aguas presentaron un efecto de toxicidad aguda letal muy cercano al 50% de dilución total. Finalmente, el plomo y cadmio mostraron capacidad bioacumulativa. Se concluyó que las aguas del río Ramis, presentaron efectos ecotoxicológicos.

**Palabras clave:** Bioensayo, cadmio, cuenca hidrográfica titicaca, *Gambusia punctata*, parámetros físico-químicos, plomo, predicción ecotoxicológica, Puno, río ramis.

#### **ABSTRACT**

The contamination of the water in the hydrographic basins represents a great danger not only for the ecosystems but also for the public health, what moves it a seniors concern for the national security of many nations. The objectives of the fallow research work was to assess the ecotoxicological prediction of the physical-chemical parameters of the quality of the water and the effect of toxicity due to exposure to lead and cadmium by means of a pilot biotest with the *Gambusia punctata* specie in Ramis river basin- Titicaca watershed in Puno, Perú. The study was carried out from January to June, 2013. The electric conductivity, total hardness, total alkalinity, total solids, dissolved oxygen, biochemical demand of oxygen and the chemical demand were determined as parameter of the environmental quality of the water. With these parameters an eco-toxicological prediction was conducted by means of Gecotox program together with the effect of the toxicity of the water by means of the sample species. With same specie the bioacumulative effect in the gills and liner as target organs of the lead and cadmium was determined. As results it was found not statistically relevant differences in the variation of the parameters. A closter analysis was conducted and it was also found that the total alkalinity, total hardness and chemical demand of oxygen had a great impact within the system, which accounts for an 82.89% of varians. The Gecotox program indicated a high risk for the waters in the sewage area. These waters presented an effect of high total toxicity close to 50 % of total dilution. The lead and cadmium found in the waters have bioacumulative capacity. The overall conclusion is the waters of the main rivers of hydrographic basins Ramis presented ecotoxicological effects.

**Key words:** Biotest, cadmium, watershed titicaca, *Gambusia punctata*, physical-chemical parameters, lead, Ecotoxicology prediction, puno, river ramis.

## INTRODUCCIÓN

En el campo de la ecotoxicología los cambios biológicos expresados por organismos, poblaciones o comunidades sirven como señales de la posible alteración que está sufriendo un determinado ecosistema dada las actividades de origen antropogénico. Cada nivel de respuesta biológica, representa una señal integrada de los niveles de contaminación en un área específica y de esta manera, sirve como indicador del riesgo toxicológico a que una población natural está siendo expuesta (Orrego *et al.*, 2005).

A nivel de ecosistema acuático, los peces han sido muy utilizados tanto en los protocolos de evaluación toxicológico como ser considerados especies centinelas, ya que ellos éstos se ubican en la cumbre de la cadena trófica y por tanto, pueden afectar la salud humana aumentando su importancia para los estudios ambientales (Zhou *et al.*, 2008). En el caso de la especie *Gambusia punctata*, es un pez perteneciente a la familia *Poeciliidae*, el cual habita de forma natural en los ríos cubanos y donde ha indicado la exposición ambiental de elementos tóxicos como son los metales pesados en las aguas (Argota *et al.*, 2012).

Los metales son elementos naturales que suelen encontrarse distribuidos en el ambiente a muy bajas concentraciones; y según su forma física como química, pueden movilizarse o transportarse a través de las membranas biológicas hacia los

tejidos (Lentech, 2013). Entre los metales de mayor importancia toxicológica y ecotoxicológica en los ambientes acuáticos figuran el mercurio (Hg), arsénico (As), cromo (Cr), plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni) y zinc (Zn) entre otros, pues para la mayoría de los organismos la exposición por encima de una concentración umbral puede ser extremadamente tóxica (Casteñé *et al.*, 2003). En el caso particular del plomo y cadmio su alto riesgo para el medioambiente, es debido a que presentan gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación, por lo que los seres vivos son incapaces de metabolizarlos, de modo que se genera una contaminación por bioacumulación y un efecto multiplicador en la concentración del contaminante en la cadena trófica; alcanzando altos niveles de toxicidad y eficiente absorción dada la elevada afinidad química por el grupo sulfidrilo de las proteínas (Mancera, 2006). Es necesario considerar que para evaluar los impactos antropogénicos que se generan sobre las cuencas hidrográficas, resulta de extraordinaria relevancia poder utilizar organismos propios o naturales de los sistemas ambientales, ya que ellos informan sobre los efectos tanto directos como indirectos de las descargas residuales. Asimismo, puede considerarse utilizar éstos organismos pero en condiciones controladas de variables como modelos biológicos experimentales, a pesar que los mismos no sean reconocidos por las agencias

## PREDICCIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Enero - Junio 2009

reguladoras internacionales como biomodelo. Tal es el caso de la especie *Gambusia punctata* pero es importante destacar que la misma, ha sido utilizada en varios estudios ecotoxicológicos (Argota *et al.*, 2012 & Argota *et al.*, 2013).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la predicción ecotoxicológica de parámetros físico-químicos de calidad ambiental de las aguas, así como el efecto de toxicidad por exposición a plomo y cadmio mediante bioensayo piloto con la especie *Gambusia punctata* para el río Ramis-Cuenca Hidrográfica Titicaca en Puno, Perú.

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### *Ámbito de estudio*

El estudio se realizó en el río principal Ramis (3815 m.s.n.m), que representa el más largo de la Cuenca Hidrográfica Titicaca ubicado en la Región de Puno, Perú (PNUM, 2003). Fue considerado un monitoreo de tipo puntual, comprendido desde enero a junio del 2013, siendo realizado con frecuencia mensual, dada las fluctuaciones de parámetros físico-químicos de calidad del aguas que se efectúa entre los períodos de lluvia y poca lluvia.

#### *Población y muestra*

Del río principal, solo se consideró la zona de desembocadura, ya que ésta representa la convergencia final sobre la cual afluye la sumatoria de los residuales tributarios.

Dicha zona, es un área ambiental con gran relevancia debido a su comportamiento de mezcla y punto final de contribución contaminante al Lago Titicaca.

Las muestras ambientales de primer orden analizar fueron las aguas superficiales, las que se tomaron hasta 50cm. de profundidad, siendo importante señalar su poca transparencia.

#### *Análisis de variables*

Durante el período de estudio se tomaron 6 muestras de agua, las cuales fueron analizadas según los valores de conductividad eléctrica (CE), alcalinidad total (AT), dureza total (DT), pH, sólidos totales (ST), oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y demanda química de oxígeno (DQO). Los parámetros físico-químicos fueron medidos mediante el analizador multiparamétrico HI 9828 (HANNA) *in situ*. En el caso de la DQO fue determinada, según el método del dicromato empleándose Kits provenientes de HYDROCHEC/WPA, mientras que la DBO<sub>5</sub>, fue realizada por el método respirómetro de Warburg. Con los parámetros medidos se realizó, una predicción de riesgo utilizando el programa GECOTOX: Analizador multifuncional de riesgo ecotoxicológico para residuales ambientales (República de Cuba. Centro Nacional de Derecho de Autor: CENDA, Código 2027 - 2012).

Para analizar el potencial toxicológico ambiental se realizó además, un bioensayo

de toxicidad aguda de tipo estático utilizando la especie *Gambusia punctata* en condiciones experimentales controladas: tiempo de permanencia de ejemplares durante 7 días, temperatura (22,6°C), 18 horas de fotoperíodo de luz y alimentación *ad libitum* con el artrópodo *Artemia salina* sp. Para el experimento, fueron establecidas dos réplicas con 25 ejemplares cada una, determinándose como parámetro la toxicidad aguda (CL<sub>50</sub>), mediante el método *Probit Analysis Program*, versión 1.5 (United Nations, 2005), el cual se describe como:

$$p = (r/n) \times 100$$

*Dónde:*

- Número de individuos (*n*),
- Número de organismos muertos o afectados (*r*).
- Porcentaje de efecto (*p*).

La representación gráfica de *p* vs. *d*, o relación dosis-respuesta, genera una curva parabólica que muchas veces presenta dificultades en la construcción de un modelo lineal. Una forma de abordar este problema es transformando *d* a una escala logarítmica ( $X = \log_{10}(d)$ ), lo cual mostrará una relación dosis-respuesta de forma *S* o sigmoidea normal.

Posteriormente, mediante las tablas de Probit se transforma *p* (porcentaje de efecto) a unidades probit (buscando en una tabla de distribución normal el valor de *z* correspondiente a una probabilidad acumulada igual a *p* y sumándole a continuación cinco unidades), se obtiene

una distribución de puntos en un sistema bivariado de tipo lineal, los cuales se procesan según un análisis de regresión típico.

Vale la pena enfatizar que el Probit es una transformación sobre la tasa de efecto (*p*) y la ecuación generada es de la forma:

$$y = a + bx$$

*Dónde:*

- *y* (expresado en unidades probit) =  $z + 5$
- *z* = variable normal estándar =  $z_0$  tal que la Prob ( $z \leq z_0$ ) = *p*
- *a* y *b* son los estimadores de los parámetros de la recta de regresión
- Cuando *p* = 50% entonces *y* = 5, por tanto:  $x_5 = \log_{10} CL_{50} = 10^{-x_5}$

#### *Determinación de plomo y cadmio*

La determinación analítica de los elementos fue realizada tanto en las aguas como branquias e hígado.

El análisis de los metales en el agua se realizó según los procedimientos recomendados por la Norma ISO 11885: (1996). *Calidad del agua*.

Para la extracción de los órganos, la especie fue colocada en posición dorsal y mediante la utilización de dos pinzas de disección lisas, fueron abiertos los opérculos para extraer los arcos branquiales. En esta misma posición, se realizó un corte con una tijera curva para extraer el hígado.

Los órganos una vez extraídos fueron tratados individualmente en forma de pool y

## PREDICCIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Enero - Junio 2009

colocados en estufa a 70°C durante 48 hrs. para su secado total (Argota *et al.*, 2012).

Las muestras de cada órgano fueron trituradas y homogenizadas utilizando un mortero de ágata (USEPA, 2000).

Para el análisis se pesaron en balanza analítica 0,5 g de las muestras, colocándose las mismas en vasos de precipitados de 250 mL.

Se adicionaron 5 mL de una mezcla de ácidos HClO<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (7:1) y 15 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado y la digestión se efectuó en una plancha de calentamiento a 80 °C

hasta la evaporación total de la mezcla de ácidos. Se añadió nuevamente 5 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado y se calentó hasta la aparición de sales húmedas.

Finalmente, se trasvasó cuantitativamente a frasco volumétrico de 25 mL con ayuda de una disolución de ácido nítrico 0,7 Molar determinándose los contenidos de Pb y Cd mediante espectroscopia por plasma inductivamente acoplado con vista axial (ICP-AES) perteneciente a la firma alemana Spectro-Arco, según las características instrumentales (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Características instrumentales. Laboratorio de Minerales. Santiago de Cuba, Cuba. Septiembre 2013.

Parámetros	Condiciones
Tipo de nebulizador	Meinhard (concéntrico)
Frecuencia	27 MHz
Energía del plasma	1.4 KW
Velocidad de flujo del gas formador del plasma	18.8 L/min
Preflujo	2 mL/min
Velocidad de bombeo	15 rpm
Tiempo de integración	3 seg
Ranura de entrada	25 µm
Graticula	2400 líneas /min

Con las determinaciones de plomo y cadmio en las muestras de agua y tejidos se calculó el factor de bioconcentración (BCF, según siglas en inglés) para cada elemento. Este factor o cociente, relaciona la concentración del elemento en el tejido entre la concentración del elemento en el medio. Para el caso particular de este estudio, fue realizado una sumatoria de cada metal en los tejidos entre la

concentración inicial determinada en la muestra de agua.

### ***Bioética en la investigación***

La eutanasia para la especie, consistió en preparar bolsas esterilizadas con hielo las cuales se depositaron en diferentes recipientes de cristal con agua tratada, procurando que durante la inmersión de los

ejemplares, fueran tranquilizados por hipotermia inmediata inhibiéndose toda función biológica que permita finalmente, realizar la disección.

#### *Análisis de los datos*

Para el análisis y comparación de los parámetros físico-químicos se utilizó el programa estadístico *Statgraphis Plus 5.1* (Copyright 1994 – 2001). La comparación estuvo referida a un ANOVA. Las diferencias fueron consideradas significativas con valor de  $P \leq 0.05$ .

**Cuadro 2.** Parámetros físico – químicos de calidad ambiental de agua. Laboratorio de Minerales. Santiago de Cuba-Cuba. Septiembre 2013.

Meses	CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	AT (mg/L)	DT (mg/L)	pH	ST (mg/L)	OD (mg/L)	* DBO <sub>5</sub> (mg/L)	* DQO (mg/L)
enero	142.2	160	220	7.0	543.33	5.1	22	112
febrero	152.3	212	200	7.0	553.33	1.5	11.2	132
marzo	150.8	228	272	6.9	473.33	2.7	5.59	247
abril	138.9	220	300	6.8	560	1.0	39	312
mayo	142.7	212	312	6.9	543.33	1.1	16	332
junio	140.5	220	340	6.5	590	1.2	15	432
<b>Referencia</b>	<b>500</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>6.5-8.5</b>	<b>500</b>	<b>5.0</b>	<b>3.0</b>	<b>15.0</b>

\* Fueron medidos en condiciones de laboratorio.

**Cuadro 3** Análisis de varianza y contraste múltiple de rango de parámetros entre los meses.

Fuente	Sumas cuadrados	de	Gl.	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	26238.0		5	5247.59	0.15	0.9799
Intra grupos	1.50206E6		42	35763.4		
<b>Total (Corr.)</b>	1.5283E6		47			
<b>Método: 95.0 porcentaje LSD</b>						
Meses	Frecuencia	Media	Grupos homogéneos			
enero	8	151.454	x			
febrero	8	158.666	x			

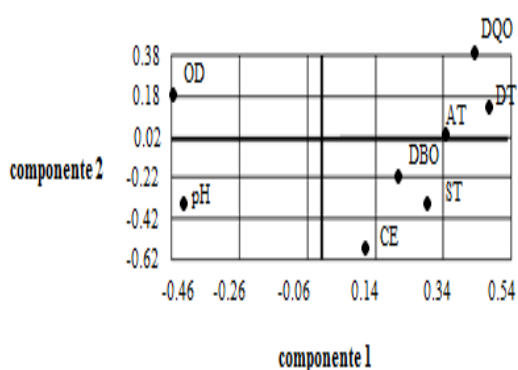
# PREDICCIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Enero - Junio 2009

marzo	8	173.29	X
abril	8	195.724	X
mayo	8	197.212	X
junio	8	218.15	X

Con los parámetros determinados se realizó, un análisis de componentes principales para conocer el peso y variabilidad de los mismos dentro del sistema durante el periodo estudiado (Figura 1).

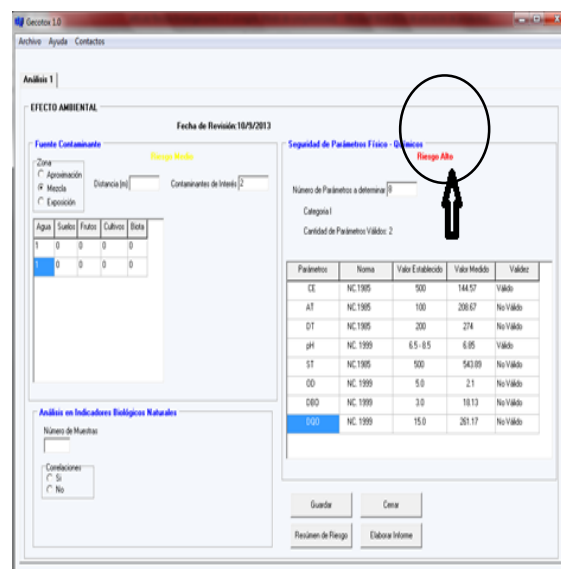
Según esta figura, alcalinidad total, dureza total y demanda química de oxígeno tuvieron un gran peso dentro del sistema, explicando el 82,89 % de la varianza.



**Figura 1.** Análisis de componentes principales.

## Evaluación de la predicción de riesgo mediante el programa GECOTOX.

La predicción de riesgo ambiental realizado por el programa Gecotox, el cual indicó que los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas en la zona de convergencia ambiental generan un riesgo alto.



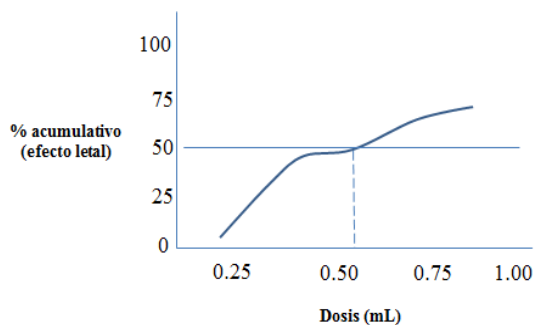
**Figura 2.** Predicción de riesgo ambiental. Laboratorio de Ecotoxicología. Santiago de Cuba, Cuba. Septiembre 2013.

Fuente: George Argota Pérez (CENDA: 2027 – 2012).

## Evaluación de la toxicidad por exposición a plomo y cadmio mediante el modelo Gambusia punctata.

El procedimiento Probit permite encontrar estimadores *m*-verosímiles de parámetros de regresión y de tasas naturales de respuesta para ensayos biológicos cuéntales, analizando porcentajes de efecto vs. dosis dentro del marco de la regresión. Adicionalmente, hacen dos pruebas de bondad de ajuste: Pearson y Log-Likelihood Ratio. La figura 3, muestra el comportamiento de la curva dosis-respuesta según los efectos de dilución (tratamientos:

1/4, 2/4, 3/4 y 0 de dilución), dada las mezclas de muestras durante el periodo de estudio, cuya  $CL_{50}$  (número de organismos: equivalente % acumulativo), superó ligeramente al 50% de dilución.



**Figura 3.** Curva promedio de la dosis-respuesta ( $CL_{50}$ ) en la especie *Gambusia punctata*. Laboratorio de Ecotoxicología. Santiago de Cuba, Cuba. Septiembre 2013.

El Cuadro 4, indica los niveles de plomo y cadmio en las muestras de aguas, los órganos diana branquias e hígado de la especie *Gambusia punctata*, así como el factor de bioconcentración, donde éste último señaló que el cadmio (0.95) presentó mayor valor que el plomó (0.81), por cuanto debió tener alta afinidad por los tejidos biológicos según las condiciones físico-químicas del agua determinada.

**Cuadro 4.** Niveles de plomo y cadmio en agua y la especie *Gambusia punctata* (ppm). Laboratorio de Ecotoxicología. Santiago de Cuba, Cuba. Septiembre 2013.

metales pesados	agua	órganos diana				BCF
		branquias	*	hígado	*	
Pb	0.26 ± 0.03	0.13 ± 0.04	0.011-0.012	0.08 ± 0.03	ND	0.81
Cd	0.22 ± 0.02	0.11 ± 0.02	0.017-0.019	0.10 ± 0.01	ND	0.95

**Leyenda:** (\*) referencia ambiental (Argota et al., 2012c).

**ND:** no detectado.

**BCF:** factor de bioconcentración.

Puede expresarse que como parámetros de calidad de agua se entiende, lo que es propio de la composición de los cuerpos receptores quedando englobados dentro de sí, los parámetros físico-químicos siempre que los mismos se encuentren dentro de los rangos establecidos y por ende, libre de influencia antropogénica.

La determinación de parámetros se realiza en general para tener un criterio evaluativo de la calidad de los cuerpos de agua, independientemente del tipo de uso. Es por ello, que preservar el equilibrio dinámico de los ecosistemas acuáticos, debe ser una de las principales razones de la sostenibilidad ambiental. En tal sentido, monitorear las fluctuaciones de parámetros físico-químicos indicarán en cuanto un cuerpo de agua receptor está siendo perturbado, por lo que las determinaciones realizadas en este estudio generalmente superaron el valor establecido según la norma utilizada, que para este particular fue la referencia internacional.



## PREDICCIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Enero - Junio 2009

Según los parámetros que justificaron el mayor peso y variabilidad dentro del sistema se encontró la alcalinidad total, pudiendo mencionarse que sobre ésta influyen grandes concentraciones de grupos hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos fundamentalmente de elementos como  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , donde se conoce desde estudios remotos realizados por Metcalf (1994), que los más frecuentes son los bicarbonatos de  $\text{Ca}^+$  y  $\text{Mg}^+$ . Cuando los valores de alcalinidad son elevados y superan el límite establecido o permitido por las normas, ello puede traer consigo según Mitchelmore (1998), daños en el material genético de los organismos acuáticos incluyendo la muerte celular.

Los elementos catiónicos mencionados en la alcalinidad total, justifican que la dureza total igualmente estuviera presente como parámetro de peso dentro del sistema. Según Alfaro (1996), la dureza total de las aguas, está dada por la concentración de cationes metálicos divalentes en solución, siendo los más abundantes precisamente el  $\text{Ca}^+$  y  $\text{Mg}^+$ , aunque pueden encontrarse otros en pequeñas cantidades como el  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^+$  y  $\text{Al}^+$ . En este estudio los valores obtenidos señalaron la posible existencia de aguas duras.

En cuanto a la demanda química de oxígeno, todos los valores superaron el valor establecido, lo cual indica que existen condiciones de oxidación-reducción sobre la materia orgánica, consumiéndose niveles elevados de oxígeno, siendo evidenciado en

los valores obtenidos por este último parámetro.

El riesgo alto indicado por el programa Gecotox, señaló que si bien es importante conocer como es el comportamiento individual de cada parámetro y su posible implicación en el ecosistema, lo más relevante es conocer que cualquier parámetro puede comportarse como una variable influyente sobre otro, así como otros parámetros pueden influir con cierta variabilidad, aun cuando cualquier parámetro pueda estar en el valor o rango permisible por la norma a utilizar.

Considerando lo anterior, el programa Gecotox realizó un análisis de efecto matricial por interacción de todos los parámetros comparando el valor obtenido con el establecido para informar el tipo de riesgo ambiental que presentó el sistema, siendo éste de clasificación alto. La información fue corroborada con el comportamiento de la curva dosis-respuesta, la cual indicó un efecto de toxicidad inmediata o aguda con un 50% aproximado de dilución, informado que las cargas contaminantes generadas a las aguas del río no parecen tener ningún tipo de tratamiento o si existen los mismos son deficientes.

En cuanto a los metales pesados presentes en las aguas se encontró plomo y cadmio. Al realizar un bioensayo piloto con la especie *Gambusia punctata*, este indicó que los valores de los parámetros físico-químicos determinados mostraron

condiciones de biodisponibilidad, lo cual justificó la presencia de ambos elementos en las branquias e hígado.

López (2005), define el término biodisponibilidad como la capacidad de un elemento para pasar de un compartimento cualquiera a un ser vivo. Los valores del factor de bioconcentración indicaron que el cadmio fue el elemento de mayor afinidad para acumularse en los tejidos de la especie. Según Lozano *et al.*, (2004), el cadmio tiene efecto inhibitorio o puede producir supresión de la inmunidad, así como en la síntesis de ácidos nucleicos. En las células, este metal se une a la metalotioneína, proteína que contiene 26 grupos sulfidrilos libres por molécula, debido a la gran proporción de residuos de cisteína. En los vertebrados un aumento en la concentración de éstas se debe a un incremento en los niveles de contaminantes y así, se ha demostrado en ambientes naturales (Hernández *et al.*, 2006 & Álvarez *et al.*, 2008).

En el caso del plomo, a pesar que comparativamente fue menor el BFC, puede considerarse el mismo como alto donde Norberg (2009), menciona que el Pb ha sido el metal tóxico más extendido y presente en casi todos los compartimentos ambientales. Además, señala que bloquea la transmisión del impulso nervioso y la liberación de acetilcolina. Posee gran afinidad por las mitocondrias e inhibe la fosforilación oxidativa. Su exposición produce anemia como resultado de dos efectos básicos

relacionados con la disminución de la longevidad de los glóbulos rojos y la inhibición de enzimas que intervienen en la síntesis de hemoglobina.

## CONCLUSIONES

Según las determinaciones de parámetros físico-químicos y de metales pesados realizadas se predijo que las aguas del río principal Ramis de la Cuenca Hidrográfica Titicaca presentaron efectos ecotoxicológicos.

## AGRADECIMIENTOS

A la Consultora Ambiental S&T. Departamento de Puno – Perú, por su gestión en el trabajo realizado de campo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro C. 1996. Contaminación del agua I. Programa de capacitación en gestión ambiental y ecología. U.A.S.L.P. Gobierno del Estado de S.L.P. - INE – SEMARNAP.
- Álvarez T., Mendoza D., Moreno R. & Gold G. 2008. Thiol peptides induction in the seagrass *Thalassia testudinum* (Banks ex König) in response to cadmium exposure. *Aquat Toxicol.* 86(1):12-9.
- Argota G. & González Y. 2013. Determinación enzimática en órganos dianas por exposición a metales pesados en la *Gambusia punctata*

## PREDICCIÓN ECOTOXICOLÓGICA DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Enero - Junio 2009

- (*Poeciliidae*). MEDISAN, Vol. 17 No. 2. ISSN 1029-3019.
- González Y., Argota H., Fimia R. & Iannacone J. 2012. Desarrollo y bioacumulación de metales pesados en *Gambusia punctata* (*Poeciliidae*) ante los efectos de la contaminación acuática. REDVET Rev. electrón. vet. Volumen 13 N° 05B. ISSN 1695-750.
- Iannacone J. & Eguren G. 2012 b. Proteínas totales y factor de bioconcentración por exposición a metales en la *Gambusia punctata* (*Poeciliidae*). MEDISAN, Vol. 16, No. 11. ISSN 1029-3019.
- Argota H., Larramendi D., Mora Y., Fimia R. & Iannacone J. 2012c. Histología y química umbral de metales pesados en hígado, branquias y cerebro de *Gambusia punctata* (*Poeciliidae*) del río Filé de Santiago de Cuba. REDVET Rev. Electrón. vet. Vol. 13, No 05B. ISSN 1695-7504.
- Castañé M., Topalián L., Cordero R. & Salibián A. 2003. Influencia de la especiación de los metales pesados en el medio acuático como determinante de su toxicidad. Rev Toxicol.; 20:13-8.
- Hernández J., Garbisu C., Becerril M., Barrutia O., García J., Zhao J. & Mcgrath P. 2006. Synthesis of low molecular weight thiols in response to Cd exposure in *Thlaspi caerules* cens. Plant Cell Environ. 29(7):1422-9.
- López M. & Grau M. 2005. Metales pesados, Materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de los pastos de la España peninsular. II Resultados por Provincias. Ministerio de Educación y Ciencia e Instituto Nacional de Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Lozano G., Carmen R., Gutiérrez A., Machín R. & Hardisson A. 2004. El cadmio como contaminante alimentario. Alimentaria. 350:41-6.
- Mancera J. & Álvarez R. 2006. Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. Acta Biológica Colombiana. 11 (1): 3-23.
- Metcalf J. & Eddy. 1994. Ingeniería, tratamiento y disposición de aguas residuales. Editorial Mc Graw Hill. México.
- Mitchelmore L. & Chipman K. 1998. DNA strand breakage in aquatic organisms and the potential value of the comet assay in environmental monitoring. Mutat Res 399:135-147.
- Norberg F. 2009. Historical perspective on cadmium toxicology. Toxicol Appl Pharmacol. 238(3):192-200.
- Orrego R., Moraga G., González M., Barra R., Valenzuela A., Burgos A. & Gavilán F. 2005. "Reproductive,

- physiological, and biochemical responses in juvenile female Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to sediment from pulp and paper mill industrial discharge areas." *Environmental Toxicology and Chemistry* 24(8).
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNMD). 2003. CEDEFOA-PELT. La Paz.
- UNITED NATIONS. 2005. Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS). Primera ed. revisada, ST/SG/AC.10/30/Rev.1. New York y Geneva. 526 pp.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2000. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories. Volume 1. *Fish Sampling and Analysis*. Third Edition.
- Zhou Q., Zhang J., Fu J., Shi J. & Jiang G. 2008. Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Anal Chim Acta*. 606(2):135-50.