

PRESENCIA DE METALES PESADOS EN LA BIOTA ACUÁTICA (*Schoenoplectus tatora* y *Orestias* sp.) EN LAS DESEMBOCADURAS DE LOS RÍOS RAMIS E ILLPA DE LA RESERVA NACIONAL DEL TITICACA

PRESENCE OF HEAVY METALS IN THE AQUATIC BIOTA (*Schoenoplectus tatora* and *Orestias* sp.) IN
THE MOUNTAINS OF THE RIVERS RAMIS AND ILLPA OF THE TITICACA NATIONAL RESERVE

Liliam Elizabeth Calcina Rondán¹, Froilan Rodolfo Huaraya Chambi²

(1) Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa

(2) Universidad Católica de Santa María. Arequipa

RESUMEN: El Lago Titicaca, el cual actúa como un dispersante natural para diferentes compuestos y elementos químicos que formarán parte del lecho acuático siendo asimilados y acumulados por la biota presente en el lago como *Orestias* spp. y *Schoenoplectus tatora*, recursos de importancia económica no solo para las comunidades que se encuentran dentro de la Reserva Nacional del Titicaca, sino también para la región de Puno. Dentro de la metodología de campo las muestras fueron tomadas en la desembocadura del río Ramis, en un número de diez muestras/por especie y en la desembocadura del río Illpa seis muestras/por especie, con un total de treinta y dos muestras con doble repetición; en la metodología de laboratorio se desarrollaron tres procesos con la técnica de absorción atómica: Análisis de polimetálicos, As (ambos por la técnica de flama y horno de grafito) y Hg (vapor frío – FIAS); este trabajo fue realizado en el laboratorio de química analítica de INGEMMET – Lima. Se determinó la presencia y niveles de Hg, Cu, Pb, Cr, Cd, Zn y As en músculo y branquias de *Orestias* sp y en tallo aéreo de *Schoenoplectus tatora*, encontrándose lo siguiente: Las muestras de *Orestias* sp en las agallas tienen valores más altos de concentraciones de elementos pesados en relación al músculo, excepto en Cr y As. Las muestras de Ramis e Illpa para *Orestias* sp presentan niveles de concentración de metales pesados por encima del límite permisible para consumo humano en los elementos Cu, Pb, Zn y Hg. Los niveles encontrados en *Schoenoplectus tatora* para los elementos Cu, Pb, Cd y As son considerados niveles de efecto tóxico muy bajo, mientras que el Hg es considerado de efecto tóxico moderadamente alto, estando dentro del rango normal de concentraciones en plantas sin observar efectos tóxicos, así mismo dentro de los niveles máximos tolerados por el ganado.

Palabras clave: Metales pesados, biota acuática, LMP, Reserva Nacional del Titicaca.

ABSTRACT: Lake Titicaca, which acts as a natural dispersant for different compounds and chemical elements that will form part of the aquatic bed being assimilated and accumulated by the biota present in the lake as *Orestias* spp. and *Schoenoplectus tatora*, resources of economic importance not only for the communities that are within the Titicaca National Reserve, but also for the Puno region. Within the field methodology the samples were taken at the mouth of the Ramis River, in a number of ten samples / per species and at the mouth of the Illpa River six samples / per species, with a total of thirty two samples with double repetition ; In the laboratory methodology, three processes were developed with the technique of atomic absorption: Analysis of polymetallic, As (both by the flame technique and graphite furnace) and Hg (cold vapor - FIAS); This work was carried out in the laboratory of analytical chemistry of INGEMMET - Lima. The presence and levels of Hg, Cu, Pb, Cr, Cd, Zn and As in the muscle and gills of *Orestias* sp and in the aerial stem of *Schoenoplectus tatora* were determined, finding the following: The samples of *Orestias* sp in the gills have more values high concentrations of heavy elements in relation to the muscle, except in Cr and As. The Ramis and Illpa samples for *Orestias* sp present levels of concentration of heavy metals above the permissible limit for human consumption in the elements Cu, Pb, Zn and Hg. The levels found in *Schoenoplectus tatora* for the elements Cu, Pb, Cd and As are considered levels of toxic effect very low, while the Hg is considered of toxic effect moderately high, being within the normal range of concentrations in plants without observing toxic effects, likewise within the maximum levels tolerated by cattle.

Keywords: Heavy metals, aquatic biota, LMP, Titicaca National Reserve

INTRODUCCIÓN

El Lago Titicaca, fuente de vida no sólo para especies acuáticas, sino también para especies terrestres, aéreas y el ser humano, actúa como un dispersante natural para diferentes elementos químicos que van a ser asimilados y acumulados por la biota acuática, a través de la cadena alimenticia. Todos los metales pesados se encuentran presentes en los medios acuáticos, aunque sus concentraciones son muy bajas pueden ser tóxicos como cualquier otro elemento (Peña et al. 2001).

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables; una vez emitidos pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años, además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros; por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación (Plumlee y Logsdon 1999).

Algunos metales pesados forman parte de los organismos como el Cu, Zn, Fe; sin embargo, los metales no esenciales como el mercurio o el cadmio son excretados con mayor dificultad (Curtis y Barnes 2001). Las plantas acuáticas (algas) y los bivalvos (como mejillones, ostras, etc.) no son capaces de regular con éxito las concentraciones de metales pesados y de ahí puede derivarse una serie de problemas;

Correspondencia:

Froilan Rodolfo Huaraya Chambi
E-mail: froyhua@gmail.com

como el mercurio que puede hacer decrecer dramáticamente la capacidad de fotosíntesis de un alga o los bivalvos que al acumular metales pesados, pueden pasar estos directamente al ser humano por ingesta. Los organismos tienen mecanismos bien desarrollados para absorber, metabolizar y excretar diferentes elementos, incluso metales en concentraciones que se encuentran naturalmente (Curtis y Barnes 2001) pero estos pueden saturarse a altas concentraciones de metales; y el índice de absorción puede exceder al índice de pérdidas, proceso que exige más gasto de energía. Por esta razón, los organismos pueden acumular altas concentraciones de metales pesados en sus tejidos finos (Plumlee y Logsdon 1999).

Los estudios iniciales referentes a los efectos ecológicos de metales pesados, indican cambios en las distribuciones de las plantas y animales; las especies variarán según han sido afectadas por una toxina, esto puede ser debido en parte a las diferencias fisiológicas entre las especies, pero también a los factores ecológicos o etológicos: las plantas pueden variar en la proporción de su área superficial expuesta al agua, mientras que los animales que ingieren cantidades grandes de sedimentos pueden acumular concentraciones más altas de la toxina que las especies que ingieren el material de la hoja (Whitton 1980 y Brock 1969).

La actividad minera arroja al ambiente metales tóxicos como plomo, mercurio, cadmio, zinc, cromo, selenio, níquel y arsénico; muy dañinos para la salud humana y para la mayoría de formas de vida. Las aguas residuales no tratadas provenientes de minas llegan a los ríos acumulándose en plantas y tejidos orgánicos, por ejemplo, la utilización de mercurio en el proceso de amalgamación, por la sencillez de su técnica, su relativa eficacia y poca inversión es el método más difundido, preferido y aplicado por los mineros artesanales y lavadores auríferos peruanos, como sucede en el distrito minero de Ananea (Ananea- Rinconada-Cerro Lunar) (DREM, INRENA y MINSA 2001). El presente estudio pretende dar a conocer la presencia y niveles de metales pesados como el Pb, Cd, Cr, Cu, As, Zn y Hg en *Orestias sp* y *Schoenoplectus tatora*, recursos de importancia económica para la región, por ser estos la fuente de alimentación principal de la zona circunlacustre del Lago Titicaca, ya sea como consumo directo (humano) o indirecto (vacunos). El área destinada para el estudio son las desembocaduras de los ríos Ramis e Illpa, zonas pertenecientes a la Reserva Nacional del Titicaca, área natural protegida que se encarga de conservar los recursos biológicos por su importancia ecológica y por ser fuente de vida y trabajo.

Límites máximos permisibles

La calidad de agua afecta la abundancia, composición de especies, estabilidad, productividad y la condición fisiológica de poblaciones de organismos acuáticos. Por consiguiente, la naturaleza y la salud de las comunidades acuáticas son una expresión de la calidad del agua (Jara 2003).

Para la caracterización del agua superficial se toma como patrón de comparación los Valores Guía para la Protección de la Vida Acuática de la United States Environmental Protection Agency (USEPA) referidos a metales totales, guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y criterios de calidad del agua para hábitat de peces comunes de la Unión Europea, junto con la ley general de aguas (clase III y VI). A continuación, el cuadro que se adjunta, presenta estos valores.

Tabla 1. Valores guía de calidad de agua para hábitat de peces y consumo humano (ug/l)

PARAMETRO	METALES DISUELTOS LEY GENERAL DE AGUAS			TOTALES USEPA*	TOTALES OMS**	TOTALES UE***
	I	III	VI			
As	100	200	50	190	10	
Cd	10	50	4	1.6	3	
Cr	50	1000	50	11	50	
Cu	1000	500	NP	17.7	1000	60 (disuelto)
Fe	NP	1000	NP	1000	300	
Pb	50	100	30	5.8	10	
Hg	2	10	0.2	0.025	1	
Ni	2	2	2	137	20	
Se	10	50	10	35	3000	1
Zn	5000	25000	NP	47	1500	
Mn		500	NP	1330	100/500	
Amonio	NP	NP	NP		1500	
Oxígeno disuelto	3mg/L	3mg/L	4mg/L			5-9
pH						6-9
Sulfato					250000	
Nitrato	10	100	NP		50000	

I Criterio de calidad de aguas para uso doméstico con simple desinfección.

III Criterios de calidad de agua para uso en agricultura.

VI Criterios de calidad de agua para zonas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial

NP No Propuesto, NA= No Aplicable.

* Concentraciones basadas en aguas promedios de dureza 160 mg/L. Para metales los límites de la Ley General de Aguas están referidos a concentraciones de metales disueltos, mientras que los valores guía de USEPA están referidos a concentraciones de metales totales.

** Guía para Calidad de Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud Vol. 1996

*** Criterios sobre Calidad de Aguas para la población de peces de la Unión Europea 1978

Fuente: Jara M. 2003

Tabla 2. Rangos de contenidos de metales en plantas sin observar efectos tóxicos (mg/kg)

Mg/Kg	VARIEDAD DE PLANTAS			TUBERCULO PAPA Fuente 4 Fernández (1990)
	Fuente 1 Chapman (1965)	Fuente 2 Davelois (1991)	Fuente 3: Morrey David. (1994)	
HIERRO	Algunos cientos	300-800		155-167
MANGANESO	10-300	30-200		27
ZINC	5-75		10-100	58-82
PLOMO			0.5-3	<12
COBRE	1-25	5-30		7-10
CADMIO				0-8
BORO	10-200			<19
ALUMINIO	2-10%			<2.5

Fuente: Universidad Nacional Agraria la Molina, 1999.

Tabla 3. Concentración de metales pesados en plantas (mg/Kg).

Elemento	Rango normal en plantas	Concentración crítica en plantas*	
		A	B
Ag	0,1-0,8	--	1-4
As	0,02-7	5-20	1-20
Au	0,0017	--	<1
Cd	0,1-2,4	5-30	4-200
Co	0,02-1	15-50	4-40
Cr	0,03-14	5-30	2-18
Cu	5-20	20-100	5-64
	0,005-0,17	1-3	1-8
Mn	20-1000	300-500	100-7000
Mo	0,03-5	10-50	--
Ni	0,02-5	10-100	8-220
Pb	0,2-20	30-300	--
Sb	0,0001-0,2	--	1-2
Se	0,001-2	5-30	3-40
Sn	0,2-6,8	60	63
TI	0,03-3	20	--
U	0,005-0,06	--	--
V	0,001-1,5	5-10	1-13
W	0,005-0,15	--	--
Zn	1-400	100-400	100-900

Tomado de Alloway B. 1995

*La concentración crítica en las plantas es el nivel encima del cual los efectos de la toxicidad son posibles.

(A) y (B) son valores establecidos por varios autores.

Fuente: Mantilla H. 2001.

Tabla 4. Rango de concentración de metales en plantas acuáticas de lagos y cursos de agua de Suecia (mg/Kg).

METAL	CLASE 1 MUY BAJO	CLASE 2 BAJO	Mg/Kg		
			CLASE 3 MODERADAMENTE ALTO	CLASE 4 ALTO	CLASE 5 MUY ALTO
As	<0.5	0.5-3	3-8	8-40	>40
Cd	<0.3	0.3-1	1-2.5	2.5-15	>15
Co	<3	3-10	10-30	30-150	>150
Cr	<1.5	1.5-3.5	3.5-10	10-50	>50
Cu	<7	7-15	15-50	50-250	>250
Hg	<0.04	0.04-0.1	0.1-0.3	0.3-1.5	>1.5
Ni	<4	4-10	10-30	30-150	>150
Pb	<3	3-10	10-30	30-150	>150
Zn	<60	60-160	160-500	500-2500	>2500

Riesgos de efectos biológicos

CLASE 1: Ninguno o muy poco

CLASE 2: Poco

CLASE 3: Primariamente en aguas acidificadas y aguas dulces con concentraciones bajas de humus y nutrientes

CLASE 4: Riesgo incrementado

CLASE 5: Alto riesgo aún con breve exposición

* Tabla tomada de Jara María, 2003.

Tabla 5. Intervalos normales en plantas, concentraciones fototóxicas y niveles tóxicos para el ganado de algunos elementos traza (según Chaney, 1989 y otros autores especificados a pie de tabla).

ELEMNT	NIVELES NORMALES (mg Kg ⁻¹ , materia seca)	NIVELES FITOTOXICOS (mg Kg ⁻¹ , materia seca)	NIVELES MÁXIMOS TOLERADOS POR EL GANADO (mg Kg ⁻¹ , SOBRE DIETA SECA)	
			BOVINO	OVINO
As inorg.	0.01-1	3-10	50	50
Cd	0.1-1	5-700	0.5	0.5
Cu	3-20	25-40	100	25
Pb	2-5	10-70 ^a	30	30
Tl	5-10 ^b	30-300 ^c	-	-
Zn	0.02-0.04 ^d 0.03-0.2 ^e 15-150	-	500	300 1000 ^b 2000 ^c

^a Niveles tóxicos para cultivos (Gupta y Gruta, 1998)

^b Niveles tóxicos (Annekov, 19829)

^c Niveles normales y tóxicos para las plantas (Barceló y Poschenrieder, 1992)

^d Niveles presentes en la mayoría de los cultivos sobre suelos no contaminados (Adriano, 1986)

^e Composición elemental de especies herbáceas (Bowen, 1979)

Fuente: Jara M. 2003.

Tabla 6. Concentraciones mínimas para consumo humano reportadas en diferentes estudios para pescado fresco (mg/Kg)

FUENTE	pescado fresco					
	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Hg mg/kg
niveles permitidos en FAO/OMS del Codex Alimentarius	20	2	1	1	1	
muestras marinas de la zona de Huelva	0.21-166	0.003-0.429	4.52-21.9	0.001-0.03	As total: 4.4-5.2 As inorg. 0.051-0.052	
muestras de lisa de la zona de Huelva	0.6-10	0.04-0.19	7-8		As total: 0.39-2.98 As inorg. 0.02-0.09	
EPA						0.3

Fuente: Elaboración propia

MATERIALES Y MÉTODOS

Los trabajos de campo se realizaron en época seca y lluviosa de manera aleatoria, con un total de 32 muestras con doble repetición. Los especímenes de *Orestias spp* fueron obtenidos cerca de la desembocadura del río Ramis y del río Illpa, en 1,5 Kg cada muestra, de ellas se tomó las agallas y los filetes de carne. Las agallas son tomadas debido a que es una fuente principal de concentración de diferentes elementos absorbidos por la especie; mientras que los filetes, son la principal fuente comestible de la especie. Para obtener muestras de *Schoenoplectus tatora* se utilizó el método del cuadrante (1m²) seleccionando 1 Kg de tallo verde para su análisis, utilizando sólo el tallo aéreo (parte comestible por el ganado).

Los elementos: Cu, Pb, Cr, Zn y Cd fueron secados en estufa a 105°C para luego ser sometidos a digestión. Los elementos As y Hg tuvieron una temperatura de secado 40 - 50°C, siendo fragmentadas para ser sometidos a una digestión ácida. Para transportar las muestras al laboratorio, se empacaron en bolsas de polietileno pesado protegidas con hielo triturado en un conservador de "plastroform" manteniéndose aproximadamente a 4° C. Al llegar las muestras al laboratorio fueron conservadas a la misma temperatura en un refrigerador. Los análisis se realizaron en el laboratorio de química analítica de INGEMMET – Lima.

Los análisis se realizaron según metodología del laboratorio de química analítica, para la determinación de metales pesados en aguas y sedimentos y modificada para muestras biológicas, teniendo como base diferentes estudios realizados en el mismo laboratorio; este trabajo consistió en la digestión de las muestras teniéndose tres procesos: Hg, As y Cu, Pb, Cr, Zn, Cd (polimetálicos). Para determinar Hg se hizo por absorción atómica a vapor frío – FIAS. Los demás elementos fueron determinados por absorción atómica, técnica de flama y horno de grafito.

RESULTADOS Y DISCUSION

a) Determinación de metales pesados en *Orestias spp*.

En los siguientes cuadros mostramos los valores de metales pesados obtenidos de las branquias y músculo de *Orestias spp* provenientes de las desembocaduras del río Illpa así como del río Ramis:

Tabla 7. Distribución de metales pesados en *Orestias sp.* de la desembocadura del río Illpa

CODIGO DE MUESTRA	Cu mg/Kg		Pb mg/Kg		Zn mg/Kg		Cd mg/Kg		Cr mg/Kg		As mg/Kg		Hg mg/Kg	
	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb
músculo														
1 IIF	1.86	1.95	<0.5	0.17	70.5	70	≤0.005	<0.005	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.3	0.1
2 IIF	1.93	1.10	<0.5	0.16	73.0	52.5	≤0.005	≤0.005	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.3	0.3
3 IIF	1.89	1.80	<0.5	0.11	71.8	61.5	≤0.005	≤0.005	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.3	≤0.2
branquia														
1 IIA	4.50	2.45	<0.5	0.14	146.0	85.0	<0.005	<0.005	<0.2	≤0.2	<0.2	<0.2	<0.3	0.2
2 IIA	4.90	3.45	<0.5	0.09	140.5	98.0	≤0.005	<0.005	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.3	<0.2
3 IIA	4.70	1.70	<0.5	0.10	143.3	98.0	≤0.005	<0.005	<0.2	≤0.2	<0.2	<0.2	<0.3	0.2
L.D.M.	0.2	0.2	0.5	0.5	1	1	0.005	0.005	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3

Tabla 8. Distribución de metales pesados en *Orestias sp.* de la desembocadura del río Ramis

CODIGO DE MUESTRA	Cu mg/Kg		Pb mg/Kg		Zn mg/Kg		Cd mg/Kg		Cr mg/Kg		As mg/Kg		Hg mg/Kg	
	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb
músculo														
1 RaF	2.62	2.20	<0.5	0.15	67.5	48.5	≤0.005	<0.005	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.3	0.3
2 RaF	2.19	2.00	<0.5	0.12	51.5	45.0	≤0.005	≤0.005	<0.2	0.25	<0.2	<0.2	<0.3	≤0.2
3 RaF	1.82	2.00	<0.5	0.16	47.5	48.5	≤0.005	<0.005	<0.2	0.25	<0.2	<0.2	<0.3	0.25
4 RaF	2.00	2.10	<0.5	0.10	55.5	44.0	≤0.005	<0.005	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.3	0.25
5 RaF	1.89	2.30	<0.5	0.12	54.0	45.0	≤0.005	<0.005	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.3	0.3
branquia														
1 RaA	4.66	5.10	<0.5	0.16	132.0	142.0	0.02	<0.005	<0.2	≤0.2	0.2	<0.2	<0.3	<0.2
2 RaA	5.05	5.00	<0.5	0.16	143.5	145.0	0.01	<0.005	<0.2	≤0.2	<0.2	<0.2	<0.3	<0.2
3 RaA	3.55	4.90	<0.5	0.17	134.0	130.0	0.01	<0.005	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.3	<0.2
4 RaA	3.60	3.20	<0.5	0.11	127.0	118	0.01	<0.005	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.3	<0.2
5 RaA	4.16	3.95	<0.5	0.15	136.0	123	0.01	<0.005	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.3	<0.2
L.D.M.	0.2	0.2	0.5	0.5	1	1	0.005	0.005	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3

METODO (Cu, Zn, Cr): Absorción atómica - Flama
(Pb, Cd, As): Absorción atómica - Horno Grafito
(Hg): Absorción atómica - Sistema Vapor Frío - Fias

La concentración de los elementos traza en *Orestias spp.* Para la desembocadura del río Ramis recolectadas en 5 puntos diferentes de muestreo y 3 puntos de muestreo para la desembocadura del río Illpa, analizadas por duplicado se obtuvo que tanto en las muestras de músculo y branquias de *Orestias spp* los niveles de Cu, Cr, Cd y As estarían por debajo de las concentraciones mínimas en pescados para consumo humano (Cuadro N°6). Para el Cd tuvo valores ≤ 0.005 mg/Kg que está dentro de las típicas concentraciones en filete de pescado dadas por Stoeppler (1992) (< 0.01 mg/Kg), como también, dentro del límite considerado por la FAO/OMS del Codex Alimentario (0.05 mg/Kg). El As tuvo niveles menores a 0.2 mg/Kg, reportándose en muestras de Lisa de la zona de Huelva - España la cantidad de 0.02 – 0.09 mg/Kg como concentraciones mínimas obtenidas; notándose que en las muestras de *Orestias spp* las concentraciones son más altas sin superar los límites permisibles (1 mg/Kg). Los niveles obtenidos en Hg estarían dentro de los estándares de la Environmental Protection Agency (EPA) americano para el consumo humano (0.3 mg/Kg de Hg) y por debajo del límite de 0.5 mg/Kg adoptado por la mayoría de los países para el consumo humano. El Pb reporta niveles entre 0.11 – 0.15 mg/Kg que estaría por encima de los límites para la FAO/OMS del Codex Alimentario (0.1 mg/Kg), sin embargo para diferentes muestras marinas de la zona de Huelva – España, los niveles mínimos reportados están entre 0.003 – 0.429 mg/Kg.

Los niveles de Zn, tanto en filete como en agalla, son muy altos a comparación de niveles obtenidos en diferentes muestras marinas de la zona de Huelva – España, que están en un rango de 4.52 – 21.9 mg/Kg. Las concentraciones obtenidas están directamente relacionadas a las concentraciones obtenidas en muestras de agua. Así, la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima (1999), determinó que los elementos Zn, Cu, Cd, Hg y As se encuentran por debajo de los límites permisibles, en muestras de agua pertenecientes a la desembocadura del río Ramis.

b) Determinación de metales pesados en *Schoenoplectus tatora* "Totora".

En los siguientes cuadros mostramos los valores de metales pesados obtenidos en *Schoenoplectus tatora* provenientes de las desembocaduras del río Illpa así como de río Ramis:

Tabla 9. Distribución de metales pesados en *Schoenoplectus tatora* de la desembocadura del río Illpa.

CODIGO DE MUESTRA	Cu mg/Kg		Pb mg/Kg		Zn mg/Kg		Cd mg/Kg		Cr mg/Kg		As mg/Kg		Hg mg/Kg	
	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb
1 III	0.3	1.0	<0.5	0.02	2	8.5	≤ 0.005	<0.005	0.2	0.4	<0.2	<0.2	<0.3	<0.2
2 III	0.3	1.05	<0.5	0.04	2	7.5	≤ 0.005	<0.005	<0.2	≤ 0.2	<0.2	<0.2	<0.3	<0.2
3 III	0.2	0.55	<0.5	0.04	2	8.5	≤ 0.005	≤ 0.005	<0.2	0.3	<0.2	<0.2	<0.3	<0.2
L.D.M.	0.2	0.2	0.5	0.5	1	1	0.005	0.005	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3

Tabla 10. Distribución de metales pesados en *Schoenoplectus tatora* de la desembocadura del río Ramis.

CODIGO DE MUESTRA	Cu mg/Kg		Pb mg/Kg		Zn mg/Kg		Cd mg/Kg		Cr mg/Kg		As mg/Kg		Hg mg/Kg	
	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb	Agos	Feb
1 Ra	0.5	0.45	<0.5	<0.05	3	4	0.01	<0.005	<0.2	≤ 0.2	<0.2	<0.2	<0.3	≤ 0.2
2 Ra	1.25	1.1	<0.5	0.07	9	6.5	0.01	≤ 0.005	<0.2	0.25	<0.2	0.25	<0.3	<0.2
3 Ra	1.85	1.5	<0.5	≤ 0.05	7.5	7	0.03	≤ 0.005	<0.2	≤ 0.2	<0.2	0.22	<0.3	<0.2
4 Ra	1.85	1.5	<0.5	0.10	7.5	8.5	0.02	0.005	<0.2	≤ 0.2	<0.2	<0.2	<0.3	<0.2
5 Ra	0.3	1.7	<0.5	0.06	2.5	10	0.02	≤ 0.005	<0.2	0.2	<0.2	0.23	<0.3	<0.2
L.D.M.	0.2	0.2	0.5	0.5	1	1	0.005	0.005	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3

Concentraciones de metales pesados en plantas acuáticas de lagos y cursos de agua de Suecia							
BASE SECA	Cu mg/Kg	Pb mg/Kg	Zn mg/Kg	Cd mg/Kg	Cr mg/Kg	As mg/Kg	Hg mg/Kg
nivel de efecto toxico muy bajo	<7	<3	<60	<0.3	<1.5	<0.5	<0.04
nivel de efecto toxico moderadamente alto	15 - 50	oct-30	160 - 500	1 - 2.5	3.5 - 10	03-ago	0.1 - 0.3

METODO (Cu, Zn, Cr): Absorción atómica - Flama
(Pb, Cd, As): Absorción atómica - Homo Grafito
(Hg): Absorción atómica - Sistema Vapor Frio - Fias

La concentración de los elementos traza en *Schoenoplectus tatora* para el río Ramis recolectadas en 5 puntos diferentes de muestreo y para el río Illpa recolectadas en 3 puntos de muestreo, analizadas por duplicado se obtuvo lo siguiente: los niveles en Cu, Pb, Cr, Cd y As son considerados niveles de efecto tóxico muy bajo, mientras que para el Hg es considerado de efecto tóxico moderadamente alto; comparado con los estándares de criterios de calidad ambiental para lagos y cursos de agua de Suecia en plantas acuáticas. En el caso de Cu, los valores mayores a 1 mg/Kg, según Mantilla (2001), estarían en una concentración encima del cual los efectos tóxicos son posibles (1-3 mg/Kg); mientras los demás elementos estarían dentro del rango normal de concentraciones en plantas. Sin embargo, para Davelois (1991), en su estudio para la recuperación del lago Junín, indica que el rango sin observar efectos tóxicos en plantas para el caso del Cu es de 5-30 mg/Kg. Las concentraciones obtenidas de los elementos traza, para Chaney (1989), estarían dentro de los niveles máximos tolerados por el ganado (ovino y bovino).

En sedimentos la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lima (1999), determinó que se tuvo en As = 17.2 – 16.3 mg/Kg y en Cd = 2.1 – 2 mg/Kg; los cuales se encuentran dentro de los niveles más bajos y severos de toxicidad considerados por la OMEE (6-33 mg/Kg para As y 0.6 – 10 mg/Kg para Cd). Registrándose en el estudio valores menores a 0.2 mg/Kg y 0.005 mg/Kg para el As y Cd, respectivamente, en las muestras de *Schoenoplectus tatora*. En caso del Hg el LMP para sedimentos es de 1.0 mg/kg según la USEPA y de 0.2-2 mg/kg según la OMEE, en las muestras analizadas se tuvo concentraciones menores a 0.3 mg/kg.

REFERENCIAS

- ARGOTA G. Y ARGOTA H. 2012 "Evaluación ambiental del río San Juan de Santiago de Cuba por exposición bioacumulativa a metales pesados" MEDISAN vol.16 no.8 Santiago de Cuba. <http://scielo.sld.cu>
- ALPERS, C. N., MYERS, P. A., MILLSAP, D., & REGNIER, T. B. 2014. "Arsenic Associated with Gold Mining in the Sierra Nevada Foothills: Case Study and Field Trip Guide for Empire Mine State Historic Park, California". Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 79, 553-587.
- AQUINO E. & et al. 2003. "Contaminación por mercurio y cianuro en el Distrito Minero de Ananea – Puno". Reflexiones y Propuestas: Revista de investigación de estudiantes, egresados, docentes y administrativos - Oficina Universitaria de Investigación. Universidad Nacional del Altiplano – Puno. Editorial Universitaria; Puno – Perú; 153 pp.
- CAVIEDES R. & et al. 2016, "Removal of heavy metals commonly generated by industrial activities, by means of neotropical macrophytes". P-L vol.11, n.2, pp.126-149. <http://www.scielo.org.co>

- [5]. JARA-PEÑA & et al.2014. "Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados". Rev. Peru Biol. vol.21 No.2 agosto – Lima. <http://www.scielo.org.pe>
- [6]. LAINO-GUANES R. 2015. "Concentración de Metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala" Tecnol. cienc. Agua vol.6 no.4 Jiutepec. <http://www.scielo.org.mx>
- [7]. LONDOÑO-FRANCO L. & et al. 2016. "Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal". Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Vol 14 No. 2. Julio – Diciembre. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa>
- [8]. MONGE. KARINA 2018. "Determinación de la concentración de los metales pesados en los sedimentos en el Río Chili de la Provincia de Arequipa Región Arequipa" <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6906>
- [9]. MORENO E. 2017. "Determinación interactiva de metales totales en las aguas de la bahía interior del Lago Titicaca-Puno Perú". Rev. investig. Altoandin. vol.19 no.2 Puno. <http://www.scielo.org.pe>
- [10]. MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2002. "Evaluación y Recuperación de los Recursos Naturales y Contaminación Ambiental en la Cuenca del río Ramis". Dirección General de Asuntos Ambientales - Puno.
- [11]. MINISTERIO DE AGRICULTURA – INRENA. 2003. "Monitoreo de la Calidad de Aguas Superficiales del Río Crucero". Perú; 45 pp.
- [12]. PLUMLEE G. y M. LOGSDON. 1999. "The environmental geochemistry of mineral deposits". Part A: processes, techniques and health issues. Volume 6A. Michigan – USA; 369 pp.
- [13]. PUGA S. & et al. 2006. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. Ecol. Apl. v.5 n.1-2 diciembre – Lima. <http://www.scielo.org.pe>
- [14]. RIZZO A & et al. 2010. "Concentraciones de metales pesados en distintos compartimentos de lagos andinos de Patagonia Norte". Ecol. austral vol.20 no.2 Córdoba mayo/ago. <http://www.scielo.org.ar>
- [15]. RYTUNA J. 2000. "Mercury Geoenvironmental Models, In Progress on Geoenvironmental Models for Selected Deposit Types. U.S Geological Survey. File Report 02-195, online version 1.0.
- [16]. SAVINO VM, GABRIELSEN GW, SABINOVA TN. 2003. Cadmium, zinc, copper, arsenic, selenium and mercury in seabirds from the Barents Sea: levels, inter-specif and geographical differences. Sci Total Environ. 2003; 306(1-3): 133-58.

Recibido el 30 de abril del 2018 y aceptado para su publicación el 21 de junio del 2018