



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“EFECTOS ECOTÓXICOS DEL Hg EN EL RÍO MADRE DE DIOS  
USANDO *Daphnia magna* (DAPHNIIDAE) Y *Paracheirodon  
innesi* (CHARACIDAE)”**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Presentado por:

Esther Méniz Oshiro (0000-0001-8027-9125)

Asesor:

José Alberto Iannacone Oliver (0000-0003-3699-4732)

Lima – Perú

2021

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 16 de junio de 2021.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Mg. Karol Natalie Lavado Solis
Miembro: Mg. Víctor Agustín Barrantes Santos
Miembro: Ing. Carla Beatriz Garay Hidalgo

Se reúnen para evaluar la tesis titulada: "EFECTOS ECOTÓXICOS DEL Hg EN EL RÍO MADRE DE DIOS USANDO *Daphnia magna* (DAPHNIIDAE) Y *Paracheirodon innesi* (CHARACIDAE)"

Presentada por la bachiller:

- Esther Ménez Oshiro

Para optar el Título Profesional de ingeniero(a) ambiental.

Asesorada por: Dr. José Alberto Iannacone Oliver

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del(a) estudiante de la carrera de ingeniería ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime ( x ) por mayoría simple ( ) calificar a:

• Tesista: Esther Ménez Oshiro			Nota (en letras): Quince	
Aprobado ( x )	Aprobado - Muy buena ( )	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )	

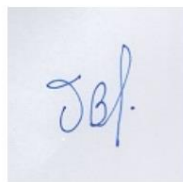
Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Mg. Karol Natalie Lavado Solis  
**Presidente del Jurado**



Dr. José Alberto Iannacone Oliver  
**Asesor**



Mg. Víctor Agustín Barrantes Santos  
**Miembro del jurado**



Ing. Carla Beatriz Garay Hidalgo  
**Miembro del jurado**

**EFFECTOS ECOTÓXICOS DEL Hg EN EL RÍO MADRE DE DIOS USANDO  
*Daphnia magna* (DAPHNIIDAE) Y *Paracheirodon innesi* (CHARACIDAE)  
ECOTOXIC EFFECTS OF Hg IN THE MADRE DE DIOS RIVER USING  
*Daphnia magna* (DAPHNIIDAE) AND *Paracheirodon innesi* (CHARACIDAE)**

**RESUMEN**

El río Madre de Dios, en la selva del Perú, es un cuerpo de agua que puede recepcionar relaves y desechos con mercurio vertidos por la minería aurífera artesanal, informal e ilegal. Por ello se evaluó el efecto ecotóxico de mercurio (Hg) por la minería en el río Madre de Dios empleando *Daphnia magna* (Daphniidae) y *Paracheirodon innesi* (characidae), en agua superficial y sedimentos mediante la determinación del nivel toxicidad con la escala ecotóxica de Roig usando la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) y concentración efectiva media (CE<sub>50</sub>) para el efecto subletal nado extraño. Se muestrearon cuatro puntos en época seca del 2019 entre la zona del cruce con el río afluente Colorado y el puerto del distrito Boca Colorado, y se determinó el Hg y otros metales pesados en ambos compartimentos, evaluándose adicionalmente el pH y la conductividad eléctrica. En los cuatro puntos de muestreo, el Hg en agua superficial y sedimentos no sobrepasaron los Estándar de Calidad Ambiental peruano de agua de ríos de selva - categoría 4 (<0,0001 mg L<sup>-1</sup>). El punto con mayor toxicidad en *P. innesi* en agua fue el punto intermedio entre zona minera y el puerto de Boca Colorado; sin embargo, llega a ser levemente tóxico. Los valores de CL<sub>50</sub> en agua y sedimento en *D. magna* fueron mayores a 100 % a las 24 y 48 h, es decir, son muestras no tóxicas.

Palabras clave: bioensayo, ecotoxicología, metales pesados, peces, pulgas de agua

## ABSTRACT

The Madre de Dios River, in the Peruvian jungle, is a water body that can receive tailings and mercury-containing waste discharged by artisanal, informal and illegal gold mining. For this reason, the ecotoxic effect of mercury (Hg) by mining in the Madre de Dios River using *Daphnia magna* (Daphniidae) and *Paracheirodon innesi* (Characidae) was evaluated in surface water and sediments by determining the toxicity level with the ecotoxic scale of Roig using the mean lethal concentration (LC50) and mean effective concentration (EC50) for the sublethal effect strange swimming. Four points were sampled in the dry season of 2019 between the area of the crossing with the Colorado tributary river with the port of the Boca Colorado district, and the Hg and other heavy metals were determined in both compartments, additionally evaluating pH and electrical conductivity. At the four sampling points, the Hg in surface water did not exceed the Peruvian Environmental Quality Standard for jungle river water - category 4 (<0.0001). The point with the highest toxicity in *P. innesi* in surface water was the intermediate point between the mining area and the port of Boca Colorado, according to the Roig ecotoxic scale; however, it becomes slightly toxic. The LC50 values in water and sediment in *D. magna* were higher than 100 % at 24 and 48 h, which according to the Roig scale, are non-toxic samples.

Keywords: bioassay, ecotoxicology, fish, heavy metals, water flea

## INTRODUCCIÓN

Perú es uno de los mayores productores de oro, y se encuentra posicionado globalmente en el puesto siete, asimismo, es el más grande productor en Latinoamérica, dado que procesa 130 MT en 2019 (Pistilli, 2020). La expansión rápida de las zonas mineras coinciden con el incremento de personas dedicadas a esta actividad, estimándose que son más de 60.000 mineros en la región (Martinez et al., 2018). Los mineros de pequeña minería y minería artesanal mezclan el mercurio (Hg) líquido con los sedimentos del río o suelos para capturar y amalgamar partículas de oro fino aluvial (Ashe, 2012).

Como la mayoría de los contaminantes en los sistemas acuáticos, el Hg, genera preocupación por su toxicidad y la biomagnificación por medio de la cadena trófica (Hernández-Córdoba et al., 2013; Shafaqat et al., 2014; Panduro et al., 2020). El Hg en los peces se revela en el daño de la cobertura de las branquias, aumento del movimiento respiratorio, disminución de equilibrio e inacción consecutiva, seguido de la muerte (Zakaria et al., 2016; Vargas y Marrugo, 2019). En ese sentido, la exposición al Hg amenaza la salud humana y ambiental a través del consumo de peces contaminados (Driscoll, 2007), incluyéndose a aquellas comunidades cercanas a las actividades mineras auríferas (Bastos, 2006) en Madre de Dios en Perú, las cuales quedan altamente susceptibles a la contaminación por Hg como la comunidad nativa de la Reserva Comunal Amarakaeri, la cual fue creada con el objetivo de “contribuir a la protección de las cuencas de los ríos Eori-Madre de Dios y Karene-Colorado, asegurando la estabilidad de las tierras y bosques y manteniendo la calidad y cantidad de agua, el equilibrio ecológico” (INRENA, 2008; Rivero, 2015). Según un estudio en Loreto, la población amazónica, incluyendo la nativa, subsiste del 75 % de los peces capturados en la Amazonía peruana (Tello y Bayley, 2001), pudiendo ser Madre de Dios un caso

similar, ya que estudios en esta región han encontrado concentraciones de Hg en cabello humano y peces comerciales en zonas con y sin minería artesanal (Diringer et al, 2015). Por otro lado, el uso de bioindicadores sirve para evidenciar cambios en su morfología o conducta cuando los ecosistemas acuáticos resultan impactados por contaminantes, e incluso vale como prueba para decidir como medida reguladora un acto perjudicial al ambiente (Terneus-Jácome, 2018; Cáceres del Carpio y Iannacone, 2021).

*Daphnia magna* (Strauss 1820) (Daphniidae) conocido como “pulga de agua” es un crustáceo acuático bastante utilizado en ensayos toxicológicos para evaluar los efectos nocivos de sustancias individuales o mezclas complejas (Alegre et al., 2018; Escobar-Chávez et al., 2019). Además, *Paracheiroidon innesi* (Myers 1936) (Characidae) conocido comúnmente como neón tetra, es de Sudamérica, y es capturado del medio natural y disponible a la venta en la acuariofilia (Kucharczyk et al., 2010), y ha sido empleado para estudios ecotoxicológicos en el laboratorio con Hg y otras sustancias tóxicas (Iannacone et al., 2007; Tomaila y Iannacone, 2018).

Ante esta situación, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto ecotóxico del Hg por la minería en el río Madre de Dios, Perú empleando *D. magna* y *P. innesi*, en agua superficial y sedimentos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### MUESTREO DE AGUA Y SEDIMENTOS

El área de estudio comprendió el río Madre de Dios, a la altura de la desembocadura del río afluente Colorado (12° 36' 22" S, 70° 24' 01" W, 237 m.s.n.m.), en el departamento de Madre de Dios, Perú, siendo el último, el río donde se efectúan actividades de la minería



ilegal e informal. Ambos ríos fueron afectados en relación a su calidad de agua por la actividad minera, y a su vez se encuentran en la zona colindante a la Reserva Comunal AmaraKaeri pudiendo afectar a la salud humana de su población (SERNANP, 2016). Se establecieron cuatro puntos de muestreo de agua superficial (AS) y sedimento (S): AS-01 y S-01 (inicio de desembocadura del afluente Colorado para agua superficial y en el río Madre de Dios antes de la desembocadura del río Colorado para sedimento), AS-02 y S-02 (lugar con aparente mayor caudal del cruce de afluente Colorado con el río Madre de Dios), AS-03 y S-03 (punto intermedio entre la desembocadura del río Colorado y el puerto del distrito Boca Colorado) y AS-04 y S-04 (punto más cercano al puerto del distrito Boca Colorado). El muestreo se realizó el día 1 de junio del 2019 en temporada seca (abril – septiembre), periodo que podría concentrar más posibles elementos potencialmente tóxicos (Olgún *et. al*, 2010) (Fig. 1).



Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de agua superficial y de sedimentos en el departamento de Madre de Dios, Perú.

La toma de muestras del agua superficial utilizó botellas plásticas de 1 L de capacidad y se colectó un total de 40 L por punto de muestreo. Los sedimentos se obtuvieron con un cucharón metálico, se colectaron un total de 4 kg por punto de muestreo y colocaron en una bolsa tipo ziploc de 26,8 x 27,9 cm (Iannacone et al, 2005; Alegre et al., 2018).

Las muestras de agua y sedimento fueron rotuladas, refrigeradas con gel, guardadas en neveras tipo “cooler” y llevadas al laboratorio para el análisis de barrido de metales totales con el método ICP-MS (EPA Method 200.8 revisión 5.4. 1999; EPA Method 3050B rev. 2 1996 y EPA Method 6020A rev. 1 2014). Con el resto de muestras de agua y sedimento se efectuaron bioensayos ecotoxicológicos en condiciones de laboratorio.

### **MEDICIÓN DE PARÁMETROS Y PREPARACIÓN DE BIOINDICADORES**

Los bioensayos ecotoxicológicos fueron realizados en el Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA) de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), Lima, Perú.

Para la caracterización de las muestras de agua superficial y de sedimento, se midieron los parámetros pH y conductividad eléctrica con un multiparámetro marca Handylab 680 FK del fabricante SI Analytics GmbH. Posteriormente, se compararon los parámetros fisicoquímicos y metales pesados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua superficial de categoría 4: Conservación del ambiente acuático, subcategoría: ríos de selva, determinados en el Decreto Supremo N° 004–2017-MINAM (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017) y, los sedimentos con ISQG (Interim Sediment Quality Guidelines) (Canadian Environmental Quality Guidelines [CCME], 2006). El elutriado de sedimentos se llevaron a cabo según la metodología de la USEPA (1998), los sedimentos fueron homogenizados con anticipación y posteriormente se mezclaron con



agua de dilución en una proporción de 1 en 4, después se homogenizó el ejemplar de sedimento con agua durante 1 h, por último, se permitió sedimentar la mezcla por 24 h con el motivo de desunir la fase líquida de los sedimentos y así, usar el sobrenadante.

### ***Daphnia magna***

Las pulgas de agua fueron obtenidas del acuario Rokasd, Iquitos, Perú. En el laboratorio, fueron colocadas en una pecera de 5 L en un tiempo de aclimatación de cuatro semanas. A continuación, se procedió a separar las pulgas de agua oviplenas y se colocaron en otra pecera que estuvo con agua de grifo declorinada mediante aireación con piedras difusoras y en agua embotellada “Cielo” (1:1) ciclada por una semana. Las pulgas de agua fueron alimentadas con *Spirulina* seca, reposadas e hiperoxigenada durante 24 h. Los cultivos se mantuvieron a una temperatura de  $21 \pm 2$  °C y a un fotoperiodo aproximadamente de 12L/12O (Alegre et al, 2018).

### ***Paracheirodon innesi***

Los peces fueron adquiridos en el acuario Rokasd, que cuentan con el permiso para la comercialización de *P. innesi* por la Dirección Regional de la Producción - Loreto, Perú. En el laboratorio, los peces fueron mantenidos en peceras cicladas, con filtros y calentadores (26 - 28 °C). En este periodo, con una regularidad de tres días, se ejecutan intercambios fragmentados del 30 % del volumen de las peceras utilizando agua de osmosis inversa (baja en sales/iones), a su vez se mantuvieron a un fotoperiodo de 12L / 12O, y alimentados cada día con Nutrafin Max®. Estos se mantuvieron en el laboratorio por un periodo mínimo de un mes antes de ser usados en los bioensayos cuidados de la misma manera que en el periodo de aislamiento (OECD, 2019).

## **BIOENSAYOS ECOTOXICOLÓGICOS**

Fueron evaluados los valores de pH y conductividad eléctrica al inicio (0 h) y al final de los bioensayos (48 h para *D. magna* y 96 h para *P. innesi*), para cada muestra. Los protocolos para los bioensayos ecotoxicológicos fueron aprobados por el Comité de Ética de la Universidad Científica del Sur (Constancia N° 22-CIEI-AB-CIENTIFICA-2019).

### **Bioensayo con *Daphnia magna***

Para la prueba de toxicidad aguda con agua superficial o sedimentos, se evaluaron en cinco concentraciones diluidas con agua de mesa sin gas marca Cielo aplicando el factor de dilución 0,5 en orden decreciente (100; 50; 25; 12,5 y 6,25 %) más el control con cuatro repeticiones para cada punto de muestreo. Se colocaron en cada recipiente de 60 mL, diez individuos con menos de 24 h. La temperatura de 20 a 22 °C, y el fotoperiodo de 11L/13O h, respectivamente. La humedad relativa del laboratorio fue entre 75 y 85 %, y la cualidad de la iluminación en el laboratorio debe ser fluorescente blanco – frío (Iannacone et al., 2007). Las lecturas de mortalidad se realizaron a las 24 y 48 h de exposición, para lo cual se consideraron muertos aquellos organismos que no presentaron actividad por 15 s de exposición. Se realizó un movimiento circular del envase para comprobar la mortalidad de los individuos que se encontraban en el fondo de los envases, debido a que algunos pueden estar inmóviles y moverse con naturalidad al percibir este movimiento (Iannacone et al., 2007).

### **Bioensayo con *Paracheirodon innesi***

Para la prueba de toxicidad aguda, se evaluaron en cinco concentraciones diluidas con el agua de la pecera aplicando el factor de dilución 0,5 en orden decreciente (100; 50; 25; 12,5 y 6,25 %) más el control con cuatro repeticiones para cada punto de muestreo. Se colocaron

en cada recipiente de 500 mL, diez peces juveniles aleatoriamente con promedio de longitud de  $1,97 \pm 0,12$  cm y promedio de peso húmedo de  $71,3 \pm 10,8$  mg.

La duración de los ensayos fue de 96 h. La temperatura fue de 26 a 29 °C y el fotoperiodo de 12L/12O h. Con la ayuda de un estilete y con una regularidad de 24 h, se estimaron dos efectos: uno letal y uno subletal. Se conceptuó efecto letal (muerte) si al tocar el pez por 10 s no se observó movimiento alguno. El efecto subletal fue el nado extraño, el cual se consideró si el pez realizó actividades anormales como trasladarse despacio solo en la superficie o de forma diagonal. Los individuos muertos fueron apartados al concluir la lectura diaria para que su descomposición no origine efectos desfavorables sobre los demás (OECD, 2019).

## **PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

La  $CL_{50}$  que es la concentración tóxica que causa la mortalidad al 50 % de los organismos y la  $CE_{50}$  que es la concentración que causa el 50 % de un determinado efecto (Repetto y Sanz, 1993) fue calculada mediante el uso del programa SPSS versión 2020 (Stockemer, 2019). El valor de NOEC, que es la concentración de efecto no observado, y el LOEC, que es la concentración mínima de efecto observado, fueron determinadas a través del análisis estadístico ANOVA seguido de la prueba de Tukey, con el empleo del programa SPSS versión 2020. El nivel de ecotoxicidad se evaluó según la escala de Roig et al (2015).

## RESULTADOS

### PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y DE METALES PESADOS

De los cuatro puntos de muestreo de agua superficial evaluados del río Madre de Dios se han encontrado dos parámetros que exceden el ECA de Agua superficial, los parámetros son el Plomo (Pb) y el pH en tres puntos; mientras que, de los cuatro puntos de muestreo de sedimentos evaluados del río Madre de Dios, se han encontrado dos parámetros que exceden los estándares de la Guía ISQG en sedimento, los parámetros son: Arsénico (As) y Cobre (Cu); sin embargo, el parámetro Hg no superó los ECA en ninguna de las muestras (Tabla 1).

### PARÁMETROS EVALUADOS ANTE Y POST BIOENSAYOS

Al comenzar y terminar los bioensayos, los valores de pH y conductividad eléctrica mostraron ausencia de variación significativa por las muestras de agua superficial (Tabla 2). El pH más bajo y la conductividad eléctrica más baja se observaron en el punto AS-03.

### EFFECTOS ECOTÓXICOS DE LAS MUESTRAS DE AGUA SUPERFICIAL Y SEDIMENTOS

#### *Daphnia magna*

Los bioensayos con las muestras de agua superficial (AS-01, AS-02, AS-03 y AS-04), así y con los sedimentos (S-01, S-02, S-03 y S-04) no generaron ningún efecto letal en las pulgas de agua.

Tabla 1. Resultados de parámetros de agua superficial y sedimentos del río Madre de Dios, Perú

Punto de muestreo		ECA- Agua	AS-01	AS-02	AS-03	AS-04	Valor ISQG	S-01	S-02	S-03	S-04		
Tipo de muestra			Agua superficial					Sedimentos					
Parámetros													
pH	unidad	6,5-9,0	<b>6,21</b>	7,02	<b>5,45</b>	<b>5,97</b>							
Conductividad	us/cm	1000	294	279	216	301							
Metales totales		L.D.	L.D.										
Aluminio		0,0010	30,212	36,282	32,569	37,502	1,09	7 470,62	7 870,16	12 727,29	14 206,50		
Antimonio		0,0001	0,61	0,0002	0,0002	0,0002	<0,0002	0,04	0,4	0,4	0,4		
Arsénico		0,0002	0,15	0,0051	0,0032	0,0041	0,0031	0,27	5,9	<b>13,79</b>	<b>14,38</b>	<b>14,81</b>	<b>15,24</b>
Bario		0,0002	1	0,0766	0,0834	0,0808	0,0813	0,03	60,15	64,92	101,84	112,47	
Berilio		0,0003		<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	0,03	0,6	0,6	0,8	1	
Boro		0,0006		<0,0012	<0,0012	<0,0012	<0,0012	0,07	2,2	<0,12	<0,12	0,2	
Cadmio		0,0001	0,00025	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,03	0,6	<0,05	<0,05	0,2	
Calcio	mg/L	0,0152		246,789	243,265	237,582	250,331	2,75	2 280,18	2 338,59	3 442,38	3 660,99	
Cobalto	(agua) ;	0,0001		0,0023	0,0029	0,0028	0,0027	0,02	10,59	10,99	16,61	18,24	
Cobre	mg/kg	0,0001	0,1	0,0054	0,0065	0,0068	0,006	0,13	35,7	19,58	21,18	<b>36,82</b>	<b>36,09</b>
Cromo	(sedimento)	0,0002		0,0034	0,0042	0,004	0,0046	0,04	37,3	12,79	10,59	18,81	21,05
Hierro		0,0015		45,403	57,374	52,784	56,744	1,17	23 019,58	25 230,52	35 11,24	38 044,51	
Estaño		0,0002		<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0,04	2,6	2,4	2,6	2,61	
Estroncio		0,0010		0,1727	0,172	0,1684	0,1795	0,15	14,79	16,58	24,41	25,46	
Fósforo		0,0016		0,1332	0,1585	0,1524	0,1546	1,06	473,82	445,67	638,06	683,84	
Litio		0,0003		0,0053	0,0064	0,0053	0,0051	0,05	11,39	11,99	18,01	24,86	
Manganeso		0,0001		0,1348	0,1601	0,1573	0,1496	0,40	268,39	310,63	579,43	618,28	
Magnesio		0,0178		40,645	42,496	40,598	43,564	1,19	2 936,25	3 148,62	4 787,72	5 331,60	

Punto de muestreo		ECA- Agua	AS-01	AS-02	AS-03	AS-04	Valor ISQG	S-01	S-02	S-03	S-04
Tipo de muestra			Agua superficial					Sedimentos			
Parámetros											
pH	unidad	6,5-9,0	<b>6,21</b>	7,02	<b>5,45</b>	<b>5,97</b>					
Conductividad	us/cm	1000	294	279	216	301					
Metales totales		L.D.					L.D.				
Mercurio		0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,02	0,17	<0,03	<0,03	<0,03
Molibdeno		0,0001	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004	0,03		1	0,8	1,2
Niquel		0,0002	0,0037	0,0049	0,0047	0,0046	0,04		20,18	21,18	31,61
Potasio		0,0119	17,051	17,616	16,808	18,058	1,15		552,96	562,53	913,97
Plata		0,0001	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,03		<0,06	<0,06	<0,06
Plomo		0,0001	0,0025	<b>0,0059</b>	<b>0,0061</b>	<b>0,0053</b>	<b>0,0049</b>	0,30	35	9,19	9,79
Selenio		0,0001	0,005	0,0014	0,0009	0,0009	0,0014	0,06		1,2	1,4
Sodio		0,0050	33,934	33,711	3,357	34,168	3,46		43,37	41,75	68,23
Talio		0,0002	0,0008	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,02		<0,04	<0,04	<0,04
Titanio		0,0002		0,0407	0,0478	0,0437	0,0486	0,16		211,83	211,75
Vanadio		0,0002		0,0052	0,0082	0,0072	0,011	0,33		17,59	15,18
Zinc		0,0001	0,12	0,0164	0,0162	0,0198	0,0281	0,33	123	61,55	72,51

L.D. : Límite de detección

El ECA - Agua está basada como Categoría 4, Ríos Selva.

Tabla 2. Valores de pH y conductividad registrados en los ensayos con los *Paracheiroidon innesi* y *Daphnia magna* con las muestras de agua

Punto de muestra	Análisis	Paracheiroidon innesi				Daphnia magna			
		pH		C. E.		pH		C. E.	
		0 h	96 h	0 h	96 h	0 h	48 h	0 h	48 h
AS-01	Prom.	6,58	6,57	377,83	379,00	7,59	7,67	713,17	713,83
	D. E.	0,20	0,20	54,07	53,89	0,69	0,09	218,61	218,23
AS-02	Prom.	6,85	7,12	366,83	367,33	7,72	7,71	729,17	729,33
	D. E.	0,10	0,39	62,07	62,02	0,36	0,36	226,97	227,08
AS-03	Prom.	6,33	6,30	339,67	341,50	6,69	6,70	707,33	707,83
	D. E.	0,47	0,47	85,67	86,09	0,86	0,87	249,18	248,88
AS-04	Prom.	6,55	6,54	380,00	381,00	7,10	7,11	719,33	719,67
	D. E.	0,30	0,29	51,60	51,29	0,70	0,69	218,05	217,78

AS : Agua Superficial; Prom. : Promedio; D. E. : Desviación estándar; C. E. : Conductividad eléctrica

### *Paracheiroidon innesi*

Los tratamientos “control” presentaron efectos letales y subletales en agua superficial, no obstante, no pasaron del 10 % del total de individuos, lo cual es aceptable según OECD (2019).

La información obtenida en los ensayos es descrita por punto de muestra a continuación.

#### AS-01

Los efectos letales y subletales, en este caso nado extraño, presentaron aumento de modo gradual con los días de evaluación y concentración de la muestra AS-01. No se presentaron efectos letales ni subletales en la menor concentración (6,25 %). El mayor porcentaje de afección letal (50 %) se presentó en la concentración más alta a las 96 h, así como el mayor porcentaje de afección subletal (58,33 %) se presentó también en la concentración más alta a las 96 h (Tabla 3). Los resultados de *p* fueron menores a 0,001 desde las 48 h, mostrando que los resultados de por lo menos una de las concentraciones fueron distintos a las otras, para cada instante de evaluación y efecto esperado. Los registros de CE<sub>50</sub> para nado extraño a las 96 h



fue de 54,93 % y de  $CL_{50}$  para mortalidad fue 75,85 %. El valor de NOEC a las 96 h para nado extraño fue de 12,5 % al igual que para mortalidad; mientras que, el valor de LOEC a las 96 h para nado extraño fue de 25 % y para mortalidad fue de 100 % de concentración. El nivel de ecotoxicidad según la escala de Roig a las 96 h fue de ligeramente tóxico evaluando muerte y levemente tóxico evaluando nado extraño.

#### AS-02

Los efectos letales y subletales, en este caso nado extraño, presentaron aumento de modo gradual con los días de evaluación y concentración de la muestra AS-02. No se presentaron efectos letales ni subletales en la menor concentración (6,25 %). El mayor porcentaje de afección letal y subletal (53,85 % y 52,63 % respectivamente) se presentó en la concentración más alta a las 96 h (Tabla 3). Los resultados de  $p$  fueron menores a 0,001, mostrando que los resultados de por lo menos una de las concentraciones fueron distintos a las otras, para cada instante de evaluación y efecto esperado. Los registros de  $CE_{50}$  para nado extraño a las 96 h fue de 73,5 % y de  $CL_{50}$  para mortalidad fue 77,18 %. El valor de NOEC a las 96 h para nado extraño y mortalidad fueron de 12,5 % de concentración; mientras que, el valor de LOEC a las 96 h para nado extraño y mortalidad fue de 25 % de concentración. El nivel de ecotoxicidad según la escala de Roig a las 96 h fue de ligeramente tóxico evaluando muerte y nado extraño.

Tabla 3. Promedio de % de individuos de *Paracheirodon innesi* afectados y análisis de los efectos letal (EL) y subletal (ES) en los bioensayos con agua superficial.

Muestras	Efectos	Muerte								Nado extraño							
	h Conc.(%)	24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96				
AS - 01	Control	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	ab	0	a
	6,25	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a
	12,5	0	a	0	a	0	a	2,63	a	0	a	0	a	0	a	0	a
	25	0	a	7,69	a	18,42	b	23,68	b	2,56	a	2,7	ab	16,67	bc	25	b
	50	5,13	a	15,38	a	26,32	bc	36,84	bc	5,13	a	16,22	bc	30,56	cd	47,22	c
	100	10,26	a	28,21	a	42,11	c	50	c	10,26	a	29,73	c	44,44	d	58,33	c
	NOEC (%)	100		25		12,5		12,5		100		50		25		12,5	
	LOEC (%)	>100		50		25		25		>100		100		50		25	
	CL50 (%)/ CE50 (%)	>100		>100		>100		75,85		>100		>100		82,02		54,93	
	F	2,49		22,62		24,63		35,30		1,80		17,73		34,45		39,28	
	p	0,070		<0,001		<0,001		<0,001		0,164		<0,001		<0,001		<0,001	
	Nivel de ecotoxicidad	0		0		0		1		0		0		1		2	
AS - 02	Control	0	a	0	a	0	a	0	a	0	ab	0	ab	0	a	0	a
	6,25	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a

Muestras	Efectos	Muerte								Nado extraño							
	h Conc.(%)	24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96				
	12,5	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	ab	0	a	2,63	a
	25	5	a	12,82	ab	20,51	b	23,08	b	2,56	ab	13,16	bc	23,68	b	26,32	b
	50	10	ab	20,51	bc	28,21	b	33,33	bc	10,26	bc	21,05	cd	26,32	b	34,21	bc
	100	17,5	b	33,33	c	46,15	c	53,85	c	20,51	c	31,58	d	44,74	c	52,63	c
	NOEC (%)	50		25		12,5		12,5		50		25		12,5		12,5	
	LOEC (%)	100		50		25		25		100		50		25		25	
	CL50 (%)/ CE50 (%)	>100		>100		95,54		77,18		>100		>100		95,21		73,5	
	F	9,80		15,54		37,80		24,70		1,077		13,49		33,76		29,74	
	p	<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001	
	Nivel de ecotoxicidad	0		0		1		1		0		0		1		1	
	Control	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	ab	0	a	0	a
	6,25	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a
	12,5	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a
	25	2,56	a	7,69	ab	17,95	b	30,77	b	2,63	a	10,53	bc	28,95	b	44,74	b
	50	5,13	a	12,82	bc	30,77	b	43,59	b	7,89	a	15,79	c	36,84	bc	52,63	b
AS - 03	100	15,38	b	28,21	c	61,54	c	76,92	c	26,32	b	34,21	d	68,42	c	84,21	c
	NOEC (%)	50		25		12,5		12,5		50		25		12,5		12,5	
	LOEC (%)	100		50		25		25		100		50		25		25	
	CL50 (%)/ CE50 (%)	>100		>100		73,99		50,17		>100		>100		57,64		38,46	
	F	9,65		20,40		42,54		77,43		8,69		31,99		21,73		57,06	
	p	<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001	

Muestras	Efectos	Muerte								Nado extraño							
	h Conc.(%)	24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96				
	Nivel de ecotoxicidad	0	0	1	2	0	0	2	2	0	0	2	2				
	Control	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a
	6,25	2,5	a	0	a	0	a	0	a	2,5	a	0	a	0	a	2,56	a
	12,5	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a
	25	0	a	0	a	5,13	ab	7,69	a	0	a	0	a	5,13	a	7,69	a
	50	0	a	2,56	a	20,51	ab	23,08	ab	2,5	a	7,69	ab	28,21	ab	30,77	ab
	100	7,5	a	17,95	b	41,03	b	53,85	b	7,5	a	17,95	b	46,15	b	58,97	b
AS - 04	NOEC (%)	100		50		50		50		100		50		50		50	
	LOEC (%)	>100		100		100		100		>100		100		100		100	
	CL50 (%)/ CE50 (%)	>100		>100		>100		88,02		>100		>100		>100		81,21	
	F	1,89		11,72		3,63		6,88		1,45		5,92		4,84		7,54	
	p	0,147		<0,001		0,019		0,001		0,256		0,002		0,006		<0,001	
	Nivel de ecotoxicidad	0		0		0		1		0		0		0		1	

AS : Agua Superficial

Los rangos de ecotoxicidad según Roig son: 0 = “no tóxico”; 1 = “ligeramente tóxico”; 2 = “levemente tóxico”.

### AS-03

Los efectos letales y subletales, en este caso nado extraño, presentaron aumento de modo gradual con los días de evaluación y concentración de la muestra AS-03. Se presentaron efectos letales y subletales desde la concentración 25 %. El mayor porcentaje de afección letal (76,92 %) se presentó en la concentración más alta a las 96 h, así como el mayor porcentaje de afección subletal (84,21 %) se presentó también en la concentración más alta a las 96 h (Tabla 3). Los resultados de  $p$  fueron menores a 0,001, mostrando que los resultados de por lo menos una de las concentraciones fueron distintos a las otras, para cada instante de evaluación y efecto esperado. Los registros de  $CE_{50}$  para nado extraño a las 96 h fue de 38,46 % y de  $CL_{50}$  para mortalidad fue 50,17 %. El valor de NOEC a las 96 h para nado extraño y mortalidad fue de 12,5 % de concentración; mientras que, el valor de LOEC a las 96 h para nado extraño y mortalidad fue de 25 % de concentración. El nivel de ecotoxicidad según la escala de Roig a las 96 h fue de levemente tóxico evaluando muerte y nado extraño.

### AS-04

Los efectos letales y subletales, en este caso nado extraño, presentaron aumento de modo gradual con los días de evaluación y concentración de la muestra AS-04. Se presentaron efectos letales y subletales desde la menor concentración (6,25 %), exceptuando la concentración 12,5 % que no presentó efectos letales ni subletales. El mayor porcentaje de afección letal (53,85 %) se presentó en la concentración más alta a las 96 h, así como el mayor porcentaje de afección subletal (58,97 %) se presentó también en la concentración más alta a las 96 h (Tabla 3). Los resultados de  $p$  fueron menores a 0,001 desde las 48 h, mostrando que los resultados de por lo menos una de las concentraciones fueron distintos a las otras, para cada instante de evaluación y efecto esperado. Los registros de  $CE_{50}$  para nado extraño a las 96 h fue de 81,21 % y de  $CL_{50}$  para mortalidad fue 88,02 %. El valor de

NOEC a las 96 h para ambos efectos fue del 50 % de concentración; mientras que, el valor de LOEC a las 96 h para nado extraño fue de 100 % de concentración para ambos efectos.

El nivel de ecotoxicidad según la escala de Roig a las 96 h fue de ligeramente tóxico evaluando muerte y nado extraño.

La Figura 2 nos muestra la comparación de la Concentración Letal Media (CL50) y la Concentración Efectiva Media (CE50) de los cuatro puntos de muestreo, donde las barras de error representan los intervalos de confianza.

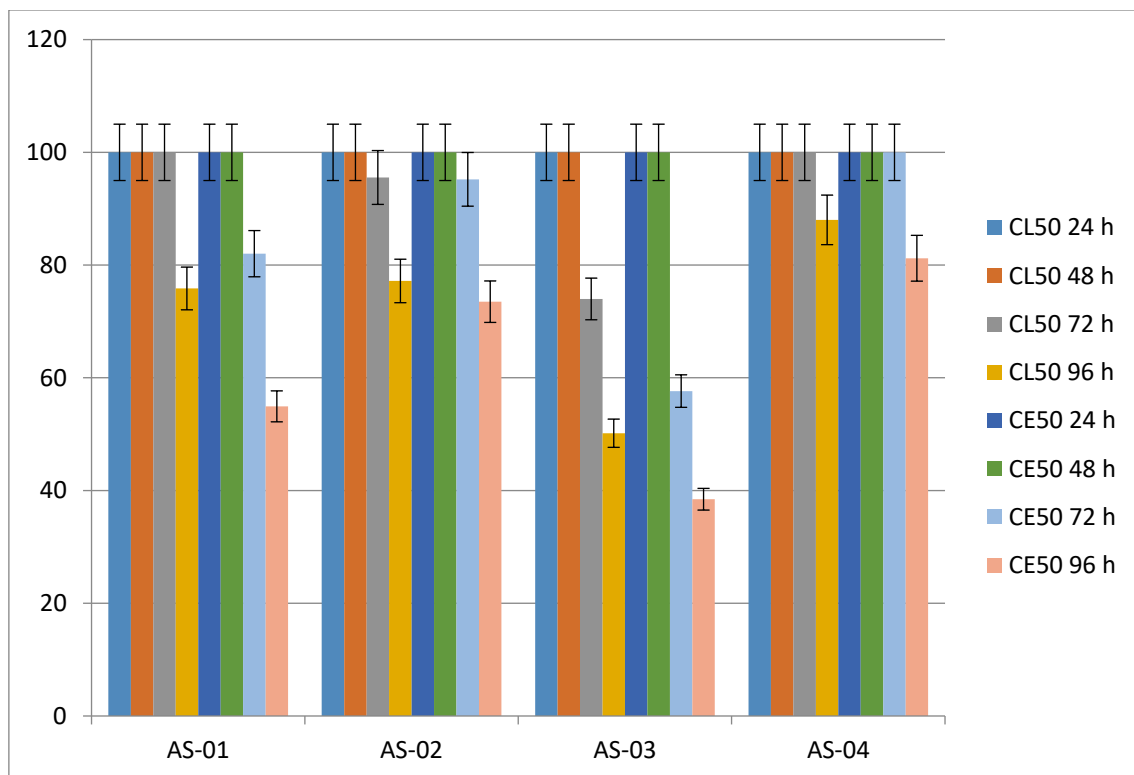


Figura 2. Comparación de CL50 y CE50 con intervalos de confianza

## DISCUSIÓN

Los efectos letales y subletales (nado extraño) de las muestras de agua superficial del río Madre de Dios en *P. innesi*, aun cuando el análisis de metales indicaba que la cantidad de Hg presente en dicho cuerpo de agua no sobrepasaba el límite impuesto en el ECA de agua de categoría 4 (MINAM, 2017), demuestran la presencia de ecotoxicidad riesgosa para los organismos acuáticos como se puede ver en la Tabla 3. Esto puede ser debido al pH, que alcanzó un promedio de 6,16 y el más bajo de 5,45 en el punto AS-03, valores por debajo de lo establecido en los ECA en la categoría 4, Conservación del Ambiente Acuático (MINAM, 2017), lo que indica que son ácidas. Según Spence y Barton (2003) el incremento de solubilidad y movilidad del Hg está inducido por el incremento de acidez del agua; de la misma manera, Shastri y Diwekar (2008) mencionan que al reducirse el pH, incrementa la bioacumulación de Hg debido al incremento de la disponibilidad de la materia orgánica para la metilación bacteriana y consecuentemente la formación de metilmercurio. Esto explica la razón por la que el punto AS-03, que presenta menor pH, presenta mayor toxicidad (con el  $CL_{50}$  y  $CE_{50}$  más bajo).

Asimismo, la concentración del mercurio en su forma orgánica (metil-mercurio) se incrementa al subir niveles tróficos en la cadena trófica (Molina et al. 2010), lo que puede explicar la razón por la que no se obtuvieron efectos letales ni subletales en las *D. magna*, no obstante, en los peces *P. innesi*, sí. En ese sentido, Espinoza y Falero (2015) mencionan que los factores como la especie y la talla influyen la actividad metabólica de los peces, lo que revela diferentes patrones de bioacumulación. Según Krabbenhoft y Rickert (1995), los peces depredadores más grandes generalmente tienen las concentraciones más altas de metilmercurio. Tal es el caso de la investigación de Martínez et al (2018) que sugirió que el comportamiento de alimentación y la posición trófica son



mejores bioindicadores de mercurio en los peces que el tamaño de los peces en el área de estudio, lo que también encontraron Diringer et al (2015) en su investigación. Martínez et al (2018) encontraron que el mercurio en un pez detritívoro era mayor que en los peces piscívoros y omnívoros; por tal motivo, se recomienda hacer un estudio con un bioindicador que esté posicionado más arriba en la cadena trófica. Por otra parte, en la misma investigación se encontró que el mercurio en sedimentos era mayor en época de lluvia que en época seca, lo cual es explicado con la removilización de sedimentos fluviales por turbulencias asociadas con eventos de escorrentía; por ello, se recomienda a su vez realizar un estudio de los efectos en bioindicadores por el mercurio en sedimentos en época de lluvia. Asimismo, según Chen et al. (2012), hay estudios que confirman que los metales tienen tendencia a depositarse en sedimentos con mayor facilidad, y a su vez aguas con alta probabilidad de contaminación por mercurio obtienen concentraciones bajas; es por esta razón que, se determina que la cantidad de mercurio se refleja mejor en los sedimentos en cuerpos acuáticos. Por tal motivo, se recomienda hacer un estudio de los efectos del mercurio en sedimentos del área de estudio con *P. innesi*.

Aun cuando se presentaron efectos ecotóxicos en los *P. innesi*, las  $CL_{50}$  y  $CE_{50}$  al ser altas demostraban que en el río Madre de Dios, la concentración del Hg presente no era altamente tóxico. Esto pudo haber sido por el tamaño del río en estudio, el cual cuenta con un largo de 100 km con un ancho de 200 m, en promedio; no obstante, el cauce del río puede exceder los 500 m de ancho en la desembocadura del río Colorado con el río Madre de Dios (Ministerio de Vivienda, 2016). Sin embargo, el punto AS-03, que se encontraba en una zona minera, presentaba mayor toxicidad en comparación con los puntos AS-01 y AS-02 que también se encontraban en una zona minera de mayor magnitud. Eso podría explicarse por la cercanía que también tenía con el puerto del centro poblado Boca Colorado, el cual a comparación del punto AS-04 (en la zona del puerto),

podría tener descargas de aguas residuales domésticas y comerciales de la población (Ministerio de Vivienda, 2016), como se encontró en el estudio de Loza y Ccancapa (2020).

Estos factores contaminantes alternos a la contaminación por la minería ilegal pueden presentar efectos en los bioindicadores por otros metales pesados como el Pb, el cual pasaba el ECA agua categoría 4 y, el As y Cu en sedimentos comparado con la ISQG. Los efectos por intoxicación de metales pesados en peces abarcan, endurecimiento del cuerpo y descenso de la motilidad; estos síntomas son consecutivos al daño en el balance y finalmente por la caída del individuo en el fondo antes de la muerte (Tomaila y Iannacone, 2018).

## CONCLUSIONES

El presente estudio encontró que *Daphnia magna* no evidenció toxicidad en agua superficial y sedimento; sin embargo, *Paracheirodon innesi* sí evidenció toxicidad con efectos letales y subletales. Asimismo, el punto de muestreo AS-03 fue el más tóxico de los cuatro puntos de agua superficial; no obstante, según los grados de toxicidad, clasifica como levemente tóxico. Por último, se encontró que el Hg no pasa los valores de ECA agua de categoría 4; sin embargo, otros metales como el Pb, As y Cu sí sobrepasan los ECA de agua, por lo que se recomienda hacer un mayor análisis de otras fuentes de contaminación y sus efectos ecotoxicológicos en los organismos acuáticos del río Madre de Dios.

## AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a la Universidad Científica del Sur por el financiamiento de la investigación, a la Universidad Nacional Federico Villarreal y sus alumnos por su laboratorio y colaboración, al doctor José Alberto Iannacone Oliver por su asesoría experta en el tema, al acuario Rokasd por su ayuda intelectual, a mis padres y Hedder Díaz por su ayuda logística, y al más importante, a Dios por su bendición.

## REFERENCIAS

- Alegre, A., Bonifaz, E., Lee, S. E. S., Alvarino. L. y Iannacone Oliver, J. A. (2018). Monitoreo ecotoxicológico de una cuenca en Huancavelica, Perú afectada por metales pesados. *REDVET* 19(5). <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050518.html>
- Ashe, K. (2012). Elevated Mercury Concentrations in Humans of Madre de Dios, Peru. *PLoS ONE*, 7(3), e33305. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033305>
- Bastos, W.R., Oliveira Gomes, J. P., Oliveira, R. C., Almeida, R., Nascimento, E. L., Elias Vernardi, J. C., Drude de Lacerda, L., Gloria da Silveira, E. y Pfeiffer, W. C. (2006). Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Science of the Total Environment*, 368, 344–351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.048>
- Cáceres del Carpio, F.A. y Iannacone, J. (2021). Evaluación del riesgo ambiental por los insecticidas fipronil e imidacloprid en el camarón de río (*Cryphiops caementarius*). *La Granja*, 33: 1-11. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/790>

- Chen, C.W., Chen, C.F. y Dong, C.D. (2012). Distribution and accumulation of mercury in sediments of Kaohsiung river mouth, Taiwan. *APCBEE Proc.*, 1, 153-158.  
DOI: 10.1016/j.apcbee.2012.03.025
- Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente - CCME (2006). Protocol for the derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. <http://cegg-rcqe.ccme.ca/en/index.html>
- Diringer, S.E., Feingold, B. J., Ortiz, E. J., Gallis, J. A. Araujo-Flores, J. M., Berky, A., Pan, W. K. Y. y Hsu-Kim, H. (2015). River transport of mercury from artisanal and small-scale gold mining and risks for dietary mercury exposure in Madre de Dios, Peru. *Environmental Sciences Process and Impacts*, 17, 478–487.  
<https://doi.org/10.1039/C4EM00567H>
- Driscoll, C.T., Han, Y., Chen, C. Y., Evers, D. C., Fallon Lambert, K., Holsen, T. M., Kamman, N. C. y Munson, R. K. (2007). Mercury Contamination in Forest and Freshwater Ecosystems in the Northeastern United States. *BioScience*, 57, 17–28.  
<https://academic.oup.com/bioscience/article/57/1/17/224397>
- Escobar-Chávez, C.; Alvariano, L. & Iannacone, J. (2019). Evaluation of the aquatic environmental risk of the mixture of the pesticides imidacloprid (insecticide) and propineb (fungicide) in *Daphnia magna* Straus, 1820. *Paideia XXI*, 9, 301-332.  
10.31381/paideia.v9i2.2759
- Espinoza Ortiz, D. y Falero Alama, S. (2015). Niveles de mercurio, cadmio, plomo y arsénico en peces del río Tumbes y riesgos para salud humana por su consumo. *Revista del Instituto de Investigación RIIGEO*, 18(36).  
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v18i36.12016>
- Hernandez Cordova, O. D., Castro Herrera, F. y Paez Melo, M. (2013). Bioacumulación de mercurio en larvas de anuros en la zona afectada por la minería de oro en el río

Dagua, Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*,  
18 (2), 341 – 348.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120548X2013000200011&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120548X2013000200011&script=sci_abstract&tlng=es)

Iannacone, Jose, Onofre, Roxana, & Huanqui, Olga. (2007). Efectos ecotoxicológicos del cartap sobre *Poecilia reticulata* "guppy" (Poeciliidae) y *Paracheirodon innesi* "neon tetra" (Characidae). *Gayana (Concepción)*, 71(2), 170-177

Iannacone Oliver, J. A., Arrascue, A. y Cárdenas, M. (2005). Evaluación de la ecotoxicidad de sedimentos del río Aruri y del Lago Junín (Perú) usando *Escherichia coli* y *Chironomus calligraphus*. *Rev Bras Toxicol*, 18(1), 27-41.

<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-417096>

Iannacone Oliver, J. A., Onofre, R., Huanqui, O., Giraldo, J., Mamani, N., Miglio, M. C. y Alvariño, L. (2007). Evaluación del Riego Ambiental del Insecticida Metamidofos en Bioensayos con Cuatro Organismos Acuáticos no Destinatarios.

*Agricultura Técnica*, 67(2), 126-138.

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0365-28072007000200002](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072007000200002)

Instituto Nacional de Recurso Naturales - INRENA (2008). Plan Maestro de la Reserva Comunal Amaraeri 2008-2012. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas -SENARP.

[http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/biblioteca/planes\\_maestros\\_2012/RC\\_AMARAKAERI/Plan%20Maestro%202008%20-%202012%20RC%20Amarakaeri%20ver%20pub.pdf](http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/biblioteca/planes_maestros_2012/RC_AMARAKAERI/Plan%20Maestro%202008%20-%202012%20RC%20Amarakaeri%20ver%20pub.pdf) .

- Krabbenhoft, D. P. y Rickert D. A. (1995). United States Geological Service – USGS. Mercury Contamination of Aquatic Ecosystems. Recuperado el 18 de enero del 2021 de <https://pubs.usgs.gov/fs/1995/fs216-95/pdf/fs21695.pdf>
- Kucharczyk, D., Targonska, K., Zarski, D. y Krejszeff, S. (2010). The reproduction of neon tetra, *Paracheirodon innesi* (Myers, 1936), under controlled conditions. *Pol. J. Natur. Sc.*, 25, 81-92. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PL2009A00276>
- Loza Del Carpio, A. L. y Ccancapa Salcedo, Y. (2020). Mercurio en un arroyo altoandino con alto impacto por minería aurífera artesanal (La Rinconada, Puno, Perú). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(1). <https://doi.org/10.20937/rica.2020.36.53317>
- Martinez, G., McCord, S. A., Driscoll, C. T., Todorova, S., Wu, S., Araujo, J. F., Vega, C. M. y Fernandez, L. E. (2018). Mercury contamination in riverine sediments and fish associated with artisanal and small-scale gold mining in Madre de Dios, Peru. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 1584. [10.3390/ijerph15081584](https://doi.org/10.3390/ijerph15081584)
- Ministerio del Ambiente – MINAM (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/3671-004-2017-minam>
- Ministerio de Vivienda (2016). Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto “Construcción de los sistemas de agua potable, alcantarillado y planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Boca Colorado Madre de Dios – Manu – Madre de Dios”. [http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos\\_Sica/Expedientes/ContenidoCD/1393385430\\_DIA%20bocacolorado%20f.pdf](http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos_Sica/Expedientes/ContenidoCD/1393385430_DIA%20bocacolorado%20f.pdf)

- Molina, C. I., Gibon, F., Duprey, J., Dominguez, E., Guimaraes, J. y Roulet, M. (2010). Transfer of mercury and methylmercury along macroinvertebrate food chains in a floodplain lake of the Beni river, Bolivian Amazonia. *Science of the Total Environment*, 408(16), 3382-91. [10.1016/j.scitotenv.2010.04.019](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.04.019)
- Olguín, E., Gonzáles Portela, R. E., Sánchez Galván, G., Zamora Castro, J. E., Owen, T. (2010). Contaminación de ríos urbanos: El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 1(2), 178-190. <http://www.solabiaa.org/ojs3/index.php/RELBAA/article/view/23>
- Organization for Economic Co-operation and Development – OECD (2019). Guideline for testing of chemicals. Fish, Acute Toxicity Test N° 203. <https://doi.org/10.1787/20745761>
- Panduro, G., Rengifo, G. F., Barreto, J. L., Arbaiza-Peña, A. K., Iannacone, J., Alvariño, L. y Crnobrna, B. (2020). Bioacumulación por mercurio en peces y riesgo por ingesta en una comunidad nativa en la amazonía peruana. *Rev. In. Vet. Perú*, 31(3). <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.18177>
- Pistilli, M. (28 de setiembre del 2020). Largest producers of gold by country. Investing News Network. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/precious-metals-investing/gold-investing/top-gold-producing-countries/>
- Repetto, M. y Sanz, P. (1993). Glosario de términos toxicológicos. IUPAC. <http://busca-tox.com/05pub/Glosario%20terminos%20toxicologicos%20toxicologia%20Repetto.pdf>
- Rivero, Y. G. (2015). *La dimensión comunicacional en la gestión participativa de la Reserva Comunal Amarakaeri en Madre de Dios*. [Tesis]. Pontificia Universidad Católica del Perú.



[http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6526/RIVER\\_O\\_MEJIA\\_YAZMIN\\_DIMENSION.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6526/RIVER_O_MEJIA_YAZMIN_DIMENSION.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Roig, N., Sierra, J., Nadal, M., Moreno-Garrido, I., Nieto, E., Hampel, M., Perez Gallego, E., Schuhmacher, M. y Blasco, J. (2015). Assessment of sediment ecotoxicological status as a complementary tool for the evaluation of surface wáter quality: the Ebro river basin case study. *Science of the Total Environment*, 503, 269-278. 10.1016/j.scitotenv.2014.06.125.

Stockemer, D. (2019). *Quantitative Methods for the Social Sciences. A Practical Introduction with Examples in SPSS and Stata*. Springer Nature, Switzerland. 181 p.

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas – SERNANP (2016). Plan maestro de la Reserva Comunal Amarakaeri 2016-2021. [http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/baselegal/Resoluciones\\_Presidenciales/2016/RP%20N%20198-2016-SERNANP---.compressed.pdf](http://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/baselegal/Resoluciones_Presidenciales/2016/RP%20N%20198-2016-SERNANP---.compressed.pdf)

Shafaqat, A., Sehar, A., Mujahid, F., Saima, A., Fakhir, H. y Rehan, A. (2014). Effect of different heavy metal pollution on fish. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 2, 74-79. [https://www.researchgate.net/publication/269784904\\_Effect\\_of\\_Different\\_Heavy\\_Metal\\_Pollution\\_on\\_Fish](https://www.researchgate.net/publication/269784904_Effect_of_Different_Heavy_Metal_Pollution_on_Fish)

Shastri, Y. y Diwekar, U. (2008). Optimal control of lake pH for mercury bioaccumulation control. *Ecol. Model.*, 216, 1-17. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2008.03.019

Spence, R. y Barton, J. (2003). Stabilization of mercury in high pH tank sludges. *Memorias. WM'03 Conference, Tucson, EUA, February 23-27*, pp. 1-12. <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc782433/m1/1/>

- Tello, S. y Bayley, P. (2001). La pesquería comercial de Loreto con énfasis en el análisis de la relación entre captura y esfuerzo pesquero de la flota comercial de Iquitos, cuenca del Amazonas (Perú). *Folia Amazónica*, 12, 123–139.  
<https://doi.org/10.24841/fa.v12i1-2.128>
- Terneus-Jácome, E. y Yáñez, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *La Granja Revistas de Ciencias de la Vida*, 27(1), 36-50.  
<https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03>
- Tomaila, J. y Iannacone Oliver, J. A. (2018). Toxicidad letal y subletal del arsénico, cadmio, mercurio y plomo sobre el pez *Parachaeirodon innesi* neon tetra (Characidae). *Revista de Toxicología*, 35, 95-105.  
<https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=91960137004>
- USEPA (Environmental Protection Agency). (1998). Contaminated sediment management strategy. EPA 823-R-98-001. Office of Water, Washington, DC.
- Vargas Licon, S. P. y Marrugo Negrete, J. L. (2019). Mercurio, metilmercurio y otros metales pesados en peces de Colombia: Riesgo por ingesta. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 232-242. 10.15446/abc.v24n2.74128
- Zakaria, N., Ahmad, A. y Mahazar, M. (2016). Acute toxicity of mercury to three freshwater organisms species in Malaysia. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 10, 124-129.  
<http://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2016/Special%20IPN%20Feb/124-129.pdf>

**ANEXOS**

**Envío a revista científica Acta Biológica Colombiana****[ABC] Envío recibido**

De: **Hernan Mauricio Romero** <[racbiocol\\_fcbog@unal.edu.co](mailto:racbiocol_fcbog@unal.edu.co)>

Date: vie, 28 ene 2022 a la(s) 11:31

Subject: [ABC] Envío recibido

To: Doctor en Ciencias Biológicas José Alberto Iannacone Oliver  
<[joseiannacone@gmail.com](mailto:joseiannacone@gmail.com)>

Doctor en Ciencias Biológicas José Alberto Iannacone Oliver:

Gracias por enviarnos su manuscrito "EFECTOS ECOTÓXICOS DEL MERCURIO Y OTROS METALES PESADOS EN EL RÍO MADRE DE DIOS, PERÚ USANDO *Daphnia magna* (DAPHNIIDAE) Y *Paracheirodon innesi* (CHARACIDAE)" a Acta Biológica Colombiana. Gracias al sistema de gestión de revistas online que usamos podrá seguir su progreso a través del proceso editorial identificándose en el sitio web de la revista:

URL del manuscrito:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/authorDashboard/submission/100746>

Nombre de usuario/o: iannacone

Si tiene cualquier pregunta no dude en contactar con nosotros/as. Gracias por tener en cuenta esta revista para difundir su trabajo.

Hernan Mauricio Romero

**COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN  
INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y  
BIODIVERSIDAD**



**Constancia N° 22-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2019**

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constancia que el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

Código de registro: **081-2018-PRE11**  
 Título: **Efectos ecotóxicos del mercurio por la minería en el río Madre de Dios (Madre de Dios – Lima - Perú) empleando Daphnia magna y Paracheirodon innesi**  
 Investigadoras: **Esther Méniz Oshiro**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminación o eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 25 de setiembre del 2020**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de este documento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador, 26 de marzo de 2019




Méd. Vet. Gianmarco Paolo Rojas Moreno  
 Presidente  
 Comité Institucional de Ética en Investigación  
 con Animales y Biodiversidad



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 054-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 10 de abril de 2019

**VISTO:**

El informe de revisión independiente académica y la aprobación de un Comité de Ética del proyecto de tesis titulado: **Efectos ecotóxicos del mercurio por la minería en el río Madre de Dios (Madre de Dios - Lima - Perú) empleando *Daphnia Magna* y *Paracheirodon Innesi***, presentado por:

- Esther Ménez Oshiro

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.


Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **Efectos ecotóxicos del mercurio por la minería en el río Madre de Dios (Madre de Dios - Lima - Perú) empleando *Daphnia Magna* y *Paracheirodon Innesi***, con N° de registro: **081-2018-PRE11**, y establecer el inicio del periodo de ejecución del mencionado proyecto.

Nombrar al docente/colaborador **Dr. José Alberto Iannacone Oliver** como asesor para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,

  
  
**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico de Carrera  
Ingeniería Ambiental