

Evaluación biotóxica de *Daphnias* utilizando contaminantes provenientes de la actividad minera

Biotoxicological assesment of *Daphnias* using pollutants from mining activity

Miguel Ángel Salvá B.¹

RECIBIDO: 15/11/2016 - APROBADO: 01/12/2016

RESUMEN

Este estudio tiene por objetivo la evaluación de organismos de ecosistemas acuáticos como *Daphnias* (pulgas de agua), ante la presencia de contaminantes que provienen de la actividad minera, mediante la aplicación de ensayos biotóxicos. Las daphnias se han escogido porque son muy vulnerables a contaminantes y cumplen un papel importantísimo en los ecosistemas acuáticos, debido a que consumen otros organismos más pequeños y sirven de alimento a diversos peces. Los ensayos biotóxicos fueron aplicados para dos casos en particular, en ambos se obtuvo la concentración letal media (CL50) para daphnias en pruebas cortas (96 h), utilizando para su determinación la curva de análisis Probit. En el primer caso, se evaluó a un solo contaminante (solución de cobre de 1000 ppm), encontrándose que la CL50 es de 3.3 µg/L; en el segundo caso se evaluaron varios contaminantes (cuerpo receptor) y se encontró que la CL50 es de 59 %; es decir, que el 59 % es el agua del cuerpo receptor y el 41 % corresponde al agua destilada.

Palabras clave: Ensayos biotóxicos, *Daphnias*, concentración letal media (CL50).

ABSTRACT

The assessment evaluates aquatic ecosystems organisms known as *Daphnia* (water fleas), in the presence of pollutants that come from mining activity, by the applications of biotoxicological tests. The daphnias were chosen due to the fact, that they are very sensitive to contaminants and have an important role in aquatic ecosystems. They feed on smaller species and provide food for many fishes. The biotoxicological tests were applied in two particular cases, in both cases the Median Lethal Concentration (LC50) was obtained for daphnias in short tests (96 hours), using for this determination, the probit analysis curve. In the first case it was used a single pollutant (Copper solution 1000 ppm), where It was determined that the LC50 was 3.3 µg/L; in the second case there were used several contaminants (river as a receptor), and it was determined that the LC50 was 59%, It means that 59% is the river water and the 41% is distilled water.

Keywords: Biotoxicological tests, *Daphnias*, median lethal concentration (LC50).

¹ Egresado de doctorado en Ciencias Ambientales, Escuela de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. E-mail: msalvab@yahoo.es.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el Perú y el mundo presentan serios problemas ambientales y sociales debido a operaciones mineras, las cuales emanan efluentes que contienen metales y otras sustancias a los cuerpos receptores cercanos. Es por esto que las empresas mineras están en una necesidad constante de mejorar e incrementar sus controles ambientales.

En este estudio se plantea la aplicación de ensayos biotóxicológicos para evaluar organismos como *Daphnias* ante la presencia de contaminantes mineros. Las *Daphnias* son organismos que tienen un rol muy importante en los ecosistemas acuáticos, debido a que son el alimento de las especies superiores; si estos organismos perecieran, no tendrían de qué alimentarse las demás especies.

I.1. Bases conceptuales

I.1.1. *Daphnias*

Las *Daphnias*, conocidas comúnmente como pulgas de agua, son microcrustáceos con un papel muy importante en los ecosistemas acuáticos; estos animales planctónicos se apoderan de otros organismos más pequeños y sirven de alimento a diversos peces.

Este organismo, conocido también como cladóceros de agua dulce, pertenece a la subclase Branchiopoda y a la clase Crustáceos, y es usado como organismo indicador de ensayos biotóxicológicos para agua dulce. De igual forma, el copépodo marino, *Acartia tonsa*, perteneciente a la subclase Ostracoda, se usa para probar los efectos de los intoxicantes en el medio marino; este organismo tiene el mismo rol que cumplen las *Daphnias* en los medios continentales (Figura N° 1).



Figura N° 1. *Daphnia* o pulga de agua (www.elacuarista.com/alimentos/daphnias.htm).

Se obtienen las *Daphnias* de cultivos establecidos o recojiéndolas en su hábitat; aunque pueden servir *Daphnias* de cualquier edad disponible, es más adecuado usar animales recién nacidos que los mayores (Figura N.° 2).



Figura N° 2. Criadero de *daphnias*.

I.1.2. Pruebas biotóxicológicas

En la evaluación de la contaminación del agua, los estudios biotóxicológicos son necesarios, debido a que las pruebas físicas y químicas no resultan suficientes para la valoración de los potenciales efectos sobre la vida acuática. No se puede determinar, por ejemplo, la interacción de los efectos tóxicos de las materias complejas.

Las diferentes clases de organismos acuáticos no son igualmente sensibles a las mismas sustancias tóxicas, ni su susceptibilidad es igual a lo largo de su ciclo vital; aunque la exposición previa a los tóxicos puede alterar este nivel de susceptibilidad.

I.1.3. Parámetros obtenidos en las pruebas biotóxicológicas

Los principales parámetros obtenidos en estas pruebas son: la concentración letal media (CL50) y la concentración específica media (CE50).

La concentración letal media (CL50) se define como la concentración del agua en estudio capaz de matar a la mitad de los organismos evaluados en un tiempo determinado (generalmente 96 h, para pruebas cortas).

La concentración específica media (CE50) se define como la concentración del agua en estudio capaz de producir en la mitad de los organismos evaluados una respuesta específica, ya sea en frecuencia respiratoria, pérdida del equilibrio, en un tiempo dado, etc. (generalmente 96 h, para pruebas cortas).

I.1.4. Método gráfico utilizado en las pruebas biotóxicológicas

Los métodos gráficos, como las curvas de análisis Probit, son la manera de expresar los resultados de las pruebas biotóxicológicas (se utiliza papel logarítmico).

Las curvas de análisis Probit son utilizadas para determinar la CL50 o CE50. En un eje se coloca la concentración de los metales, efluentes o cuerpos receptores; y en el otro eje, se coloca el porcentaje de los organismos que van muriendo o mostrando una conducta específica (según se busque el CL50 o CE50) en un tiempo determinado. Se plotean los datos y se traza una línea; la concentración

que coincide con el 50 % es la CL50 o CE50 (según lo que se evalúe).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos biotxicológicos serán aplicados para dos casos en particular; en el primer caso se tendrá como referencia un solo contaminante, el cobre; mientras que en el segundo caso se tendrá como referencia a un cuerpo receptor, el cual presenta varios metales, sulfatos, turbidez, entre otros parámetros. En ambos casos, el objetivo de los ensayos es encontrar la concentración letal media (CL50) para daphnias en pruebas cortas (96 h), utilizando para su determinación la curva de análisis Probit (Apha, Awwa, wpiif-1992).

2.1. Metodología aplicada para un solo contaminante (cobre)

Se utilizarán vasos de precipitado con un litro de agua destilada, y en cada uno de ellos se colocarán 10 *daphnias* (Piola, 2011), (Marin, 2007).

El primer vaso se usará como blanco, mientras que en los otros se vaciará una solución de cobre de 1000 ppm en diferentes cantidades, p. ej.: 5, 10, 15 y 20 g/L; y se evaluará en cuál de los recipientes mueren exactamente 5 organismos al final de las 96 h de ensayo.

En el caso de que en todos los recipientes (excepto el blanco) después de las 96 h mueran más de 5 organismos o que en todos mueran menos de 5, se deberá realizar nuevamente los ensayos en los vasos de precipitado (uno en blanco) con mayores o menores concentraciones según sea la circunstancia. Una vez encontrada la concentración capaz de matar a la mitad de los organismos, se realiza nuevamente un bioensayo de 96 h, esta vez con concentraciones de un rango más reducido.

Por ejemplo, si la concentración es de 15 g/L, los ensayos serán de: 13, 14, 15, 16 y 17 g/L. Estos resultados se plotearán a un papel logarítmico obteniendo la concentración letal media (CL50) para el cobre utilizando daphnias; esta concentración es diferente para cada organismo.

2.2. Metodología aplicada para varios contaminantes (cuerpo receptor)

La metodología es similar en el caso de un solo contaminante; se utilizarán vasos de precipitado de un litro de capacidad y en cada uno de ellos se colocarán 10 daphnias; en este caso el cuerpo receptor se trata de un río que transporta metales, sulfatos, presenta sólidos suspendidos totales (SST), entre otros parámetros. Esta metodología puede ser aplicada también para varios metales en conjunto o efluentes (Sánchez, 2002), (Ramos, 1996).

El primer vaso se usará como blanco, en tanto que en los otros se vaciará el agua del río en diferentes concentraciones, p. ej.: 5, 10, 15, 20 y 25%, y se evaluará en cuál de los recipientes mueren exactamente 5 organismos al final de las 96 h de ensayo; se debe considerar que una concentración de agua de río al 5 % en un recipiente de un (01) litro significa que 50 ml corresponde al agua del río y 950 ml al agua destilada.

En el caso de que en todos los recipientes (excepto el blanco) después de las 96 h mueran más de 5 organismos o que en todos mueran menos de 5, se deberá realizar nuevamente los ensayos en los vasos de precipitado (uno en blanco) con mayores o menores concentraciones de agua de río, según sea la circunstancia. Una vez encontrada la concentración capaz de matar a la mitad de los organismos, se realiza nuevamente un bioensayo de 96 h, y esta vez con concentraciones de un rango más reducido.

Por ejemplo, si la concentración de agua de río es de 15 %, los ensayos serán con una concentración de: 13, 14, 15, 16 y 17 %. Estos resultados se plotearán a un papel logarítmico obteniendo la concentración letal media (CL50) para el agua del río utilizando daphnias. Esta concentración de agua de río es diferente para cada cuerpo receptor o efluente.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos, al igual que la metodología aplicada, están referidos a los dos casos antes mencionados; el primero de ellos para un solo contaminante (cobre) y el segundo para varios contaminantes (cuerpo receptor).

3.1. Resultados de los bioensayos con un solo contaminante (cobre)

Se realizaron 2 ensayos con una solución de cobre de 1000 ppm; en el primero de ellos se utilizaron 5 recipientes de un (01) litro, uno (01) como blanco y 4 recipientes conteniendo diferentes concentraciones de la solución. Las concentraciones de cobre fueron 5, 10, 15 y 20 µg/L (Ver Tabla N° 1).

Tabla N° 1. Primer ensayo biotxicológico con cobre

Día	Hora	Tiempo	0 µg/L	2 µg/L	5 µg/L	10 µg/L	20 µg/L
1er Día	04:00 p.m.	0 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	08:00 p.m.	4 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
2do Día	08:00 a.m.	16 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	12:00 p.m.	20 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	04:00 p.m.	24 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	08:00 p.m.	28 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
3er Día	08:00 a.m.	40 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	12:00 p.m.	44 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	04:00 p.m.	48 horas	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10	0 / 10
	08:00 p.m.	52 horas	0 / 10	2 / 10	6 / 10	6 / 10	8 / 10
4to Día	08:00 a.m.	64 horas	0 / 10	3 / 10	7 / 10	8 / 10	9 / 10
	12:00 p.m.	68 horas	0 / 10	3 / 10	7 / 10	8 / 10	9 / 10
	04:00 p.m.	72 horas	0 / 10	3 / 10	7 / 10	8 / 10	9 / 10
	08:00 p.m.	76 horas	0 / 10	3 / 10	8 / 10	8 / 10	10 / 10
5to Día	08:00 a.m.	88 horas	0 / 10	3 / 10	8 / 10	9 / 10	10 / 10
	12:00 p.m.	92 horas	0 / 10	4 / 10	8 / 10	10 / 10	10 / 10
	04:00 p.m.	96 horas	0 / 10	4 / 10	8 / 10	10 / 10	10 / 10

De acuerdo a la Tabla N° 1, se observa que en el recipiente en blanco no murió ninguna *Daphnia* en las 96 h de ensayo; en el 2 µg/L murieron 4; en el de 5 µg/L, 8; y en los de 10 µg/L y 20 µg/L murieron todas la *Daphnias*; esto significa que la concentración letal media (CL50) se encuentra entre 2 y 5 µg/L.

Posterior a esto, se realizó el segundo ensayo con un margen de concentraciones más reducido; esta vez se utilizaron 6 recipientes de un (01) litro, uno (01) como blanco y 5 recipientes conteniendo diferentes concentraciones de la solución. Las concentraciones de cobre fueron: 2, 3, 4, 5 y 6 µg/L (Tabla N° 2).

Tabla N° 2. Segundo ensayo biotóxico con cobre

Día	Hora	Tiempo	0 µg/L	2 µg/L	3 µg/L	4 µg/L	5 µg/L	6 µg/L
1er Día	12:00 p.m.	0 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	04:00 p.m.	4 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	08:00 p.m.	8 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
2do Día	08:00 a.m.	20 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	12:00 p.m.	24 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	04:00 p.m.	28 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
3er Día	08:00 p.m.	40 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	08:00 a.m.	44 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	12:00 p.m.	48 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
4to Día	04:00 p.m.	52 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	1/10
	08:00 p.m.	56 horas	0/10	0/10	1/10	2/10	2/10	3/10
	08:00 a.m.	60 horas	0/10	1/10	1/10	2/10	3/10	5/10
5to Día	12:00 p.m.	72 horas	0/10	2/10	1/10	3/10	3/10	5/10
	04:00 p.m.	76 horas	0/10	2/10	2/10	3/10	5/10	8/10
	08:00 p.m.	80 horas	0/10	2/10	2/10	3/10	6/10	8/10
5to Día	08:00 a.m.	84 horas	0/10	3/10	3/10	5/10	7/10	7/10
	12:00 p.m.	88 horas	0/10	3/10	3/10	5/10	7/10	9/10

Según la Tabla N° 2, se observa que la concentración letal media (CL50) es 4 µg/L, debido a que murieron exactamente 5 *Daphnias* a las 96 h de ensayo. La imagen de los 2 ensayos biotóxicos con cobre puede observarse en la Figura N° 3.

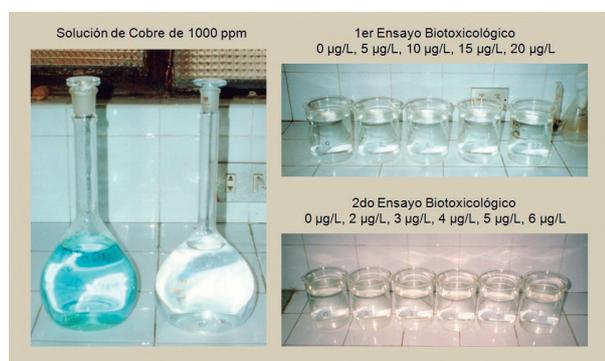


Figura N° 3. Ensayos biotóxicos realizados con cobre.

Para tener un resultado más exacto de la concentración letal media (CL50) de cobre para *Daphnias*, en pruebas cortas (96 h), se plotean los datos obtenidos en la Tabla N° 2 a un papel logarítmico y se realiza la curva de análisis Probit (Figura N° 4).

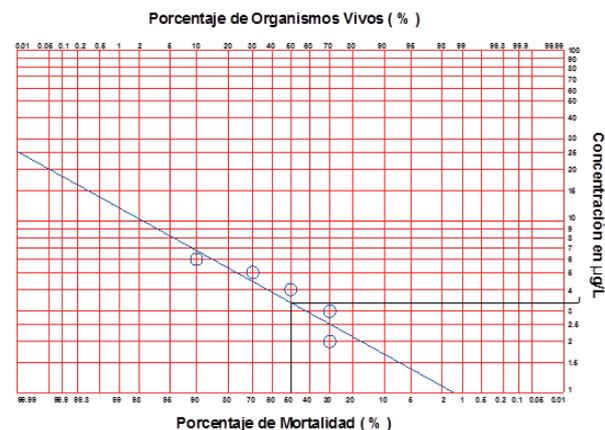


Figura N° 4. Concentración letal media (CL50) de cobre para *Daphnias* utilizando la curva de análisis Probit

De acuerdo a la Figura N°4 y a la curva de análisis Probit, la concentración letal media (CL50) de cobre para *Daphnias* en pruebas cortas (96 h) es 3.3 µg/L.

3.2. Resultados de los bioensayos con varios contaminantes (cuerpo receptor)

Para este ensayo biotóxico de corta duración (96 h) se utilizó el agua del río Boca Cabana (Áncash-Perú), en época de estiaje; este río presenta valores de pH, Pb, Cd y As fuera de los límites establecidos por los estándares de calidad ambiental (ECA-Cat.3); además, el valor de los sólidos suspendidos totales (SST) es superior al establecido por la FAO para riego (OMS, 1992).

Se realizaron 2 ensayos con el agua de este río; en el primero de ellos se utilizaron 5 recipientes de un (01) litro, uno (01) como blanco y 4 recipientes conteniendo diferentes concentraciones del agua de río. Las concentraciones del agua de río fueron 50, 70, 90 y 100% (Tabla N° 3).

Tabla N° 3. Primer ensayo biotóxico con el agua de río

Día	Hora	Tiempo	0%	50%	70%	90%	100%
1er Día	08:00 a.m.	0 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	12:00 p.m.	4 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	04:00 p.m.	8 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	08:00 p.m.	12 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
2do Día	08:00 a.m.	24 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	12:00 p.m.	28 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	04:00 p.m.	32 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
3er Día	08:00 p.m.	36 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	1/10
	08:00 a.m.	48 horas	0/10	1/10	1/10	1/10	2/10
	12:00 p.m.	52 horas	0/10	1/10	1/10	1/10	2/10
	04:00 p.m.	56 horas	0/10	1/10	2/10	1/10	3/10
4to Día	08:00 p.m.	60 horas	0/10	2/10	2/10	2/10	3/10
	08:00 a.m.	72 horas	0/10	3/10	3/10	4/10	4/10
	12:00 p.m.	76 horas	0/10	3/10	3/10	5/10	5/10
	04:00 p.m.	80 horas	1/10	3/10	4/10	5/10	6/10
5to Día	08:00 p.m.	84 horas	1/10	4/10	5/10	6/10	6/10
	08:00 a.m.	96 horas	1/10	5/10	7/10	7/10	8/10

De acuerdo a la Tabla N° 3, se observa que la concentración letal media (CL50) debe encontrarse entre 40 y 70 % de concentración del agua del río para las 96 h de ensayo con *Daphnias*; es por esto que se realiza el segundo ensayo con un rango de concentraciones más reducido, además del recipiente blanco. Las concentraciones del agua de río fueron 45, 50, 55, 60 y 65 % (Tabla N° 4).

Tabla N° 4. Segundo ensayo biotóxico con el agua de río.

Día	Hora	Tiempo	0%	45%	50%	55%	60%	65%
1er Día	08:00 a.m.	0 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	12:00 p.m.	4 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	04:00 p.m.	8 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	08:00 p.m.	12 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
2do Día	08:00 a.m.	24 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	12:00 p.m.	28 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	04:00 p.m.	32 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
3er Día	08:00 p.m.	36 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	08:00 a.m.	48 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	12:00 p.m.	52 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10	0/10
	04:00 p.m.	56 horas	0/10	0/10	0/10	0/10	1/10	0/10
4to Día	08:00 p.m.	60 horas	0/10	0/10	1/10	0/10	1/10	1/10
	08:00 a.m.	72 horas	0/10	0/10	1/10	2/10	2/10	2/10
	12:00 p.m.	76 horas	0/10	1/10	1/10	2/10	2/10	3/10
5to Día	04:00 p.m.	80 horas	0/10	1/10	3/10	2/10	3/10	3/10
	08:00 p.m.	84 horas	0/10	2/10	3/10	3/10	3/10	4/10
5to Día	08:00 a.m.	96 horas	0/10	3/10	4/10	4/10	5/10	6/10

Según la Tabla N° 4, se observa que la concentración letal media (CL50) es 60 %, debido a que murieron exactamente 5 *Daphnias* a las 96 h de ensayo. La imagen de los 2 ensayos biotxicológicos con el agua de río puede observarse en la Figura N° 5.

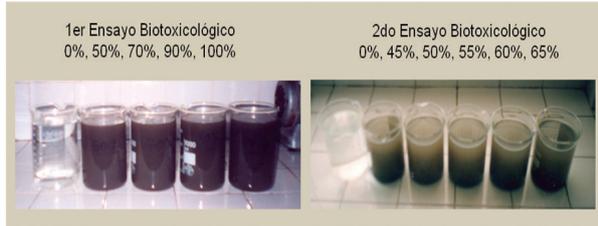


Figura N° 5. Ensayos biotxicológicos realizados con el agua de río (cuerpo receptor)

Para tener un resultado más exacto de la concentración letal media (CL50) del agua de este río para *Daphnias*, en pruebas cortas (96 h), se plotean los datos obtenidos en la Tabla N° 4 a un papel logarítmico y se realiza la curva de análisis Probit (Ver Figura N° 6).

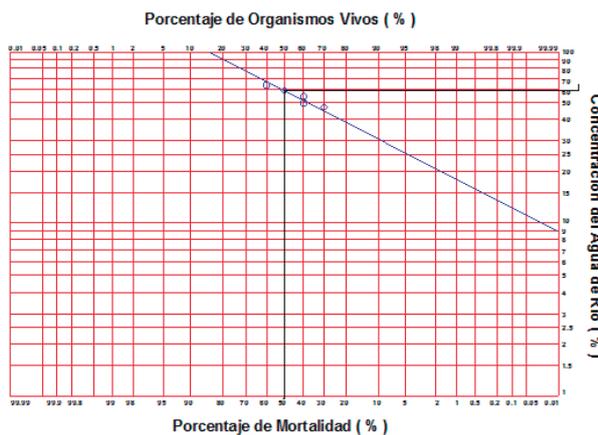


Figura N° 6. Concentración letal media (CL50) de un agua de río para *daphnias*, utilizando la curva de análisis Probit

De acuerdo a la Figura N° 6 y a la curva de análisis Probit, la concentración letal media (CL50) de esta agua de río para *Daphnias*, en pruebas cortas (96 horas) es 59 %; es decir, que el agua del río es 59 % y el 41% es agua destilada.

IV. CONCLUSIONES

1. Las *Daphnias*, conocidas comúnmente como pulgas de agua, han sido escogidas en estos ensayos biotxicológicos debido a que son muy susceptibles a contaminantes y cumplen un papel muy importante en los ecosistemas acuáticos; además, se apoderan de otros organismos más pequeños y sirven de alimento a diversos peces.

- Según los resultados obtenidos en los bioensayos de 96 h (pruebas cortas) con *Daphnias*, utilizando un solo contaminante (solución de cobre de 1000 ppm) se encontró lo siguiente: en el primer bioensayo, con un rango amplio de concentraciones, la concentración letal media (CL50) se encuentra entre 2 y 5 $\mu\text{g/L}$; mientras que en el segundo bioensayo, con un rango pequeño de concentraciones y la curva de análisis Probit, la CL50 es de 3.3 $\mu\text{g/L}$.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en los bioensayos de 96 h (pruebas cortas) con *Daphnias*, utilizando varios contaminantes (cuerpo receptor) se encontró lo siguiente: en el primer bioensayo, con un rango amplio de concentraciones, la concentración letal media (CL50) está alrededor del 60 % (60 % es el agua del cuerpo receptor y 40 % el agua destilada); mientras que en el segundo bioensayo, con un rango pequeño de concentraciones y la curva de análisis Probit, la CL50 es 59% (59 % es el agua del cuerpo receptor y 41 % el agua destilada).

V. AGRADECIMIENTOS

A la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgia y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por su apoyo y al Instituto de Investigación IIGEO por facilitar la publicación del presente artículo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF) (1992). Métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales; 8-1 p. a 8-46 pp. y 8-94 pp. a 8-98 pp.
- Organización Mundial de la Salud (1990). Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales; 2.A.II.16 p. a 2.A.II.21 p.
- Piola, L. (2011). *Ensayos ecotoxicológicos para la evaluación del impacto de plaguicidas en suelos agrícolas de Argentina*. Tesis de Posgrado. Argentina, Universidad de Buenos Aires.
- Marín, L. (2007). *Aproximación ecotoxicológica a la contaminación por metales pesados en la laguna costera del Mar Menor*. Tesis de Posgrado. España: Universidad de Murcia.
- Sánchez, P. (2002). *Valoración ecotoxicológica de la contaminación de origen agrario: Incorporación de bioensayos en los protocolos de evaluación del riesgo ambiental*. Tesis de Posgrado. España: Universidad Complutense de Madrid.
- Ramos, M. (1996). *Determinación de biotoxicidad en aguas residuales*. Tesis de Posgrado. España: Universidad Santiago de Compostela.

NORMAS EDITORIALES DE LA REVISTA

La Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la UNMSM es el órgano de difusión científica. En ella se publican trabajos inéditos, notas breves y artículos de revisión. Toda contribución debe corresponder a un trabajo original; la opinión y conceptos expresados en los artículos son de responsabilidad exclusiva de los autores. El Comité Editorial estudiará cada artículo y decidirá sobre la conveniencia de su publicación. En algunos casos podrá aceptar el artículo con algunas modificaciones o podrá sugerir la forma más adecuada para su nueva presentación.

Trabajos Inéditos. Son artículos primarios que exponen los resultados de trabajos de investigación y constituyen aportes al conocimiento. Debe contener las siguientes partes: Título, autores, resumen (en inglés y español), palabras clave (en inglés y español), introducción, material y métodos, resultados, conclusiones, agradecimientos y referencias bibliográficas.

Notas Breves. Son los resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica sobre un tema específico de interés para la comunidad, recurriendo a fuentes originales. Debe tener las siguientes partes: Título, autores y resumen (en inglés y español), palabras clave (en inglés y español), cuerpo de la nota y la referencia citada.

Artículos de Revisión. Es el documento resultado de la investigación, en la cual se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas sobre un tema específico, derivadas de tesis de grado, libros recientes y recapitulaciones de avances y tendencias de desarrollo. Debe contener las siguientes partes: Título, autores, resumen (en inglés y español), palabras clave (en inglés y español), introducción, cuerpo de la revisión, discusión, agradecimientos y referencias bibliográficas.

PRESENTACIÓN Y ACEPTACIÓN DE ARTÍCULOS

Se presentará el artículo impreso con su respectivo CD a la dirección del Instituto de Investigación (IIGEO), adjuntando dirección, correo electrónico y teléfono del autor, quien adquiere el compromiso de no enviarlo simultáneamente a otras publicaciones. Los trabajos serán enviados a los árbitros anónimos que designe el Comité Editor. Las opiniones y sugerencias emitidas por estos serán transmitidas a los autores a fin de ser tomadas en cuenta.

Los artículos seleccionados para su publicación pasan al sistema de comunicación e información de la Universidad, sin ningún tipo de retribución económica o compensación para con el autor o autores del artículo. Una vez impreso, el autor principal podrá solicitar dos ejemplares de la revista.

EXTENSIÓN Y ORGANIZACIÓN

Los artículos inéditos y artículos de revisión deben contener un máximo de 15 páginas, incluyendo referencias e ilustraciones, digitadas a doble espacio en formato A4 con letra Times New Roman N.º 11. Como nota breve, se aceptarán hasta 8 páginas digitadas a doble espacio, incluyendo como máximo dos ilustraciones.

Todo trabajo debe incluir las siguientes partes:

1. **Título.** Debe tener el menor número posible de palabras y expresar de manera concisa el contenido del trabajo de investigación.
2. **Autor(es).** Debe contener nombres y apellidos de los autores. La dirección institucional y correo electrónico se anexará en la primera hoja como pie de página.
3. **Resumen.** Se presentará en uno o dos párrafos y en no más de 200 palabras. Debe indicar en forma clara el problema, los procedimientos y los resultados de la investigación. Debe ser conciso, informativo y adelantar los resultados dados en el texto. Para facilitar su inclusión en índices y bases de datos bibliográficos, se debe agregar por lo menos cinco palabras clave. Tiene que estar traducido al inglés.
4. **Texto principal.** Descrito en forma clara, directa y concisa como realizó el trabajo de investigación, ilustrado con tablas y figuras. Para su mejor comprensión, el texto deberá ser dividido en secciones encabezadas por subtítulos. Existen tres niveles jerárquicos de subtítulos: el primero va en mayúsculas y negrita, el segundo en negritas y minúsculas, y el tercero en cursivas; todos ellos alineados a la izquierda, ordenados con números romanos y arábigos, respectivamente. Las fórmulas y ecuaciones que contengan deberán ser generadas por editores de ecuaciones actualizados.
5. **Referencias.** Contiene la lista de todos los trabajos citados en el texto. Se hará en orden alfabético,

por apellidos de los autores. No olvidar que solo van los autores citados en el texto.

- 6. Ilustraciones.** Estas comprenden figuras y tablas. Entre las figuras están las imágenes, gráficos y diagramas; deben ser originales, con la numeración arábiga y descripción fuera de ella. Si fuera el caso, deberán tener una resolución de 300 dpi como mínimo y grabadas con las extensiones JPG, CDR o TIFF. Las tablas incluyen cuadros y listas. Estas no se reprocesarán, por lo tanto deben elaborarse y presentarse impresas en excelente calidad y listas para su reproducción. Los costos de las ilustraciones a color serán asumidos por el autor.
- 7. Nota de pie de página.** Contiene las llamadas de atención que el investigador hace en su trabajo para indicar la fuente o procedencia literal de los datos y para aclarar o explicar una idea.

CITACIÓN DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Las referencias deben ser pertinentes al artículo y tendrán la estructura según el estilo APA. A continuación presentamos los siguientes modelos.

Publicación periódica:

Benavides V. (1999). Estratigrafía Preterciaria de la Región de Arequipa. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, T. 38, pp: 55-63.

Libro:

Smith, H. y Mc Cabe, R. (2006). *Operaciones unitarias en Ingeniería Metalúrgica*. México: Reverte.

Publicación colectiva:

Vicente, J. C. (2008). Elementos de estratigrafía mesozoica sur-peruana. En W. Volkheimer y E. Musacchio (eds.). *Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretácico*. Vol. 1, pp. 319-351. Buenos Aires: Comité Sudamericano del Jurásico y Cretácico.

Tesis:

Alejandro, V. (2010). *Contribución a los Estudios Petrográficos del Magmatismo Meso-Cenozoico de los Andes Centrales* (Sur del Perú). Tesis de ingeniero geólogo. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Actas de congresos, coloquios, cursos, simposios:

Soto, J. (2005). Levantamiento sísmico tridimensional en el yacimiento Pavayacu Parte Sur. Resúmenes extendidos del VIII Congreso Peruano de Geología. Lima: Edit. Sociedad Geológica del Perú, p: 130-132.

Sitios de internet:

Acevedo F. (2005). Fundamento y perspectivas de la biominería. Ediciones Universitarias de Valparaíso. http://www.euv.cl/archivos_pdf/libros_nuevos/fundamentos_biomineras.pdf (visitado el 06-06-2010)

COMITÉ EDITOR

Informes: Comité de Publicaciones

Teléfono: 619-7000, anexo 1107

Pabellón de Ingeniería Metalúrgica

Ciudad Universitaria.

Calle Germán Amézaga 375, Lima 1

E-mails: iigeo@unmsm.edu.pe, iigeo.2010@gmail.com

LIMA – PERÚ

EDITORIAL GUIDELINES

The Journal of the Research Institute of the Faculty of Geological, Mining, Metallurgical and Geographic Engineering of the National University of San Marcos (San Marcos) is the means of scientific dissemination in which unpublished papers, short notes and review articles are published. All contributions must correspond to an original work, opinion and ideas expressed in articles are under the author's sole responsibility. The Editorial Committee will review each item and decide on the advisability of its publication. In some cases, it could accept the article with some modifications or may suggest the most appropriate way for resubmission.

Unpublished works. They are primary articles setting out the results of research and ones that contribute to knowledge. They must contain the following parts: Title, authors, Summary (in English and Spanish), keywords (English and Spanish), introduction, material and methods, results, conclusions, acknowledgments and references.

Brief notes. They are research results from an analytical, interpretative or critical point of view about a specific topic of interest to the community using original sources. They must have the following parts: Title, authors and abstract (in English and Spanish), keywords (in English and Spanish), body of the Note and the reference cited.

Review articles. It is the resulting document of the research in which the results of published research on a specific topic, derived from theses, recent books and recaps of advances and development trends are analyzed, systematized and integrated. It must contain the following parts: Title, authors, Summary (in English and Spanish), keywords (in English and Spanish), introduction, review body, discussion, acknowledgments and references.

PRESENTATION AND ACCEPTANCE OF ARTICLES

The article printed with its own CD will be submitted to the address of the Research Institute (IIGEO) attaching the address, email and telephone number of the author who acquires the commitment of not sending it simultaneously to other publications. The work will be sent to anonymous referees appointed by the Editorial Committee. The authors will be informed about the opinions and suggestions made by them in order to be taken into account.

The articles selected for publication pass to the communication and information system of the University without any financial remuneration or compensation to the author or authors of the article. Once printed, the main author may request two copies of the journal.

SCOPE AND ORGANIZATION

Unpublished articles and magazine articles should contain a maximum of 15 pages including references and illustrations, double-spaced typed on A4 format using Times New Roman No. 11. As a brief note, up to eight double-spaced typed pages including a maximum of two illustrations will be accepted.

All work must include the following parts:

1. **Title.** It should have the fewest possible words and express concisely the content of the research work.
2. **Author (s).** It must contain the authors' names and last names. Institutional address and email will be attached on the first page as a footnote.
3. **Summary.** It will be presented in one or two paragraphs and with no more than 200 words. It must indicate clearly the problem, procedures and results of the research. The information should be concise and mention the results given in the text in advance. To facilitate its inclusion in indexes and bibliographic databases, you must add at least five keywords. It must be translated into English.
4. **Main text.** It must describe clearly, directly and concisely how the research work was made and be illustrated with figures and tables. The text should be divided into sections headed by subtitles for a better understanding. There are three hierarchical levels in subtitles: the first level is capitalized and bold, the second level is lower-cased and bold, and the third level is in italics; all of them aligned to the left, ordered by Roman and Arabic numerals, respectively. The formulas and equations must be generated by updated equations editors.
5. **References.** It contains the list of all the works cited in the text. It will be in alphabetical order by the authors' last names. Do not forget that only the authors cited in the text must be included.

6. **Illustrations.** These include figures and tables. The figures include images, charts and diagrams that must be original with Arabic numerals and description outside them. If applicable, they must have a resolution of 300 dpi minimum and recorded with JPG, EPS or TIFF extensions. The tables include tables and lists. These will not be re-processed; therefore, they should be prepared and presented printed in excellent quality ready for playback. The author will assume the costs of color illustrations.
7. **Footnote.** It contains some warning notes made by the researcher about his work to indicate the source or literal origin of data and clarify or explain an idea.

CITATION OF REFERENCES

References should be relevant to the article and will have the structure according to the APA style.

Here are the following models.

Periodical:

Benavides V. (1999). Pre-tertiary stratigraphy of the region of Arequipa. *Bulletin of the Geological Society of Peru*, T. 38, pp: 55-63.

Book:

Smith, H. McCabe, R. (2006). *Unit operations in Metallurgical Engineering*. Mexico: Reverte.

Collective publication:

Vicente, J. C. (2008). Sur-Peruvian elements Mesozoic stratigraphy. Volkheimer W. and E. Musacchio (eds.). *Sedimentary basins of the Jurassic and Cretaceous*. Vol. 1, pp. 319-351. Buenos Aires: South American Committee of the Jurassic and Cretaceous.

Thesis:

Alejandro, V. (2010). Contribution to petrographic studies of Meso-Cenozoic magmatism of the (Southern Peru) Central Andes. Thesis engineering geologist. Lima Mayor de San Marcos National University.

Congresses proceedings, discussions, courses, symposia:

Soto, J. (2000). Three-dimensional seismic survey in the South Part Pavayacu site. Extended abstracts of the VIII Peruvian Geological Congress, Lima. Edit. Geological Society of Peru, p: 130-132.

Internet sites:

Acevedo F. (2005). Background and bio-mining prospects. University editions of Valparaiso. http://www.euv.cl/archivos_pdf/libros_nuevos/fundamentos_biomneras.pdf (accessed 06-06-2010).

EDITORIAL COMMITTEE

Information: Publications Committee

Phone: 619-7000, Annex 1107

Metallurgical Engineering Building

University City

Germán Amézaga Street 375, Lima 1

E-mail: iigeo@unmsm.edu.pe; iigeo2010@gmail.com



CUPÓN DE SUSCRIPCIÓN / SUBSCRIPTION FORM

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA



Esta revista es un órgano de difusión científico-técnica del Instituto de Investigación de la FIGMMG, de publicación semestral, con el objetivo primordial de dar a conocer a la comunidad nacional e internacional las investigaciones y trabajos académicos originales de los profesores, alumnos, ex alumnos e invitados, quienes tratan principalmente temas de las áreas de ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica; asimismo de Medio ambiente y otras relacionadas a ellas, que conllevan al desarrollo de la sociedad, en especial de nuestro país y de la región.

This magazine works as a diffusion via of the Scientific-Technical Research Institute of FIGMMG, which is published every semester, with the main objective of informing to the national and international community about all the researches and original academic work of teachers, students, alumni and guests, who mainly work with Geological, Mining, Metallurgical Engineering's issues, geographical environment and others related to them, which lead to the development of society, especially our country and its regions.

Av. Venezuela 3400, Lima 01
Ciudad Universitaria UNMSM, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica.
Pabellón de Ing. Metalúrgica, Primer Piso
Tel: +511 619-7000 anexo 1107 E-mail: iigeo.2010@gmail.com iigeo@unmsm.edu.pe

Nombre / Name:

SUSCRIPCIÓN ANUAL / ANNUAL SUBSCRIPTION

Institución o Empresa / Institution or Company:

Incluye envío / Includes delivery:

Nacional S/. 60.00

Dirección / Address

Internacional \$/. 60.00

Ciudad (Estado / Provincia / Departamento) / City (State / Province / Department):

Nota:

1. Si envía Cheque, debe estar a nombre de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - FIGMMG. / If you send a check, this has to be under the name of Universidad Nacional Mayor de San Marcos - FIGMMG.
2. Si hace el depósito, debe ser a nombre de la UNMSM - FIGMMG.

Código Postal / Zip Code:

Cuenta de Ahorros en soles N.º 00270019870 / If you make a deposit, this has to be to UNMSM - FIGMMG: Saving Account in Soles: N.º 00270019870.

País / Country:

Cuenta ahorros en dólares N.º 00270019880 / Saving Account in Dollars: N.º 00270019880.

Fax:

E-mail:

Banco Financiero, Lima - Perú (Enviar copia de depósito al correo indicado) / Banco Financiero Lima-Perú (Send voucher's copy to the above e-mail).



CEPREDIM - UNMSM

SE TERMINÓ DE IMPRIMIR
EN EL MES DE DICIEMBRE DE 2016
EN LOS TALLERES GRÁFICOS DEL
CENTRO DE PRODUCCIÓN EDITORIAL E IMPRENTA
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
JR. PARURO 119, LIMA 1.
TELÉF.: 619-7000 ANEXO 6009
E-MAIL: ventas.cepredim.unmsm@gmail.com
PÁGINA WEB: www.cepredim.com
TIRAJE: 500 EJEMPLARES