



## Determinación de la dosis letal media de combinación de dos metales pesados sobre *Mugil cephalus*, a diferentes concentraciones y tiempo de exposición

### Determination of the average lethal dose of a combination of two heavy metals on *Mugil cephalus*, at different concentrations and exposure times

Santos Enrique Padilla Sagastegui<sup>1</sup>; Carmen Lizbeth Yurac Gonzales Velasquez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

Santos Enrique Padilla Sagastegui

 <https://orcid.org/0000-0001-5458-5102>

Carmen Lizbeth Yurac Gonzales Velasquez

 <https://orcid.org/0000-0002-7541-617X>

#### Artículo Original

Recibido: 01 de agosto de 2023

Aceptado: 22 de octubre de 2023

#### Resumen

Se estudió la sinergia letal de la combinación de los metales pesados cobre, zinc, plomo y hierro sobre *Mugil cephalus*, a través del tiempo de exposición. Cuyos ejemplares fueron recolectados en la bocana del Río Moche, sometido a proceso de adaptación a condiciones de laboratorio durante 90 días y expuestos a pruebas de bioensayos en un diseño en bloques anidados completamente al azar con las combinaciones de cobre con zinc; cobre con plomo; cobre con hierro; zinc con plomo; zinc con hierro; plomo con hierro, en presencia de testigo, que nos condujeron a los procesos de análisis de estimación estadística comprendidas en el porcentaje de mortalidad a través del tiempo, con lo que se llegó a la conclusión de que existe sinergia letal entre los metales pesados combinados y la mortalidad de los individuos depende de la concentración proporcional de cada metal.

**Palabras clave:** metales pesados, mortalidad, *Mugil cephalus*

#### Abstract

The lethal synergy of two heavy metals (copper and zinc; copper and lead; copper and iron; zinc and lead; zinc and iron; lead and iron) on *Mugil cephalus* was studied over exposure time. The specimens were collected at the mouth of the Moche River, subjected to an acclimatization process for 90 days and exposed to bioassay tests in a completely randomized nested block design with combinations of copper, zinc, lead and iron, as well as a control.

The interpretations of the results were made with the statistical estimation included in the mortality percentage, reaching the conclusion that there is lethal synergy between the combined metals and the mortality of the individuals depends on the proportional concentration of each metal.

**Keywords:** heavy metals, mortality, *Mugil cephalus*

\*Autor para correspondencia: E. mail: [spadilla@unitru.edu.pe](mailto:spadilla@unitru.edu.pe)

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2023.43.02.07>

Citar como:

Padilla-Sagastegui, S., & Gonzales-Velásquez, C. (2023). DETERMINACIÓN DE LA DOSIS LETAL MEDIA DE COMBINACIÓN DE DOS METALES PESADOS SOBRE *Mugil cephalus*, A DIFERENTES CONCENTRACIONES Y TIEMPO DE EXPOSICIÓN. *REBIOL*, 43(2), 52-58.



## 1. Introducción

La contaminación del agua se define como cualquier cambio físico o químico en su estructura y composición y que puede afectar negativamente a los seres vivos; haciendo notar que existen varias formas de contaminación de acuerdo con el desarrollo de un sector, empresa o región dentro de un país, como ha sucedido en los últimos años, que han incrementado las fuentes de contaminación del agua continental, desde su origen en las cabeceras de cuenca hasta la orilla del cauce de los ríos y zonas litorales; además de la expansión urbana que arrojan aguas residuales y otros residuos químicos de naturaleza orgánica e inorgánica como los metales pesados (Baquerizo, Acuña, y Solis, 2019).

Ante el conocimiento del peligro de los metales pesados y la magnificación biológica a través de la cadena alimenticia, se han organizado eventos científicos, como investigaciones y congresos, con el fin de reglamentar la descarga de sustancias que conlleven elementos químicos que pueden repercutir negativamente en los organismos vivos en un ecosistema del medio acuático; así tenemos, que entre 1974 y 1975, se firmó entre los países de la comunidad europea el Convenio de París, en el cual se debía reglamentar las estrategias para prevenir y proteger el Océano Atlántico y el mar del Norte, de la contaminación (Antúnez-Sánchez & Guanoquiza-Tello, 2018; Bertolotti y Noé, 2018), que trajo como consecuencia el establecimiento de las llamadas listas negras que incluían a sustancias que debían descargarse bajo estricta restricción, como los compuestos orgánicos que llevan en su contenido fósforo, cadmio, mercurio, sílice, compuestos derivados del petróleo e hidrocarburos, compuestos con arsénico, cromo, plomo, cobre, níquel y zinc en su molécula; aunque no se debe dejar de lado las listas que incluían a sustancias que no debían desecharse en ninguna forma o estado al agua, por su persistencia, toxicidad y/o por la facilidad de bioacumularse, como los compuestos organoclorados,

halógenos u otros que al ser introducidos al medio acuático pueden formar derivados halogenados; además del mercurio, cadmio, algunos plásticos flotadores y petróleo (Correa, 2021; Gardels, 1989). Asimismo, algunas instituciones mundiales han promovido programas de evaluación y conservación de la capacidad productiva de los recursos acuáticos, para estimar la interacción de las actividades humanas en el medio ambiente, con énfasis en los cuerpos de agua, teniendo como alternativa, conseguir tecnologías propias para evaluar el estado de los ecosistemas acuáticos y su administración en relación con la protección de los recursos vivos, especialmente en los ríos, estuarios y otras áreas costeras, donde la contaminación tiende a la polución (Gavilán, y col. 2019; Escobar, 1991; Campos, 1990; Valenzuela, 1983).

## 2. Materiales y Métodos

Se utilizaron bioensayos estáticos en acuarios de vidrio en diferentes concentraciones combinadas, cuyo diseño fue distribuido en bloques anidados completamente al azar con cuatro repeticiones, cuyas concentraciones para cada combinación de sus concentraciones, se tomó el modelo de Reish y Oshida (1987). La experiencia, se desarrolló con observación permanente, registrando los datos a las 6, 12, 24, 48 y 72 horas, con la esperanza de observar los 10 individuos muertos en cada unidad experimental (acuario). Asimismo, se registraron los valores de temperatura de  $19,8 \pm 2,3^{\circ} \text{C}$ , en un termómetro graduado en escala Celsius, de 0 a  $100^{\circ} \text{C}$ ; el pH, de  $6,8 \pm 0,3$ , utilizando un potenciómetro Beckman H-2 y el oxígeno disuelto, determinado por el método de Winkler, modificado por Alsterberg para aguas continentales teniendo cuidado que oscile entre 6,8 a 7,6 mg/l, (Fukushima, y col. 1982).

## 3. Resultados

Se reporta la mortalidad expresada en porcentaje del número de individuos muertos y el número de horas en que alcanzó el 50 por ciento de mortalidad, obtenida de las concentraciones combinadas en las repeticiones

durante el tiempo de exposición, como explicamos en la tabla 1.

Tabla 1.

Porcentajes de mortalidad de *M. Cephelus*, según las concentraciones en las combinaciones del cobre, zinc, plomo y hierro durante diferentes tiempos de exposición.

Combinaciones	Concentraciones		Tiempo (Horas)				Inicio y fin de alteraciones fisiológicas (Horas)
	(ppm)		6	12	24	48	
<b>Cobre + Zinc</b>	1.00 + 8.00	0.0	10.0	22.5	47.5	20.0	24 a 48
	1.26 + 9.80	0.0	7.5	32.5	47.5	12.5	24 a 48
	1.58 + 11.99	5.0	17.5	47.5	30.0	0.0	12 a 24
	1.99 + 14.99	15.0	25.0	50.0	10.0	0.0	12 a 24
	2.50 + 69.18	22.5	25.0	52.5	0.0	0.0	12 a 24
<b>Cobre + Plomo</b>	1.00 + 20.00	2.5	15.0	32.5	37.5	12.5	12 a 24
	1.26 + 25.15	7.5	20.0	42.5	20.0	10.0	12 a 24
	1.58 + 31.62	12.5	25.0	40.0	22.5	0.0	12 a 24
	1.99 + 39.77	15.0	35.0	45.0	5.0	0.0	6 a 12
	2.50 + 50.00	20.0	42.5	37.5	0.0	0.0	6 a 12
<b>Cobre + Hierro</b>	1.00 + 30.00	0.0	12.5	40.0	35.0	12.5	12 a 24
	1.26 + 38.34	12.5	22.5	37.5	22.5	5.0	12 a 24
	1.58 + 48.99	7.5	22.5	40.0	28.5	1.5	12 a 24
	1.99 + 62.61	15.0	17.5	45.0	22.5	0.0	12 a 24
	2.50 + 80.00	20.0	19.0	52.5	8.5	0.0	12 a 24
<b>Zinc + Plomo</b>	8.00 + 20.00	2.5	12.5	42.5	30.0	12.5	12 a 24
	9.80 + 25.15	10.0	22.5	37.5	22.5	7.5	12 a 24
	11.99 + 31.62	10.0	30.0	47.5	12.5	0.0	12 a 24
	14.69 + 39.77	15.0	25.0	55.0	5.0	0.0	12 a 24
	18.00 + 50.00	20.0	25.0	52.5	2.5	0.0	12 a 24
<b>Zinc + Hierro</b>	8.00 + 30.00	5.0	30.0	35.0	22.5	7.5	12 a 24
	9.80 + 38.34	17.5	37.5	30.0	15.0	0.0	6 a 12
	11.99 + 48.99	25.0	40.0	35.0	0.0	0.0	6 a 12
	14.69 + 62.6	30.0	50.0	20.0	0.0	0.0	6 a 12
	18.00 + 80.00	32.5	57.5	10.0	0.0	0.0	6 a 12
<b>Plomo + Hierro</b>	20.00 + 30.00	5.0	15.0	35.0	27.5	17.5	12 a 24
	25.15 + 38.34	10.0	22.5	45.0	17.5	5.0	12 a 24
	31.62 + 48.99	12.5	25.0	55.0	7.5	0.0	12 a 24
Sin Contaminante	39.77 + 62.61	25.0	32.5	40.0	2.5	0.0	6 a 12
	50.00 + 80.00	27.5	37.5	35.0	0.0	0.0	6 a 12

Tabla 2.

Concentraciones combinadas y el tiempo de exposición en que alcanzan el 50 por ciento de mortalidad (CL<sub>50</sub>).

Combinaciones	Concentraciones	Inicio de alteraciones fisiológicas	Horas que alcanzaron 100 % muertos
	(ppm)	(Horas)	
<b>Cobre + Zinc</b>	1.00 + 8.00	12	72
	1.26 + 9.80	12	72
	1.58 + 11.99	6	48
	1.99 + 14.99	6	48
	2.50 + 69.18	6	24
<b>Cobre + Plomo</b>	1.00 + 20.00	6	72
	1.26 + 25.15	6	72
	1.58 + 31.62	6	48
	1.99 + 39.77	6	48
	2.50 + 50.00	6	24

<b>Cobre + Hierro</b>	1.00 + 30.00	12	72
	1.26 + 38.34	6	72
	1.58 + 48.99	6	72
	1.99 + 62.61	6	48
	2.50 + 80.00	6	48
<b>Zinc + Plomo</b>	8.00 + 20.00	6	72
	9.80 + 25.15	6	72
	11.99 + 31.62	6	48
	14.69 + 39.77	6	48
	18.00 + 50.00	6	48
<b>Zinc + Hierro</b>	8.00 + 30.00	66	72
	9.80 + 38.34	6	48
	11.99 + 48.99	6	24
	14.69 + 62.6	6	24
	18.00 + 80.00	6	24
<b>Plomo + Hierro</b>	20.00 + 30.00	6	72
	25.15 + 38.34	6	72
	31.62 + 48.99	6	48
Sin Contaminante	39.77 + 62.61	6	48
	50.00 + 80.00	6	24
Sin Contaminante	0.0	0	0

Tabla 3.

Análisis de regresión relacionando tiempo y los porcentajes de mortalidad, con probabilidad de error 0,05 y 95 por ciento de confiabilidad.

Combinaciones	Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F <sub>α</sub>	Ft
Cobre + Zinc	Debido a la regresión	1	5827,3275	5827,3275	16,4479	10,1
	Debido al error	3	1062,8725	354,2908		
	Total	4	6890,2	1722,55		
Cobre + Plomo	Debido a la regresión	1	4548,9300	4548,9300	10,2838	10,1
	Debido al error	3	1327,0200	442,3400		
	Total	4	5875,95	1468,9875		
Cobre + Hierro	Debido a la regresión	1	5222,8895	5222,8895	13,3457	10,1
	Debido al error	3	1174,0605	391,3535		
	Total	4	6396,9500	1597,2375		
Zinc + Plomo	Debido a la regresión	1	4683,0005	4683,0005	9,3166	10,1
	Debido al error	3	1507,9495	502,6498		
	Total	4	6190,9500	1547,7375		
Zinc + Hierro	Debido a la regresión	1	2665,2261	2665,2261	4,7698	10,1
	Debido al error	3	1676,3239	558,7747		
	Debido al error	4	4341,5500	1085,3875		
Plomo + Hierro	Debido a la regresión	1	3975,2405	3975,2405	8,3320	10,1
	Debido al error	3	1431,3095	477,1032		
	Total	4	5406,5500			

#### 4. Discusión

La etapa experimental, indican el porcentaje del número de muertos en las concentraciones de cada combinación, a través del tiempo de exposición.

Los ejemplares utilizados para la investigación, fueron recolectados de la albufera de la Bocana del Río Moche y se identificaron por analogía como *M. cephalus* "lisa"; cuya especie tiene características omnívoras, de amplia distribución acuática y admite agua cálida de temperatura semejante a subtropical, en salinidad variable entre un rango de 0,5 a 110 ‰ (Argumedo-Guillén, y col., 2021; IMARPE, 2019;).

Asimismo, siguiendo el modelo de los autores mencionados, se procedió a la adaptación en el laboratorio para superar el estado de stress por la captura y la homogenización fisiológica de los individuos afectados por el cambio del medio ambiente natural, a fin de obtener resultados exitosos, se sometieron a condiciones de oxigenación permanente, temperatura estable y suministro de alimento adecuado, para evitar el efecto de ayuno, como lo sugieren para las condiciones de bioensayo en acuarios de 10 litros de volumen y 10 ejemplares por unidad experimental, siguiendo el modelo de Padilla (1993).

A través del tiempo, se observaron que los ejemplares muertos aumentaron en cada nivel de concentración en cada una de las combinaciones, que se puede interpretar como un proceso de complemento en la acción de los metales combinados; tal es así, que en el caso del cobre considerado como un oligoelemento esencial necesario para el crecimiento y metabolismo de los organismos vivos, cuando se encuentra en concentraciones elevadas, puede ser tóxico en estado de ion cúprico (Cu<sup>+</sup>), cuando hay una sobre posición en los tejidos de éstos, sobre todo en peces y crustáceos que no soportan dicha toxicidad, debido a que la acción tóxica ejerce sobre las branquias, trayendo como consecuencia hipoxemia, probablemente

por la formación de cambios histopatológicos, engrosamiento de laminillas, congestión, desprendimiento epitelial y fusión de laminillas, lo que nos induce a pensar que estos cambios conducen a la reducción en el área de la superficie branquial y flujo de agua laminar, lo que tiene un efecto atenuante a la fisiología respiratoria del organismo, por la dificultad a la captación de oxígeno y excreción de anhídrido carbónico, llevando al colapso cardiovascular, cuyas apreciaciones son concordantes con Sandoval (2020).

En este contexto, los reportes de Olivares, y col., (2014), los niveles zinc en *Oreochromis niloticus* y *Mugil cephalus*, son frecuentes de músculo, hígado y branquias, aunque no tienen capacidad de acumulación, causan mayor mortalidad cuando se combinan con mercurio, lo que nos indica que hace una suerte de sinergia entre dichos metales. Asimismo, el hierro y plomo son elementos químicos tóxicos, que se acumulan en los músculos y branquias de los peces durante muchos meses o años, de tal manera que cantidades pequeñas de hierro y/o plomo, pueden acumularse y provocar intoxicación con la consecuente afectar el desarrollo físico de los peces como los sostiene Jones, y col. (2019).

Los porcentajes de mortalidad presentados en la tabla 1, nos da evidencias suficientes para pensar que *M. Cephalus* "lisa", es muy sensible a la contaminación por metales pesados combinados; de tal modo que cuando los ejemplares fueron expuestos a la combinación de cobre más zinc; en las concentraciones menores (1,00mg/l, de cobre más 8,00mg/l, de zinc; 1.26mg/l de cobre más 9.80mg/ de zinc), a las 24 horas mostraron síntomas de alteración fisiológica, como aumento en la velocidad, agitación de aletas, desequilibrio pérdida en la dirección durante el nado, cuyas condiciones fueron progresivas hasta alcanzar la muerte a las 48 horas, y mortalidad total (100%) a las 72 horas a diferencia de las combinaciones con mayores concentraciones con los mismos elementos químicos (1.59mg/l cobre más 11.90 mg/l de zinc; 1.99mg/l de cobre más 14.99mg/l de zinc;

2.50mg/l de cobre más 69.18 de zinc), mostraron alteraciones fisiológicas a las 12 horas y alcanzaron la muerte a las 24 horas.

El mismo proceso investigativo (tabla 1), en las combinaciones de cobre más plomo, zinc más hierro y plomo más, con concentraciones menores los ejemplares de expuestos a concentraciones menores, mostraron alteraciones en la fisiología a las 12 horas y la muerte del 50 % a las 24 horas; a diferencia de la combinación con concentraciones mayores, mostraron el desequilibrio a las 6 horas y muerte del 50% de individuos a las 12 horas; en cambio en la combinación de cobre más hierro y zinc más plomo, en todas las concentraciones, la alteración de acciones fisiológicas, se inicia a las 12 horas y alcanzan la muerte a las 24 horas; resultados similares reportan [Tomaila y Iannacone \(2019\)](#), utilizando el método de bioensayos estáticos para conocer la toxicidad letal y subletal del arsénico, cadmio, mercurio y plomo en peces *Paracheiroidon innesi* y Padilla (1993),

quienes afirman que, cuando la especie está expuesta a cada metal, con las mismas concentraciones, es más sensible al cobre que al zinc, plomo y hierro; ya que el 50 % de mortalidad, sucede a las 24 horas con 1,00mg/l, de cobre; cuya apreciación es concordante con los resultados cuando está combinado con zinc, plomo y hierro.

El efecto sinérgico durante la experiencia, se explica por los efectos complementarios entre los dos elementos químicos combinados, así tenemos que el cobre con el zinc, el primero, atribuye su toxicidad al combinarse con el mucus secretado por los filamentos branquiales, formando compuestos insolubles que dificultan el proceso respiratorio, concordante con Goodman (1951) y el zinc, precipita en forma de sal precipitada sobre las branquias del pez, causando sofocación, concordante con la opinión de Doudoroff (1953); quien refiere que el sinergismo entre el cobre y es zinc es bajo en los organismos acuáticos, debido a que cuando combinó

cloruro de amonio y sulfato de zinc, en permanente oxigenación, obtuvo el 50% de mortalidad en 24 horas; sin embargo, en la combinación del cobre con el plomo, confirma la acción complementaria, debido a que el plomo, por tener alto peso atómico, precipita con facilidad, se acumula en la superficie del cuerpo de los peces, con particularidad en las branquias, dificultando la respiración y otros procesos fisiológicos del organismo, como lo reporta [Tomaila y Iannacone \(2019\)](#) y [Carpenter \(1957\)](#).

Cuando los ejemplares de *M. Cephalus*, fueron expuestos a las concentraciones de cobre más hierro y zinc más plomo, los valores del porcentaje de mortalidad, fueron parecidos en todas las combinaciones, se asume que el plomo se adiciona al mucus de las branquias y el hierro, están en relación con la presencia de oxígeno en la solución y su efecto sobre los filamentos branquiales de los peces, se debe a la formación de óxidos ferrosos insolubles, dificultando la respiración, concordante con las apreciaciones de [Tomaila y Iannacone \(2019\)](#).

En la tabla 2, presentamos las horas en que los ejemplares *M. cephalus* "lisa" inician el desequilibrios natatorio y las horas en que alcanzaron el 100 % de muertos (mortalidad total) de unidades experimentales, lo que nos lleva a pensar que dicho proceso fue progresivo, por efecto de toxicidad, posiblemente por efecto de la resistencia de cada individuo, la edad o el sexo, lo que invita a pensar que es necesario profundizar la información con otras investigaciones relacionadas con dichas variables, como opina [Cusiche & Miranda, \(2019\)](#) en sus estudios de contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional 'Lago Junín'.

Los análisis de la regresión lineal relacionando el tiempo y los porcentajes de mortalidad (Tabla 3), según prueba de hipótesis, indican que la exposición de los ejemplares utilizados como unidades experimentales, son significativos; es decir, los elementos químicos combinados son causantes de la muerte de *M. cephalus*, cuya apreciación es concordante con los reportes de

Zamora-García (2016), en sus estudios de evaluación del efecto de la mortalidad por pesca en los parámetros poblacionales de (*Scomberomorus sierra*), en el sur del golfo de California.

## 5. Conclusiones

Existe sinergia letal entre la combinación de los metales pesados cobre, zinc, plomo y hierro a diferentes concentraciones y tiempo de exposición.

Para causar la muerte de los ejemplares de *M. Cephalus*, existe proporciones de las concentraciones de cada metal.

Se determinó el número de horas de inicio del desequilibrio de los ejemplares experimentales y las horas en que causó la muerte, que sirvió como referencia para la determinación de la concentración Letal Media (CL<sub>50</sub>), causada por cada combinación de concentraciones.

## 7. Contribución de los autores

Todos los autores deben haber hecho contribuciones sustanciales en cada uno de los siguientes aspectos: (1) la concepción y el diseño del estudio, o la adquisición de datos, o el análisis y la interpretación de los datos, (2) el borrador del artículo o la revisión crítica del contenido intelectual, (3) la aprobación definitiva de la versión que se presenta.

## 8. Conflicto de intereses

El autor declara que no hay conflicto de intereses.

## 9. Referencias Bibliográficas

Antúñez-Sánchez, A., & Guanoquiza-Tello, L. L. (2018). La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. *Revista Visión Contable*, 19, 64–101. <https://doi.org/10.24142/rvc.n19a4>

Argumedo-Guillén, E., Tacuri-Santisteban, P., Pérez-Huaripata, M., Castillo-Mendoza, G., Saldarriaga-Mendoza, M., Lau-Medrano, L., Palacios León, J. y Guevara-Carrasco, R. 2021. Indicadores biológicos, pesqueros y

poblacionales de la lisa *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758) en el litoral peruano. Informe del Instituto del Mar de Perú. 48(4): 563-577. <https://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958>

Baquerizo, M., Acuña, M., & Solis, M. (2019). Contamination of river: case Guayas river and its affluent. *Manglar*, 16(1), 63–70. <https://doi.org/10.17268/manglar.2019.009>

Bertolotti, F., & Noé, N. (2018). Concentración de plomo, mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa, Ancash - Perú. *Salud y Tecnología Veterinaria*, 6(1), 35. <https://doi.org/10.20453/stv.v6i1.3376>

BUSTAMANTE, L. F. 1978. Bioensayos de contaminantes metálicos hídricos y su efecto en el "camarón juvenil" *Cryphiops caementrius*. Tesis de Ingeniero Pesquero. Universidad Nacional La Molina. Lima. Perú.

Campos, N. (1990). La contaminación por metales pesados en la Ciénaga Grande de Santa María. *Caribe Colombiano*. Caldasia. 16: 231 - 244.

Carpenter, K. 1957. The letal actino of soluble metallic salts on fishes. *Brit. Jour.* 4: 321-378

Correa, O. (2021). Contaminación por metales pesados de la microcuenca agropecuaria del río Huancaray– Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 26–38. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>

Cusiche, L., & Miranda, G. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional 'Lago Junín', Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1433–1447. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1870>

Doudoroff, P. y M. Katz. 1953. Review of literature on the toxicity of industrial wastes an their components to fish. The metals as salts sewage and industrial wastes. 25; 802

Escobar, j. (1991). marine pollution monitoring in the south east pacif: past and future programmes and international co-operation. washington, d. c., pnuma 61 - 76.

Fukushima, M., Sifuentes, G., Saldaña, G., Gordillo, G., Arroyo, J. y Shimokawa L. (1982). Manual de Métodos Limnológicos. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú.

- Gardels, C. 1989. Laboratory study of the from water faucets. Journal of the American water works Association. 81(7): 101 – 113
- Goodman, J. 1951. Toxicity of zinc for rainbow trout (*Salmo gairdnerii*). California fish and game. Washington, D. C. EE.UU
- IMARPE. 2019. Estimación de la talla mínima de captura del recurso lisa *Mugil cephalus*. Informe. Of. 635-2019-Imarpe/DEC. 9pp
- González, O., & Murga, L. (2020). Evaluación de metales pesados en ríos y truchas *Oncorhynchus mykiss* de la región Pasco, Perú. Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad, 32–48. <https://doi.org/10.46380/rias.v3i2.93>
- Jones, J., Wellband, K., Zielinski, B., & Heath, D. D. (2019). Transcriptional basis of copper-induced olfactory impairment in the sea lamprey, a primitive invasive fish. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 9(3), 933-941.
- Olivares, H., Guerra, R., Carvajal, D., Mukarker, M., y Lobos, G. (2014). Evaluación de la genotoxicidad de las aguas costeras de Chile central sobre los peces *Mugil cephalus* y *Odontesthes brevianalis*. *Hidrobiológica*, 24(3), 271-279. <https://bit.ly/2WG7zzB>
- Padilla, S. 1993. Bioensayos de toxicidad letal del cobre, zinc, plomo y fierro en *Mugil Cephalus*, a diferentes concentraciones y tiempo de exposición. Trabajo de promoción docente. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú
- Paucar, F., & Iturregui, P. (2020). The challenges of wastewater reuse in Peru. *South Sustainability*, e004. <https://doi.org/10.21142/SS-0101-2020-004>
- Reish, D. y Oshida, P. (1987). Manual of methods in acuatic enviroment research. FAO FISH. Tech. Pag. 247: 4 - 26.
- Tomaila, J. y Iannacone, J. (2019). Lethal and sublethal toxicity of arsenic, cadmium, mercury and lead on fish *Paracheirodon innesi* neon tetra (Characidae). *Revista de Toxicología*, vol. 35, núm. 2, 2018
- Sandoval. C. (2020). Toxicidad por cobre En peces. Toxicidad por cobre en peces – Fish Histopathology. <https://fishhistopathology.com/spa/?p=183>
- Valenzuela, F. (1983). Contaminación de las aguas continentales y marinas. *Bol. Of. Sanit. Panam.* 94: 413 - 414.