



Evaluación de metales pesados en ríos y truchas *Oncorhynchus mykiss* de la región Pasco, Perú.

*Evaluation of heavy metals in rivers and on the *Oncorhynchus mykiss* trout at Pasco region, Peru.*

*Avaliação de metais pesados em rios e trutas *Oncorhynchus mykiss* da região de Pasco, Peru.*

Luis Rolando Murga Paulino / Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Perú / lmurgapa@undac.edu.pe

Odetta González Aportela / Universidad de La Habana, Cuba / odette@rect.uh.cu

Recibido: 11/9/2020 **Aceptado:** 26/10/2020 **Publicado:** 30/12/2020

RESUMEN

La contaminación ambiental es una preocupación y ocupación de múltiples organizaciones, siendo la liberación de metales pesados uno de los problemas latentes que se investigan por su persistencia y capacidad de bioacumulación. La región Pasco es una zona con múltiples ríos e industrias mineras, lo cual conlleva a un seguimiento por parte de las autoridades competentes para determinar la calidad del agua. Al respecto, el objetivo de la presente investigación fue determinar la presencia de metales pesados en los ríos San Juan, Huallaga, Tingo Palca y la laguna de Punrún; así como en las truchas *Oncorhynchus mykiss*, cultivadas en piscigranjas locales. El estudio fue descriptivo transversal. Los resultados mostraron concentraciones por encima de los límites máximos permisibles de algunos metales en los ríos Tingo, San Juan y Huallaga, fundamentalmente por la presencia de mineras en el trayecto de estos, destacándose el río San Juan como el más contaminado. La laguna Punrún no mostró contaminación por metales pesados y las truchas evaluadas en las piscigranjas tuvieron valores por debajo de los límites establecidos, por lo que pueden ser consumidas sin riesgos. La determinación proactiva de metales pesados posibilita la toma de decisiones que impactan en la realidad de la población.

Palabras clave: aguas superficiales, bioacumulación, contaminación ambiental, límite máximo permisible

ABSTRACT

Environmental pollution is a concern and occupation of multiple organizations, with the release of heavy metals being one of the latent problems that are being investigated due to its persistence and bioaccumulation capacity. The Pasco region is an area with multiple rivers and mining industries, which leads to monitoring by the competent authorities to determine the quality of the water. For this reason, the objective of this research was to evaluate the presence of heavy metals in the San Juan, Huallaga, Tingo Palca and Punrún lagoon rivers and so in *Oncorhynchus mykiss* trout. The research was descriptive cross-sectional. The results showed concentrations above the maximum permissible limits of some metals in the Tingo, San Juan and Huallaga rivers, mainly due to the presence of mining companies along the rivers, the San Juan river being the most polluted. The Punrún lagoon does not show contamination by heavy metals and the trout evaluated from the fish farms have values below the established limits, so they can be consumed by the population. The proactive determination of heavy metals will make it possible to make decisions that impact the reality of the population.

Keywords: bioaccumulation, environmental pollution, maximum permissible limit, surface water

RESUMO

A poluição ambiental é uma preocupação e ocupação de múltiplas organizações, sendo a liberação de metais pesados um dos problemas latentes que estão sendo investigados devido à sua persistência e capacidade de bioacumulação. A região de Pasco é uma área com múltiplos rios e indústrias de mineração, o que leva ao monitoramento das autoridades competentes para determinar a qualidade da água. Por esse motivo, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a presença de metais pesados nos rios das lagoas San Juan, Huallaga, Tingo Palca e Punrún e na truta *Oncorhynchus mykiss*. A pesquisa foi transversal descritiva. Os resultados mostraram concentrações acima dos limites máximos admissíveis de alguns metais nos rios Tingo, San Juan e Huallaga, principalmente devido à presença de mineradoras ao longo dos rios, sendo o rio San Juan o mais poluído. A lagoa Punrún não apresenta contaminação por metais pesados e as trutas avaliadas nas pisciculturas apresentam valores abaixo dos limites estabelecidos, para que possam ser consumidas pela população. A determinação proativa de metais pesados possibilitará a tomada de decisões que impactam a realidade da população.

Palavras chave: águas superficiais, bioacumulação, limite máximo admissível, poluição ambiental

INTRODUCCIÓN

El estudio, la investigación y la promoción de actividades dirigidas a la preservación del medio ambiente son temas de interés y compromiso mundial, «a partir de la convicción de que el medio ambiente

concierno y afecta a todos» (Quiroz *et al.*, 2018, p. 73). Es interés de la comunidad científica, académica y de la sociedad en general, la conservación de los recursos naturales. Dentro de ellos, el agua es un

recurso imprescindible para la vida, por lo que protegerlo es una tarea y una deuda de la humanidad, como plantea Escobar (2019):

La calidad del agua de los ríos y lagos es fundamental para el desarrollo humano, económico y la vida acuática (...) la evaluación de la calidad del agua es la base del trabajo de protección ambiental y es una parte importante de la supervisión y gestión ambiental del agua. (p. 8)

Muchos ríos, lagunas y mares han sido contaminados. Coincidiendo con Quiroz *et al.* (2018), «el continuo crecimiento de la población humana y la presencia de modelos de desarrollo no sostenibles, han tenido como consecuencia la contaminación de los ríos y la pérdida de la disponibilidad de estos recursos» (p. 74); así como el riesgo del consumo de agua en las actividades humanas. En el *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020*, se expone un grave problema: «los cambios en la variabilidad climática (...) se [propagarán] para afectar a los recursos hídricos» (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2020, p. 18). La situación del cambio climático y la contaminación de aquellos por la acción del hombre ponen en peligro la disponibilidad del recurso agua, con calidad para su consumo y uso, de ahí la necesidad de velar por ella para la conservación de la vida en el planeta.

Numerosos científicos investigan los metales pesados al ser un serio problema para el ambiente. La evaluación de estos es esencial, «debido a que además de ser tóxicos, son acumulables por los organismos, siendo a

la vez fuente de alimentación en las redes trófica y son transferidos a cada uno de los eslabones de la cadena alimenticia» (Soto *et al.*, 2020, p. 50).

En esa línea de pensamiento, los metales pesados son contaminantes ambientales peligrosos, generados por las actividades humanas (Rodríguez, 2017). Al respecto, Pazmiño (2018) expone que «entre la variedad de contaminantes presentes en el ambiente, los metales son de particular preocupación a nivel mundial, debido a su persistencia y capacidad de bioacumulación y biomagnificación en los ecosistemas acuáticos» (p.10). Los ríos cercanos a regiones industriales son muestra de lo planteado; tales son los casos de los de la región Pasco, la cual se ubica en la zona central de la sierra de Perú. Su capital Cerro de Pasco está a 4 380 msnm y se caracteriza por un clima frígido. La región presenta dos grandes zonas: la provincia altoandina de Pasco, de suelos polimetálicos (Pb, Cu, Fe, Zn, Ag, Au, Cr); y la provincia de Oxapampa en la selva, eminentemente ganadera y turística.

En la región están operando empresas extractoras de minerales como las mineras Milpo, Minera Huarón, Minera Aurex, Atacocha, Volcán Compañía Minera y Sociedad Minera El Brocal, según es informado en el 2018 por el Ministerio de Energía y Minas. La industria, cuya actividad es la extracción de minerales, tiende a generar daños en el medio ambiente y en la salud de las personas. Gamarra y Uceda (2017) aseveran que «el impacto causado en la salud de las personas por exposición prolongada o por bioacumulación de metales pesados resulta alarmante, produciendo afecciones que van desde daños en órganos

vitales hasta desarrollos cancerígenos» (p. 19).

En este sentido, la salud puede verse afectada por disponer tanto del agua contaminada o por alimentos expuestos a la contaminación, como la ingestión de peces. En la gastronomía de la zona estudiada, la trucha es uno de los alimentos que más consumen los pobladores. La principal especie que se cría es la *Oncorhynchus mykiss*, denominada comúnmente *trucha tipo arcoíris*. Esta se consume como trucha eviscerada congelada, filete congelado o fresca eviscerada, y se cría en piscigranjas.

La región Pasco es cabecera de cuencas hidrográficas, con 527 ríos y numerosas mineras; de ahí su importancia para investigaciones de protección ambiental, específicamente relacionadas con la calidad del agua, pues algunos de los ríos se encuentran contaminados tanto por los desechos de los pobladores como por los desechos de la industria minera. Para mitigar la contaminación ambiental en la región por los pasivos ambientales generados por las empresas extractivas, el Gobierno Regional creó el Grupo Técnico Regional de Remediación de Pasivos ambientales de Pasco, a través de la *Ordenanza Regional N° 430-2018*.

Como parte de la política local y regional, se están tratando de ubicar los lugares de aguas superficiales, como ríos y lagunas, donde existan presencia de contaminación ambiental, ya sea por desechos industriales como relaves mineros o por bioacumulación, lo cual puede generar daños en la salud de los pobladores de la zona; por ello, el objetivo de la presente investigación fue determinar el nivel de contaminación por metales pesados, liberados por las empresas mineras, de los ríos San Juan, Huallaga, Tingo Palca y la laguna de Punrún,

a partir de los Límites Máximos Permisibles (LMP) emitidos por el Ministerio del Medio Ambiente; así como de las truchas criadas en las piscigranjas locales.

Así se podrá brindar información pertinente y confiable al gobierno, a las empresas mineras y a los pobladores de la zona, para los cuales la trucha es un alimento importante; además de propiciar que la relación empresa-medio ambiente se constituya como una relación armónica del hombre con su entorno.

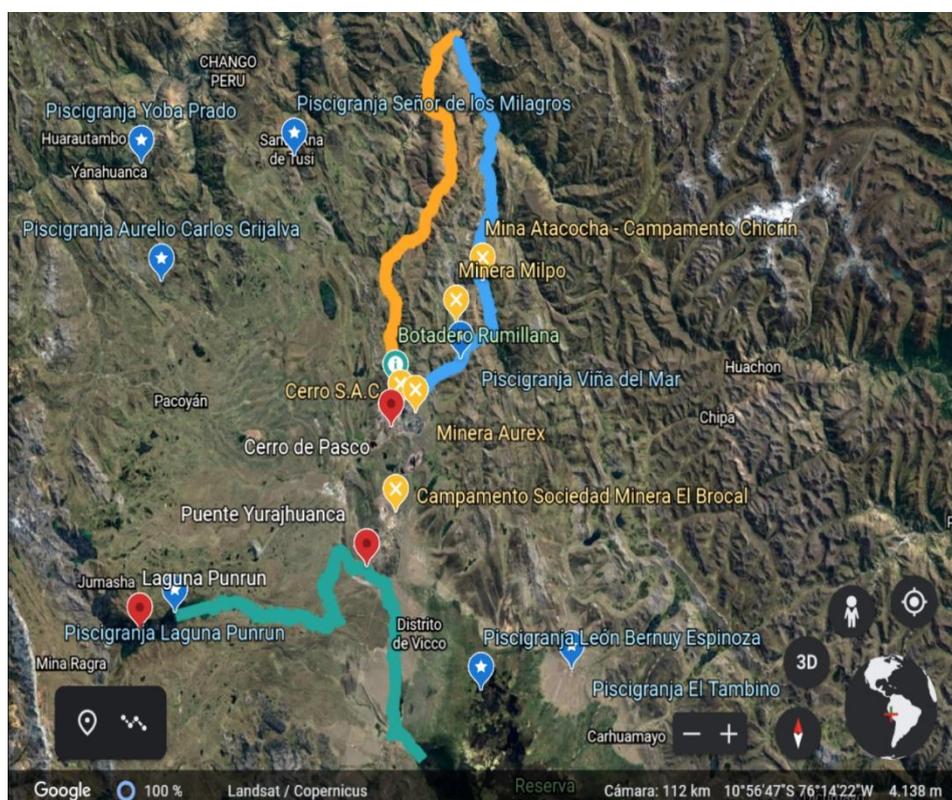
MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló una investigación descriptiva transversal, según Veiga *et al.* (2008), ya que se describió la situación de los metales pesados en los ríos y la laguna seleccionados, en virtud de conocer la presencia y distribución de los metales pesados mediante la medición efectuada.

El muestreo fue no probabilístico intencional, tanto para las muestras de agua como para la muestra de truchas. Los ríos objeto de investigación fueron el río San Juan, Tingo Palca y Huallaga; así como la laguna Punrún, por ser una laguna que abastece de agua a pobladores y está al mismo nivel de otras lagunas en la región. Las muestras se tomaron según se indica en cada caso, teniendo en cuenta la ubicación de las poblaciones y las mineras (*figura 1*). En cada punto se colectaron tres réplicas.

Para la obtención de muestras de trucha, se seleccionaron las piscigranjas referenciadas en la *figura 1*, que abastecen la población. Las piscigranjas se encuentran ubicadas al inicio de los ríos o fuera del cauce; por este motivo, se procedió a comprar el pescado de las seleccionadas en el mercado disponible para la población.

Figura 1. Mapa de la región Pasco.



Nota: Las mineras están señaladas en amarillo, las piscigranjas en azul y los ríos y laguna en estudio en rojo.

Fuente: Google earth

Recolección y transporte de muestras

Para la recolecta de muestras de agua se emplearon frascos de vidrio de 1 L de capacidad, los que fueron previamente limpiados con solución de KMnO_4 y H_2SO_4 , y enjuagados con agua destilada para eliminar la acidez. Como establece el protocolo aprobado por la Dirección General de Salud Ambiental (2007), las muestras se conservaron a 4°C mediante el uso de hielera, durante el transporte hacia el laboratorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC) en Pasco.

Las muestras de los ríos y la laguna en estudio fueron tomadas durante el año 2019, según se indica a continuación:

- Río Tingo Palca, el 8-2-2019 en cinco puntos de muestreo (puquial Pucyucaj, riachuelo Yacupashat, manantial Cоторa, puquial Otuto y el manantial Molipuerto); el muestreo comenzó a las 10:00 a. m. hasta las 6:00 p. m.
- Río San Juan, el 22-2-2019 a las 10:00 a. m. cerca del puente de Yurajhuanca, ubicado en el distrito Simón Bolívar ($S = 10^\circ 42' 12''$ $W = 76^\circ 18' 15''$ $H = 4\,178$ msnm).
- Río Huallaga, el 28-3-2019 a la altura de Huariaca, a las 10:00 a. m.
- Laguna Punrún, el 14-3-2019 a las 10:00 a. m.
- Truchas *Oncorhynchus mykiss*, se

compraron en los mercados de los distritos San Juan, el 5-5-2019 y Chaupimarca el 12-5-2019.

En la feria dominical de Yanacancha (distrito San Juan) se adquirieron las truchas provenientes de la laguna Punrún, la piscigranja Aurelio Carlos Grijalva y la piscigranja Viña del Mar; y en la feria dominical de Chaupimarca, las provenientes de la piscigranja Yoba Prado, la piscigranja Señor de los Milagros, la piscigranja El Tambino y la piscigranja León Bernuy Espinoza.

Las truchas fueron almacenadas en bolsas *ziploc* y transportadas de la misma manera que las muestras de agua, al laboratorio de la UNDAC.

Tratamiento de la muestra para obtención de harina

Se tomaron 25 g de tejido muscular de la parte lateral del tronco del pescado, se molió y se colocó en el desecador para deshidratarlo a 70°C por 72 h. Posteriormente, se llevó a la mufla y se calcinó a 450°C, en incrementos de 25°C/h por un tiempo de 16 h. Se agregaron 2 mL de HNO₃ concentrado y luego 10 ml de HCl 1N, con el propósito de disolver la muestra calcinada. Luego se trasladó a un balón (25 mL) y se aforó con agua ultra pura (Cabello *et al.*, 2013).

Tratamiento de la muestra de agua

Las muestras de agua fueron filtradas al vacío mediante una membrana con poro de 0.45 micras de diámetro. Posteriormente, se adicionó ácido nítrico concentrado para obtener un pH de 2.

Análisis de metales

Para la determinación de los metales presentes en muestras de agua y carne de

trucha (como harina), se utilizó el equipo de absorción atómica *Perkin Elmer Analyst 300*, de acuerdo a la norma ISO 11047:1998. Se emplearon para el análisis de los metales: el *EPA Method 7060 arsenic by GFAA*; el *AOAC Official Method 999.10: Lead, Cadmium, Copper, Iron, and Zinc in Foods*; el *EPA Method 7000B: Flame atomic absorption spectrophotometry*; y el *EPA Method 7470A: Mercury in liquid waste*.

Después, se compararon las concentraciones obtenidas de metales pesados con los valores del Estándar de Calidad Ambiental, establecidos por el Decreto Supremo N° 004-2017, quien declara el:

Estándar de Calidad Ambiental como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. (p.7)

Además, se contrastaron las concentraciones con los LMP establecidos por el Decreto Supremo N° 010-2010, quien lo define como la:

Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, y que al ser excedidas no pueden causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. (p. 424115)

RESULTADOS

Los valores de los metales pesados obtenidos se muestran en las *tablas 1, 2, 3, 4 y 5*, según el río o laguna analizado. Cada valor corresponde al promedio de las réplicas medidas por puntos de muestreo.

Río Tingo Palca

Los valores obtenidos en los diferentes puntos de muestreo se observan en la *tabla 1*; nótese que los valores de Cu y Pb se encuentran por encima de los LMP en los cinco puntos, y las concentraciones de Cd sobrepasan los LMP en los dos primeros puntos de muestreo.

Tabla 1. Concentración de los metales pesados determinados en el río Tingo Palca.

Fuente	Puquial Pucyucaj	Riachuelo Yacupashta	Manantial Cotorá	Puquial Otuto	Manantial Molipucquio
Ubicación	Comunidad de Malaucayán	Anasquizque	Cochacharao	Junipalca	Pallanchacra
Al(ppm)	0.028	<0.01	0.067	0,089	0.088
Fe(ppm)	0.12	0.06	0.098	0.146	0.156
Mn(ppm)	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.019
Cu(ppm)	2.37*	2.78*	2.41*	2.87*	2.91*
Zn(ppm)	0.023	0.052	0.011	0.01	0.01
Pb(ppm)	0.03*	0.027*	0.024*	0.023*	0.02*
Cd(ppm)	0.006*	0.005*	<0.004	<0.004	<0.004
Hg(ppm)	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
As(ppm)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

Nota: *Valores por encima del LMP.

Fuente: Elaboración propia.

Río San Juan

Los valores obtenidos por mediciones en este río se observan en la *tabla 2*; es de

destacar que las concentraciones de seis de los nueve metales pesados evaluados sobrepasan los LMP.

Tabla 2. Concentración de los metales pesados determinados en el río San Juan.

Metales pesados	Valores obtenidos (promedio)
Al(ppm)	0.248*
Fe(ppm)	2.123*
Mn(ppm)	0.867*
Cu(ppm)	2.43*
Zn(ppm)	3.82*
Pb(ppm)	0.275*
Cd(ppm)	0.0022
Hg(ppm)	<0.0005
As(ppm)	0.01

Nota: *Valores por encima del LMP.

Fuente: Elaboración propia.

Río Huallaga

Los valores de los metales pesados determinados se observan en la *tabla 3*,

nótese que los metales Al, Pb y Cd, sobrepasan los LMP.

Tabla 3. Concentración de los metales pesados determinados en el río Huallaga.

Metales pesados	Valores obtenidos (promedio)
Al (ppm)	1.762*
Fe (ppm)	0.023
Mn (ppm)	0.015
Cu (ppm)	0.1421
Zn (ppm)	0.247
Pb (ppm)	0.05*
Cd (ppm)	0.009*
Hg (ppm)	<0.0002
As (ppm)	0.005

Nota: *Valores por encima del LMP.

Fuente: Elaboración propia.

Laguna de Punrún

Se ubicada al suroeste de la ciudad de Cerro de Pasco; los valores de metales pesados

obtenidos se expresan en la *tabla 4*, donde se aprecia que solo el Pb se encuentra por encima de los LMP establecidos.

Tabla 4. Concentración de los metales pesados determinados en la laguna Punrún.

Metales pesados	Laguna de Punrún
Al (ppm)	0.056
Fe (ppm)	0.072
Mn (ppm)	<0.01
Cu (ppm)	1.36
Zn (ppm)	0.0086
Pb (ppm)	0.016*
Cd (ppm)	<0.002
Hg (ppm)	<0.0002
As (ppm)	<0.005

Nota: *Valores por encima del LMP.

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación de la trucha fresca en el laboratorio de la UNDAC–Pasco, permitió obtener los valores de metales pesados que se muestran en la *tabla 5*, donde ningún valor sobrepasa los LMP.

Por otra parte, los parámetros de la harina de trucha obtenidos muestran que los valores están según lo establecido en los LMP, para agua (76.21), grasa (3.25), proteína (17.86) y minerales (2.63).

Tabla 5. Concentración de los metales pesados determinados en la trucha fresca (%).

Fuente	Provincia de Pasco	Viña del Mar	Aurelio Carlos Grijalva	Yoba Prado	Señor de los Milagros	Laguna Punrún	El Tambino	León Bernuy Espinoza
Al (ppm)	0.046	0.047	0.036	0.051	0.049	0.048	0.037	0.039
Fe(ppm)	0.013	0.015	0.011	0.013	0.015	0.009	0.010	0.011
Mn(ppm)	0.008	0.009	0.007	0.008	0.008	0.007	0.007	0.009
Cu(ppm)	1.12	1.13	1.09	1.10	1.12	1.06	1.08	1.10
Zn(ppm)	0.009	0.011	0.007	0.008	0.010	0.007	0.007	0.008
Pb(ppm)	0.001	0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001
Cd(ppm)	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
Hg(ppm)	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
As(ppm)	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Las consecuencias por contaminación de metales pesados se perciben a través de las enfermedades o signos de toxicidad de los organismos que conviven en las cercanías de ríos y lagunas; así como en los seres humanos que consumen el agua o los alimentos provenientes de ríos, lagunas o mares contaminados. De allí la importancia de determinar los metales pesados en ríos y truchas en Perú, por la magnitud de mineras y de cuencas hidrográficas en la región, pues como se expresa en la *Constitución Política del Perú* (1993), «toda persona tiene derecho a la vida (...) a su libre desarrollo y bienestar. Es sujeto de derecho en todo cuanto le favorece» (Artículo 2).

Existen metales pesados «que tienen un significado particular en la eco toxicología, ya que son muy persistentes y, además, porque no se degradan en corto plazo, ni biológica ni químicamente en la naturaleza» (Rivas *et al.*, 2018, p. 212).

Los resultados de la investigación permiten determinar los metales pesados por encima del LMP, según el Decreto Supremo N° 2007-PCM. Al analizar los valores de estos se hace necesario realizar aclaraciones en función de cada río o laguna, por su posición geográfica y el asentamiento de pobladores y mineras cercanas.

En el río Tingo Palca, los valores de Cu, Pb y Cd están por encima del LMP, notándose los valores más altos al inicio del río para el caso de Pb y Cd, lo cual puede deberse al botadero de Rumillana y los desechos de pobladores de Yanacancha. Ello coincide con lo declarado en investigaciones realizadas

por el Centro de Cultura Popular LABOR (2018), quien plantea que:

El basurero comunal de la ciudad Cerro de Pasco (a falta de un relleno sanitario), se sitúa sobre el sitio de almacenamiento de los desechos sólidos mineros, que pertenece a la minera Volcán. Alrededor del sitio se observan desechos industriales, junto a residuos mixtos sin ninguna protección ni aislamiento. Durante las lluvias, estos desechos son arrastrados río abajo y fluyen afectando a todas las comunidades a lo largo de la cuenca del río Tingo y contaminando las aguas superficiales y subterránea por infiltración. (p. 24)

Además, en el cauce del río «hay pequeños depósitos de desmonte de una mina abandonada de la empresa Volcán Compañía Minera, donde los desechos están depositados al lado del río y siguen contaminando el ambiente» (Centro de Cultura Popular LABOR, 2018, pp.24-25). Aun cuando la situación de mineras o depósitos de desmonte cerca del cauce del río es un problema, este posee muchos afluentes, lo cual justifica la disminución de los valores de Pb y Cd, a medida que transita. Sin embargo, no ocurre así para el Cu, el cual va aumentando, lo cual puede deberse a varias razones; una primera relacionada a «las principales franjas metalogenéticas que corresponden a depósitos de cobre (pórfidos po/skarns) para la zona sur y norte» del Perú (Chirif, 2018, p. 39); otra por la continuidad de las operaciones de explotación de la mediana minería; un tercer causal es que en Cerro de Pasco existen «fuentes principales de generación de lixiviados de

cobre, la principal fuente por su caudal es la zona con piritas de cobre al interior de la mina» (Espíritu, 2018, p. 12).

Los valores obtenidos coinciden con los resultados mostrados por Centro de Cultura Popular LABOR (2018), los cuales además plantean que:

La cuenca del río Tingo presenta altos niveles de contaminantes peligrosos y tóxicos, razón por la que la calidad ambiental es muy baja. La vida acuática del río sufre por esta continua contaminación. No se está respetando los límites de Ley nacional e internacional que establecen los niveles de protección para el ambiente y las personas. (p. 46)

Los datos obtenidos señalan la necesidad de un seguimiento constante en la determinación de metales pesados, por su toxicidad, que se atribuye fundamentalmente a los niveles en que se pueden encontrar y a los compuestos resultantes de sus interacciones, todo ello derivado de sus características químicas (Reyes *et al.*, 2016). Los efectos tóxicos de los metales pesados inciden en el agravamiento de patologías preexistentes, debido a las interacciones entre algunos metales tales como Az-Zn y Pb-Ca, que interfieren en los procesos metabólicos en la que suplantando a estos elementos hasta llegar a células, tejidos, órganos y huesos, y causa anomalías y enfermedades en el organismo humano (Londoño *et al.*, 2016).

En el análisis del río San Juan se constataron altos niveles de Fe, Mn, Cd, Zn, Al y Cu, en orden descendente, por lo que el nivel de contaminación es elevado, lo cual puede deberse a que, cerca del punto de muestreo, existe confluencia de aguas

negras provenientes de la ciudad y de los efluentes de la mina Cerro S.A.C. Resultados similares han sido obtenidos por el Centro de Cultura Popular LABOR (2018); además, en el recorrido de este río se incorporan los desechos de dos minas que vierten constantemente (Aurex S.A. y polimetálica El Brocal). Los investigadores suponen que la mayor afectación está dada por los contaminantes que emiten las mencionadas empresas mineras, al no respetar las regulaciones existentes, cuestión que ha sido expuesta en varias ocasiones por el Centro de Cultura Popular LABOR (2018 y 2019).

A pesar de que estos resultados han sido notificados a las empresas responsables, dichas acciones continúan siendo recurrentes, según varias mediciones realizadas, lo que trae consigo daños notables en el ecosistema acuático y en las especies que de él dependen, entre ellos, los pobladores que utilizan los productos provenientes del río, incluida el agua. Situación que ha sido demostrada en las investigaciones realizadas por el Centro de Cultura Popular LABOR (2018), quien informa que «la presencia de elementos tóxicos y cancerígenos es preocupante, debido al uso de estas aguas para uso pecuario y doméstico» (p. 46).

En el río Huallanga se encontraron niveles elevados de Al, Pb y Cd, lo cual puede deberse a que, en su trayecto se ubican las empresas mineras siguientes: Milpo S.A., El Brocal S.A., Atacocha S.A. y B.R. Espinoza Bauer. Las empresas Milpo S.A. y Atacocha S.A. están consideradas entre las más importantes productoras de concentrados de Zn y Pb. Dichos resultados se pueden corroborar con los obtenidos por Centro de Cultura Popular

LABOR (2018), los cuales refieren que los efluentes de la mina Atacocha contaminan la parte baja del río Huallaga.

Por otra parte, la ubicación del punto de la toma de muestra puede incidir en los resultados, debido a que es un área donde convergen los desechos de los pobladores de los distritos de Chaupimarca, Yanacancha, Tinyahuarco, Huariaca, Pallanchacra y los distritos de Ambo, Huáscar y San Rafael, en Huánuco.

En el caso de la laguna Punrún, seleccionada porque se encuentra en el mismo nivel de otras lagunas y de ella se sirven numerosos pobladores de la zona, no se muestran niveles de contaminación, excepto en el caso del Pb, que obtuvo un valor ligeramente superior al LMP, lo cual puede deberse a pasivos ambientales mineros, abandonados y sin tratamiento alguno, relaves, bocamina, infraestructuras abandonadas desde el 2006, correspondientes a la ex unidad minera Ballena y Jumasha (informe N°107-2019-MEM-DGM-DTM/PAM), de la Dirección Técnica Minera y la Dirección General de Minería (Centro de Cultura Popular LABOR, 2019, párr. 6).

El análisis, seguimiento y determinación de metales pesados es una urgencia ambiental y sanitaria. Investigaciones han demostrado que las interacciones estadísticas significativas entre el cadmio y el mercurio, provocan daños genéticos (Calao y Marrugo, 2015). La toxicidad de los metales pesados varía según sus concentraciones, de esta forma, algunos pueden llegar a ser tóxicos en niveles inferiores a 1000 ppm (Pb, Ni y Cd), en tanto otros como Mn, Zn y Cr requieren mayores concentraciones para provocar daño en la salud (Huaranga *et al.*,

2012). Las consecuencias por exposición a metales pesados pueden ser múltiples, entre muchos efectos, «puede dañar seriamente el cerebro y los riñones, causar aborto involuntario, dañar los órganos responsables de la producción de esperma en los hombres y, en última instancia, puede causar la muerte» (Spiess, 2010, citado por Rivas *et al.*, 2018, p. 212). Por su parte, Barraza *et al.* (2018) expone que los metales Ar, Cr y Cd tienen efecto cancerígeno.

Los autores de la presente investigación consideran significativo destacar que el Pb sobrepasa los LMP en todas las aguas superficiales evaluadas, lo cual puede deberse, como se explicó anteriormente, a los efluentes de las mineras ubicadas cerca del cauce de los ríos o a pasivos ambientales de algunas mineras desmontadas; por lo que se requiere supervisar continuamente las concentraciones existentes de los metales pesados, en especial del Pb, según los presentes resultados y los daños que puede ocasionar en la salud de los organismos vivos.

Algunos autores refieren el efecto en la salud por la acumulación del Pb en organismos acuáticos y terrestres. La Organización Mundial de la Salud (2018) ha reportado que este metal es responsable de numerosos problemas de salud y muertes por intoxicación, pues puede ser absorbido por inhalación, ingestión de alimentos contaminados o agua y por la piel, según Reyes *et al.* (2016). Este metal puede afectar órganos y sistemas de órganos tales como: el sistema cardiovascular, sanguíneo y renal, entre otros (Rodríguez *et al.*, 2016; Rodríguez *et al.*, 2017; Azcona *et al.*, 2015; Colón, 2019; Salas *et al.*, 2019);

presenta riesgo cancerígeno, según Soto *et al.* (2020); y, adicionalmente Frías *et al.* (2010) hace referencia a que pequeñas dosis suministradas al organismo de manera sistemática causa envenenamiento.

Las causas de contaminación ambiental son diversas, incluso por metales pesados, las que pueden ser debido al transporte de contaminantes a nivel atmosférico por diversas actividades antropogénicas; como por el uso de una gran cantidad de productos agrícolas como los pesticidas y plaguicidas (Frías *et al.*, 2010; dos Santos *et al.*, 2016; Pérez *et al.*, 2017; Cabrera, 2018; Zhang *et al.*, 2019); por lo tanto, investigaciones de este tipo se vuelven necesarias e imprescindibles para preservar el ambiente.

Los resultados de la investigación, así como el conocimiento de los posibles efectos de los metales pesados, conllevan a la necesidad de estudios de «bioacumulación de metales pesados en peces de consumo humano a fin de establecer políticas de prevención y mitigación» (Rosales *et al.*, 2020, p. 70). Investigadores han demostrado la bioacumulación y biomagnificación de algunos metales pesados, debido al consumo de organismos contaminados, incrementándose la toxicidad en la medida en la que se suceden los niveles tróficos (Álvarez y Amancio, 2014; Reyes *et al.*, 2016; Kehrig *et al.*, 2017; Irigoyen, 2018; Vargas y Marrugo, 2019). Esto justifica la clasificación de los metales pesados como contaminantes eficaces, por el impacto ambiental que genera en los todos los organismos.

Tal y como se presentó en la *tabla 5*, se evidencia que los metales pesados determinados en la trucha *Oncorhynchus*

mykiss están dentro del rango permitido por el Organismo Nacional de Sanidad Pesquera (2016), por lo que no afectan la salud de los pobladores de la zona que la consumen. Valores similares se han obtenido en otros estudios a partir de truchas cultivadas en piscigranjas de Perú (Escobar, 2019); lo cual puede deberse a que estas últimas se encuentran en zonas alejadas del cauce de los ríos y de mineras, como se observó en la *figura 1*. El hecho de que los pobladores tengan las piscigranjas en estas zonas, se debe al constante trabajo de promoción del Estado en función de preservar la salud, al informar los daños que sobre ella generan los metales pesados de manera directa e indirecta; y al constante seguimiento y medición de la calidad del agua y la trucha.

Por todo lo anterior, se evidencia la necesidad de mantener la evaluación sistemática de las aguas superficiales y la trucha *Oncorhynchus mykiss* por las autoridades competentes; teniendo en cuenta que la zona de estudio es un área polimetálica, con numerosas mineras y abundantes cuencas hidrográficas. La creación por parte del Estado y el Gobierno Regional, de la Ordenanza Regional N° 430-2018, reafirma la pertinencia de estos estudios con un control constante de los resultados y fiscalización de la actividad minera, lo que permite ubicar los sitios terrestres y acuáticos donde existan presencia de contaminación ambiental, ya sea por desechos industriales como relaves mineros, vertimiento de desechos, o por bioacumulación, entre otros, que puedan generar daño en la salud de los pobladores de la zona, con el fin de minimizar y remediar los daños ocasionados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se pudo constatar que los ríos San Juan, Tingo Palca y Huallaga presentan, para algunos metales pesados, valores por encima de la norma emitida por el Ministerio del Medio Ambiente. El río San Juan es el que presenta mayor contaminación. En el caso de la laguna Punrún, solo se constató la presencia de Pb en muy bajos niveles, por lo podría considerarse que no se observa contaminación.

Las concentraciones de Pb sobrepasan los límites máximo permisibles en todas las aguas superficiales en estudio, debido a la presencia de mineras en la región y de pasivos ambientales. La contaminación detectada por metales pesados en las aguas superficiales, se atribuye fundamentalmente a la presencia de mineras y pasivos ambientales cercanos al cauce de los ríos estudiados, lo cual puede traer consigo afectaciones en los ecosistemas acuáticos, en las especies que conviven en las cercanías de las aguas superficiales y en las actividades humanas que dependen de estas. Estos resultados evidencian la necesidad y mantenimiento sistemático de

este tipo de investigaciones.

La trucha que se produce en las piscigranjas de la provincia de Pasco y la carne que consumen los pobladores de la zona no presentan niveles de contaminación por presencia de metales pesados, permitiéndose su consumo por la población. Esto puede ser debido a la ubicación de las piscigranjas en la cabecera de los ríos o por ser alimentadas por riachuelos o puquiales alejados de las mineras.

La participación proactiva del Estado en la evaluación sistemática en los niveles de contaminación por metales pesados, posibilitará la toma de decisiones en tiempo y adecuadas para la salud, el medio ambiente y la sociedad.

Se recomienda continuar este tipo de estudio de manera sistemática, dada la productividad minera de la zona, la magnitud de las cuencas hidrográficas y los daños que ocasionan los metales pesados para la salud; así como continuar promoviendo los perjuicios de los metales pesados para la salud y el ambiente en la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, R. y Amancio, F.A. (2014). *Bioacumulación de metales pesados en peces y análisis de agua del río Santa y de la laguna Chinacocha - Llanganuco periodo 2012 – 2013* [Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio institucional UNASAM. <https://bit.ly/2TOTyhx>
- Azcona, M.I., Ramírez, R. y Vicente, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 20(1), 72-77. <https://bit.ly/32bc74p>
- Barraza, F., Maurice, L., Uzu, G., Becerra, S., López, F., Ochoa, V., Ruales, V. & Schreck, E. (2018). Distribution, contents and health risk assessment of metal(loid)s in small-scale farms in the Ecuadorian Amazon: An insight into impacts of oil activities. *Science of the Total Environment*, 622-623, 106-120. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.246>

- Cabello, A., García, A., Figueroa, B., Higuera, Y., y Vallenilla, O. (2013). Calidad físico-química de la harina de pescado venezolana. *Revista Saber*, 25(4), 414-422. <https://bit.ly/3kZzuVN>
- Cabrera, J. (2018). *Evaluación de la contaminación por metales pesados en sedimentos y suelos de la Reserva Biológica Limoncocha* – Ecuador mediante índices de polución [Tesis de maestría, Universidad de Cantabria]. Repositorio Institucional UC. <https://bit.ly/34SASE8>
- Calao, C., y Marrugo, J. (2015). Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de La Mojana, Colombia, 2013. *Biomédica*, 35(Sup.2), 139-151. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2392>
- Centro de Cultura Popular LABOR. (2018). *Estudios en poblaciones afectadas por metales pesados en Pasco*. Editorial Sonimágenes del Perú S.C.R.L. <https://bit.ly/3mOGmpu>
- Centro de Cultura Popular LABOR. (2019). *Identificación y clasificación de pasivos ambientales mineros abandonados en Jumasha laguna Punrún-Pasco, e inscripción en el inventario nacional*. <https://bit.ly/38g1L6X>
- Chirif, H. (Dir.). (2018). *Informe de franjas metalogenéticas y áreas potenciales de la región Cajamarca*. Programa de Metalogenia. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Perú. <https://bit.ly/3665ly1>
- Colón, A.J. (2019). Análisis de metales pesados en el Embalse Cerrillos de Ponce, Puerto Rico. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 15(1), 2-13. <https://bit.ly/329R7Lf>
- Constitución Política del Perú [Const.]. Artículo 2. Mayo de 1993. Perú. <https://bit.ly/2HTZQdL>
- Decreto Supremo N°004-2017. [Ministerio del Ambiente]. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire y establecen Disposiciones Complementarias. *El Peruano*. <https://bit.ly/3epKeu9>
- Decreto Supremo N°010-2010. [Ministerio del Ambiente]. Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicas. *El Peruano*. <https://bit.ly/362aXZT>
- Dirección General de Salud Ambiental. (2007). *Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales*. Ministerio de Salud. <https://bit.ly/361EHWT>
- dos Santos, V., Varón, J., Fonsêca, C., Lopes, P., Siqueira, J., & de Souza, F. (2016). Biological attributes of rehabilitated soils contaminated with heavy metals. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 6735-6748. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5904-6>
- Escobar, F. (2019). *Determinación de parámetros físico-químicos y niveles de metales pesados en agua y sedimentos en la zona de crianza de truchas (Oncorhynchus mykiss), Bahía de Puno del lago Titicaca* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Altiplano Puno]. Repositorio Institucional UNAP. <https://bit.ly/3kWwwSO>

- Espíritu, M.E. (2018). *Obtención del cemento de Cobre mediante la descomposición de chatarra de hierro para la recuperación de cobre en Volcan Compañía Minera, Unidad Paragsha-Pasco* [Tesis de grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional UNDAC. <https://bit.ly/3eqxHXy>
- Frías, G., Osuna, I., Izaguirre, G., Aguilar, M., y Voltolina, D. (2010). Cadmio y plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México: 20 años de estudios. *CICIMAR Océánides*, 25(2), 121-134. <https://bit.ly/3l0KGS4>
- Gamarra, N.A., y Uceda, R.Y. (2017). *Determinación de metales pesados por Espectrofotometría de absorción atómica en truchas arcoiris "Oncorhynchus mykiss" del río Chiapuquio de ingenio – Huancaayo* [Tesis de grado, Universidad Inca Garcilaso de la Vega]. Repositorio Institucional UIGV. <https://bit.ly/3oXzCr9>
- Huaranga, F., Méndez, E., y Quilcat, V. (2012). Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980–2010, La Libertad, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 3(3), 235-247. <https://bit.ly/3eoPoGF>
- Irigoyen, M.S. (2018). *Biomagnificación e impacto de elementos esenciales (Cu y Zn) y tóxicos (Pb y Cd) en la condición de salud de la Cabrilla Sardinera Mycteroperca rosacea en Santa Rosalía, BCS, México* [Tesis doctoral, Universidad Inca Garcilaso de la Vega]. Repositorio Institucional UIGV. <https://bit.ly/34UN8nD>
- Kehrig, H.A, Baptista, G., Di Benedetto, A.P. M., G. Almeida, M.G., Rezende, C.E., Siciliano, S., de Moura, J. F., y Moreira, I. (2017). Biomagnificación de mercurio en la cadena trófica del Delfín Moteado del Atlántico (*Stenella frontalis*), usando el isótopo estable de nitrógeno como marcador ecológico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(2), 233-244. <https://bit.ly/3mOGVzv>
- Londoño, L., Londoño, P., y Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. <https://bit.ly/3kZoQhE>
- Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Anuario Minero 2018*. Dirección de Promoción Minera. <https://bit.ly/2Gt9Vxi>
- Ordenanza Regional N°430-2018. [Consejo Regional del Gobierno Regional Piura]. Ordenanza Regional que conforma la Comisión Técnica del Gobierno Regional Piura para la implementación del Plan Nacional de Desarrollo para la Población Afrodescendientes. 22 de noviembre de 2018. <https://bit.ly/3kXP83R>
- Organismo Nacional de Sanidad Pesquera. (2016). Resolución de dirección ejecutiva No. 057-2016-SANIPES-DE. *Indicadores sanitarios y de inocuidad para los productos pesqueros y acuícolas para mercado nacional y de exportación*. <https://bit.ly/362vygF>

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020. Agua y Cambio Climático*. <https://bit.ly/2TVujdu>
- Organización Mundial de la Salud. (2018, 23 de agosto). *Intoxicación por plomo y salud*. <https://bit.ly/34KHaFs>
- Pazmiño, M.J. (2018). *Determinación de la concentración de metales en sedimentos de seis ríos de la provincia Pichincha* [Tesis de grado, Universidad San Francisco de Quito]. Repositorio Institucional USFQ. <https://bit.ly/2WRsRdE>
- Pérez, C., Hernández, C., Martínez, M., García, M., & Bech, J. (2017). Metal uptake by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Journal of Soils and Sediments*, 17(5), 1384–1393. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1520-4>
- Quiroz, L.S., Izquierdo, E., y Menéndez, C. (2018). Estudio del impacto ambiental del vertimiento de aguas residuales sobre la capacidad de autodepuración del río Portoviejo, Ecuador. *Revista Centro Azúcar*, 45(1), 73-83. <https://bit.ly/2TVlwYa>
- Reyes, Y.C., Vergara, I., Torres, O.E., Díaz, M. y González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v16.n2.2016.5447>
- Rivas, W., Canales, C., y Bazalar, J. (2018). Determinación de Arsénico y Plomo en truchas (*Oncorhynchus mykiss*) piensos y agua en piscigranjas del distrito de Pachangara, Provincia de Oyón, Región Lima. *In Crescendo*, 9(2), 211-220. <https://bit.ly/32uNFv1>
- Rodríguez, A., Cuéllar, L., Maldonado, G., y Suardiaz, M. (2016). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana Investigaciones Biomédicas*, 35(3), 251-271. <https://bit.ly/38aLL6c>
- Rodríguez, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan*, 21(12), 3372-3385. <https://bit.ly/34On4Kf>
- Rodríguez, M. S., Moraña, L. B., Salusso, M. M., y Seghezzo, L. (2017). Caracterización espacial y estacional del agua de consumo proveniente de diversas fuentes en una localidad periurbana de Salta. *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4), 366–376. <https://bit.ly/2i4lieS>
- Rosales, E., Cotrina, M., Valdivieso, G., Sales, F., García, E., y Ordoñez, E.S. (2020). Bioacumulación de metales pesados en tres especies de peces bentónicos del río Monzón, región Huánuco. *Revista de Investigación Científica REBIOL*, 40(1), 69–78. <https://bit.ly/34X3bkM>
- Salas, C., Garduño, M.A., Mendiola, P., Vences, J.H., Zetina, V.C., Martínez, O.C., y Ramos, M.D.L. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20(1), 1-15. <https://bit.ly/2TR2S4L>

- Soto, M., Rodríguez, L., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C., y Garate, J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49–59. <https://bit.ly/3mTvgzs>
- Vargas, S.P., y Marrugo, J.L. (2019). Mercurio, metilmercurio y otros metales pesados en peces de Colombia: riesgo por ingesta. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 232-242. <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n2.74128>
- Veiga, J., Fuente, E., y Zimmermann, M. (2008). Modelos de estudios en Investigación Aplicada: conceptos y criterios para el diseño. *Medicina y Seguridad de Trabajo*, 54(210), 81-88. <https://bit.ly/362yidX>
- Zhang, Q., Yu, R., Fu, S., Wu, Z., Chen, H.Y.H., & Liu, H. (2019). Spatial heterogeneity of heavy metal contamination in soils and plants in Hefei, China. *Scientific Reports*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36582-y>

AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Laboratorio de Aguas y Suelos de la UNDAC–Pasco por analizar las muestras de aguas y trucha de las distintas fuentes señaladas en el artículo, para la obtención de los datos correspondientes. A la Consultoría Educativa Especializada (CEES), Perú y al Centro de Estudios de Perfeccionamiento de Educación Superior (CEPES), Universidad de La Habana, Cuba, por la asesoría brindada en la elaboración del presente artículo.