



Artículo original / Original article

Evaluación ambiental de la calidad del agua en pozas formadas por trabajos de extracción de minería no metálica, Madre de Dios

Environmental evaluation of the water quality in pools formed by non-metallic mining extraction works, Madre de Dios

Elmo Luque-Quino ^{1*} & Liset Rodríguez-Achata ¹

¹ Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú

Recibido: 25/11/2021

Aceptado: 28/12/2021

Publicado: 25/01/2022

*Autor de correspondencia: eluque@unamad.edu.pe

Resumen: El objetivo de la investigación fue evaluar la calidad del agua en tres pozas artificiales que se formaron por extracción de minería no metálica. Se caracterizó como zona de terrazas bajas, suelos del tipo fluvisol - gleysol, clima cálido con lluvia abundante. Como resultados determinamos los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y bioindicadores bentónicos, en la evaluación de coliformes totales solo la poza Topa (3500 NMP/100 ml) sobrepasa los estándares de calidad ambientales ECAs. Los parámetros fisicoquímicos y los niveles de concentración de metales en sedimentos de los cuerpos de agua no sobrepasan los estándares de calidad ECAs para agua de ríos de selva categoría 4 y ECAs para suelo agrícola; el estudio de macroinvertebrados bentónicos mostró que la poza denominada Topa presenta un valor de BMWP de agua muy contaminada, seguida de las pozas Lagarto y Pato en la escala de fuertemente contaminadas; la evaluación de riqueza en ictiofauna de las pozas de estudio dio como resultado la predominancia de las órdenes de *Chariciformes*, *Siluriformes* y *Percyiformes*. Es estudio concluye que las pozas no son recomendables para recreación.

Palabras clave: bentos; coliformes fecales; ictiofauna; metales pesados; parámetros fisicoquímicos

Abstract: The objective of the research was to evaluate the quality of the water in three artificial pools that were formed by extraction of non-metallic mining. It was characterized as an area of low terraces, fluvisol-gleysol type soils, warm climate with abundant rain. As results, we determined the physicochemical, bacteriological and benthic bioindicator parameters, in the evaluation of total coliforms only the Topa pond (3500 NMP/100 ml) exceeds the ECAs environmental quality standards. The physicochemical parameters and the concentration levels of metals in the sediments of the water bodies do not exceed the ECAs quality standards for category 4 jungle river water and ECAs for agricultural land; the study of benthic macroinvertebrates showed that the Topa pool has a highly polluted water BMWP value, followed by the Lagarto and Pato pools on the highly polluted scale; the evaluation of richness in ichthyofauna of the study pools resulted in the predominance of the orders of *Chariciformes*, *Siluriformes* and *Percyiformes*. The study concludes that the pools are not recommended for recreation.

Keywords: benthos; fecal coliforms; fish fauna; heavy metals; physico-chemical parameters

1. Introducción

La industria minera en el Perú consiste en la búsqueda, extracción, beneficio y procesamiento de minerales sólidos naturales de la tierra (Peña Neira & Araya Meza, 2021). Estos minerales extraídos son una fuente esencial de materias primas para las diversas industrias y son una parte fundamental de la producción de productos de consumo cotidianos. La industria minera juega un papel importante en la economía del país, el Perú como uno de los principales proveedores de minerales, la minera se convierte vital para el bienestar de las comunidades que se dedican a dicha actividad, sin embargo, representa un riesgo ecológico y ambiental (Cuentas Alvarado et al., 2019).

Sabemos lo esencial que es agua para la vida, un requisito previo del desarrollo sostenible, pero la creciente preocupación pública por la condición del agua, donde a minería afecta el agua dulce a través del uso intensivo de agua en el procesamiento del mineral y a través de la contaminación del agua por los efluentes de la mina descargados y la filtración de relaves y embalses de roca estéril (Villena Chávez, 2018). Cada vez más las actividades humanas como la minería amenazan las fuentes de agua de las que todos dependemos (Osoreo Plenge et al., 2012).

El conocimiento de los cuerpos de agua de la región neotropical se revela como una necesidad a nivel global que la sociedad debe afrontar (Brousett-Minaya et al., 2021). La principal cuenca del neotropical, constituyen el principal reservorio de diversidad de agua continental del mundo, señalada como una región de alta prioridad para la conservación (Quezada García et al., 2017). No obstante, aun presenta muchas lagunas de conocimiento con el agravante de estar registrando un importante deterioro en las últimas décadas, producto de la expansión urbana, agrícola y la extracción descontrolada de los recursos naturales.

En el centro poblado el Triunfo de la Región de Madre de Dios debido a la construcción de la carretera interoceánica en el tramo Puerto Maldonado – Iñapari, se realizó extracción de minería no metálica, formándose pozas que en la actualidad se encuentran cerca de la periferia y en algunos casos los pobladores vienen realizando pesca artesanal en estos cuerpos de agua (Quispe Aquino, 2015).

Por tal motivo, surge la necesidad de realizar un estudio y objetivo de la investigación evaluar ambiental de la calidad de agua de las pozas y tener esta información como referente para poder correlacionar con pozas formadas por la actividad minero aurífero. Se hace preciso también la realización de estudios que apoyen la toma de decisiones e implementar políticas de manejo y que además permitan garantizar la continuidad de los recursos, cubriendo las necesidades proyectadas, con el fin de establecer bases para planeación dentro del marco de pozas periurbanas (Rottenbacher de Rojas & De la Cruz Sánchez, 2012).

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en las pozas dentro de un "Predio agrícola" de propiedad privada, ubicadas en el margen izquierdo de la carretera que conduce al sector denominado Bajo Madre de Dios, provincia de Tambopata, distrito Las Piedras, sector el "Triunfo" en la región de Madre de Dios. Esta área se encuentra rodeadas de otros predios agrícolas.

Las áreas de estudio se han identificado en una sola geoforma, de la cual pertenecen a Terrazas bajas de drenaje bueno a moderado. Siendo tierras de superficie plana y que se desarrollan cercas de cuerpos de agua. Litológicamente se encuentran constituidas por sedimentos aluviales, tienden a inundaciones. Asimismo, las áreas de estudio corresponden a tipo de vegetación de complejo de chacras y purmas. Está conformada por un mosaico de cultivos de frutales, pastos y cultivos en terrenos de reciente deforestación, sujetos al manejo de deshierbo y aplicación de

herbicidas, y casi siempre a la quema. La cobertura herbácea primaria alcanza hasta unos 2 m de alto, mientras que la arbórea después de 5 a 10 años supera los 25 m de alto.

La población del estudio se conformó por las tres pozas formadas por trabajos de extracción de la minería no metálica existentes en el centro poblado el triunfo de la región de Madre de Dios. El muestreo se realizó de manera intencional y directa en muestras puntuales, representativas para la composición del cuerpo de agua, considerando el tiempo y circunstancia en la que fue recolectada la muestra. Se tomaron 6 muestras de agua distribuidas en forma de cuadrilla para cada poza: Topa, Lagarto y Pato, repitiendo así 6 veces la determinación de los parámetros fisicoquímicos, considerando en el resultado final un promedio con su desviación estándar, dando un total de 18 muestras.

Para la determinación de parámetros bacteriológicos, evaluación de macroinvertebrados bentónicos, plancton, y riqueza en ictiofauna se tomó una muestra por cada poza de estudio.

Para la obtención de muestras se han planteado 3 pozas por conveniencia, que son las más representativas de esa zona por su tamaño descritos a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Estaciones de muestreo para agua, sedimentos, macroinvertebrados (bentos), plancton, peces, coliformes totales y termotolerantes

Estación	Denominación de poza	Coordenadas UTM
1	Topa	8607456 N; 485868 E
2	Lagarto	8607341 N; 485734 E
3	Pato	8607253 N; 486020 E

2.1. Métodos y técnicas

2.1.1. Metodología de Muestreo

- Registro de datos de campo

El registro de campo elaborado para la investigación tuvo la siguiente información: código de los puntos de muestreo, origen de la fuente, descripción clara y definida de los puntos de muestreo, hora y fecha de muestreo, localidad, distrito, provincia y departamento, coordenadas de ubicación del punto de muestreo, datos personales de quien realizó la toma de muestra, las condiciones climáticas y otras observaciones pertinentes en el punto de muestreo.

- Etiquetado

Los recipientes deben ser identificados antes de la toma de muestra con una etiqueta, escrita con letra clara y legible la cual debe ser protegida con cinta adhesiva transparente conteniendo la siguiente información: número de muestra (referido al orden de toma de muestra), código de identificación (punto y/o estación de muestreo), origen de la fuente (descripción del punto de muestreo), fecha y hora de la toma de la muestra, preservación realizada, tipo de preservante utilizado., tipo de análisis requerido, nombre del responsable del muestreo.

- Toma de muestras

En este estudio para la caracterización del agua se realizó una recolecta de muestras sencillas y superficiales, porque se observó que las pozas no tienen vertimientos domésticos e industriales, lo cual hace que sea muy representativo para caracterizar los cuerpos de agua. Para la evaluación de la calidad del agua de las pozas de estudio se consideraron características hidrográficas del recurso hídrico, las actividades antropogénicas, los usos del agua, la identificación de fuentes contaminantes.

Para las determinaciones fisicoquímicas se tomó muestra de puntual de agua directamente de la parte central de cada poza, utilizando el brazo telescópico a 20 cm de profundidad a partir de la superficie. Para la colecta de organismos bentónicos se empleó una red Surber (30 x 30 cm) de 500 µm de abertura de malla, la cual se coloca en el fondo de la quebrada o río removiéndose el fondo

para que los organismos se depositen en la red (tres réplicas por estación). La recolección de muestra se realizó con rastra cuadrangular de malla de 1mm² de poro. Las muestras obtenidas fueron tamizadas con tamiz de 1mm² de poro. El plancton se colectó por filtrado de 50 L de agua a través de una red cónica de 40µm de abertura de malla. En la colecta de muestra para determinar coliformes totales y termotolerantes se utilizaron frascos de vidrio previamente esterilizados, llevados hasta el lugar de muestreo en las mejores condiciones de higiene.

Se sumergió la botella boca abajo a una profundidad de 20 a 30 cm, de manera que la boca, apuntó hacia la corriente creando esta por arrastre de la botella en el interior del agua, evitándose el contacto con la orilla. Se dejó una porción del recipiente sin llenar (1/4 de frasco), de manera que el aire contenido en esa zona aseguró un adecuado suministro de oxígeno para los microorganismos, hasta el momento del análisis. Se mantuvo refrigerado a 4°C hasta el traslado al laboratorio que fue en un intervalo de 6 a 24 horas.

- **Preservación, consideración y traslado de las muestras al laboratorio de análisis**

Las mediciones de temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto, se realizaron in situ por lo que para estos parámetros no aplicó los procedimientos de almacenamiento y preservación.

La toma de muestras de agua para analizar los parámetros fisicoquímicos en laboratorio se realizó según el protocolo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en frascos de plásticos de boca ancha, limpio y de primer uso, el volumen requerido dependió del parámetro a analizar, considerando las instrucciones generales de preservación, etiquetado, embalaje y transporte de las muestras, mostradas en el "Requisitos para toma de muestras de agua y preservación".

Se tomó un litro de muestra de agua para cada poza en recipiente especial de polietileno con tapa rosca, se conservó en un cooler con refrigerante (ice pack) asegurando su traslado al laboratorio ambiental, donde realizaron las pruebas fisicoquímicas de alcalinidad, cloruros y dureza.

Para el análisis de turbiedad, aceites y grasas, nitratos y nitritos las muestras fueron preservadas y transportado sobre ice pack dentro de cajas de tecnopor hasta su posterior entrega y análisis en el laboratorio acreditado SAG S.A.C. Para las determinaciones turbiedad se tomaron 250 mL de muestras en envases de polietileno que fueron refrigeradas a 4 °C con un máximo de 24 horas antes de su análisis.

Se tomaron 250 mL para el análisis de nitritos, que fueron preservados con H₂SO₄ hasta pH<2, y refrigerados a 4 °C por 48 horas antes de su análisis. Las muestras de sedimento fueron colectadas en frascos politetrafluoroetileno (PTFE) o vidrio oscuro, y transportadas sobre gel pack dentro de cajas conservadoras portátiles (tecnopor) hasta su posterior análisis. Debido a la falta de datos batimétricos, las muestras de las pozas se colectaron de la parte central del cuerpo léntico (profundidad máxima aparente) donde se espera comportamiento anóxico.

Para la preservación de organismos bentónicos para cada muestra se fijó en alcohol al 70%, en frascos de 100 mL de volumen con tapa rosca y cuello ancho. Las muestras de plancton fueron almacenadas en frascos de plástico, etiquetados y fijados con formol al 10% para su posterior separación e identificación. Para el análisis bacteriológico de coliformes termotolerantes y coliformes totales se tomaron 500 mL de muestra en los frascos y cooler proporcionados por el laboratorio de la empresa de agua y alcantarillado de Tambopata EMAPAT, y trasladados inmediatamente al laboratorio de dicha empresa para el análisis respectivo.

2.1.2. Metodología del análisis fisicoquímico del agua

Para obtener un correcto análisis fisicoquímico del agua se realizaron pruebas para determinar la temperatura del agua, pH, turbiedad, conductividad eléctrica, alcalinidad total, dureza total, cloruros, oxígeno disuelto, aceites y grasas (donde utilizaron el método (HEM) EPA-821-R-10-001 - 1664, 2010), nitritos y nitratos (donde utilizaron el método de reducción de cadmio SM 4500-NO₃ - E), asimismo se utilizó la metodología de análisis de metales pesados (donde utilizaron el

método EPA 200.7, Rev.4.4. EMMC) y la metodología de análisis de bioindicadores (donde se calcularon las métricas de IBMWP, ASPT y Taxones dominantes).

2.1.3. Tratamiento de los datos

En el análisis estadístico se evaluó la prueba de análisis de varianza de un solo factor (ANOVA) relacionados con la normalidad y homogeneidad de la varianza, para lo cual se realizó la Prueba de Shapiro-Wilk a todos los parámetros de agua y sedimentos estudiados. El promedio de cada uno de los parámetros de calidad de agua de las tres pozas se comparó con los Estándares de Calidad Ambiental ECAs de agua para ríos de selva categoría 4 y de sedimentos se comparó con los Estándares de Calidad Ambiental ECAs de suelos agrícolas.

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados de parámetros fisicoquímicos de agua, metales pesados en agua y sedimento y bioindicadores

3.1.1. Parámetros Físico-químicos de agua

Los análisis de los parámetros fisicoquímicos (temperatura, pH, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto, cloruros, dureza y alcalinidad, turbiedad, aceites y grasas y nitratos), dieron los siguientes resultados.

Tabla 2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del agua

Parámetros fisicoquímico	Poza Topa	Poza Lagarto	Poza Pato	ECA Categoría 4 Conservación del sistema acuático ríos de la selva
Temperatura (T°)	26,5 ± 0,13	27,8 ± 0,10	27,9 ± 0,08	0
Potencial de Hidrogeno (pH)	6,93 ± 0,02	7,43 ± 0,01	7,53 ± 0,01	6,5 -8,5
Sólidos Totales Disueltos (ppm)	98 ± 0,94	64 ± 0,95	70 ± 0,47	500
Conductividad (µs)	218 ± 0,69	137 ± 0,96	147 ± 0,96	1500 *
Oxígeno Disuelto (ppm)	9 ± 0,45	8 ± 0,37	9 ± 0,45	≥5
Alcalinidad (ppm)	20 ± 0,94	30 ± 0,96	31 ± 1,60	0
Dureza (ppm)	5 ± 0,38	4 ± 0,22	4 ± 0,37	500 *
Cloruros (ppm)	0.5 ± 0,07	0,7 ± 0,02	0,9 ± 0,01	250 *
Turbiedad ¹ NTU	310,0 ±	33 ±	12 ±	5 *
Aceites y grasas (HEM) mg/L	<0,5 ±0,01	<0,5 ±0,01	<0.5 ±0,01	5
Nitratos (Nitratos + Nitritos) mg/L	0,0 ±	0,024 ±	0,027 ±	13

* es la comparación con los LMP, valor dado por la SUNASS.

¹ la turbiedad se realizó con el método nefelométrico SM 2130 B, 2012, y la determinación de aceites y grasas con el método (HEM) EPA-821-R-10-001 - 1664, 2010 y Nitratos (Nitratos + Nitritos) con el método de reducción de cadmio SM 4500-NO3 - E.

Los resultados obtenidos en los parámetros fisicoquímicos no sobrepasan los estándares de calidad ambiental ECAs para la conservación del sistema acuático categoría 4 para ríos de selva, en las tres pozas de estudio. El parámetro de turbiedad presenta un valor alto en la poza denominada Topa. Asimismo, en el trabajo realizado por (Quispe Aquino, 2015) donde evaluó pozas dejadas por la minería aurífera en la zona de Tres Islas, también presenta resultados de pH, oxígeno disuelto y sólidos totales disueltos que no sobrepasan los ECAs para agua categoría 4 ríos de selva.

3.2. Comparación Estadística con los Estándares de Calidad Ambiental y Límites permisibles nacionales

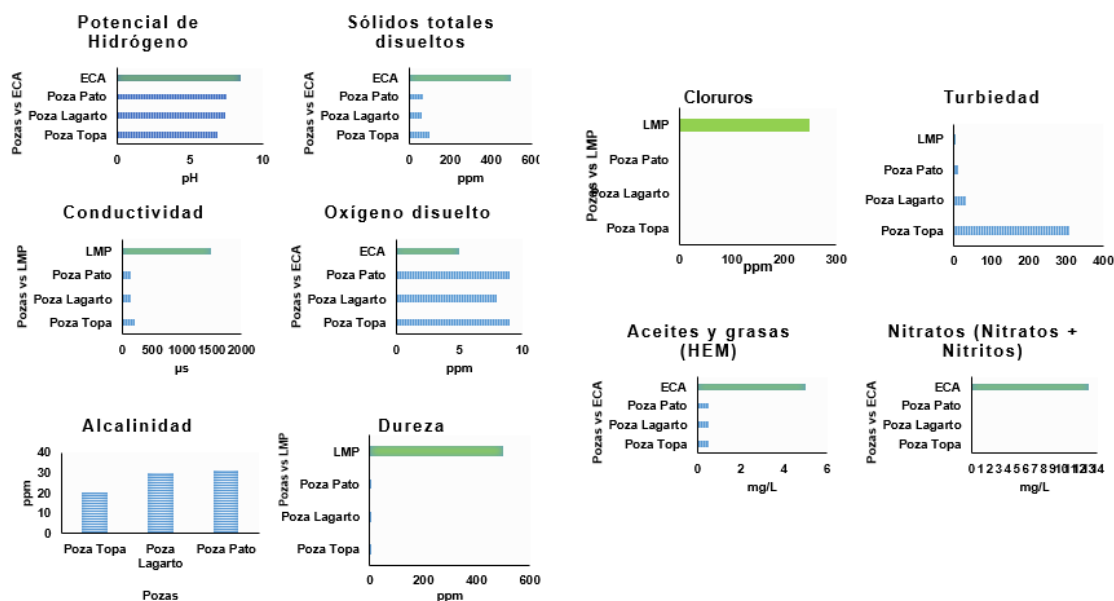


Figura 1. Valores promedios de los parámetros del agua en las tres pozas de estudio comparando con los límites máximos permisibles, con los estándares de calidad ambiental para agua superficial de ríos de selva; asimismo entre cada una de las pozas, en el caso de la alcalinidad

3.3. Metales en sedimento

Los análisis de metales en sedimentos (Tabla 3) fueron analizados en el laboratorio acreditado SAG S.A.C.

Tabla 3. Resultados de análisis de metales en sedimento

Metales	LMD ¹	Unidad	Metales en sedimento			ECAs para suelo agrícola
			Denominación poza			
			1.- Topa	2.- Lagarto	3.- Pato	
Arsénico (As)	0,1	mg/kg	3,00	3,40	4,86	50,00
Bario (Ba)	0,2	mg/kg	55,20	74,10	120,00	750,00
Cadmio (Cd)	0,04	mg/kg	0,09	0,11	0,18	1,40
Cromo (Cr)	0,04	mg/kg	14,41	14,81	22,59	--
Mercurio (Hg)	0,1	mg/kg	<0,10	<0,10	0,34	6,60
Plomo (Pb)	0,06	mg/kg	7,86	9,39	13,69	70,00

¹L.D.M.: Límite de detección del método.

Los resultados del análisis de metales en sedimento de las tres pozas de estudio muestran el nivel de concentración de metales en el área de estudio. En la Tabla 9 se observa que los metales presentes en las tres pozas de estudios no sobrepasan el límite establecido en los Estándares de Calidad Ambiental ECAs para suelo agrícola; estando incluso muy por debajo de los estándares. Sin embargo, se observa que los valores más altos de metales pesados como Arsénico As 4,86 mg/kg, Bario Ba 120,00 mg/kg, Cadmio Cd 0,18 mg/kg, Cromo Cr 22,59 mg/kg y Plomo Pb 13,69 mg/kg, se encuentran en la Poza Pato, con respecto a las demás pozas de estudios, observándose la presencia de niveles de concentración de Mercurio Hg 0,34 mg/kg en esta poza, probablemente por trabajos de minería aurífera desarrollados con anterioridad en esta zona.

En el estudio realizado por Quispe Aquino, (2015), en pozas formadas por la minería aurífera artesanal se observa niveles de metales pesados con valores aproximados respecto a los resultados de las pozas, como Arsénico As 5,9 mg/kg, Cadmio 3,88 mg/kg, Cobre Cu 23,64 mg/kg, Plomo Pb 10,61 mg/kg y mercurio Hg 0,09 mg/kg. Estos valores son una forma de conocer el nivel de contaminación, siendo los sedimentos sumideros de contaminantes como la deposición de metales, y ambos casos con respecto a los ECAs establecidos para suelos agrícolas no se consideran como contaminantes potenciales, pero son metales que tienen un ciclo geobioquímico y pueden ir bioacumulándose a través del tiempo.

3.4. Comparación Estadística con los Estándares de Calidad Ambiental Nacional para suelos agrícolas

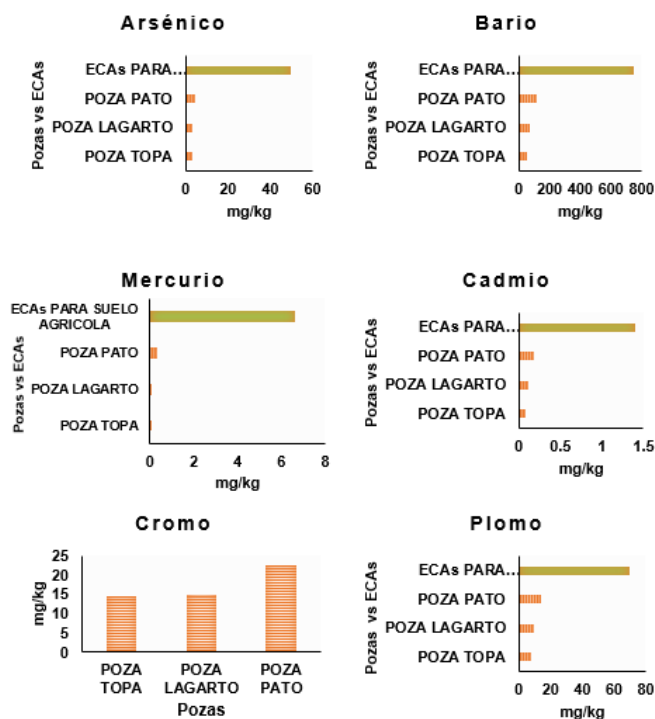


Figura 2. Valores promedio de concentración de metales en sedimento en las tres pozas de estudio comparando con los estándares de calidad ambiental para suelo agrícola; asimismo entre cada una de las pozas, en el caso del cromo.

3.5. Análisis Estadístico de metales en sedimento

El análisis de varianza (ANOVA) para los metales en sedimento se describe en la Tabla 4.

Tabla 4. Aplicación estadística en la concentración promedio de metales en muestras de sedimento de las pozas estudiadas

Variable	Pozas			ANOVA	
	Topa	Lagarto	Pato	P	Shapiro Wilk
Arsénico (As)	3,00	3,40	4,86	0,096	0,393
Bario (Ba)	55,20	74,10	120,00	0,014	0,549
Cadmio (Cd)	0,09	0,11	0,18	0,032	0,407
Cromo (Cr)	14,41	14,81	22,59	0,005	0,083
Mercurio (Hg)	0,10	0,10	0,34	0,035	0,000
Plomo (Pb)	7,86	9,39	13,69	0,011	0,489

Existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de los metales de Bario Ba, Cadmio Cd, Cromo Cr, Mercurio Hg y Plomo Pb; por lo menos, una concentración de cada metal es diferente de las demás en cuanto a la concentración de cada poza de estudio.

Según la Prueba de Shapiro Wilk, no existe diferencias significativas entre las medias de concentración de Arsénico; de las pozas de estudio.

3.6. Parámetros bacteriológicos

Tabla 5. Parámetros bacteriológicos

Parámetros microbiológicos	UNID	Poza Topa	Poza Lagarto	Poza Pato	ECA Categoría 4 conservación del sistema acuático ríos de la selva NMP/100 ml
Dilución		x 10-2	x 10-2	x 10-2	
Coliformes Termotolerantes	N°col/100 ml muestra	1000	1000	500	2000
Coliformes Totales	N°col/100 ml muestra	3500	2500	1500	3000

Los análisis de los parámetros bacteriológicos de las tres pozas de estudio muestran que el parámetro de coliformes termotolerantes no se superó el Estándar de Calidad Ambiental ECA para agua superficial de ríos de selva, en las tres pozas. Sin embargo, para coliformes totales, se observó que una poza (Poza Topa 3500 N°col/100 ml muestra) supera el Estándar de Calidad lo que corrobora el valor alto de turbiedad por el uso que los dueños del predio agrícola hacen de esta poza por encontrarse más cercano a su vivienda, las otras pozas se encuentran por debajo del estándar con valores considerables (Poza Lagarto 2500 N°col/100 ml, poza Pato 1500 N°col/100 ml).

Asimismo, en el estudio realizado por Araújo Flores, (2016), en los cuatros estaciones de la quebrada Jayave, los valores del año 2014 se igualaron o se superaron los límites permitidos por el MINAM de coliformes totales, debido a la incidencia de personas en diferentes estaciones de la quebrada.

3.7. Comparación Estadística con límites permisibles nacionales

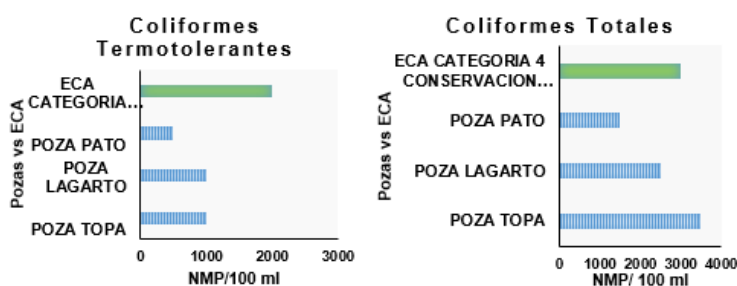


Figura 3. Valores promedios de coliformes termotolerantes y totales de las tres pozas de estudio comparando el Estándar de Calidad Ambiental para agua superficial de ríos de selva

3.8. Indicadores de calidad de agua

3.8.1. Macroinvertebrados bentónicos

El estudio de macroinvertebrados bentónicos contabilizó 10 especímenes en las tres pozas de estudio, distribuidas en el phylum Artropoda, clase insecta, 8 órdenes y 8 familias.

Los Odonatos se encontraron en la poza lagarto y poza pato, esta orden se caracteriza por presentarse en aguas lénticas y poco profundas, se puede explicar la gran adaptabilidad de estos

organismos a diferentes hábitats y condiciones ambientales incluyendo sitios con ligera eutrofización, que corroboraría la condición muy crítica que presentan estas pozas.

Tabla 6. Resultados de bentos en las pozas de estudio

Orden	Familia	Poza Topa	Poza Lagarto	Poza Pato	Total
<i>Diptera</i>	<i>Chironomidae</i>	2	2	0	4
<i>Odonata</i>	<i>Libellulidae</i>	6	6	6	18
<i>Heteroptera</i>	<i>Corixidae</i>	7	7	0	14
<i>Odonata</i>	<i>Gomphidae</i>	0	10	0	10
<i>Diptera</i>	<i>Culicidae</i>	0	2	0	2
<i>Odonata</i>	<i>Coenagrionidae</i>	0	0	7	7
<i>Odonata</i>	<i>Calopterygidae</i>	0	0	7	7
<i>Diptera</i>	<i>Ceratopogonidae</i>	0	0	3	3

Tabla 7. Índices biológicos de abundancia, riqueza, diversidad y equidad de bentos en las tres pozas de estudio

Índices biológicos	Poza Topa	Poza Lagarto	Poza Pato
Abundancia (N)	10	8	5
Riqueza de especies (S)	7	1	2
Shannon-Wiener (H')	1.75	0.53	0.68
Equidad de Pielou	0.62	0.53	0.68

En la tabla 8 se tienen resultados, considerando la clasificación de la calidad de las aguas en función a estándares desarrollados para la amazonia colombiana (BMWP).

La poza denominada Topa es la que presenta mayores valores de riqueza en especies, sin embargo, el valor obtenido de BMWP muestra que está en el rango de agua muy contaminada (Tabla 8), seguida de las pozas lagarto y pato que están en la escala de fuertemente contaminadas. Esta determinación es importante, evidencia que el estado de salud de estos cuerpos de agua es crítico, porque la zona es un predio agrícola con asentamientos humanos y actividad antropogénica, como el uso recreativo o extractivo que se le pueden estar dando a estos cuerpos de agua o por el incremento del caudal causado por las lluvias que impiden la colonización de estos organismos bentónicos. Según Araújo Flores (2012), no todos estos índices vienen explicados por la acción del hombre.

Tabla 8. Índice biótico Modificado para Colombia (índices BMWP)

Clase	Calidad	Valor/Colombia	Significado	Color
I	Buena	> 150, 101-120	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy Critica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

Tabla 9. Resultado de la calidad del agua por medio bioindicadores Los valores de porcentaje de las taxas indicadoras de ambiente acuático saludable, los (bentos) en las pozas de estudio

	Poza Topa	Poza Lagarto	Poza Pato
BMWP/Col	18	6	2
Calidad	Crítica	Muy crítica	Muy crítica

Ephemeroptera, *Plecoptera*, y *Trichoptera* (EPT), no fueron registradas en las pozas de estudio, por lo que el índice EPT (%) da como resultado que estos cuerpos de agua tienen mala calidad (Ver Tabla 10).

Tabla 10. Valores de % de tasas indicadoras de ambiente acuático saludable EPT

Índice EPT (%)	Calidad del Agua
75-100	Muy buena
50-74	Buena
25-49	Regular
0-24	Mala

Fuente: (Carrera Reyes & Fierro Peralbo, 2001)

3.8.2. Plancton

Los resultados de índices de diversidad de las pozas de estudios se presentan en la Tabla 11, como se detalla:

Tabla 11. Índices de diversidad de fitoplancton en las pozas de estudio

Índices diversidad Fitoplancton	Poza Topa	Poza Lagarto	Poza Pato
Número de especies	14	15	7
Riqueza de Margalef d'	1,16	1,36	0,60
Equidad de Pielou's J'	0,30	0,61	0,48
Diversidad de Shannon H'	1,15	2,38	1,34
Dominancia de Simpson 1-D	0,34	0,62	0,43

En la Tabla 11 se observa que la poza Lagarto es la poza con mayor índice de biodiversidad: teniendo 15 especies, siendo el número más alto con respecto a las demás pozas; 1,36 de Riqueza de Margalef; 0,61 de Equidad de Pielou's; 2,38 de Diversidad de Shannon H; y 0,62 de Dominancia de Simpson.

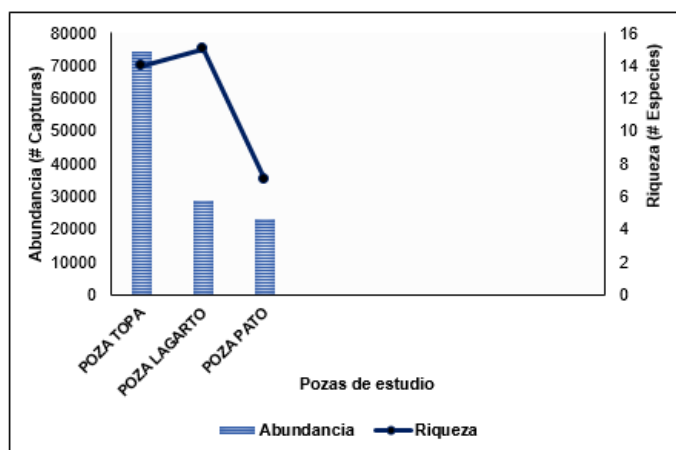


Figura 4. Índices de abundancia y riqueza de fitoplancton en las pozas de estudio

En la Figura 4 se observa que la poza con mayor abundancia es la poza Topa, seguida por la poza Lagarto y Pato, respectivamente; sin embargo, la poza con mayor riqueza es la poza Lagarto, seguida por las pozas Topa y Pato.

Tabla 12. Índices de diversidad de zooplancton en las pozas de estudio

Índices diversidad zooplancton	Poza Topa	Poza Lagarto	Poza Pato
Número de especies	3	9	3

Riqueza de Margalef d'	0,36	1,12	0,40
Equidad de Pielou's J'	0,86	0,88	1,00
Diversidad de Shannon H'	1,37	2,78	1,58
Dominancia de Simpson 1-D	0,56	0,83	0,67

En la Tabla 12 se observa que la poza Lagarto es la poza con mayor índice de biodiversidad en: Riqueza de Margalef, Diversidad de Shannon H y Dominancia de Simpson. Sin embargo, en el índice de Equidad de Pielou's la poza Pato presenta el valor mayor.

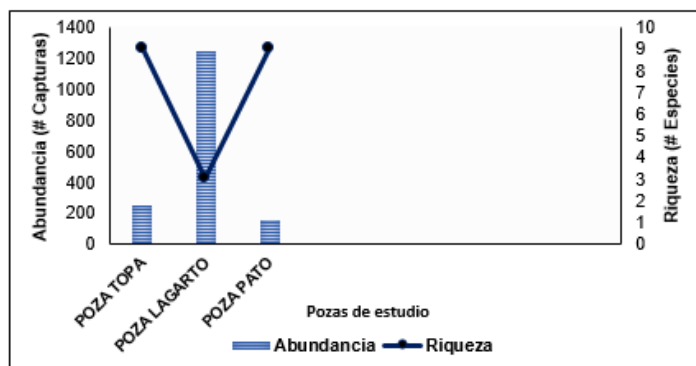


Figura 5. Índices de abundancia y riqueza de fitoplancton en las pozas de estudio

En la Figura 5 se observa que la poza con mayor abundancia es la poza Lagarto, seguida por la poza Topa y Pato, respectivamente; sin embargo, la poza Lagarto es la poza con menos índice de riqueza.

Tabla 13. Especies de fitoplancton en las pozas de estudio

Especie	Poza Topa	Poza Lagarto	Poza Pato
<i>Nitzschia acicularis</i>	60 000	0	500
<i>Gomphonema augur</i>	50	0	0
<i>Synedra goulardi</i>	0	1 000	0
<i>Navicula capitatoradiata</i>	50	0	0
<i>Navicula cf incomposita</i>	0	500	0
<i>Craticula cuspidata</i>	0	500	0
<i>Amphora sp.</i>	500	500	0
<i>Pandorina morum</i>	50	0	0
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	2 500	2 000	500
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	3 000	500	0
<i>Closteriopsis sp.</i>	500	17 500	0
<i>Dictyosphaerium sp.</i>	1 500	0	0
<i>Merismopedia glauca</i>	0	0	500
<i>Oscillatoria tenuis</i>	0	500	0
<i>Euglena sp.</i>	50	0	0
<i>Trachelomonas sp.</i>	0	2 000	0
<i>Lepocinclis acus</i>	50	500	500
<i>Lepocinclis ovum</i>	0	500	0
<i>Lepocinclis sp.</i>	0	1 000	500
<i>Phacus circumflexus</i>	50	1 000	0
<i>Phacus longicauda</i>	0	500	0
<i>Phacus pleuronectes</i>	50	500	0

<i>Gonyaulax sp.</i>	0	0	17 000
<i>Protoperidinium quinquecorne</i>	6 000	0	3 500

En la tabla 13 se observa que las pozas con mayor proporción de especímenes de fitoplancton son las pozas Topa y Lagarto. Las especies más representativas fueron: *Nitzschia acicularis*, *Closteriopsis sp.* y *Gonyaulax sp.* Evidenciando el deterioro de la calidad del agua de estas pozas, por presentar una correntada mínima.

En el estudio realizado por (Quispe Aquino, 2015), las especies más representativas fueron: *Trachelomonas sp.*, *Lepocinclis sp.* y *Euglena acus*

Tabla 14. Especies de zooplancton en las pozas de estudio

Especie	Poza Topa	Poza Lagarto	Poza Pato
ciclopoideo	0	50	0
<i>Vorticella sp.</i>	150	50	0
nematodo	50	0	0
bdelloideo	0	300	50
<i>Asplanchna herrickii</i>	0	50	0
<i>Anuraeopsis fissa</i>	0	250	50
<i>Brachionus angularis</i>	0	100	0
<i>Keratella cochlearis</i>	50	300	0
<i>Euchlanis dilatata</i>	0	50	0
<i>Polyarthra sp.</i>	0	100	50

En la tabla 14 se observa que la poza con mayor proporción de especímenes de zooplancton es la poza Lagarto con respecto a las demás pozas de estudio. Las especies más representativas fueron: bdelloideo, *Keratella cochlearis* y *Anuraeopsis fissa*.

En el estudio realizado por (Quispe Aquino, 2015), las especies más representativas fueron: *Trichocerca sp.*, *Microcyclops sp.* y *Thermocyclops minutus*.

3.8.3. Riqueza en ictiofauna

Tabla 15. Índices biológicos de abundancia, riqueza, diversidad y equidad de ictiofauna en las tres pozas de estudio

Índices biológicos	Poza Topa	Poza Lagarto	Poza Pato
Abundancia	13	18	21
Riqueza	9	11	13
Índice de Diversidad ($H'(\log 2)$)	2,93	3,31	3,59
Índice de riqueza (d)	3,12	3,46	3,94
Índice de equidad (J')	0,92	0,96	0,97

En la tabla 15 se observa que la poza Pato es la poza con mayor Abundancia y Riqueza, seguida por la poza Lagarto y Topa; respectivamente.

En la figura 6 se observa que la poza Pato es la poza con mayor Dominancia y Equidad, seguida por la poza Lagarto y Topa; respectivamente.

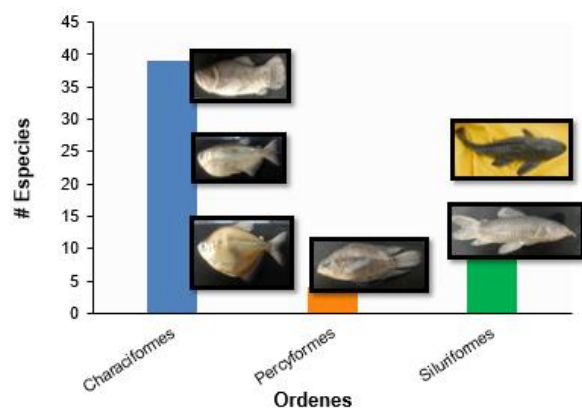


Figura 6. Distribución taxonómica de las especies de peces agrupada por órdenes.

Las muestras recolectadas en las tres pozas de estudio, fueron clasificadas en tres órdenes: *Characiformes*, *Percyformes* y *Siluriformes*. El orden *Characiformes*, es el orden sobresaliente y con más número de individuos en el área de estudio, seguido por el orden *Siluriformes* con un considerable número de individuos, y finalmente el orden *Percyformes*, que es el orden con menor número de individuos y manifestación en las pozas de estudio. Este resultado es similar a lo reportado en el estudio de Caracterización de la biodiversidad acuática en la cuenca andino-amazónica de Madre de Dios, donde el orden *Characiformes* reporta un 80%, *Siluriformes* 15% y *Percyformes* un aproximado de 2.2% con otros ordenes de las capturas registradas (Araújo Flores, 2016).

4. Conclusiones

Analizando los parámetros fisicoquímicos se puede concluir que los datos de pH difieren de poza a poza (poza topa=6,93, poza lagarto=7,43, poza pato=7,53), pero en los tres casos se encuentran dentro de los estándares de calidad de agua para ríos de selva categoría 4 (pH=6,5 – 8,5). Un factor determinante para este parámetro es la estacionalidad, la materia orgánica en suspensión que proviene de la descomposición vegetal, la fisiografía que rodea a las pozas que son de terrazas bajas con drenaje moderado y cercano a un complejo de orillares que hace que los valores de pH sean inestables con tendencia a la acidez. Las fuertes lluvias esporádicas hacen disminuir los valores de conductividad y neutralizar el pH. Los datos de oxígeno disuelto están en relación a la profundidad donde se tomaron las muestras, cuanto más profundo más oxigenadas como en las pozas denominadas topa y pato que presentan 9 ppm de oxígeno disuelto y una profundidad de 4 m y 5 m respectivamente. La evaluación de coliformes totales solo la poza topa (3500 NMP/100 ml), sobrepasa los estándares de calidad ambientales ECAs para ríos de selva categoría 4 (3000 NMP/100 ml) y según la categoría 1-B para aguas superficiales destinadas para recreación tanto coliformes totales para las pozas de estudio (poza topa=3500 NMP/100 ml, poza lagarto=2500 NMP/100 ml, poza pato=1500 NMP/100 ml) superan los permisibles para contacto primario (1000 NMP/100 ml), por lo que se concluye que estas pozas no son recomendables para recreación.

Las concentraciones de los metales: bario, cadmio, cromo, mercurio y plomo en los sedimentos de las pozas formadas artificialmente por la minería no metálica son bajos y diferentes para cada poza, a excepción del arsénico donde no existe diferencias significativas.

El estudio de macroinvertebrados bentónicos contabilizó 10 especímenes en las tres pozas de estudio, distribuidas en el phylum Artropoda, clase insecta, 8 órdenes y 8 familias. La poza denominada Topa es la que presenta mayores valores de riqueza en especies, sin embargo, el valor obtenido de BMWP muestra que está en el rango de agua muy contaminada, seguida de las pozas lagarto y pato que están en la escala de fuertemente contaminadas. Esta determinación es

importante, evidencia que el estado de salud de estos cuerpos de agua es crítico, porque la zona es un predio agrícola con asentamientos humanos y actividad antropogénica. Los valores de riqueza y abundancia para fitoplancton, muestran que la poza denominada Topa presenta mayor índice de abundancia y la poza lagarto mayor índice de riqueza en especies, habiendo una diferencia grande con la poza pato que presenta en referencia a las otras dos bajo índice de riqueza. Para el caso del zooplancton la poza lagarto presentó mayor índice de abundancia, pero bajo índice de riqueza en especies, con respecto a las otras dos pozas lagarto y pato que presentan mayor número de especies. La evaluación de riqueza en ictiofauna de las tres pozas de estudio dio como resultado la predominancia de las órdenes de chariciformes con (17 especies), también se encontraron peces de las órdenes siluriformes (9 especies) y Percyformes (4 especies). Las especies más comunes fueron *Triportheus angulatus* (10 capturas), *Cichlasoma boliviense kullander* (4 capturas), *Hypostomus* sp (1 captura), esta información contribuye a conocer las especies existentes en pozas formadas artificialmente por minería no metálica.

Los valores fisicoquímicos obtenidos de sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, dureza, cloruros, aceites y grasas, nitrato y nitritos en muestras de las tres pozas de estudio, no sobrepasan los estándares de calidad ambientales ECAs para ríos de selva categoría 4. Al mismo tiempo los niveles de metales en sedimentos de los cuerpos de agua formados por extracción de minería no metálica no sobrepasan los estándares de calidad ECAs para suelo agrícola, pero considerando que los resultados son de sedimentos de cuerpos de agua se debe tener presente el pH de estos que cuanto más ácidos sean tendrán mayor capacidad de disolver estos metales y contaminar la vida acuática que presenta.

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autores

L-Q, E. y R-A, L: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, curación de datos escritura (preparación del borrador final).

Referencias bibliográficas

- Araújo Flores, J. M. (2012). *Estudio hidrobiológico en la concesión de conservación Villa Carmen – Pilcopata (ACCA) Cusco y Madre de Dios, Perú*.
- Araújo Flores, J. M. (2016). *Caracterización de la biodiversidad acuática en la cuenca andino-amazónica de Madre de Dios - Perú* [Universidad de Huelva].
<http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/12705>
- Brousett-Minaya, M. A., Rondan-Sanabria, G. G., Chirinos-Marroquín, M., & Biamont-Rojas, I. (2021). Impacto de la Minería en Aguas Superficiales de la Región Puno - Perú. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, 21(21).
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2071-081X2021000100011&script=sci_arttext&tlng=es
- Carrera Reyes, C., & Fierro Peralbo, K. (2001). Manual de Monitoreo: Macroinvertebrados Acuáticos como Indicadores de la Calidad de Agua. In *Ecociencia* (Vol. 2).
https://biblio.flacsoandes.edu.ec/shared/biblio_view.php?bibid=144719&tab=opac
- Cuentas Alvarado, M., Velasquez Viza, O., Arizaca Avalos, A., & Huisa Mamani, F. (2019). Evaluación de riesgos de pasivos ambientales mineros en la comunidad de Condoraque -

- Puno. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 4(2).
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522019000200004&script=sci_arttext
- Osores Plenge, F., Rojas Jaimes, J. E., & Lara Estrada, C. H. M. (2012). Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública. *Acta Médica Peruana*, 29(1).
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172012000100012
- Peña Neira, S., & Araya Meza, P. (2021). Aguas de contacto, efectos en la minería y el medioambiente. *Revista de La Facultad de Derecho*, 50, 20215006.
<https://doi.org/10.22187/RFD2020N50A6>
- Quezada García, M. G., Hidalgo del Águila, M., Tarazona, J., & Ortega, H. (2017). Ictiofauna de la cuenca del río Aguaytía, Ucayali, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 24(4), 331–342.
<https://doi.org/10.15381/RPB.V24I4.14061>
- Quispe Aquino, R. (2015). *Evaluación de la contaminación por metales pesados en cuerpos de agua dejados por la minería aurífera, en la comunidad nativa de tres islas del departamento de Madre de Dios* [Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios].
<http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/112>
- Rottenbacher de Rojas, J. M., & De la Cruz Sánchez, M. (2012). Ideología política y actitudes hacia la minería en el Perú: entre el crecimiento económico, el respeto por las formas de vida tradicionales y el ambientalismo. *Liberabit*, 18(1).
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-48272012000100011
- Villena Chávez, J. A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 304–308.
<https://doi.org/10.17843/RPMESP.2018.352.3719>