

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE FLUVIAL ECOSYSTEM OF THE CHONTA RIVER WITH MINING INFLUENCE IN NORTHERN PERU

Marco Sánchez-Peña, Mg. Blgo.^{1,2}; Jerry Arana-Maestre. Mg Blgo³, Juan Cruz-Gutierrez, Dr. Ing⁴

¹ Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú. marco.sanchez@upn.edu.pe;

²Universidad Nacional de Cajamarca, Perú

³ Departamento de Limnología, Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.

jaranam@unmsm.edu.pe

⁴Departamento de Química, Universidad Nacional de Piura. gcruz@untumbes.edu.pe

Resumen– La presente investigación se realizó en el Río Chonta, ubicado en la Provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca - Perú. El trabajo se basó en la aplicación de tres técnicas de evaluación ambiental que consistieron en la determinación de metales pesados en sedimentos, la realización del Test de Supervivencia con lombrices *Eisenia fetida* y la aplicación del protocolo CERA con macroinvertebrados, con el objetivo de evaluar el estado ecológico del río Chonta en sus partes alta y media. Para ello se establecieron cinco estaciones de monitoreo: cuatro de control (M-1, M-3, M-4, M-5) y una de referencia (M-2). Cabe mencionar que la estación M1 presenta impactos por la actividad minera. Los metales analizados en sedimentos fueron: As, Cd, Pb, Hg, Ni, Zn, Cu y Cr, cuyos resultados fueron comparados con los valores umbrales establecidos en los estándares canadienses de calidad para sedimentos, valores TEL (ECA canadiense). Los resultados obtenidos fueron los siguientes: Al ser analizadas por las tres técnicas, las estaciones con mayor grado de contaminación fueron M-1, M-4 y M-5; asimismo las concentraciones promedio de metales en sedimentos más altas obtenidas durante las 4 campañas fueron para el Zn: 24.084 mg/kg, As: 12.15 mg/kg y Cd: 0.579 mg/kg en M-1. La estación M-1 presentó la mayor concentración en casi todos los metales analizados; en esta estación el As y Cd superaron los estándares canadienses para sedimentos valores TEL en todas las campañas. También tenemos que el Cd excedió los ECA canadienses de sedimentos en M-1 (primera campaña: 0.974 mg/kg y cuarta campaña: 1.017 mg/kg), M-2 (cuarta campaña: 0.847 mg/kg), y M-3 (cuarta campaña: 0.959 mg/kg). Ninguno de los siguientes metales superó los ECA canadienses para sedimentos: Ni, Zn, Cr, Cu, Pb y Hg. Por otro lado, el test de supervivencia determinó que los metales tóxicos influyen en el crecimiento de las lombrices, así tenemos que la mayor pérdida de peso se registró en M-1 con -34.9%. Finalmente, las valoraciones del Protocolo CERA arrojaron calidades ecológicas que van de pésimas en todas las campañas para M-1, M-4 y M-5 a sí como malas para M-3, y regular en promedio para M-2.

Palabras clave: contaminación minera, macroinvertebrados, sedimentos, estado ecológico, test de supervivencia, protocolo CERA

Abstract- The present investigation was carried out in the Chonta River, located in the province of Cajamarca, department of Cajamarca - Peru. The work was based on the application of three environmental evaluation techniques that consisted of the

determination of heavy metals in sediments, the realization of the Survival Test with *Eisenia fetida* earthworms and the application of the CERA protocol with macroinvertebrates, with the objective of evaluating the ecological status of the Chonta River in the upper and middle parts of the river. To meet this objective, five monitoring stations were established, four control stations (M-1, M-3, M-4, M-5) and one reference station (M-2). In mention, Station M1 shows impacts from mining activity. The metals analyzed in sediments were: As, Cd, Pb, Hg, Ni, Zn, Cu and Cr whose results were compared with the threshold values established with the Canadian sediment quality standards TEL values (Canadian ECA). The results obtained were as follows: When analyzed by the three techniques, the stations with the highest degree of contamination were M-1, M-4 and M-5. In addition, the average concentrations of metals in sediments during the 4 campaigns obtained were for Zn: 24.084 mg/kg, As: 12.15 mg/kg and Cd: 0.579 mg/kg in M-1. Station M-1 was the station with the highest concentration of almost all the metals analyzed. At this station, As and Cd exceeded the Canadian Standard for sediments in all campaigns. Also Cd was exceeded for the Canadian sediment RCTs at M-1 (first campaign: 0.974 mg/kg and fourth campaign: 1.017 mg/kg), M-2 (fourth campaign: 0.847 mg/kg), and M-3 (fourth campaign: 0.959 mg/kg). None of the following metals exceeded RCTs for Canadian sediments Ni, Zn, Cr, Cu, Pb, Hg. On the other hand, the survival test determined that toxic metals do influence worm growth, the greatest weight loss was recorded at M-1 with -34.9%. Finally, the CERA protocol evaluations showed ecological qualities ranging from very poor in all the campaigns for M-1, M-4 and M-5 to poor for M-3 and fair on average for M-2.

Keywords: mining pollution, macroinvertebrates, sediments, ecological status, survival test. CERA protocol

I. INTRODUCCIÓN

La Cordillera de los Andes constituye una de las cadenas montañosas más extensas del planeta y recorre longitudinalmente la región occidental de América del Sur [1]. Su presencia influye en el desarrollo de todo el continente, desde aspectos geográficos, climatológicos y ecológicos hasta económicos y sociales. La extensa área que ocupan los Andes comprende, a diferencia de otras cordilleras del mundo, no sólo un elevado gradiente altitudinal sino también latitudinal; abarcando muchos tipos de climas, desde el tropical, subtropical húmedo y seco hasta el subpolar y glaciar [1]; originando de esta manera una gran variedad de ecosistemas,

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.54>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

desde los áridos desiertos de la costa del Pacífico hasta las llanuras amazónicas del Atlántico. De esta diversidad de ecosistemas existentes, las formaciones altoandinas han motivado, recientemente, un creciente interés [2].

Por otro lado, existen pasivos ambientales originados por la intervención humana en los andes centrales y del norte como la introducción del ganado vacuno y ovino, así como la intensa actividad minera [3]. En Perú, dicha industria es responsable de más del 50% de las exportaciones y ha convertido al país en uno de los principales productores de oro, plata, cobre, zinc, plomo y estaño a nivel mundial [4].

En el río Chonta se realizan actividades mineras en la parte alta; así tenemos que, ubicado en la naciente de la quebrada Maqui Maqui, se encuentra localizado el proyecto del mismo nombre, perteneciente a la empresa Minera Yanacocha S.R.L y el Proyecto Carachugo, ubicado en las nacientes de las quebradas Chaquicocha y Ocuchamachay, los cuales se encuentra en etapa de cierre. Por otro lado, el Proyecto Exploración Yanacocha Zona Este (Carachugo segunda parte) se encuentra cercano a la naciente de la red hídrica del río Azufre, conformado por las quebradas Chaquicocha, Ocuchamachay, Arnacocha y La Sacsha. En la actualidad, el río Azufre nace de reservorios artificiales que se encuentran en la parte alta de la cuenca, siendo las localidades más próximas El Porvenir - Combayo, San Luis - Combayo, Bellavista Alta, Combayo, Bellavista Baja, San José, Quinuamayo, Tres Tingos, Barrojo, Apolin, El Calvario, Muyoc, Carhuaquero, Zarcilleja y Aliso Colorado.

Por el contrario, en las partes medias y bajas, se desarrolla la agricultura, la ganadería, la extracción de agregados como piedra, arena fina y gruesa, y la piscicultura. La futura construcción del embalse en el Cañón del Chicche, la que se denominará Represa del Río Chonta tendrá una importante influencia en la zona, así como en la economía local. Esto debido a que el agua que se almacenará en dicho embalse servirá para mejorar el desarrollo de la agricultura en la parte baja y abastecerá de agua a la ciudad de Cajamarca y Baños del Inca. Por esta razón el presente trabajo tuvo como objetivo aplicar diversas técnicas de evaluación ambiental para determinar el grado de contaminación en el río; para ello se evaluó la concentración de metales pesados en sedimentos del Río Chonta, el efecto ecotoxicológico de los sedimentos del río a través del Test de Supervivencia en *Eisenia fetida*, y el estado Ecológico del Río Chonta a través del protocolo CERA.

Área de estudio

El río Chonta se encuentra en el Departamento de Cajamarca, Perú, limita por el norte con la cuenca del río Llaucano, por el sureste con la subcuenca del río Grande de Mashcón, y por el suroeste con la subcuenca del río Namora (Encañada). Se ubica entre las coordenadas geográficas Norte 9,228,128 -9,201,234 y Este 781,403-762,185, del sistema WGS84 Zona 17 Sur. El punto más alto de las cuencas se ubica en la cota 4250 ms n.m, mientras que el más bajo se encuentra en la cota 2500 msnm

[4]. Entre sus principales tributarios tenemos a los ríos Azufre por la margen derecha y al río Paccha por la margen izquierda. La sub cuenca del río Chonta tiene un área de 13500 hectáreas, con un caudal promedio estimado de aproximadamente 2500 L/s [5].

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Procedimientos de evaluación aplicados

Se aplicaron tres sistemas de evaluación ambiental para la evaluación del estado ecológico del río Chonta entre la parte alta y media de la cuenca. El trabajo de investigación no solo pretendía realizar una evaluación de la contaminación en el río si no también aplicar una metodología económica para la evaluación que sea eficiente, rápida y de bajo costo que permita desarrollar un sistema de alerta temprano de las perturbaciones presente en el ecosistema. Es necesario mencionar que se han establecido tres sistemas de evaluación ambiental que no contemplan la evaluación del agua, a pesar que es lo que la ley peruana establece como criterio de evaluación ambiental, por lo siguiente: Por experiencias previas en trabajos nacionales e internacionales hemos podido deducir que, al evaluar el agua como componente ambiental únicamente, los resultados nos darían una idea puntual del comportamiento de los contaminantes. Así, por ejemplo, si evaluamos un vertimiento a las 2 pm, pasado unos minutos muchas veces no podremos encontrar rastros de la contaminación porque el agua está en movimiento. Entonces un análisis químico del agua me presenta una fotografía de la realidad del ecosistema acuático, mientras que el análisis de otros componentes como los sedimentos, y las comunidades de organismos presentes nos dan una idea más completa históricamente del estado ecológico de los ríos, ya que se forman con el tiempo y viven en el agua; estos nos permitirán ver un video completo del comportamiento del ecosistema. Se consideraron cinco estaciones de muestreo, de ellas, cuatro estaciones fueron de control: M-1, M-3, M-4 y M-5, y una estación de referencia, M-2 ver tabla I; para ello se realizaron cuatro campañas de muestreo, dos en época de estiaje, la primera y tercera, y dos en época de lluvia, la segunda y la cuarta, de los años 2017 y 2018 respectivamente, con excepción del test de supervivencia de *Eisenia fetida*.

TABLA I
UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO EN EL SISTEMA WGS 84

Código de la estación	Coordenadas UTM	Río al que pertenece	Descripción de la estación
M-1	Este: 785645.050 Norte: 9221687.605 Altura: 3070 m.s.n.m.	Río Azufre	Río que se es impactado por actividad minera ya que proviene de la empresa Minera Yanacocha. Ubicado

			en Estación Control. Combayo.
M-2	Este: 787517.450 Norte: 9219364.010 Altura: 2977 m. s. n. m	Rio Grande	Ubicado en el caserío Molino del Arco. Estación de referencia.
M-3	Este: 787397.144 Norte: 9216236.100 Altura: 2899 m. s. n. m	Rio Chonta	Piscigranja Peña caserío de Chiquilín. Estación control.
M-4	Este: 780078.700 Norte: 9208089.500 Altura: 2669 m. s. n. m	Rio Chonta	Entrada a la ciudad de los Baños del Inca. Estación control.
M-5	Este: 780100.900 Norte: 9206374.320 Altura: 2639 m. s. n. m	Rio Chonta	Sector el Porongo ciudad de los Baños del Inca. Estación control.

B. Análisis de sedimentos

El procedimiento utilizado para el muestreo de sedimento fue la Guía para el muestreo de sedimentos de fondo colombiana [6]; las muestras fueron colectadas en zonas cercanas a las orillas y de flujo constante de agua que permiten la deposición del sedimento (meandros), se utilizó una pala manual a una profundidad aproximadamente entre 15 cm a 25 cm. Se colectó un total de 500 g de sedimento trasvasándose a potes de polietileno de 500 gramos, refrigeradas y transportadas al laboratorio NKAPSRL de la ciudad de Trujillo para su análisis con la técnica 200.7 Rev.4.4 EMMC. Versión (1994) de la EPA. Se evaluaron 8 metales (As, Cd, Hg, Pb, Cu, Cr, Zn y Ni) y los resultados obtenidos fueron comparados con la norma de calidad ambiental canadiense, valores TEL para sedimentos; los resultados se centraron en estos metales debido a que las Guías de evaluación de riesgo ambiental canadienses consideran a estos elementos como los de mayor riesgo para los ecosistemas acuáticos y la calidad ambiental de los mismos [7] y [8].

C. Test de supervivencia de lombrices *Eisenia fetida*

Para el desarrollo de los bioensayos de toxicidad se utilizaron lombrices de la especie *Eisenia fetida*. Este bioensayo evalúa la toxicidad de compuestos en suelos o sedimentos que influyen en el desarrollo de las lombrices. Esto se determina analizando la pérdida o ganancia de peso en los especímenes estudiados, así como la población de lombrices que nacen o mueren durante los 28 días que dura el bioensayo.

Para desarrollar el test de supervivencia se colectaron sedimentos en 2 campañas una de la época de estiaje y otra de la época de lluvia para todas las estaciones de muestreo, es decir 5 muestras y un control. El procedimiento de análisis fue el siguiente: se pesó cada una de las muestras con 225 gr de

sedimentos y se colocó en los recipientes de material inerte destinados al ensayo. Se utilizaron frascos de plásticos de 1kg. La muestra control se preparó con un 10% turba de *Sphagnum* (musgo), 70% arcilla blanca (Caolina), 10% arena de cuarzo. Para el suelo control se utilizaron las siguientes proporciones: 25gr de musgo, 25 gr de arena de cuarzo y 175 gr de arcilla blanca. Para completar los 25 gr se utilizó agua desionizada. Los individuos fueron seleccionados bajo los siguientes criterios: el peso de las lombrices fue de entre 250 y 500mg, se registró el peso de cada uno de los individuos al inicio del ensayo. Se distribuyeron las lombrices uniformemente entre las diferentes muestras a estudiar. La ratio fue de una lombriz por cada 40g de muestra (se colocaron un total de 7 lombrices por frasco). Se añadió la cantidad de comida necesaria por individuos presentes en cada muestra. La cantidad de comida (estiércol de vacuno) a añadir corresponde a 2g de comida por lombriz. Se pesaron los recipientes con la muestra, el agua, los individuos y la comida sin la tapa y registró el peso. Las condiciones del ensayo fueron: Temperatura: $20 \pm 2^\circ\text{C}$, fotoperiodo: 16 horas de luz – 8 horas de oscuridad, iluminación: 400 – 800 lux en el área donde se encuentran los contenedores del test; humedad del sustrato: $40\% - 60\% \pm 10\%$. El registro de los pesos se realizó colocando los frascos sin tapa en baño maría a 40 grados centígrados y luego se lavaron los especímenes con agua desionizada y se dejaron escurrir durante 10 minutos sobre papel toalla para luego ser pesados. El resultado de presenta en gramos y en % de pérdida o ganancia de peso. El test de supervivencia se describe en el Biological test method. Tests for toxicity of contaminated soil to earthworms (*Eisenia andrei*, *Eisenia fetida*, or *Lumbricus terrestris*) [9]

D. Evaluación del estado ecológico del rio Chonta a través del protocolo CERA

El Protocolo CERA [10] describe la técnica de evaluación de tres componentes esenciales en la evaluación del estado ecológico de los ríos altoandinos que son: la evaluación de la calidad del tramo fluvial aplicando el índice IHF (índice hidromorfológico fluvial o índice de hábitat fluvial), la calidad de la vegetación de ribera para lo cual se aplica el índice QBR-and (Índice de calidad de la vegetación de ribera), y la valoración biológica del ecosistema acuático aplicando el índice biótico andino ABI [11].

E. Macroinvertebrados bentónicos

Los macroinvertebrados bentónicos fueron colectados con una malla D-net de 250 micras de poro. Para el muestreo se tomaron tramos de aproximadamente 50 metros en un tiempo de cinco minutos removiendo el sustrato del río con la técnica de patada y desplazando la malla en los bordes del río donde se observó vegetación y volteando piedras del fondo de más de 30 cm para la colecta de especímenes adheridas a ellas. Luego las muestras fueron rotuladas indicando la estación de muestreo, la fecha y la hora de muestreo y se preservaron en alcohol al 80% en

bolsas ziploc de 250 gramos y en frascos de plástico de boca ancha de 100 ml para luego ser transportadas al laboratorio de Ecología de la Universidad Nacional de Cajamarca, donde fueron tamizadas e identificadas con la ayuda de un microscopio estereoscópico marca OLYMPUS, modelo SZX 16 con capacidad de aumento de 16x a 80x y claves taxonómicas [12] hasta el nivel taxonómico de familia. Adicionalmente a la colecta de macroinvertebrados bentónicos, se midieron los parámetros in situ de pH y la temperatura, como valores de referencia, empleándose para ello, un equipo multiparámetro portátil marca WTM modelo I345.

F. Pruebas estadísticas aplicadas

El análisis de medias aritméticas se basa en el promedio de los valores hallados en la investigación. Para nuestro caso se aplicaron medias aritméticas entre estaciones de muestreo y las concentraciones de sus resultados químicos, y la media global de todas las campañas por estación, asimismo se aplicaron las medias aritméticas para los resultados del índice CERA. El “Path análisis” proporciona medidas de cómo el modelo definido a priori se ajusta a los datos observados [13]. Para el desarrollo del Path Analysis se aplicó el programa estadístico IBM SPSS versión 24, el cual permitió correlacionar los resultados obtenidos de los metales más relevantes en el sedimento, el promedio de los porcentajes obtenidos de *Eisenia fétida*, y las valoraciones promedio obtenidas por el índice CERA.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y METALES EN SEDIMENTOS.

Los resultados de la tabla 2 muestran que el pH del agua presenta un comportamiento entre ligeramente ácido y básico. Los rangos más bajos obtenidos se presentaron en la estación M-1 la cual está impactada por la actividad minera. En la segunda campaña la estación M-2 obtuvo un valor ligeramente ácido con 6.62. Los rangos de temperatura muestran que las estaciones ubicadas a mayor altitud son más frías como era de esperarse. Es importante mencionar que las estaciones M-4 y M-5 están descubiertas, sin vegetación de ribera que los cubra, lo que permite su incremento de temperatura en su recorrido.

TABLA II
RESULTADOS DE PH Y TEMPERATURA °C

	Campaña1					Campaña2					Campaña3					Campaña4				
Estación	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
pH	6.35	8.44	8.07	8.12	8.04	7.40	6.62	8.00	8.34	7.72	7.25	8.58	8.35	8.67	8.26	7.21	8.20	8.22	8.42	8.32
Temperat	11.50	14.70	16.50	13.70	16.50	10.90	14.10	15.20	14.20	15.70	11.10	14.30	15.70	13.60	15.90	12.00	14.40	15.40	17.00	17.50

TABLA III

RESULTADOS EN mg/kg DE ARSÉNICO PARA LAS 4 CAMPAÑAS DE MUESTREO EN LAS 5 ESTACIONES

Campañas	Estaciones de Muestreo				
	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5
Primera campaña.	12.686	2.285	1.851	4.686	3.001
Segunda campaña.	7.895	1.612	2.339	2.955	2.863
Tercera campaña.	11.332	1.167	2.085	2.536	2.311
Cuarta campaña.	16.667	2.009	2.718	3.543	2.824
Promedio por estación	12.15	1.77	2.25	3.43	2.75
ECA canadiense	5.9				

Nota. Los valores sombreados sobrepasan los valores TEL de los estándares canadienses para sedimentos

Como se observa en la tabla III podemos notar una alta concentración de arsénico en la estación M-1 que superó los ECAS canadienses para sedimentos en casi el doble de su valor promedio, esto es preocupante debido a la toxicidad de este elemento [14]. Para las demás estaciones ninguna supera lo establecido en esta norma. El valor más alto obtenido es 16.667 mg/kg en la cuarta campaña (época de lluvia) y el valor más bajo se obtuvo con 1.167 mg/kg para la estación M-2 en la tercera campaña (época de estiaje). Existe una notable tendencia a reducir la concentración de arsénico conforme el gradiente altitudinal disminuye entre estaciones por lo que se evidencia que no hay aportaciones de este elemento entre las estaciones de muestreo.

TABLA IV

RESULTADOS EN MG/KG DE CADMIO PARA LAS 4 CAMPAÑAS DE MUESTREO EN LAS 5 ESTACIONES

Campañas	Estaciones de Muestreo				
	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5
Primera campaña.	0.974	0.148	0.229	0.399	<0.0000849
Segunda campaña.	0.06	0.266	0.258	0.141	0.106
Tercera campaña.	0.265	0.32	0.316	0.174	0.185
Cuarta campaña.	1.017	0.847	0.959	0.475	0.434
Promedio por estación	0.58	0.3953	0.441	0.297	0.181
ECA canadiense	0.6				

Nota. Los valores sombreados sobrepasan los valores TEL de los estándares canadienses para sedimentos

En la tabla IV para los resultados de Cadmio nuevamente la estación M-1 superó en la primera y cuarta campaña, el ECA canadiense para sedimentos. El valor promedio para el Cadmio en la estación M-1 es el más alto del estudio con 0.58 mg/kg. En la cuarta campaña M-2 y M-3 también superaron el ECA canadienses. Esto es algo interesante ya que M-2 ha sido definida para este estudio como una estación de referencia por no tener impactos mineros aguas arriba, lo que indicaría otras posibles fuentes de emisión de este compuesto que se tendrían que determinar en otros estudios. La estación M-3 al ser una confluencia de las estaciones M-1 y M-2 recibiría aportaciones de este elemento aguas arriba de la estación M-1 (el río Azufre) en la época de lluvias. La estación M-5 a pesar de estar impactada por las aguas residuales de la ciudad de baños del Inca presentó los valores más bajos en promedio para todo el estudio.

Según los resultados de Cr (<0.000403 mg/kg) y Hg (<0.000311 mg/kg) todos estuvieron por debajo de los límites de cuantificación del método de laboratorio por lo que no se consideraron en los resultados de este artículo. Las concentraciones de Pb para todas las campañas en la estación M-2, M-3, M-4 y M-5 no superaron los límites de cuantificación del método (<0.00323mg/kg). La mayor concentración para este metal durante todo el estudio se presentó en M-1. Por lo observado desde la estación M-1 a M-5 no hay aportantes de este metal al río y su tendencia es a reducir su concentración. Se puede indicar que en el caso del Pb no se presentó una concentración significativa tóxica para el estudio. La concentración promedio para M-1 de Plomo fue de 5.297 mg/kg muy por debajo de 35 mg/kg que es lo que estipula la normativa ambiental.

TABLA V

RESULTADOS EN MG/KG DE COBRE PARA LAS 4 CAMPAÑAS DE MUESTREO EN LAS 5 ESTACIONES

Campañas	Estaciones de Muestreo				
	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5
Primera campaña.	11.395	2.687	3.565	10.729	9.402
Segunda campaña.	4.805	3.168	2.928	5.031	5.637
Tercera campaña.	8.225	1.506	3.276	5.263	5.12
Cuarta campaña.	8.732	3.446	7.215	8.016	5.609
Promedio por estación	8.29	2.70	4.25	7.26	6.44
ECA canadiense	36				

Como se puede observar en la tabla V las mayores concentraciones del Cu se encuentran en M-1 con 11.395 mg/kg, M-4 con 10.729 mg/kg y M-5 con 9.402 mg/kg para la primera campaña. La concentración promedio nos indica que M-1 durante todo el muestreo presentó la mayor concentración de Cu (como en el As y Cd) y es seguida por M-4 y M-5; esto se debe a que estas dos últimas estaciones se encuentran dentro de la ciudad de Cajamarca, por lo que las actividades antropogénicas (aguas residuales), la presencia de actividad agrícola y el movimiento de tierras en la zona por la extracción de agregados aportarían este mineral. El valor más bajo se presentó en la estación M-2 en promedio durante todo el muestreo con 2.70 mg/kg. Ninguno de los valores obtenidos superó el ECA canadiense para sedimentos. No se evidenció una tendencia a la disminución de este metal entre estaciones ya que hay aportantes de este mineral entre la parte alta y media del río.

TABLA VI

RESULTADOS EN MG/KG DE NIQUEL PARA LAS 4 CAMPAÑAS DE MUESTREO EN LAS 5 ESTACIONES

Campañas	Estaciones de Muestreo				
	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5
Primera campaña.	0.227	0.846	0.389	1.216	1.193
Segunda campaña.	0.060	1.537	0.516	0.739	0.618
Tercera campaña.	0.247	0.433	0.298	0.712	0.536
Cuarta campaña.	0.419	1.122	0.759	1.049	0.750
Promedio por estación	0.23825	0.9845	0.4905	0.929	0.77425
ECA canadiense	18				

En la tabla VI se muestra que ninguna de las estaciones muestreadas para el Níquel superó los ECA canadienses para sedimentos. Los valores más altos se presentan en las estaciones M-2 con 1.537 mg/kg para la segunda campaña y M-4 con 1.216 mg/kg, M-5 con 1.193mg/kg para la primera campaña. La concentración promedio más alta se obtuvo en la estación M-2 con 0.9845 mg/ kg. La tendencia de este metal según las estaciones de muestreo fue en aumento. Esto puede deberse a que las aguas termales provenientes de Baños del Inca que se vierten al río podrían aportar este mineral al encontrarse en su composición.

TABLA VII
RESULTADOS EN MG/KG DE ZINC PARA LAS 4 CAMPAÑAS DE MUESTREO EN LAS 5 ESTACIONES

campañas	Estaciones de Muestreo				
	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4	M - 5
Primera campaña.	45.76	9.922	12.683	11.147	9.74
Segunda campaña.	15.889	9.807	10.367	10.625	11.239
Tercera campaña.	22.081	3.784	13.551	12.731	11.553
Cuarta campaña.	24.084	9.767	34.176	20.128	14.041
Promedio por estación	27.0	8.3	17.7	13.7	11.6
ECA canadiense	120				

La tabla VII muestra los resultados de Zinc, donde ninguno de los valores obtenidos superó los ECA canadienses para sedimentos, esto a pesar que es el metal con mayor concentración en casi todas las estaciones de muestreo de los estudiados. Los valores promedio más altos durante todo el estudio para el Zinc se presentaron en M-1 con una concentración promedio de 27 mg/kg. El valor promedio más bajo se obtuvo en M-2 con una concentración promedio de 8.3 mg/kg.

B. RESULTADOS DEL ESTE DE SUPERVIVENCIA CON LOMBRICES

Como se puede observar en la tabla VIII la estación donde se obtuvo la mayor pérdida de peso es M-1 en las dos campañas con un -34.9%, y -27.7 % en la cuarta campaña, esto guarda relación con los análisis químicos debido a que los valores obtenidos en sedimentos en As y Cd fueron los más altos en estas campañas. La estación control presentó la mayor ganancia porcentual de peso como era de esperar para ambas campañas (30.4 % y 32.4%). Se ha observado que la estación M-2 que fue considerada como de referencia en el estudio, en la primera campaña presenta un aumento de 19.2% mientras que la cuarta campaña se reduce el valor porcentual del peso de las lombrices hasta un -21 %. Esto se debió a que en esta campaña según el análisis químico se obtuvieron valores altos de Cd con 0.847 mg/kg volviendo tóxico el medio. La estación M-3 en ambas campañas presentó pérdidas de -10.9 % y -12.1 % esto se debió

a las aportaciones de As y Cd del río Azufre (estación M-1). Aunque no superaron el ECA canadienses para sedimentos en cuanto al Cd en la primera campaña, para M-3 el resultado fue negativo (-10.9%), esto podría deberse a que en promedio en esta estación la concentración de este elemento es ligeramente alta (valor promedio de 0.4405 mg/kg concentración umbral del ECA canadiense es de 0.6 mg/kg). Para la estación M-4 se observó en ambas campañas pérdida porcentual de peso mientras que M-5 presentó pérdidas en la primera campaña. Esto puede deberse a que, si bien es cierto que en este estudio se evaluaron solo metales, puede haber influencia de otros compuestos en el sedimento que influyan en el resultado. Para la cuarta campaña en la estación M-5 se observó un incremento en el valor porcentual del peso de las lombrices. Esto podría explicarse a la alta carga orgánica en esta estación producto de las aguas residuales de la ciudad de Baños del Inca, lo que influiría en los nutrientes contenidos en los sedimentos que servirían de alimento para las lombrices facilitando su ganancia de peso.

TABLA VIII
RESULTADOS DE LOS VALORES PORCENTUALES DE PESO OBTENIDOS EN LAS 5 ESTACIONES Y EL CONTROL POR CAMPAÑA, MEDIDOS SEMANALMENTE DURANTE 28 DÍAS

Campaña	Estación	Porcentajes de pérdida o ganancia de peso x día pesado			
		7 días	14 días	21 días	28 días
		% +ó- (7)	% +ó- (14)	% +ó- (21)	% +ó- (28)
Campaña 2	M-1	-6.3	-15.9	-20.6	-34.9
Campaña 4	M-1	-4.6	-12.3	-21.5	-27.7
Campaña 2	M-2	1.9	9.6	13.5	19.2
Campaña 4	M-2	-1.6	-6.5	-14.5	-21.0
Campaña 2	M-3	-1.8	-1.8	-5.5	-10.9
Campaña 4	M-3	-3.0	-4.5	-7.6	-12.1
Campaña 2	M-4	-2.1	-6.4	-8.5	-14.9
Campaña 4	M-4	0.0	-3.4	-8.6	-15.5
Campaña 2	M-5	-1.9	-3.8	-7.7	-13.5
Campaña 4	M-5	4.4	8.9	20.0	26.7
Campaña 2	Control	12.5	21.4	25.0	30.4
Campaña 4	Control	9.6	15.4	23.1	32.7

Nota. % + o - (7, 14, 21,28): Porcentaje de pérdida o ganancia en relación al peso inicial y semanal a los 7, 14,21 y 28 días (valores negativos indican pérdida y los positivos ganancia).

C. RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL PROTOCOLO CERA

Se colectó un total de 8 clases de macroinvertebrados, de los que predominó la clase *Insecta*. Las clases *Ostracoda*, *Oligochaeta* e *Hirudinea* solo se identificaron hasta este nivel taxonómico porque así lo contempla el Índice ABI. Se identificaron 9 órdenes y las clases *Malacostraca*, *Gastropoda*, *Turbelaria*, *Arachnida* e *Insecta* agruparon a 34 familias.

TABLA IX

RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROTOCOLO CERA PARA LAS 5 ESTACIONES DURANTE LAS 5 CAMPAÑAS

CAMPAÑAS	Estaciones									
	M-1	V.A	M-2	V.A	M-3	V.A	M-4	V.A	M-5	V.A
CAMPAÑA1	P	1	B	4	M	2	P	1	P	1
CAMPAÑA2	P	1	R	3	ND*		P	1	P	1
CAMPAÑA3	P	1	M	2	M	2	P	1	P	1
CAMPAÑA4	P	1	B	4	M	2	P	1	P	1
Valor promedio por estación		1		3		2		1		1

Nota. VA significa valoración asignada con fines de interpretación al estado ecológico Obtenido. A cada condición ecológica se le asigno un valor numérico para luego poder promediarlos, siendo P-pésimo (1), M-mala (2), R- regular (3), B-buena (4) calidad ecológica. * ND en la campaña 2 se no pudo colectar la muestra de macroinvertebrados debido a que el río estaba muy caudaloso.

Los resultados de la tabla IX del Protocolo CERA nos indican que las estaciones M-1, M-4 y M-5 presentaron una calidad ecológica pésima durante todo el estudio. La estación M-3 en promedio presenta una calidad ecológica mala. Los resultados de los metales para la estación M-1 como el Arsénico y Cadmio evidencian una alta influencia en la calidad del ecosistema acuático como se ve reflejado en M-1. Para las estaciones M-4 y M-5 se puede indicar que la calidad ecológica si bien no están influenciadas por la concentración de los metales estudiados como se observó en los resultados, la alteración de los ecosistemas se debe básicamente a las actividades antropogénicas (descarga de aguas residuales) de la zona afectada gravemente en su estado ecológico. La estación M-3 al ser la confluencia de las estaciones M-1 y M-2 ha sido afectado por las concentraciones de metales que aportaron ambas estaciones por lo cual se obtuvo una calidad ecológica mala lo que denota un promedio de ambas condiciones ecológicas. La estación M-2 que fue considerada como de referencia para el estudio presenta una calidad que va de buena a mala. En promedio según la valoración obtenida fue de regular calidad ecológica. En M-2 se evidencia una variación muy notoria entre época. Se obtuvieron dos valoraciones de buena calidad ecológica en ambas campañas y un promedio de regular. Ver figura 1.

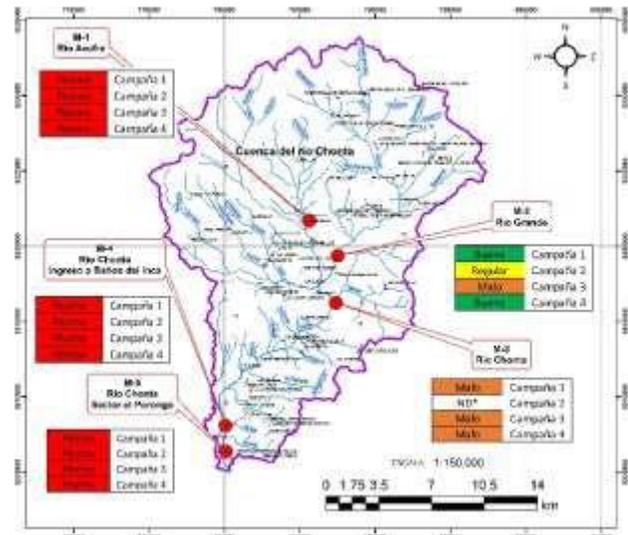


Fig. 1 Sobreposición de los resultados de la evaluación con el protocolo CERA sobre el mapa hidrológico del río Chonta

D. CONTRASTE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MÉTODO PATH ANALYSIS.

Para la correlación entre los resultados obtenidos se aplicaron las siguientes variables en el análisis Path Analysis:

- Concentración promedio de As, Cd, Zn al ser los más relevantes de los metales analizados.
- El promedio de los porcentajes de los pesos obtenido de las lombrices.
- Las valoraciones promedio obtenidas por el protocolo CERA.

TABLA X
RESULTADOS OBTENIDOS PARA AS, CD, ZN, EN EL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE PATH ANALYSIS PARA LOS VALORES OBTENIDOS EN EL PROTOCOLO CERA

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.977 ^a	.954	.814	.38525

a. Predictores: (Constante), arsénico, cadmio, zinc

En la tabla X se puede observar que existen una alta correlación entre los resultados obtenidos para los tres metales: As, Cd, Zn, y el protocolo CERA. El valor obtenido está muy próximo a 1 para R con 0.977 lo que nos indica una correlación muy alta. Por esta razón se pudo deducir que los tres tipos de análisis aplicados guardan relación entre sí.

TABLA XI
 RESULTADOS OBTENIDOS PARA AS, CD, ZN, EN EL ANÁLISIS
 DE CORRELACIÓN MÚLTIPLE PATH ANALYSIS PARA LOS
 VALORES PORCENTUALES DE LAS LOMBRICES.

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.914 ^a	.835	.338	11.79058
a. Predictores: (Constante), zinc, cadmio, arsénico				

Al analizar la tabla XI se puede deducir que existe una correlación muy alta próxima a 1 para R con 0.914 entre estas tres variables con As, Cd, y Zn en el análisis multivariado con respecto al porcentaje de las variaciones de peso en las lombrices. Los resultados nos indican que estos metales si influyen directamente en la variación de peso de las lombrices.

En general el estado ecológico de la cuenca presenta fuertes perturbaciones en las parte alta y media del Rio Chonta producidas por la actividad minera en la parte alta y por los vertimientos de aguas residuales de la ciudad, en la parte media. Se pudo demostrar que al aplicar las tres técnicas de evaluación para determinar la condición ecológica del río Chonta, todas nos arrojan los mismos resultados. Por esta razón consideramos que los procesos de evaluación ambiental en el Perú deben tener un enfoque más ecosistémico antes que legal. Las tres técnicas aplicadas nos han dado una mejor información del estado actual del río que la evaluación netamente del agua realizada por las instituciones del estado. Consideramos que el uso de las comunidades de macroinvertebrados y las pruebas de toxicidad que son más económicas que los análisis químicos en laboratorio podrían servir como sistemas de alerta temprana para identificar posibles riesgos al ambiente producto de los diversos contaminantes que se puedan verter en la zona de estudio como es el caso de la actividad minera y las aguas residuales domésticas en la zona.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de la Universidad Privada del Norte (UPN) y al Laboratorio de Ecología de la Universidad Nacional de Cajamarca por las facilidades prestadas para el desarrollo del trabajo de investigación. Agradecer también a los ingenieros Sandra Villegas Chavarry y Fernando Diaz Llontop por el apoyo en los trabajos de campo.

REFERENCIAS

[1] Jacobsen, D. (2009). Classical alpine stream types on equator: are they different? Verh. Int. Verein. Limnol, 1245-1250.

[2] Dollfus (1996). Comprender la agricultura campesina en los Andes Centrales. Lima: Institut français d'études andines, Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Las Casas.

[3] Guillén, O., R. Aquino, & M. Jacinto. (1996). Distribución de trazas de metales en el Puerto del Callao. Boletín Instituto del Mar del Perú 10(8), 118-210.

[4] Nippon Koei. (2010). Plan de Gestión en las cuencas del Mashcon y Chonta con énfasis en el afianzamiento hídrico en las subcuencas Azufre, Paccha y Grande del Chonta, Cajamarca, Perú. Autoridad Nacional del Agua, Cajamarca. Lima: Informe de la Autoridad Nacional del Agua Peruano.

[5] DIRESA. (2007). Rio Chonta y tributarios. Cajamarca: Ministerio de Salud Cajamarca.

[6] Ministerio de desarrollo Económico Colombiano. (26 de 11 de 1998). COLOMBIA: ICONTEC. Obtenido de <https://tienda.icontec.org/producto/impreso-ntc-iso-5667-12-calidad-deagua-muestreo-parte-12-guia-para-el-muestreo-de-sedimentos-de-fondo/?v=3ac83834396>.

[7] Ministerio del Ambiente Canadiense. (2007). Criteria for the Assessment of Sediment Quality in Quebec and Application Frameworks: Prevention, Dredging and Remediation. Environment Canada and Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. Quebec, Canada. Obtenido de http://planstlaurent.gc.ca/fileadmin/publications/diverses/Registre_de_dragage/Criteria_sediment_2007E.pdf

[8] Gansser, A. (1973). Journal of the Geological Society Facts and theories on the Andes: Twentysixth William Smith Lecture. Journal of the Geological Society 1973; v. 129, p. 93-131.

[9] Method Development of Canada. (2004). Biological test method. Tests for toxicity of contaminated soil to earthworms. Ontario, Canada: Library and Archives Canada Cataloguing in Publication Data. Obtenido de <http://publications.gc.ca/site/eng/437659/publication.html>.

[10] Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M., & Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. Limnetica, 28(1), 035-64.

[11] LEA-USFQ y UB. (2011). Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S). Quito, Ecuador: Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA-S). Obtenido de <http://www.ub.edu/riosandes/index.php/cera/5-obj-cera.html>.

[12] Domínguez E., Fernández H. (2009). Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. Sistemática y Biología (Vol. 3 era edición). Tucumán, Argentina: Miguel Lillo. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/260417584_Macroinvertebrados_bentonicos_Sudamericanos_Sistematica_y_Biologia.

[13] Carrascal, L. (sf). PATH ANALYSIS. Obtenido del Museo Nacional de Ciencias Naturales, in press. Obtenido de <http://avesbiodiv.mncn.csic.es/estadistica/pathanalysis.pdf>

[14] Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 35, 93-102.]