

Revista Boliviana de Química 40 años

ISSN 0250-5460 Rev. Bol. Quim. Sep./Oct. 2023, Paper edition
ISSN 2078-3949 Rev. boliv. quim. Sep./Oct. 2023, Electronic edition
Received 11 7 2022 Accepted 10 26 2023 Published 10 30 2023
Revista Boliviana de Química 40(4), 89-96
Bolivian Journal of Chemistry 40(4), 89-96
DOI: <https://doi.org/10.34098/2078-3949.40.4.1>

EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL RÍO CHACAPALCA PARA FINES DE RIEGO

Original article

Peer-reviewed

Tanya Luz Villanueva Alvarado¹, Germán Belizario Quispe¹, Heber N. Chui Betancur², Katia Perez Argollo^{3,*}

¹ Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Av. Floral N° 1153, Puno, Perú

² Instituto de Investigación de la Escuela de Posgrado, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Av. Floral N° 1153, Puno, Perú

³ Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Av. Floral N° 1153, Puno, Perú

Keywords: Surface waters, Pollution, Heavy metals, Chacapalca, River. **Palabras clave:** Aguas superficiales, Contaminación, Chacapalca, Río.

ABSTRACT

Evaluation of the concentration of heavy metals in the surface waters of the Chacapalca river for irrigation purposes. The concentration of heavy metals was evaluated as possible contaminants in the bed and channel of the Chacapalca River, until its drainage into Lake Titicaca. Concentrations above the norm negatively impact surrounding populations, affecting various human activities. Two geographical sampling points of surface waters were defined, RChac1 and RChac2 according to the sampling protocol. The monitoring was carried out in two periods from 2017 to 2018, to evaluate the seasonal variation of the most notable parameters with the highest concentration determined analytically in situ. The results obtained demonstrated that there are no high concentrations of cadmium, lead and mercury in the two aforementioned study points. However, the point RCac1 can be considered as a critical point.

*Mail to: kperez@unap.edu.pe

RESUMEN

Se evaluó la concentración de metales pesados como posibles contaminantes en el lecho y cauce del río Chacapalca, hasta su desembocadura en el lago Titicaca. Las concentraciones por encima de la norma impactan negativamente en las poblaciones aledañas afectando diversas actividades humanas. Se definieron dos puntos geográficos de muestreo de aguas superficiales, RChac1 y RChac2 según protocolo de muestreo. El monitoreo se realizó en dos épocas del año 2017 al 2018, para evaluar la variación estacional de los parámetros más resaltantes de mayor concentración determinados analíticamente *in situ*. Los resultados obtenidos demostraron que no existen altas concentraciones de cadmio, plomo y mercurio en los dos mencionados puntos de estudio. Sin embargo, el punto RChac1 puede ser considerado como punto crítico.

INTRODUCCIÓN

En un ecosistema acuático, la contaminación por metales pesados puede ser resultado de la deposición atmosférica, meteorización geológica, o a la descarga de desechos. Metales como Cu, Fe, Mn, Ni y Zn son esenciales como micronutrientes para los procesos vitales en plantas y microorganismos, mientras que otros metales como Cd,



Cr y Pb no tienen actividad fisiológica reportada, pero han demostrado ser biológicamente perjudiciales por encima de ciertos límites de concentración [1].

Una clasificación en dos grupos de los metales pesados es: Cu, Zn y Cr, y Cd, Hg, Pb y metaloides (*e.g.* As) que no tienen un rol biológico conocido, pero sí una alta toxicidad manifiesta. Estos últimos pueden tener origen natural, doméstico, antropogénico, industrial, agropecuario o minero, (de acuerdo a determinantes geológico-mineros). Los efectos toxicológicos constituyen un serio riesgo para la salud humana y la ecología [2-4].

Los metales pesados más comunes y ampliamente distribuidos como contaminantes ambientales incluyen el plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y el metaloide arsénico (As). En este estudio se analizará el efecto contaminante de estos metales y su riesgo para uso en cultivos.

La Espectroscopía de Absorción Atómica es una técnica muy empleada en el estudio cuantitativo de casi todos los elementos de la tabla periódica. Este procedimiento se aplicó en las aguas residuales del río San Javier, en el que se identificaron varios metales pesados [5]. Se determinó que el metal en mayor concentración es el Cr³⁺. El cromo produce efectos tóxicos específicos a nivel celular, debido a interacciones entre el metal y los sistemas enzimáticos, membranas celulares, orgánulos y sobre el metabolismo celular en general [5]. Los datos obtenidos de las descargas de agua residual provenientes de los afluentes del río no cumplen con los límites permisibles de características químicas que fueron propuestos por la Comisión Nacional del Agua. Por lo tanto, representan un riesgo para el medio. Otros estudios también determinaron la concentración de Cd, Pb, y Hg utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica [6,7]. Este estudio también se desarrolló en la cuenca del río Naranjo donde se estudió las aguas para fines de riego. Se descubrió que, a mayor concentración de plomo, mayores son los riesgos de salud al consumir alimentos regados con estas altas concentraciones de metales pesados [2].

La contaminación ambiental se posiciona como uno de los más importantes problemas que afectan a la sociedad del siglo XXI. La pérdida de calidad del aire, del recurso hídrico y de suelos disponibles para actividades agrícolas se ha incrementado exponencialmente [8,9].

Específicamente, la contaminación del agua por metales pesados ocasionada por vía antrópica y natural, está afectando drásticamente la seguridad alimentaria y la salud pública [7-11]. Estudios recientes como de Singh et al. reportan la presencia de metales pesados y metaloides tales como mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) en hortalizas tales como la lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa [3] [4]. Esta contaminación, proviene, entre otros causales, del uso para riego de aguas afectadas [9,12,13]. De igual manera, se han encontrado metales en diferentes concentraciones en peces, carnes y leche, como resultado de la bioacumulación y movilidad desde el ambiente [9,13]

Los relaves de las operaciones mineras en el Perú, han provocado un incremento del grado de contaminación del agua en las zonas de explotación. Estas aguas contaminadas desembocan en ríos, lagos, lagunas y en el mar, que son los receptores finales de estas evacuaciones residuales provocadas por el hombre [16,22].

Según Reynolds [14], los recursos hídricos se encuentran en peligro. Los más importantes y estratégicos están sometidos a un alto grado de vulnerabilidad. Los principales factores de riesgo son la negligencia, falta de conciencia y desconocimiento de la población acerca de la obligación de protegerlos, y la carencia de autoridades, profesionales y técnicos, a quienes les corresponde cuidarlos y utilizarlos.

La calidad de vida de la población puede verse afectada en gran medida ya que los metales pesados pueden impactar negativamente en las diversas actividades del hombre. Por tal razón, el objetivo es evaluar el grado de contaminación en la parte inicial del río Chacapalca en función a la presencia y concentraciones de metales pesados en muestras de agua colectadas en dicha región.

EXPERIMENTAL

Zona de estudio

El estudio se realizó en el departamento de Puno, provincia de Melgar, distrito de Ayaviri en la cuenca del río Chacapalca, abarcando desde la cabecera de la subcuenca hasta la desembocadura del río principal. La cuenca del río Chacapalca abarca un área de Latitud: -15.1, Longitud: -70.8666667, UFI: -338835, UNI: -516872, UTM: BD92, JOG: SD19-13.

El cauce del río Chacapalca presenta una pendiente media del 0.007%, que es una pendiente baja. Por esta razón el cauce presenta formas meándricas y divagantes.

El establecimiento de los puntos de monitoreo se realizó de manera preliminar en gabinete en un mapa de la unidad hidrográfica del lago Titicaca. La recopilación e integración de información se realizó a través de la herramienta informática Google Earth Pro y ArcGis. Una vez identificados los puntos de monitoreo, se procedió a



su ubicación mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) eTrex 10 marca Garmin con precisión < 10 metros, 95% típico.

Para que el monitoreo se realice de manera efectiva, se prepararon los materiales y equipos de trabajo con anticipación según el protocolo de muestreo de aguas superficiales. Estas muestras fueron trasladadas vía aérea para su análisis en el laboratorio acreditado de ensayo y control de calidad. Las muestras de agua fueron almacenadas en frascos de plástico y vidrio (0.25 litros de volumen). Todas las muestras fueron conservadas en una conservadora (cooler) grande con bloques refrigerantes.

Presencia y concentración de los metales pesados

Determinación de los puntos de muestreo: El estudio consistió en una visita preliminar para identificar las estaciones de muestreo representativas (RChac1 y RChac2). Se tomaron muestras en dos campañas de muestreo, las cuales se realizaron de acuerdo con el régimen hidrológico de la cuenca en periodo de lluvia (marzo) y de sequía (junio) en el río Chacapalca (ver Fig. 1 para mapa de puntos de muestreo)

Tabla 1. Estaciones de monitoreo de calidad del agua del río Chacapalca

N°	Código del Monitoreo	N° de muestras	N° de replicas	Descripción	Georreferencias en coordenadas UTM-WGS84 (S-19L)		Altitud (m.s.n.m)
					Este(m)	Norte(m)	
1	Rchac1	2	2	Río Chacapalca, después de la confluencia de los ríos Azufrini y Pataqueña.	300434	8311760	4537
2	Rchac2	2	2	Río Chacapalca antes de la unión con el río Ocuviiri.	298318	8329213	4200

Fuente: Elaboración propia

Periodo de muestreo: Se muestreó en dos temporadas del año, en época de avenida (marzo) y en la época de estiaje (junio), para poder evaluar la variación de la presencia de los metales pesados durante el año hidrológico.

Toma de muestras de agua superficial: El muestreo se realizó con un equipo de dos personas para una distribución homogénea de las actividades de campo. Dichas personas cuentan con conocimiento sobre la toma de muestras, preservación, transporte y cumplen los requisitos considerados en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales [15,16].

El personal se ubicó en un punto medio de la corriente principal donde ésta era homogénea. Se pasó a medir los parámetros de campo directamente en el río. Cabe mencionar que antes de coleccionar las muestras, se enjuagaron los frascos dos veces. Las muestras fueron tomadas, empezando desde el Rchac1 (río Chacapalca, después de la confluencia de los ríos Azufrini y Pataqueña), pasando al Rchac2 (río Chacapalca antes de la unión con el río Ocuviiri), como se muestra en la Tabla 1 georeferencialmente.

Se tomaron las botellas por debajo del cuello, las cuales fueron sumergidas en dirección opuesta al flujo de agua. Se evitó la recolección de suciedad, películas de la superficie o sedimentos del fondo. Una vez tomada la muestra de agua, se procedió a adicionarle el preservante HNO₃, homogenizar las muestras y cerrar herméticamente los recipientes.

Las muestras se etiquetaron adecuadamente con las representaciones de RChac1 y RChac2, de tal manera que en el laboratorio se analizaron con los mismos códigos.

En horas de la tarde se verificó la permanencia de los apuntes realizados anteriormente (etiquetadas de los recipientes de muestras), con la siguiente información: código, fecha y hora de la toma de muestra, país, departamento, provincia, distrito, nombre de lugar y referencia del lugar de la zona de estudio, finalmente el nombre del recolector.

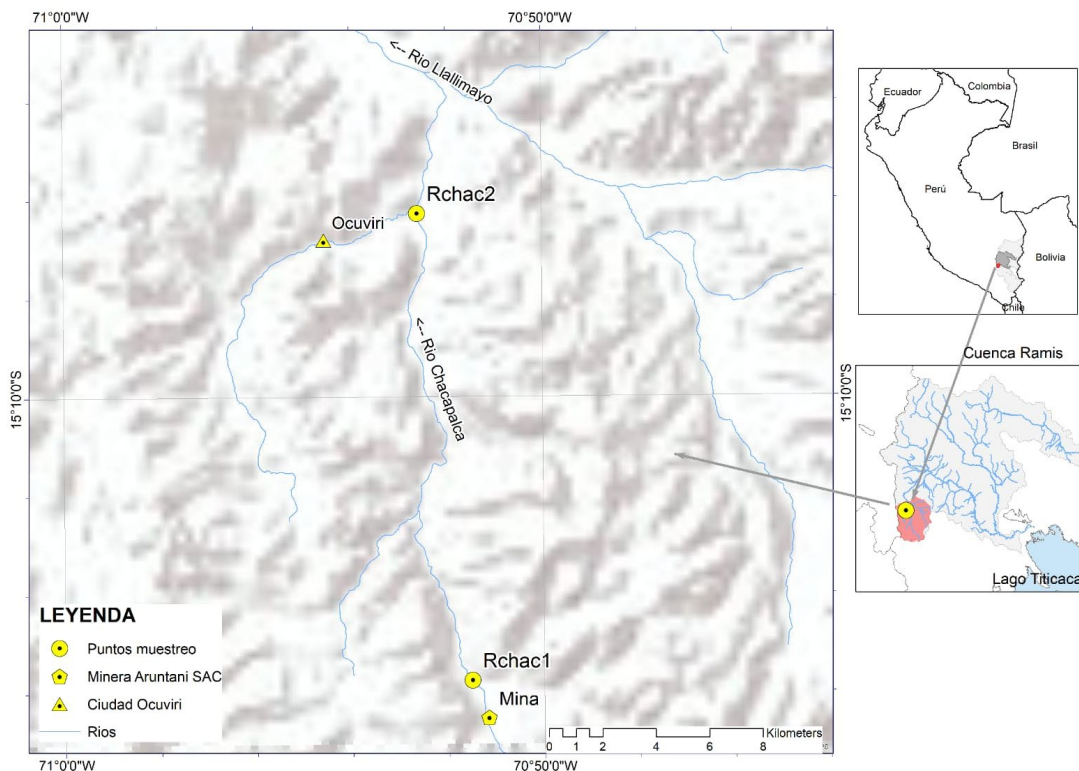


Figura 1. Puntos de muestreo de agua superficial en el río Chacapalca.

Análisis de parámetros fisicoquímicos

La investigación es de tipo descriptiva. Inicialmente, se caracterizaron los parámetros fisicoquímicos de las muestras tomadas. Luego, se determinaron las concentraciones de los metales pesados. Los análisis de las muestras de agua superficial fueron realizados por el Laboratorio ALS LS PERÚ S.A.C., acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL – DA con Registro N° LE – 029. Se realizó una evaluación previa sobre cumplimiento de los criterios establecidos en el Reglamento General de Acreditación y en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2017: Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración. Este laboratorio está acreditado mediante Cédula de Notificación N° 04.2015/SNA-INDECOPI. Está facultado para emitir Informes de Ensayo con Valor Oficial, y utilizar el Símbolo de Acreditación durante 2014-08-30 al 2018-12-30.

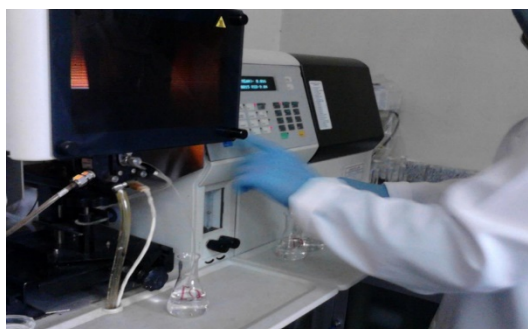


Figura 2. Muestras en el laboratorio de espectrometría de emisión atómica.

Determinación de metales pesados



El método empleado en laboratorio corresponde al estándar EPA 200.7 “Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales mediante espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ver Fig.2).

RESULTADOS

Los criterios considerados para la evaluación de la calidad del agua han sido los valores de los parámetros fisicoquímicos de la categoría 3 de los Estándares de Calidad Ambiental para agua, establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM [15].

En la tabla 2 se presenta la concentración y/o presencia de metales pesados respectivamente a lo largo del río Chacapalca con dos puntos de muestreo (RChac1 y RChac2) y en dos estaciones del año (avenida y estiaje).

En los resultados obtenidos se aprecia que no existen altas concentraciones de cadmio, plomo y mercurio en los dos puntos de muestreo analizados, con relación a las ECAs, Categoría 3.

Tabla 2. Resultados de Monitoreo para determinar la concentración de metales pesados en RChac1 y RChac2 (2017-2018)

Parámetros	ECAs Riego	2017				2018			
		Estiaje		Avenida		Estiaje		Avenida	
		RChac1	RChac2	RChac1	RChac2	RChac1	RChac2	RChac1	RChac2
Temperatura (C°)	Δ3	9.4	9.6	11.3	10.1	9.29	3.409	7.325	8.63
Potencial de Hidrógeno (ph)	6.5 - 8.5	5.4	4.8	5.46	5.23	5.89	<0.01	5.385	5.699
C. Eléctrica (μS/cm)	2500	898	880	338	408	777	438	465.5	449.2
Cadmio (mg/L)	0.01	0.0155	0.0146	0.00057	0.0005	0.00947	0.0081	0.00551	0.0039
Plomo (mg/L)	0.05	0.00019	0.0018	0.059	0.0009	<0.001	<0.001	0.0023	0.0018
Cromo (mg/L)	0.1	0.04	0.0044	0.036	0.0009	0.004	<0.001		0.0031
Mercurio (mg/L)	0.001	2.9E-05	3E-05	0.00009	9E-05	<0.0001	<0.0001	2.9E-05	3E-05
Aluminio (mg/L)	5	13.35	15.3	3.991	2.953	14	8.596	13.4	7.863
Bario (mg/L)	0.7	0.0781	0.073	0.021	0.027	0.06	0.065	0.039	0.0423
Boro (mg/L)	1	1.024	0.934	0.138	0.183		1.187	0.281	0.34
Cobre (mg/L)	0.2	0.7631	0.7248	0.081	0.0009	0.389	0.337	0.947	0.6389
Hierro (mg/L)	5	11.93	12.65	4.917	3.174	6.936	3.409	15.77	10.29
Litio (mg/L)	2.5	0.4361	0.3356	0.061	0.084	0.367	0.438	0.129	0.1518
Magnesio (mg/L)	**	12.59	12.81	1.423	3.756	10.05	11.67	7.366	7.542
Manganeso (mg/L)	0.2	0.8411	0.8153	0.25	0.518	0.9512	1.457	0.5536	0.5685
Zinc (mg/L)	2	0.3107	0.304	0.106	0.133	0.32	0.303	0.2062	0.1554

Fuente: Elaboración propia



40 años



En el desarrollo de la investigación, en los años 2017 y 2018 se observa que los metales pesados (cadmio, plomo y mercurio) en las aguas, en los puntos de estudio, presentan dos resultados en época de estiaje y avenida. Estos valores se encuentran por debajo a los límites máximos permitidos según los ECAs Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, del agua para riego. Esto se debe a situación de que el afluyente es parte del territorio que ocupa la empresa minera Aruntani. S.A.C. La OEFA el año 2016 emitió una medida preventiva para detener el desemboque de los desechos al río Chacapalca.

Según los resultados emitidos por el laboratorio del primer y segundo muestreo (épocas de avenida), no se ve la presencia de altas concentraciones de los metales pesados (cadmio, plomo y mercurio) según los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) en las aguas, en los puntos de estudio. Sin embargo, en la época de estiaje aumenta el nivel de concentración de metales pesados. A continuación se detallan los resultados de la investigación en el primer punto (RChac1) y segundo punto (RChac2) de monitoreo en el año 2017. En época de estiaje, el cadmio presenta valores que sobrepasan a los ECAs (0.01 mg/L). En el primer punto de monitoreo (RChac1) existe una concentración de 0.0155 mg/L, y en el segundo punto de monitoreo (RChac2) de 0.0146 mg/L. Por otro lado, en el primer punto (RChac1) y segundo punto (RChac2) de monitoreo en el año 2017, en época de avenida, el cadmio presenta valores inferiores a los ECAs (0.01 mg/L). En el primer punto de monitoreo (RChac1) existe una concentración de 0.00057 mg/L y en el segundo punto de monitoreo (RChac2) de 0.0005 mg/L.

Además, en el primer punto (RChac1) y segundo punto (RChac2) de monitoreo en el año 2018 en época de estiaje y avenida, el cadmio presenta valores inferiores a los ECAs (0.01 mg/L). En época de estiaje en el primer punto de monitoreo (RChac1) existe una concentración de 0.00947 mg/L y en el segundo punto de monitoreo (RChac2) de 0.0081 mg/L. En época de avenida en el primer punto de monitoreo (RChac1) existe una concentración de 0.00551 mg/L y en el segundo punto de monitoreo (RChac2) de 0.0039 mg/L.

En el primer punto (RChac1) y en el segundo punto (RChac2) de monitoreo en el año 2017 en época de estiaje, el plomo presenta valores inferiores a los ECAs (0.05 mg/L). En época de estiaje en el primer punto de monitoreo (RChac1) existe una concentración de 0.00019 mg/L y en el segundo punto de monitoreo (RChac2) de 0.0018 mg/L. En época de avenida en el primer punto de monitoreo (RChac1) existe una concentración de 0.059 mg/L, el cual sobrepasa a los ECAs (0.05mg/L) pero no en gran medida y en el segundo punto de monitoreo (RChac2) de 0.0009 mg/L.

Además, en el primer punto (RChac1) y segundo punto (RChac2) de monitoreo en el año 2018 en época de estiaje y avenida, el plomo presenta valores inferiores a los ECAs (0.05 mg/L). En época de estiaje, en el primer punto de monitoreo (RChac1) existe una concentración de <0.001 mg/L, y en el segundo punto de monitoreo (RChac2) de <0.001 mg/L. En época de avenida en el primer punto de monitoreo (RChac1) existe una concentración de 0.0023 mg/L y en el segundo punto de monitoreo (RChac2) de 0.0018 mg/L.

En el primer punto (RChac1) y segundo punto (RChac2) de monitoreo en el año 2017 en época de estiaje y avenida, el mercurio presenta valores inferiores a los ECAs (0.001 mg/L). En época de estiaje en el primer punto de monitoreo (RChac1) existe una concentración de 0.000029 mg/L y en el segundo punto de monitoreo (RChac2) de 0.00003mg/L. En época de avenida en el primer punto de monitoreo (RChac1) existe una concentración de 0.00009 mg/L y en el segundo punto de monitoreo (RChac2) de 0.00009mg/L.

Además, en el primer punto (RChac1) y segundo punto (RChac2) de monitoreo, en el año 2018, en época de estiaje y avenida, el mercurio presenta valores inferiores a los ECAs (0.001 mg/L). En época de estiaje en el primer punto de monitoreo (RChac1) existe una concentración de <0.0001 mg/L y en el segundo punto de monitoreo (RChac2) de <0.0001 mg/L. En época de avenida en el primer punto de monitoreo (RChac1) existe una concentración de 0.000029 mg/L, y en el segundo punto de monitoreo (RChac2) de 0.00003 mg/L.

Los resultados emitidos por el laboratorio indicaron que no existe concentración alta de los metales pesados (cadmio, plomo y mercurio) en estudio.

El valor de pH de una fuente de agua es una medida de su acidez o alcalinidad. Es una medición de la actividad de los iones hidronio, porque la actividad de hidrógeno es una buena representación de la acidez o alcalinidad del agua. Para el agua potable, la OMS establece directrices del pH en el rango de 6.5 a 8.5. Con respecto al pH, en época de avenida y estiaje, se observa valores inferiores a los establecidos a ECAs (6.50 – 8.50).

DISCUSIÓN

En este estudio se observó que las concentraciones de los metales pesados en el primer punto de muestreo (RChac1) fueron inferiores a los ECAs considerados en los objetivos. No se encontraron altas concentraciones de metales pesados analizados (plomo y mercurio) a excepción del cadmio, que requiere especial atención en este punto. Por ello, los niveles están dentro de los niveles permisibles establecidos por los ECAs para riego de vegetales y



bebida de animales [18,19,20]. Esto nos da a entender que se encuentran dentro de los límites permitidos para el consumo humano. Otros metales muestran valores superiores a los ECAs establecidos para fines de riego, como, por ejemplo, el aluminio que supera a los ECAs (5 mg/L). Se observan que las más altas concentraciones de aluminio son en época de estiaje en el año 2017, en el segundo punto de monitoreo (RChac2), con una concentración de 15.3 mg/L. También, en época de estiaje en el año 2018, en el primer punto de monitoreo (RChac1), con una concentración de 14 mg/L.

Además, el hierro presenta concentraciones mayores a 5 mg/L, las cuales, son superiores a las establecidas en los ECAs para fines de riego (RChac1). Se observan que las más altas concentraciones de hierro son en época de estiaje en el año 2017, en el segundo punto de monitoreo (RChac2), con una concentración de 12.65 mg/L. También, en época de avenida en el año 2018, en el primer punto de monitoreo (RChac1), con una concentración de 15.77 mg/L.

En la tabla 2 se muestra el punto más crítico y vulnerable a la contaminación. Es decir, se muestra que la mayor concentración de los metales pesados se encuentra en el primer punto de monitoreo (RChac1).

Además, a medida que va transcurriendo el flujo de agua aguas abajo, tiende a disminuir las concentraciones de metales pesados. Puesto que el peso específico de dichos metales es superior al del agua, a medida que va recorriendo las aguas, los metales pesados tienden a sedimentarse. Por tanto, es necesario realizar estudios en los sedimentos superficiales (la profundidad sobre la que se desarrolló la investigación fue de 3 metros).

Por consiguiente, el primer punto de observación y monitoreo (RChac1), es el más crítico y vulnerable a la contaminación puesto que se tienen mayores concentraciones de metales pesados respecto al segundo punto de muestreo (RChac2) del río Chacapalca. El motivo es la cercanía a la empresa Minera Aruntani S.A.C. Por tanto, se recomienda mayor cuidado por parte de la Minera y mayor monitoreo por parte de las instituciones pertinentes al cuidado del ambiente [22,23].

Respecto de los parámetros fisicoquímicos, se observa que la conductividad eléctrica presenta valores inferiores a 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Así mismo, la conductividad nos da a conocer la cantidad de sólidos disueltos existentes en el agua y por ende, se considera como indicador para conocer el punto de estudio más afectado a la contaminación y con mayor vulnerabilidad.

CONCLUSIÓN

El estudio sobre el grado de contaminación en las aguas superficiales del río Chacapalca - Ayaviri dado por la presencia y concentraciones de metales pesados como cadmio, plomo y mercurio, muestra que dichos valores se encuentran por debajo de los límites del Estándar de Calidad Ambiental. Por tanto, las aguas de los puntos de muestreo (RChac1 y RChac2) pueden ser utilizadas con fines de riego con la consideración del cadmio, al cual, se debe poner especial atención.

Se ha encontrado otros contaminantes tóxicos en los puntos de estudio, como aluminio (Al) y hierro (Fe) que superan los ECAs para fines de riego. Esto significa que se necesita mayor control y supervisión sobre los ríos por parte de los gobiernos locales en cumplimiento de los ECASs. El pH no cumple con el rango establecido en los ECAs con valores por debajo del 6.5. Esto indica que en los puntos evaluados el agua es ácida. La conductividad eléctrica muestra valores que son inferiores. Esto indica ser un riesgo para ser usado para riego de cultivos.

El punto más crítico y vulnerable a la contaminación según los datos obtenidos entre los puntos en estudio, es el de primer punto de monitoreo RChac1 ya que, tiene mayores concentraciones de metales pesados en el río Chacapalca.

Este estudio recomienda tomar en cuentas los ECAS por parte de las municipalidades de la zona, a fin de proponer decretos, reglamentos u otras medidas para proteger el agua del río Chacapalca Ayaviri, para su mejor aprovechamiento en los cultivos de la zona.

RECONOCIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por su soporte financiero y su cobertura filial-institucional.

REFERENCIAS

1. Cornejo, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Pres, Londres. Recuoerado de: https://www.academia.edu/6325059/Mineral_Nutrition_of_Higher_Plants



2. Chapman, D.V., World Health Organization, UNESCO, United Nations, Environment Programme. Water Quality Assessments: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, ed. by Chapman, D., 2nd ed., E & FN Spon, 1996, University Press, Great Britain, Cambridge. DOI: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41850>
3. Cornejo Olarte, D.A., Pacheco Tanaka, M.E. 2014, Contaminación de Aguas y Sedimentos por As, Pb y Hg de la Cuenca del río Ramis, Puno. Puno – Perú, Instituto de Investigación de la Escuela de Posgrado-Universidad Nacional del Altiplano Puno-Peru, *Revista Investig.*, 5(4), 33-46.
4. Zambrano Fajardo, S.L., Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia. 2010, Protocolo para toma de muestras de aguas residuales, Colombia.
5. Melo Sánchez, F.M., Márquez Estrada, C., Juárez Juárez, M., Martínez Martínez, F.J., Miranda Reyes, P., Esquivel Ruiz, L.F., Juárez Juárez, M. 2001, Análisis de metales pesados en las aguas residuales del río San Javier y repercusión en la salud e impacto ambiental, Departamento de Química, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, México.
6. Cano, O., Vargas, V., Moreno, J., Cruzado, C., Huamán, A., Castilla, V. 1984. Análisis de suelos, tejido vegetal, aguas y fertilizantes. Departamento de Suelos de la Estación Experimental Agrícola, La Molina, Lima, Perú, 118.
7. Stone, L.R. 1966, Official methods of analysis of the association of official agricultural chemists, ed by Horwitz, W., Centennial Edition, 1884 - 1984, *J. Chem. Educ.*, 43(9), 508, 1141. DOI: <https://doi.org/10.1021/ed043p508.1>
8. Chen, Y., Hu, W., Huang, B., Weindorf, D.C., Rajan, N., Liu, X., Niedermann, S. 2013, Accumulation and health risk of heavy metals in vegetables from harmless and organic vegetable production systems of China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 324-330. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.09.037>
9. Singh, A. Sharma, R.K., Agrawal, M., Marshall, F.M. 2010, Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India, *Tropical Ecology*, 51(2S), 375–387.
10. European Food Safety Authority (efsa), 2015. Recuperado de: <https://www.efsa.europa.eu/es/supporting/pub/en-7558>
11. Huang, Z., Pan, X-D., Wu, P-G., Han, J-L., Chen, Q. 2014, Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China, *Food Control*, 36(1), 248–252. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.036>
12. Francisca, Y., Small, D.M., Morrison, P.D., Spencer, M.J.S., Ball, A.S., Jones, O.A.H. 2015, Assessment of arsenic in Australian grown and imported rice varieties on sale in Australia and potential links with irrigation practises and soil geochemistry, *Chemosphere*, 138, 1008–1013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.048>
13. Li, N., Kang, Y., Pan, W., Zeng, L., Zhang, Q., Luo, J. 2015, Concentration and transportation of heavy metals in vegetables and risk assessment of human exposure to bioaccessible heavy metals in soil near a waste-incinerator site, South China, *Science of the Total Environment*, 521-522, 144–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.081>
14. Reynolds Vargas, J. Manejo integrado de aguas subterráneas: un reto para el futuro, ed by Reynolds Vargas, J., Universidad Estatal a Distancia, 2002, San José, Costa Rica.
15. Autoridad Nacional del Agua. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, 2016, Decreto Jefatural N° 010-2016-ANA, Perú.
16. Real Instituto de Tecnología de Suecia. 1973. Las aguas residuales en la industria minera metálica. Misión Minera del Perú. Tomo I. Estocolmo - Suecia. 1 – 12 pp.
17. Zaixso, H.E. 2002, Manual de campo para el muestreo de la columna de agua, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Argentina.
18. Ministerio del Ambiente. 2017, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo, Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.
19. O'Reilly, C., Gordon, A. 1995, Survival strategies of poor woman in Urban Africa: The case of Zambia: NRI Socio economic Series, 10.
20. Symader, W. River Mixing, Rutherford, J.C. John Wiley & Sons, 1994, Chichester, England.
21. Ministerio del Ambiente. 2012, Glosario de términos para la gestión ambiental peruana, Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental, viceministerio de Gestión Ambiental, Lima, Perú.
22. Southern Perú Copper Corporation. 1986, Ecología y las operaciones minero metalúrgicas en Toquepala, Cuajone e Ilo, Southern Perú Copper Corporation, REPIDISCA, 116397, 30 pp.
23. WHO. International programme of Chemical Safety (IPCS), Genova: Methylmercury, The International Labour Organization and the World Health Organization, 1992.
24. Chapman, D.V., World Health Organization, UNESCO, United Nations Environment Programme. Water Quality Assessments: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, ed by Chapman, D., 2nd ed, E & FN Spon, 1995, University Press, Cambridge, Great Britain, recuperado de <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41850>