

EVALUACIÓN TEMPORAL DE METALES PESADOS EN EL AGUA: IMPLICACIONES PARA LA CALIDAD DEL AGUA Y LA SALUD PÚBLICA EN LA REGIÓN DE AYACUCHO (PERÚ) CON ENFOQUE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO LA TOTORA

Temporal Assessment of Heavy Metals in Water:
Implications for Water Quality and Public Health in
the Ayacucho Region, Peru, with a Focus on the La
Tatora Treatment Plant

Ramos Velásquez, Apolinario

ciberpol0901@gmail.com

Ingeniero Agrícola - CIP 113691

Jayo A. Abel Flumencio

jayoanccoabel21@gmail.com

Ingeniero Agrícola

Aroni O. Zamanta Thaliza

zamthali20@gmail.com

Ingeniero Agrícola

Méndez Mallqui, Melissa Roxana

mr.mendezmallqui@gmail.com

Ingeniero Agrícola - CIP 317671

Resumen

El estudio se enfoca en evaluar los niveles de metales pesados en el agua durante los años 2018, 2019, 2022 y 2023, específicamente plomo, cromo y cadmio, debido a su potencial impacto en la salud humana y el medio ambiente. Se observaron variaciones significativas a lo largo del período, con un aumento alarmante en los niveles de plomo en 2023, lo que sugiere posibles cambios en las fuentes de contaminación o prácticas de gestión ambiental.

Al comparar estos niveles con los estándares de calidad del agua, se evidenció que, en general, los niveles de cromo y cadmio cumplían con las regulaciones tanto nacionales como internacionales. Sin embargo, los niveles de plomo superaron ampliamente los estándares en 2023, generando preocupaciones significativas para la salud pública y el medio ambiente.

Estos resultados subrayan la importancia de implementar medidas efectivas de control y prevención de la contaminación, así como una vigilancia continua de los niveles de metales pesados en el agua. Se hace énfasis en la necesidad de adoptar políticas y prácticas de gestión ambiental sostenibles para abordar este problema emergente y proteger la salud humana y el ecosistema acuático en la región.

Palabras clave: Metales pesados; Agua; Contaminación; Salud humana; Medio ambiente.

Abstract

The study focuses on assessing heavy metal levels in water during the years 2018, 2019, 2022, and 2023, specifically lead, chromium, and cadmium, due to their potential impact on human health and the environment. Significant variations were observed throughout the period, with an alarming increase in lead levels in 2023, suggesting possible changes in pollution sources or environmental management practices.

When comparing these levels to water quality standards, it was evident that, in general, chromium and cadmium levels complied with both national and international regulations. However, lead levels greatly exceeded standards in 2023, raising significant concerns for public health and the environment.

These results underscore the importance of implementing effective pollution control and prevention measures, as well as continued monitoring of heavy metal levels in water. Emphasis is placed on the need to adopt sustainable environmental management policies and practices to address this emerging problem and protect human health and the aquatic ecosystem in the region.

Keywords: Heavy metals; Water; Pollution; Human Health; Environment.

Para citar este artículo: RAMOS VELASQUEZ, Apolinario; JAYO A. Abel Flumencio; Aroni O. Zamantha Thaliza; MENDEZ MALLQUI, Melissa Roxana. "Evaluación Temporal de Metales Pesados en el Agua: Implicaciones para la Calidad del Agua y la Salud Pública en la Región de Ayacucho, Perú, con Enfoque en la Planta de Tratamiento La Totorá" In *L'Esprit Ingenieur*. Vol. 16-1, p.p X-X.

1. Introducción

La contaminación del agua por metales pesados es un problema ambiental de gran preocupación a nivel mundial debido a sus efectos adversos en la salud humana y el ecosistema acuático. Entre los metales pesados más problemáticos se encuentran el plomo, el cromo y el cadmio, conocidos por sus efectos tóxicos incluso en concentraciones muy bajas. La exposición a estos metales puede tener consecuencias graves para la salud, como daños en el sistema nervioso, trastornos reproductivos y riesgos carcinogénicos.

En la región de Ayacucho, Perú, el río Alameda es una importante fuente de agua para consumo humano, agricultura y actividades industriales. Sin embargo, la contaminación por metales pesados en este río ha sido motivo de preocupación debido a su impacto potencial en la salud pública y el medio ambiente. En este contexto, el presente estudio se enfoca en analizar la presencia de plomo, cromo y cadmio en el agua del Río Alameda durante el período comprendido entre 2018 y 2023.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la evolución temporal de las concentraciones de plomo, cromo y cadmio en el agua del Río Alameda, así como comparar estos resultados con los estándares de calidad establecidos a nivel nacional e internacional. Este análisis permitirá identificar posibles tendencias de contaminación, determinar los niveles de riesgo para la salud humana y proponer medidas de gestión ambiental para mitigar los efectos adversos de la contaminación por metales pesados en la región.

A través de este estudio, se busca generar información científica relevante que contribuya a la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades ambientales, así como sensibilizar a la población sobre la importancia de proteger los recursos hídricos y promover prácticas sostenibles de uso del agua en la región de Ayacucho.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Antecedente a nivel mundial

En un estudio global sobre la contaminación del agua por metales pesados, Smith *et al.* (2016) encontraron que la presencia de metales como plomo, cromo y cadmio en las aguas superficiales y subterráneas es un problema generalizado que afecta a numerosos países en todo el mundo. Este análisis resalta la relevancia del problema a nivel mundial y subraya la necesidad de abordarlo de manera integral para proteger la salud humana y el medio ambiente.

Comparativamente, otros estudios han destacado la importancia de desarrollar estrategias de gestión y control de la contaminación por metales pesados en diferentes contextos geográficos. Por ejemplo, Wang *et al.* (2016) investigaron la contaminación por metales pesados en ríos de China y encontraron que las actividades industriales y mineras son las principales fuentes de contaminación en la región estudiada. Esta investigación resalta la variabilidad geográfica en las fuentes y niveles de contaminación por metales pesados, lo que subraya la necesidad de enfoques adaptados a las condiciones locales.

1.1.2 Antecedente a nivel nacional, regional y local

En el contexto nacional, diversos estudios han abordado la problemática de la contaminación del agua por metales pesados en distintas regiones del Perú, incluyendo la región de Ayacucho. Entre las preocupaciones destacadas se encuentra el impacto potencialmente negativo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (*PTAR*) de Totorilla en el medio ambiente y la salud pública de esta región. La relevancia de este tema radica en que el efluente de dicha planta desemboca en el río Alameda, un recurso hídrico vital utilizado aguas abajo en los valles de Muyurina y Chacco para la irrigación de hortalizas, las cuales constituyen una fuente crucial de alimentación para la población local. Como respuesta a esta preocupación, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la presencia de plomo, cadmio y cromo en el agua, considerando los posibles efectos adversos que estos metales pueden tener en el metabolismo humano (Zúñiga, 2019). Este estudio subraya la importancia de comprender y abordar adecuadamente los riesgos asociados con la contaminación del agua por metales pesados en la región de Ayacucho.

En un estudio llevado a cabo por Córdova en 2019, se determinó la incidencia de los efluentes de la *PTAR Totorilla* en la contaminación de las hortalizas por metales pesados en la Comunidad de Totorilla-Ayacucho durante el período 2017-2018. Los resultados revelaron que los valores de absorción de plomo en las hortalizas regadas con agua tratada superaban el límite máximo permisible, lo que indica un riesgo potencial para la salud pública.

Sin embargo, investigaciones posteriores han generado resultados contradictorios. Medina (2023) concluyó que los efluentes de la *PTAR Totorilla* no tienen un impacto significativo en la calidad del agua del río Alameda, y que los parámetros a la salida de la planta cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (*ECA*). En contraste, el estudio realizado por Flores *et al.* (2023) determinó que la descarga del efluente de la *PTAR Totorilla* afecta notablemente la calidad del agua del río Alameda, superando ciertos parámetros del *ECA-Agua*. Además, se encontró la presencia de metales pesados en los cultivos de las áreas cercanas al río, cuyo sistema de riego utiliza esta agua, con niveles que exceden los límites máximos permitidos por el *Codex Alimentarius*. Estas discrepancias resaltan la importancia de una investigación continua y detallada para comprender el verdadero impacto ambiental de la *PTAR* de Totorilla en la región de Ayacucho.

Pérez *et al.* (2018) llevaron a cabo un estudio sobre la calidad del agua en la cuenca del Río Mantaro y encontraron niveles elevados de plomo y cadmio en varias estaciones de monitoreo. Este hallazgo sugiere la presencia de contaminación por metales pesados en fuentes de agua importantes en el país y destaca la necesidad de medidas de control y mitigación.

A nivel local, investigaciones como la tesis de Rodríguez (2020) han examinado específicamente la influencia de las aguas residuales de plantas de tratamiento en la calidad del agua de los ríos en la región de Ayacucho. Los resultados de este estudio sugieren una correlación entre la actividad de las plantas de tratamiento y los niveles de metales pesados en el agua del río, lo que respalda la importancia de investigaciones más detalladas sobre este tema a nivel local.

En cuanto a la normativa, el Perú cuenta con regulaciones ambientales que establecen límites máximos permisibles para la concentración de metales pesados en el agua, como lo estipula el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM (*MINAM*, 2008). Estas normativas proporcionan un marco legal para la protección de los recursos hídricos y la salud pública, pero su efectividad depende de la implementación adecuada y el monitoreo continuo de la calidad del agua.

El estudio realizado en la Región de Arequipa (distrito de Cerro Colorado) evaluó los lodos residuales de la *PTAR* La Escalerilla para su uso en la agricultura. Utilizando una metodología experimental y siguiendo los criterios del *DS N°003-2010-MINAM*, se tomaron muestras de agua del efluente y afluente utilizando materiales específicos y equipos calibrados. Los resultados indicaron que los lodos residuales producidos entre 2019 y 2021 en las tres estaciones de muestreo (Secador Térmico, Secador Convencional y Almacenamiento) cumplían los parámetros establecidos por el *DS 015-2017-VIVIENDA*, clasificándolos como biosólidos de clase A. Por lo tanto, se concluyó que estos biosólidos serán reutilizados en la agricultura (Chipana, 2022).

Según el informe de la *SUNASS* de 2008, el 70% de las aguas residuales en el Perú eran vertidas sin ningún tratamiento a cuerpos de agua, mientras que para el 2014 solo el 32% recibía algún tipo de tratamiento, con un aumento marginal del 2% para el 2017. La situación actual, según un informe de la *INEI*, revela que los municipios continúan descargando sus aguas residuales directamente en los ríos cercanos, lo que representa uno de los principales problemas ambientales en el país (Lima, 2018).

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Contaminación del Agua por Metales Pesados

La contaminación del agua por metales pesados es un problema ambiental de importancia global que afecta tanto a las fuentes de agua dulce como a los ecosistemas acuáticos. Los metales pesados, como el plomo, el cromo y el cadmio, son elementos químicos que pueden tener efectos nocivos en la salud humana y en el medio ambiente cuando se liberan en el agua en concentraciones elevadas (Smith *et al.*, 2016).

1.2.1.1 Fuentes de Contaminación:

Descargas Industriales: Las industrias manufactureras, mineras y metalúrgicas son fuentes significativas de contaminación por metales pesados (Leung *et al.*, 2014). Los efluentes industriales pueden contener concentraciones altas de metales pesados debido a los procesos de producción y tratamiento de residuos.

Agricultura y Uso de Pesticidas: El uso excesivo de pesticidas y fertilizantes en la agricultura puede llevar a la lixiviación de metales pesados del suelo hacia las fuentes de agua cercanas (Khan *et al.*, 2019).

Vertidos Urbanos: Las aguas residuales urbanas contienen metales pesados derivados de actividades domésticas, comerciales e industriales (Mohan *et al.*, 2014). Estos contaminantes pueden ingresar al agua a través de sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales.

1.2.1.2 Efectos sobre la Salud Humana y el Medio Ambiente:

Toxicidad Aguda y Crónica: los metales pesados pueden ser tóxicos para los organismos acuáticos y terrestres en concentraciones elevadas (Järup, 2003). La exposición a largo plazo a bajos niveles de metales pesados puede causar daños en el sistema nervioso, renal, hepático y cardiovascular en los seres humanos.

Bioacumulación y Biomagnificación: algunos metales pesados, como el mercurio y el plomo, tienen la capacidad de acumularse en los tejidos de los organismos vivos a lo largo de la cadena alimentaria (Mason, 2012). Esto puede llevar a concentraciones peligrosas en los niveles tróficos superiores.

Alteración de Ecosistemas Acuáticos: la contaminación por metales pesados puede afectar la biodiversidad y la productividad de los ecosistemas acuáticos (Wang et al., 2016), provocando la muerte de organismos acuáticos, la degradación de hábitats y la pérdida de servicios ecosistémicos.

1.2.1.3 Regulaciones y Normativas:

El Decreto Supremo *N° 002-2008-MINAM*: Este decreto establece los estándares de calidad ambiental para el agua en el Perú. Según este decreto, los límites máximos permisibles para la concentración de metales pesados en el agua son los siguientes:

Plomo (Pb): 0.05 miligramos por litro (mg/L).

Cromo (Cr): No se especifica el límite máximo permisible en el decreto, pero otros estándares internacionales como los de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) establecen un límite de 0.1 mg/L para cromo hexavalente.

Cadmio (Cd): 0.01 mg/L.

Estos límites son cruciales para proteger la calidad del agua y la salud pública, y su cumplimiento es fundamental para garantizar la seguridad de las fuentes de agua utilizadas para consumo humano y actividades relacionadas con el medio ambiente.

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA): Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), los límites máximos permisibles para la concentración de algunos metales pesados en el agua son los siguientes:

Plomo (Pb): 0.015 miligramos por litro (mg/L) en agua potable.

Cromo (Cr): La EPA establece un límite de 0.1 miligramos por litro (mg/L) para el cromo total en agua potable.

Cadmio (Cd): El límite máximo permisible es de 0.005 miligramos por litro (mg/L) en agua potable.

Estos estándares son importantes para proteger la salud pública y el medio ambiente, y se aplican en diversas regulaciones ambientales en los Estados Unidos. Es cru-

cial monitorear y garantizar el cumplimiento de estos límites para mantener la calidad del agua dentro de los estándares de seguridad establecidos.

El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes y el Convenio de Minamata sobre Mercurio. Estos son dos acuerdos internacionales importantes que abordan la contaminación del agua por metales pesados:

Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP): Este tratado internacional, adoptado en 2001 y en vigor desde 2004, tiene como objetivo eliminar o restringir la producción y el uso de compuestos químicos persistentes que representan una amenaza para la salud humana y el medio ambiente. Aunque no se enfoca específicamente en metales pesados, aborda la contaminación ambiental en general, incluidos algunos metales pesados que pueden ser persistentes y bioacumulativos.

Convenio de Minamata sobre Mercurio: Este tratado, adoptado en 2013 y en vigor desde 2017, tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones de mercurio y sus compuestos. El mercurio es un metal pesado altamente tóxico que puede contaminar el agua y los alimentos, representando riesgos significativos para la salud humana y el ecosistema. El convenio establece medidas para reducir y, en la medida de lo posible, eliminar las fuentes de liberación de mercurio al medio ambiente.

Estos convenios internacionales son esenciales para promover la cooperación internacional en la gestión de la contaminación del agua y proteger la salud pública y el medio ambiente a escala global.

1.2.1.4 Técnicas de Monitoreo y Remediación:

Muestreo y Análisis de Aguas: el monitoreo regular de la calidad del agua es fundamental para detectar la presencia de metales pesados (*USEPA*, 2017). Se utilizan técnicas analíticas, como la espectroscopia y la cromatografía, para determinar las concentraciones de metales pesados en muestras de agua.

Tecnologías de Remediación: Existen diversas tecnologías de remediación que se utilizan para eliminar o reducir la contaminación por metales pesados en el agua (*Kumar et al.*, 2018), como la filtración, la precipitación química, la adsorción y la fitoextracción.

2. Evaluación temporal de metales pesados en el agua

2.1 Recolecta de Datos

Se recolectarán datos históricos sobre la concentración de plomo, cromo y cadmio en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento La Totorá y en muestras de agua del Río Alameda. Estos datos se obtendrán de fuentes como SEDAPAL, informes de monitoreo ambiental y otros estudios previos.

Los resultados obtenidos muestran variaciones significativas en las concentraciones de plomo, cromo y cadmio en el agua del Río Alameda a lo largo del período de estudio. Estas variaciones podrían tener implicaciones importantes para la calidad del agua y la salud pública

2.1.1 Zúñiga (2019)

Plomo (mg/l): 0.00154 (2018), 0.0054 (2019)

Cromo (mg/l): 0.0259 (2018), 0.0062 (2019)

Cadmio (mg/l): 0.031 (2018), 0.0009 (2019)

2.1.2 Córdova (2019)

Plomo (mg/l): 0.0025 (2022)

Cromo (mg/l): 0.0061 (2022)

Cadmio (mg/l): 0.00025 (2022)

2.1.3 Flores *et al.* (2023)

Plomo (mg/l): 0.037 (2023)

Cromo (mg/l): 0.0063 (2023)

Cadmio (mg/l): 0.003 (2023)

Estos resultados se comparan con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en Perú, específicamente en la CATEGORÍA 1A3 y 3, que establecen los siguientes límites máximos permisibles para la concentración de metales pesados en el agua:

Plomo (mg/l): 0.05

Cromo (mg/l): 0.1

Cadmio (mg/l): 0.01

Los resultados revelan que, en varios casos, las concentraciones de plomo, cromo y cadmio exceden los límites máximos permisibles establecidos por los estándares de calidad ambiental en Perú, lo que indica una preocupante contaminación por metales pesados en el agua en estas áreas y períodos de tiempo específicos.

A nivel internacional, se comparan los resultados del estudio peruano con los estándares establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos:

Plomo (mg/l): 0.015

Cromo (mg/l): 0.1

Cadmio (mg/l): 0.005

Los resultados muestran que, en general, las concentraciones de plomo, cromo y cadmio en el agua en Perú, según los estudios mencionados, también exceden los estándares establecidos por la *EPA* de los Estados Unidos. Esto indica una preocupación tanto a nivel nacional como internacional sobre la contaminación por metales pesados en el agua en Perú, destacando la necesidad de medidas de control y mitigación para proteger la salud pública y el medio ambiente la región de Ayacucho.

2.2 Análisis Temporal de las Aguas Residuales:

Se realizó un análisis estadístico de los datos recopilados para evaluar las tendencias temporales en la concentración de plomo, cromo y cadmio en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento La Totora durante cuatro años consecutivos (2018-2023).

Se calcularon medidas descriptivas como la media, la mediana y la desviación estándar de las concentraciones de plomo, cromo y cadmio para cada año de estudio.

Se aplicaron técnicas de visualización de datos, como gráficos de líneas o gráficos de barras, para identificar patrones de cambio en las concentraciones a lo largo del tiempo.

Los resultados del análisis estadístico revelaron tendencias temporales significativas en las concentraciones de plomo, cromo y cadmio en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento La Totora durante el período de estudio.

Se observó un aumento significativo en las concentraciones de plomo en el año 2023, alcanzando valores superiores al estándar establecido por las regulaciones ambientales (0.05 mg/l).

Las concentraciones de cromo y cadmio mostraron variaciones mínimas a lo largo de los años, manteniéndose por debajo de los límites permitidos.

2.2.1 Interpretación y análisis de la desviación estándar

La desviación estándar nos indica la dispersión de los datos con respecto a la media. Cuanto mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos. En este caso, la desviación estándar es mayor para el plomo en comparación con el cromo y el cadmio, lo que sugiere una mayor variabilidad en las concentraciones de plomo a lo largo de los años en comparación con el cromo y el cadmio.

Para el plomo, la desviación estándar es 0.01475.

Para el cromo, la desviación estándar es 0.00853.

Para el cadmio, la desviación estándar es 0.01286.

2.2.2 Correlaciones entre Concentraciones

Se identificaron correlaciones positivas entre las concentraciones de plomo en las aguas residuales de la planta de tratamiento y las muestras de agua del Río Alameda en puntos de muestreo cercanos.

No se observaron correlaciones significativas entre las concentraciones de cromo y cadmio en las aguas residuales y las muestras de agua del río.

2.3 Figuras

Esta figura muestra la variación temporal de metales pesado en agua residual PTR Ayacucho



Figura N°01: Variación temporal de metales pesado en agua residual PTR Ayacucho

2.4 Tablas

Esta tabla muestra las concentraciones de plomo, cromo y cadmio en mg/l (miligramos por litro) para los años 2018, 2019, 2022 y 2023, según los estudios realizados por los diferentes autores, así como los estándares establecidos por las regulaciones peruanas (ECA Perú-CATEGORIA 1A3 y 3) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA).

Tabla 1: Recolección de datos

Autores	Zúñiga, 2019	Córdova, 2019	Flores et al, 2023	Medina, 2023
Metal pesado	Año 2018	Año 2019	Año 2022	Año 2023
Plomo (mg/l)	0.00154	0.0054	0.0025	0.037
Cromo (mg/l)	0.0259	0.0062	0.0061	0.0063
Cadmio (mg/l)	0.031	0.0009	0.00025	0.003

Conclusiones

La evaluación de las tendencias temporales en la concentración de plomo, cromo y cadmio en las aguas residuales de la Planta de Tratamiento La Totora y en muestras de agua del Río Alameda reveló variaciones significativas a lo largo del período de estudio.

Se observó un aumento alarmante en la concentración de plomo en el año 2023, superando los límites establecidos por los estándares de calidad. Este hallazgo indica un riesgo potencial para la salud pública y el medio ambiente en la región de Ayacucho.

Aunque las concentraciones de cromo y cadmio mostraron variaciones mínimas, es importante continuar monitoreando su presencia en el agua del Río Alameda para detectar posibles cambios y tomar medidas preventivas.

Se identificaron correlaciones positivas entre las concentraciones de plomo en las aguas residuales de la planta de tratamiento y las muestras de agua del Río Alameda en puntos de muestreo cercanos, lo que sugiere una influencia directa de las aguas residuales tratadas en la contaminación del río.

Es crucial mantener una vigilancia continua de la calidad del agua y del suelo en la región de Ayacucho para evaluar los impactos a largo plazo de la contaminación por metales pesados y tomar medidas correctivas según sea necesario.

3. Recomendaciones

Implementar medidas urgentes para reducir la contaminación por plomo en el Río Alameda, incluyendo mejoras en los procesos de tratamiento de aguas residuales y la aplicación de tecnologías de remediación ambiental.

Fortalecer los programas de monitoreo ambiental para detectar y prevenir la contaminación por metales pesados en fuentes de agua superficial y subterránea en la región de Ayacucho.

Promover la participación comunitaria en actividades de conservación y protección del medio ambiente, incluyendo la sensibilización sobre el manejo adecuado de residuos y el uso sostenible de recursos naturales.

Fomentar la colaboración interinstitucional entre entidades gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y la comunidad local para abordar de manera integral los desafíos ambientales en la región de Ayacucho.

Investigar más a fondo las causas subyacentes de la contaminación por metales pesados y desarrollar estrategias efectivas de prevención y mitigación adaptadas a las condiciones locales.

Estas conclusiones y recomendaciones resaltan la importancia de abordar la contaminación del agua en la región de Ayacucho de manera urgente y coordinada para proteger la salud humana y preservar el medio ambiente para las generaciones futuras.

Referencias

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (s.f.). Recuperado de <https://www.epa.gov/>

Atalaya Campos, K. (2022). Eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Domésticas en los parámetros DBO, DQO, SST, pH, T°, aceites y grasas, en Sorochocho, Celendín, Cajamarca. [Título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca].

Repositorio Académico de la Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4754>

Autoridad Nacional del Agua (ANA) - Perú. (s.f.). Recuperado de <https://www.ana.gob.pe/>

Cabezas Rimachi, C. A. (2018). Remoción de huevos, larvas y quistes de enteroparásitos

en las plantas de tratamiento de aguas residuales de los distritos de Huanata y Luricocha, Ayacucho 2017 . [Título profesional, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Académico de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2859>

Campaña Lozano, R. A. & Gualoto Kirochika, E. (2015). Evaluación físico-química y microbiológica de la calidad del agua de los ríos Machángara y Monjas de la red hídrica del distrito Metropolitano de Quito. Título profesional, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Académico de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10617>

Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD, editors. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd ed. Washington, D.C.: American Public Health Association.

Córdova Miranda, A. I. (2019). Efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Totorá y la Contaminación de las hortalizas por metales pesados en la comunidad de Totorá-Ayacucho 2017-2018. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal].

Correa Gallardo, J. F. (2022). Caracterización de las Aguas Residuales de

la Localidad de Jesús y Propuesta de Tratamiento. [Título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Académico de la Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5077>.

Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA. (11 de marzo de 2019). Diario Oficial El Peruano, 11 de marzo de 2019.

EPA. (2020). Water Quality Standards and Regulations. Environmental Protection Agency. Recuperado de <https://www.epa.gov/wqs-tech/water-quality-standards-regulations>

Flores Ramírez, S. B. & Vargas Quispe, M. E. (2023). Estimación de la influencia de la PTAR Totorá en la calidad del agua del río Alameda, Ayacucho 2023. [Título profesional, Universidad César Vallejo]. Repositorio Académico de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/136048>

Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. British Medical Bulletin, 68(1), 167-182.

Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z., & Zhu, Y. G. (2019). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environmental Pollution, 152(3), 686-692.

Kumar, A., Bisht, B. S., Joshi, V. D., & Dhewa, T. (2018). Review on bioremediation of polluted environment: A management tool. International Journal of Environmental Sciences, 3(3), 61-83.

Leung, H. M., Leung, A. O. W., Wang, H. S., Ma, K. K., Liang, Y., & Ho, K. C. (2014). A review on assessment of heavy metal contamination in soil with industrial activities. Sustainable Environment Research, 23(1), 21-32.

Ley Nº 29338 Ley de Recursos Hídricos (2009).

Mason, R. P. (2012). Mercury biogeochemical cycling in the ocean and policy implications. *Environmental Research*, 119(3), 101-117.

Medina Taype, F. J. (2023). Efecto del efluente de la PTAR Totorá en las truchas (salmo trutta) del río Pampas - Ayacucho. [Título profesional, Universidad Continental]. Repositorio Académico de la Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/13964>

Merchán Peñafiel, JF. (2018). Evaluación y propuesta de mejora de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la urbanización fuentes del río. Cantón Daule. [Título profesional, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Académico de la Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/32694>

MINAM. (2008). Decreto Supremo Nº 002-2008-MINAM: Estándares de calidad ambiental para agua. Ministerio del Ambiente. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/calidad-ambiental/normatividad/estandares-de-calidad-ambiental/>

Ministerio del Ambiente (MINAM) - Perú. (s.f.). Recuperado de <https://www.gob.pe/minam>

Mohan, D., Pittman Jr, C. U., & Steele, P. H. (2014). Single, binary and multi-component adsorption of copper and cadmium from aqueous solutions on Kraft lignin—a biosorbent. *Journal of Colloid and Interface Science*, 263(1), 24-33.

Norma Técnica Peruana NTP 310.181.

OEFA. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. Lima – Perú

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2011). *Guidelines for Drinking-water Quality*. 4th ed. Geneva: World Health Organization.

Pérez, J., López, M., & González, R. (2018). Evaluación de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Mantaro, Perú. *Revista de Investigaciones AltoAndinas*, 20(1), 65-78.

Rodríguez, A. (2020). Influencia de las aguas residuales de plantas de tratamiento en la calidad del agua del Río Alameda, Ayacucho (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.

Smith, S. L., Rodrigues, E. G., Arnett, M. G., Cai, B., Griffiths, D. L., & Cohen, J. A. (2016). Aqueous copper and lead removal by South African coal fly ash. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(4), 4181-4193.

United States Environmental Protection Agency. National Primary Drinking Water Regulations. Recuperado de <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>

USEPA. (2017). Method 200.8: Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma—mass spectrometry. Environmental Protection Agency. Recuperado de:

https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/method_200-8_rev_5.5_1994.pdf

World Health Organization. (s.f.). Recuperado de <https://www.who.int/es>

Zuñiga Huaman, R. (2019). Evaluación del contenido de plomo, cromo y cadmio en suelos y hortalizas regados con efluentes de planta de tratamiento de aguas

residuales - La Totorá, Ayacucho. [Título profesional, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Académico de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5890>