

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

“ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y SUS IMPLICACIONES PARA LA SALUD EN EL PERÚ”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autora:

Yuri Gagarin Mestanza Montoya

Asesor:

M.Cs. Juan Carlos Flores Cerna

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

A mis padres, hermanos y familia por haberme formado en base al respeto, sinceridad, honradez y responsabilidad. Todo y cuanto logré en esta vida se lo deberé a ellos.

En especial a mi padre, Alfonso Mestanza, que, con su partida, deja un vacío muy grande en nuestros corazones, un beso y un abrazo hasta el cielo.

AGRADECIMIENTO

Quiero dejar sentado mi más sincero reconocimiento a mis tíos Manuel y Jorge, por las enseñanzas y atinadas orientaciones impartidas.

A mi asesor, M.Cs. Ing. Juan Carlos Flores Cerna, por su paciencia, su compromiso y por sobre todo su tiempo para la confección de la presente tesis.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. MÉTODO	22
CAPÍTULO III. RESULTADOS	25
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	36
REFERENCIAS.....	62
ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Determinación de metales pesado Estación N° 01. Espinar – Época de estiaje.....	25
Tabla 2 Determinación de metales pesados Estación N° 02. Peña Blanca II - Época de estiaje.....	26
Tabla 3 Determinación de metales pesados Estación N° 03 – Huaylla I - Época de avenida.....	27
Tabla 4 Determinación de metales pesados Estación N° 04. Huaylla I - Época de avenida.....	29
Tabla 5 Valores promedio de los parámetros evaluados en agua potable en época de estiaje.....	38
Tabla 6 Valores promedio de los parámetros evaluados en agua potable en época de lluvias.....	38
Tabla 7 Comparación de las concentraciones según los parámetros físico-químicos.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Minerales que superan el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en agua de Espinar.	36
Figura 2. Variación de pH en época de estiaje.	39
Figura 3. Variación de pH en época de avenida.	40
Figura 4. Variación de pH vs. estaciones en el tiempo.	41
Figura 5 . Variación de temperatura en época de estiaje.	42
Figura 6. Variación de pH en época de avenida.	42
Figura 7. Variación de CE en época de estiaje.	43
Figura 8. Variación de CE en época de avenida.	43
Figura 9. Variación de CE vs. estaciones en el tiempo.	45
Figura 10. Variación de OD en época de estiaje.	46
Figura 11. Variación de OD en época de avenida.	46
Figura 12. Variación de OD vs. estaciones en el tiempo.	47
Figura 13. Variación de Turbiedad en época de estiaje.	48
Figura 14. Variación de Turbiedad en época de avenida.	49
Figura 15. Variación de turbiedad vs. estaciones en el tiempo.	49
Figura 16. Variación de caudal en época de estiaje.	50
Figura 17. Variación de caudal en época de avenida.	51
Figura 18. Correlación de Pearson. Promedio de la época de estiaje en la matriz de Pearson. Los índices de correlación de Pearson significativas corresponden a $p < 0.01$	53
Figura 19. Correlación de Pearson. Promedio de la época de estiaje en la matriz de Pearson. Los índices de correlación de Pearson significativas corresponden a $p < 0.01$	57

RESUMEN

La presente investigación contribuyó al conocimiento de la caracterización de la concentración de metales pesados en los afluentes y efluentes de las plantas de agua potable del Perú y sus implicaciones para la salud. La investigación es básica, con diseño descriptivo-retrospectivo, no experimental, con enfoque cualitativo. Para ello se describió los rasgos más característicos utilizando casos de estudio y resultados obtenidos en algunos países del mundo. Asimismo, se examinaron investigaciones realizadas en los últimos cinco años en el agua potable del Perú, durante épocas de estiaje y avenidas. Se determinó que la concentración de metales pesados en el agua potable del Perú superan los límites máximos permisibles (LMP) del Ministerio de Salud, D.S. N° 031-2010-SA y estándares de calidad ambiental (ECA) del Ministerio del Ambiente, DS-004-2017-MINAM y que la acumulación de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú es perjudicial para la salud y que incluso en dosis muy pequeñas producen consecuencias fisiológicas y/o neuronales graves y en niveles altos son cancerígenos.

Palabras clave: Metales pesados, afluentes, efluentes, agua potable, salud.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental en el agua potable por el aumento en concentraciones de metales pesados se ha convertido actualmente en un problema mundial, que dificulta que sea posible disfrutar del derecho humano a tener un medio ambiente saludable, por lo que representa una amenaza para el medio ambiente y la salud humana. En tal sentido, se hace necesario examinar los metales pesados en cuanto a su origen, distribución, usos generales y principales alteraciones sobre el ambiente, afectando además la salud humana, con el fin de propiciar mayor concientización e investigación sobre el tema, que conlleve a la disminución de los riesgos de los metales pesados en los ecosistemas. Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jiménez, E. E. G. (2016).

De acuerdo a lo dicho por Chávez Collantes, A. (2016). en el mundo la contaminación por metales pesados en el agua potable (componentes de un subconjunto de elementos químicos con propiedades metálicas que presentan una alta densidad, por lo menos cinco veces mayor que la densidad del agua y un peso atómico alto) es una de las preocupaciones ambientales más importantes, debido a que causa efectos adversos en la salud pública. Así mismo establece que hay cuatro metales tóxicos de mayor importancia son: Plomo, Cadmio, Mercurio y el Arsénico (metaloide), por eso señala que: “Si se lograra una disminución o eliminación de los riesgos de exposición de estos cuatro elementos, se estaría dando una protección de cobertura amplia a las poblaciones contra el efecto de estos”.

Huanacuni, V. (2017)., señala que el arsénico puede encontrarse en el agua como resultado de una disolución de minerales por descargas industriales, son rápidamente consumidos por organismos vivos y a concentraciones elevadas pueden ejercer efectos

tóxicos. Según Riofrio Jumbo, D. F. (2016). el Cadmio presenta un comportamiento similar al plomo, por tanto, no existen diferencias significativas entre el grado de contaminación con diferentes muestras. Sin embargo, los efectos tóxicos del mercurio a concentraciones muy pequeñas son muy peligrosos.

La Organización Mundial de la Salud. (OMS, 2018), hizo conocer que, durante el año 2017, aproximadamente 4,867 personas estaban siendo afectadas por metales tóxicos en el país.

En el Perú la contaminación del agua está relacionada con la minería, causando conflictos socioambientales debido a la generación de sustancias tóxicas que afectan la salud humana. Al respecto, Calla Llontop, H. J. (2010). refiriéndose a la calidad del agua en la cuenca del río Rímac, sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras sostiene que: “Del análisis se obtuvo que el cadmio, plomo, manganeso, arsénico y fierro eran elementos que deberían recibir un tratamiento correctivo, ya que sus concentraciones en el río Rímac eran mayores a lo establecido en los estándares de calidad de agua”.

De otra parte, la OMS (2019) publicó una relación de los diez contaminantes de mayor preocupación para salud pública, de donde se encuentran al plomo, mercurio, cadmio y arsénico como los principales metales pesados.

Consumir agua potable es indispensable para salud, Meza Poma, M. Z. (2018)., afirma que: “El carecer el agua potable de un tratamiento adecuado, existe la posibilidad de concentraciones altas de Pb y As por las actividades mineras” (p.6). “También porque el sistema de distribución podría contribuir a la contaminación por las conexiones, tuberías en

mal estado, reservorio sin salubridad y falta de medidas de seguridad”. Sánchez Martínez, J. (2015). manifiesta que: Impactos adversos también al agua superficial lo conforman la descarga de sedimentos contaminados, la reducción del pH, la destrucción de ecosistemas hídricos y la contaminación del agua potable.

Producto del análisis de estudios en algunos países, se pudo observar que la población urbana, no cuenta con una red de abastecimiento de agua potable que funcione como un sistema de obras de ingeniería; vale decir, debidamente concatenadas, que permitan llevar hasta la vivienda el agua potable en condiciones salubres, esto significa que los componentes del sistema de abastecimiento (captación del agua, almacenamiento de agua bruta, tratamiento del agua, almacenamiento de agua tratada y red de distribución) no están cumpliendo a cabalidad su tratamiento, lo cual repercute en la calidad del agua y por consiguiente es un impacto ambiental negativo para la salud y el ambiente. Barboza Bardales, J. J., & Rivera Montalvan, M. J. (2019).

Para asegurar que el consumo de agua potable sea de buena calidad existen estándares, por ejemplo, en nuestro país la normativa aplicable al agua es el D.S. 004-2017-MINAM, el cual define los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua ECA (que es una medida del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, la misma que clasifica en categoría 1 el agua para consumo humano). Así mismo tenemos el D.S. N° 031-2010-SA que aprueba el reglamento de la calidad de agua para consumo humano, en donde se establecen los Límites Máximos Permisibles (LMP) los cuales son la medida de la concentración de elementos o parámetros que caracterizan a un efluente, Vale decir, es el nivel de concentración de un contaminante por debajo del cual no hay daño a la salud y el ecosistema y no afecta el bienestar de las poblaciones.

Sin embargo, según Alegre Balaguer, S., Mendoza, C., Altabella, F. J. E., & Mendoza, J. F. C. (2018) los afluentes y efluentes del agua en el Perú el año 2018, se reportó que casi el 50% de los recursos hídricos del país no cumplen con los estándares de calidad del agua de las categorías de uso para el consumo humano, así mismo en las áreas rurales las personas están expuestas al consumo de agua de bebida sin una apropiada calidad y cerca al 8% de muertes por factores relacionados a la salud ambiental se originan por el inadecuado acceso al agua, sanidad e higiene. Además, aproximadamente dos tercios de un punto porcentual del PBI del Perú se pierde anualmente en cubrir los costos por morbilidad a causa de los efectos negativos en la salud de la población debido a la contaminación del agua.

A continuación, se presenta los siguientes antecedentes que aborda la línea de investigación del estudio:

A nivel internacional

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jimenez, E. E. G. (2016). en su investigación “Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria”, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tuvo como objetivo se aborda el problema específico de contaminación por mercurio (Hg), Arsénico (As), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en ambiente y alimentos, investigación descriptiva, se concluye que la contaminación por metales pesados y metaloides en recursos hídricos, suelos y aire plantea una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local. Se presenta una descripción sobre las fuentes de contaminación y exposición en seres vivos, así como la incorporación y

retención en alimentos y productos de consumo humano. Se abordan casos de estudio y resultados obtenidos en algunos países del mundo incluido Colombia.

Londoño, L., Londoño, P. & Muñoz, F. (2016) en su investigación “Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal”, Universidad Tecnológica de Pereira. Tuvo como objetivo examinar los metales pesados en cuanto su origen, distribución, usos generales y principales alteraciones sobre el ambiente, afectando además la salud humana y animal, investigación descriptiva, donde se concluye que las explotaciones mineras, la contaminación del suelo, el agua, las plantas y animales por cuenta de la industrialización, los fertilizantes, insecticidas químicos y otras actividades han propiciado el aumento exagerado de metales pesados: mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), entre otros y como consecuencia directa la contaminación. Además, sumado a factores como: el cambio climático, el efecto invernadero, la deforestación, la pérdida de recursos naturales en flora y fauna han aumentado la amenaza de los metales pesados en la naturaleza.

Harvey, P. J., Handley, H. K., & Taylor, M. P. (2016). Realizaron un estudio que examinó la contaminación por arsénico, cobre, plomo y manganeso en el agua potable del grifo de la cocina del consumidor doméstico en New South Wales, Australia. Analizaron 212 muestras de agua potable y obtuvo como resultado que casi el 100% y el 56% de las muestras contenían cobre y plomo, respectivamente. De las muestras con presencia de cobre, el 5% excedió el límite permisible en la Guía Australiana de Agua Potable (ADWG), en las muestras con presencia de plomo, el 8% superó el límite permisible. Las concentraciones de plomo en el agua derivadas de componentes de fontanería varían de 108 µg/L a 1440 µg/L (n = 28, media - 328 µg/L, mediana - 225 µg/L). Los resultados de

este estudio demostraron que los productos de fontanería que contienen plomo detectable hasta el 2,84% contribuyen a la contaminación de agua potable para el hogar.

A nivel nacional

Gavilanez García, L. E. (2016). en su investigación “Estudio de la concentración del plomo en el agua del río tumbes periodo 2012 – 2015 como causa de la minería aurífera y su relación con la salud de los pobladores del caserío de rica playa – tumbes – 2016”, tuvo como objetivo determinar el grado de concentración del metal pesado Plomo en el agua y en la sangre de los pobladores, se trató con una población de 9000, se consideró el 5% como muestra. El agua del Río Puyango Tumbes está con niveles altos de plomo, por encima de los ECA, estos niveles en la sangre están aún debajo de los niveles críticos y las enfermedades de los pobladores están relacionadas con plomo. Concluyéndose que la concentración de plomo en el agua está en promedio en 0.3174 ug/dL, el 26.74% por encima del ECA, en niveles que van entre 0.10 ug/dL a 0.81 ug/dL y el tipo de enfermedades relacionadas al plomo que padecen los pobladores son: Enfermedades al riñón, dolores de estómago, dolores de huesos, gripes, presión arterial alta y dolores del corazón.

Leguía Ramírez, J. C., & Puma Torres, P. S. (2016). en su investigación “Diseño de filtros de bioarena para remover metales pesados (As, Cd, Cr, Pb y Fe) en aguas de uso doméstico”, tuvo como objetivo evaluar la implementación técnico-constructivo de Filtros con Bioarena (FBA) para la remoción de metales pesados como un prototipo de tratamiento integral a escala domiciliaria. Se utilizó filtros bioarena, modelo 10.0 según el manual de CASWT. Los filtros bioarena fueron construidos con material de vidrio y fibra de vidrio, el filtro modelo de biofiltro. Se concluye que, en los diversos ensayos con las

variaciones diseñadas, se estableció que las muestras de agua obtenidas después de haber pasado por el biofiltro no exceden los LMP, para los valores de calidad del agua, tanto para el cromo, como para el cadmio, fierro y plomo. Finalmente, los filtros de bioarena adaptados pueden generar un gran impacto sanitario, social, ambiental y no solo en nuestra región sino también puede ser de utilidad para todas las demás regiones que tienen problemas con metales pesados en sus aguas.

A nivel local

Afán, K. y Flores, E. (2018). en su investigación “Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca – octubre 2017”, tuvo como objetivo determinar las concentraciones de Arsénico y Plomo en el agua potable y superan los niveles permisibles según el reglamento de la calidad del agua para consumo humano. Se tomaron 15 muestras de agua potable del distrito de Hualgayoc. Los resultados en lo que respecta a arsénico indicaron que en los puntos de muestreo A2, B1 y C3 arrojaron los siguientes resultados 0.01852 mg/L, 0.01827mg/L y 0.021318 mg/L respectivamente lo cual indica que superaron los LMP establecidos en el D.S. N° 031-2010 -SA el cual es 0.010 mg/L), en cuanto a los resultados de Plomo las 15 muestras superaron Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. N° 031-2010 -SA el cual es 0.010 mg/L). Los más resaltantes son A1: 0.1039 mg/L, E1: 0.108240 mg/L, E3: 0.158692 mg/L.

Por otro lado, según un estudio realizado por Dirección Regional de Salud Cajamarca. (09 de setiembre del 2019). *Informe de monitoreo de metales pesados en agua de consumo humano de la provincia de Hualgayoc*, para conocer la calidad de agua para consumo humano los resultados indicaron que en dos centros poblados Pilcones (1,17

ppm), Cruz verde (0.71 ppm) ambos de Hualgayoc y la Jalquilla (0.77 ppm) Bambamarca la calidad de agua para consumo humano no cumple con los LMPs del D.S. 2010-SA. el cual establece 0.2 ppm para el metal de aluminio.

Para el presente proyecto se utilizarán las siguientes definiciones conceptuales:

Agua potable

Se denomina agua potable al agua "bebible" en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. El término se aplica al agua que ha sido tratada para el consumo humano, según las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales. El agua potable es aquella que debe cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, es apta para consumo humano se utiliza en bebidas directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal. (Organismo Evaluador y Fiscalizador Ambiental. La fiscalización ambiental [OEFA] 2014).

Planta de tratamiento de agua potable

Una planta de tratamiento de agua potable es una secuencia de operaciones o procesos unitarios que trabaja en conjunto y concordancia, siendo seleccionada convenientemente cada unidad de proceso de la que estará compuesta la planta, a partir de las características del agua a tratar. Ispilco Rojas (2018).

Para potabilizar el agua existen varios métodos, procesos y tecnologías, pero todos deben cumplir con los mismos estándares como son:

- Mezcla de barreras variadas con diferentes etapas dentro del proceso de potabilización, para alcanzar mayor eficiencia.

- Tratamiento integrado de varias unidades operacionales para producir la purificación deseada.
- Se debe determinar el tratamiento en base al objetivo final que estará destinada el agua que va a ser purificada.

Tipos de plantas de tratamiento de agua potable

Según las plantas se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de proceso que conforman, en plantas convencionales antiguas, en plantas convencionales con tecnología apropiada, en plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta (CEPIS, 2006)

- **PTAP de tecnología convencional.** Este tipo de planta, realiza el tratamiento al agua cruda bajo los siguientes procesos unitarios: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Velásquez Tochoy, J. D., & Castro Aristizabal, L. M. (2017).
- **PTAP de filtración rápida.** Este tipo de planta, se denominan así debido a que sus filtros operan con velocidades entre 80 y 300 m³ /m² *d, de acuerdo a las características de la calidad del agua, del medio filtrante y recursos disponibles para operar. Por el motivo de las altas velocidades con las que operan estos filtros, se colmatan en un lapso de 40 a 50 horas en promedio. Por lo cual se necesita un retro lavado o lavado ascensional de la unidad durante un lapso de 5 a 15 minutos (dependiendo del tipo de sistema de lavado) para descolmatar el medio filtrante y volviendo el lecho filtrante a su estado inicial. Velásquez Tochoy, J. D., & Castro Aristizabal, L. M. (2017).
- **PTAP de filtración directa.** Este tipo de planta se utiliza en aguas con poca o escasa turbiedad o cuando la fuente de abastecimiento es confiable, en caso de que la cuenca sea virgen o bien protegida, en la que la turbiedad no supera de 10 a 20 NTU en 80% y no supera los 30 NTU en 90% del tiempo. Los procesos unitarios considerados son:

coagulación-decantación y filtración rápida. De ser necesario se puede adicionar el proceso de floculación. Velásquez Tochoy, J. D., & Castro Aristizabal, L. M. (2017).

- **PTAP de filtración lenta.** Este tipo de planta opera con tasas que normalmente varían entre 0,10 y 0,30 m/h, que son tasas menores al promedio de las empleadas en filtros rápidos. Los filtros lentos simulan a los procesos de tratamiento que se efectúan en la naturaleza en forma directa y espontánea. Con el tren de procesos de los filtros lentos se pueden remover hasta 500 NTU, teniendo en cuenta que el material coloidal no debe superar los 50 NTU. Velásquez Tochoy, J. D., & Castro Aristizabal, L. M. (2017).

Reglamento de la calidad de agua para consumo humano

La Dirección General de Salud Ambiental el 26 de Setiembre del 2010, a través del D.S. N° 031-2010-SA, presentó el nuevo “REGLAMENTO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO” estableciendo los requisitos Oficiales Físicos, Químicos y Bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables. Mediante sus 10 títulos, 81 artículos, 12 disposiciones complementarias, transitorias y finales y anexos; no solo establece límites máximos permisibles, en lo que a parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos sino también le asigna nuevas y mayores responsabilidades a los Gobiernos Regionales, respecto a la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo humano; además de fortalecer a la SUNASS, en el posicionamiento como Autoridad Sanitaria frente a estos temas. Pinedo Pérez, R. F. (2020).

En el anexo III del reglamento, que por título lleva “LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS”, fija

el valor de la concentración máxima aceptable para el Arsénico en 0.010 mg/L y para el Plomo en 0.010 mg/L.

Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua.

Nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. (ONU,2014).

Límite máximo permisible (LMP).

Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Organización Mundial de la Salud (2010). Ambientes Saludables y Prevención de Enfermedades.

Salud

Es el sentimiento de estar sano. Este sentimiento, es complejo, porque en él se funden varios motivos psicológicos: la táctica conciencia de la propia validez, o lo que es lo mismo, de poder hacer lo que se desea; la sensación de bienestar psico-orgánico, que como dijimos más arriba difícilmente puede ser perfecto; la básica seguridad de poder seguir viviendo, o de ausencia de alguna amenaza vital; una notoria libertad respecto del propio cuerpo, es decir, que el cuerpo no obligue a actuar en determinado sentido o a fijar constantemente la atención en su existencia y actividad; la sensación de básica semejanza

vital con los demás seres humanos; y la posibilidad de gobernar, en la cotidiana relación de convivencia, el juego vital de la soledad y la compañía. Laín E. (2016)

Metales pesados

“Son unos de los contaminantes ambientales más peligrosos, debido a que no son biodegradables y a su potencial de bioacumulación en los organismos vivos. Entre ellos destacan por su toxicidad y su mayor presencia en el medio ambiente el mercurio, el cadmio y el plomo” (Orozco, et al. 2018).

- **Oligoelementos o Micronutrientes:** Requeridos en pequeñas cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, pasando cierto umbral son tóxicos. Dentro de este grupo se encuentra: As, B, Co, Cr, Mo, Mn, Ni, Se, Zn. Inés García, C.D. (2017).
- **Metales pesados sin función biológica conocida:** La presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva a disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son Principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Sb, Bi. Todos los metales pesados en concentraciones altas tienen fuertes efectos tóxicos y son una amenaza ambiental. Campos, H. (2018)

Contaminación con metales pesados

Los metales pesados son unas de las formas de contaminación más peligrosas del medio ambiente, esta se explica primero, porque no presenta ningún tipo posible de degradación química o biológica, además pueden ser bioacumulados de diversas formas (orgánicas e inorgánicas) y permanecer en los organismos por largos periodos. Los metales como el Cobre, Plomo, Mercurio, etc., se caracterizan por su alta conductividad eléctrica, y a

medida que se desplazan hacia los metales preciosos (Oro, Mercurio y Plata), sus óxidos metálicos se hacen más estables que los hidróxidos correspondientes; además forman complejos con diferentes iones y moléculas. Su toxicidad es debido a su alta afinidad con el grupo amino. Al reaccionar dichos metales con este grupo, se forman complejos metálicos y las enzimas pierden toda su efectividad para controlar las reacciones metabólicas. Campos, H. (2018)

Importancia del análisis de metales pesados

La importancia que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos es porque tienen una elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación para los organismos vivos. Los efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque si puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de éstos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando. La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si esta se halla reducida finamente aumentan las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos. Campos, H. (2018).

Metales pesados y sus implicancias en la salud

Los metales pesados (tales como el cobre, arsénico, plomo, mercurio, cadmio) son tóxicos y pueden acumularse en los tejidos vivos e infiltrarse en la cadena alimenticia de organismos. Los metales pesados alterados de su estado natural cambian, la severidad del envenenamiento causado por la ingestión de metales pesados varía entre los metales. Las consecuencias van desde un severo hasta la muerte. Concentración de cobre de 1 ppm

(1.000 ppb) el cobre se considera un elemento esencial. Se le requiere a bajos niveles para muchas reacciones enzimáticas en el cuerpo. Se desconocen los efectos crónicos del envenenamiento de cobre. Los efectos a corto plazo incluyen vómitos y dolores abdominales. La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), que mediante R.D. N° 1152-2005/DIGESA/SA, ha establecido las clasificaciones de los principales cuerpos de agua del Perú, dando clasificación clase III (Aguas para riego y consumo de animales). Vega González, J. A. (2012).

La finalidad de esta investigación es dar a conocer a las autoridades gubernamentales y población en general, la concentración de metales pesados en el agua potable y sus implicancias en salud. Para ello, se intenta describir, por un lado, los rasgos más característicos de dicha concentración utilizando para el efecto los resultados obtenidos en estudios similares. Conjuntamente, examinar mediante un análisis comparativo acerca de la variación espacio-temporal de la concentración de metales pesados específicos en el agua potable del Perú.

CAPÍTULO II. MÉTODO

La presente investigación tiene como **planteamiento del problema** lo siguiente ¿De qué manera influye en la salud la concentración de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú?, como objetivo general Analizar qué implicaciones para la salud tiene la concentración de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú.

Como objetivos específicos recopilar información de trabajos relacionados al estudio de la concentración de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú y sus implicaciones para la salud, Comparación de metales pesados (Mn, Hg, As, Pb y Cd) con los límites máximos permisibles (LMP) del MINAM, determinar las implicaciones para la salud en los estudios de la concentración de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú.

Hipótesis existen implicaciones prácticas que repercuten negativamente en la salud por la concentración de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú.

El tipo de investigación es básica, con diseño descriptivo-retrospectivo, no experimental, longitudinal. La investigación básica según Hernández, R (2019), “es el tipo de investigación que no busca la aplicación práctica de sus descubrimientos, sino el aumento del conocimiento para responder a preguntas o para que esos conocimientos puedan ser aplicados en otras investigaciones”.

Según Hernández, R (2019), la investigación es descriptiva porque miden o recolectan datos y reportan información sobre las variables y dimensiones del problema a investigar y es no experimental porque se realiza sin manipular deliberadamente las

variables. Además, el estudio es retrospectivo ya que es un estudio longitudinal en el tiempo que se analiza en el presente, pero con datos del pasado.

Respecto al enfoque de la investigación es cualitativo pues de acuerdo a Hernández, R (2019), “el método de investigación cualitativa es la recogida de información basada en la observación de comportamientos naturales para la posterior interpretación de significados”.

La población estuvo constituida por todos los metales pesados presentes en los afluentes y efluentes de las plantas de agua potable y la muestra estuvo conformada por dos muestras compuestas por los tres metales pesados presentes en los afluentes (Manganeso, plomo y cadmio) y los cuatro metales más tóxicos presentes en los efluentes (Plomo, Arsénico, Cadmio y Mercurio). Estas muestras se realizaron tanto en época de lluvia como de estiaje.

La técnica que se uso fue el análisis documental (tipo de indagación basado en la revisión de documentos escritos que guardan relación con la concentración de metales pesados en las plantas de agua potable). Para la recolección de datos mediante el análisis documental se empleó como instrumentos:

- **Las fichas de contenido (o de trabajo):** Estas permiten conservar los datos que se van obteniendo de una manera organizada y visible. Estas fichas consisten en hojas donde se anotan tanto la información encontrada en los documentos como los comentarios y argumentos producto de su lectura.

- **Fichas bibliográficas:** Estas contienen los datos bibliográficos de las fuentes documentales (datos de libros). En esta unidad de registro se anotan los diversos elementos que identifican los documentos.
- **Registro de páginas electrónicas provenientes de internet:** Este registro contiene la descripción detallada del contenido de la página y la dirección de acceso a la base electrónica de datos.

El presente estudio es de autoría propia, para su elaboración se consultó diferentes fuentes biográficas las cuales están debidamente citadas y referenciadas en formato APA 7ma edición.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las concentraciones de los metales pesados evaluados durante el periodo de investigación realizado.

Tabla 1

Determinación de metales pesado Estación N° 01. Espinar – Época de estiaje

Determinación	Unidad	Set 20	Nov 20	Dic 20	Ene 21	Feb. 21	LMP
Plomo	Ppm	0.00800	0.02200	0.01500	0.01200	0.01800	0.010
Cobre	Ppm	0.02300	0.01800	0.01500	0.07600	0.10500	0.200
Mercurio	Ppm	0.00480	0.00013	0.00008	0.00007	0.00010	0.001
Arsénico	Ppm	0.00051	0.00071	0.00058	0.00023	0.00123	0.010
Hierro	Ppm	0.03300	0.02700	0.02200	0.02700	0.08345	1.000

NOTA: Reproducido de La Organización Mundial de la Salud (23 de agosto del 2019). Intoxicación por Plomo y Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.

Para (Orozco, et al. 2018). los metales pesados son elementos químicos de al menos 5 veces mayor que la del agua. La gravedad específica del agua es de 1 a 4 g/cm³. Algunos metales tóxicos conocidos con una gravedad específica 5 o más veces mayores que las del agua son: El cadmio (8,65), plomo (11,34) y el mercurio (13,546). Asimismo, son elementos químicos con una densidad superior a 6,0 g/cm³, aproximadamente.

Según los autores, los metales pesados son de toxicidad extrema y como ciertos compuestos, son solubles en agua y el organismo los absorbe con facilidad. De acuerdo a Lozano, F., & Hernán, H. (2016)., hasta dosis muy pequeñas producen consecuencias fisiológicas o neuronales graves. Además, para el autor, son una amenaza para la salud humana y son acumulados en los ecosistemas. Es del caso mencionar la siguiente afirmación: “Niveles altos son cancerígenos, se acumulan en la sangre. También eliminan

la vida acuática, matando o esterilizando las poblaciones” Lozano, F., & Hernán, H. (2016).

Tabla 2

Determinación de metales pesados Estación N° 02. Peña Blanca II - Época de estiaje

Determinación	Unidad	Set 20	Nov 20	Dic 20	Ene 21	Feb 21	LMP
Plomo	Ppm	0.02300	0.04800	0.01900	0.01400	0.02400	0.010
Cobre	Ppm	0.04300	0.02400	0.03400	0.09600	0.17400	0.200
Mercurio	Ppm	0.00061	0.00021	0.00009	0.00007	0.00011	0.001
Arsénico	Ppm	0.00063	0.00242	0.00212	0.00084	0.00312	0.010
Hierro	Ppm	0.02500	0.09800	0.08700	0.05800	0.09650	1.000

NOTA: Reproducido de La Organización Mundial de la Salud (23 de agosto del 2019). Intoxicación por Plomo y Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.

(Orozco, et al. 2018), afirman que la mayoría de los metales pesados son elementos químicos que presentan una densidad alta, son tóxicos en concentraciones pequeñas. Sin embargo, sostienen que algunos metales pesados son esenciales para la vida y otros son beneficios, pero muchos son altamente tóxicos, aquí se encuentra incluidos el Al, Ar, Be, Bi, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, Sr, Sn, Ti y el Zn.

Lozano, F., & Hernán, H. (2016)., demostró que los metales pesados no son biodegradables. Si bien algunos como Fe, Cu, Zn, Co, son esenciales para la vida humana, como oligoelementos; la concentración de estos por sobre límites permisibles, los hace altamente tóxicos.

Por otro lado, Lozano, F., & Hernán, H. (2016)., establece que los metales pesados presentes en agua son varias y habitualmente contaminan masas de agua por la actividad humana, causando problemas al ambiente y la población. Las aguas procedentes de las industrias como; la minería de recubrimientos metálicos, fundidoras y entre otras, contaminan el agua con diversos metales. Por ejemplo, las sales de metales como el zinc, mercurio, plata y cadmio, son estrechamente tóxicas para la flora, fauna terrestres y acuáticas se ha confirmado además que los metales pesados más peligrosos son el Pb, Hg, As, Cd, Sn, Cr, Zn y Cu.

Finalmente, el autor nombrado instituye que la contaminación por metales pesados, puede llegar a afectar a todo tipo de ecosistemas acuáticos, debido a su permanencia en el medio natural tras el vertido. Pueden alcanzar acuíferos por infiltración de estos compuestos, dependiendo en muchos casos de factores como el pH del medio o del propio vertido, como también pueden alcanzar zonas húmedas o lagunas por escorrentía o incluso por la alimentación desde acuíferos o ríos. La presencia de metales pesados en el agua va a condicionar su uso; Así, se puede ver afectada su utilización como captación de agua de abastecimiento, limitando recursos hídricos.

Tabla 3

Determinación de metales pesados Estación N° 03 – Huaylla I - Época de avenida

Determinación	Unidad	Set 20	Nov 20	Dic 20	Ene 21	Feb 21	LMP
Plomo	Ppm	0.04200	0.05300	0.02800	0.01600	0.04300	0.010
Cobre	Ppm	0.09600	0.07800	0.07300	0.14300	0.23300	0.200
Mercurio	Ppm	0.00075	0.00028	0.00012	0.00009	0.00017	0.001
Arsénico	Ppm	0.00145	0.00782	0.00649	0.00131	0.00671	0.010

Determinación	Unidad	Set 20	Nov 20	Dic 20	Ene 21	Feb 21	LMP
Hierro	Ppm	0.02200	0.12200	0.11400	0.11200	1.12200	1.000

NOTA: Reproducido de La Organización Mundial de la Salud (23 de agosto del 2019). Intoxicación por Plomo y Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.

Para Vásquez Choque, M. (2017) al tratar los efectos del plomo sobre la salud manifiesta se absorbe por vía digestiva, respiratoria e incluso por la piel. Sólo un porcentaje del total del Pb ingerido por vía gastrointestinal es absorbido entre el 10 y 15% en adultos, el 50% en niños, la absorción de plomo aumenta cuando el aporte de minerales y proteínas en la dieta es inadecuado, así aquellos con deficiencia de hierro, calcio o zinc están en mayor riesgo de toxicidad.

La neuropatía por plomo según la institución de salud, se produce por toxicidad de las neuronas motrices de la asta anterior de la medula espinal o degeneración de las terminaciones axónicas y el recubrimiento de la mielina. La vida media del plomo en sangre es aproximadamente 30 días, y se distribuye en todos los tejidos teniendo afinidad por el sistema nervioso central, en especial por el que se encuentra en desarrollo, se acumula principalmente en los huesos donde puede permanecer hasta 20 años donde puede ser removido como sucede en la lactancia. Sempértegui Soriano, C. O., Ambrocio Sernaque, B. L., & Rudas Cabrera, C. A. (2019)

Tabla 4

Determinación de metales pesados Estación N° 04. Huaylla I - Época de avenida

Determinación	Unidad	Set 20	Nov 20	Dic 20	Ene 21	Feb 21	LMP
Plomo	Ppm	0.06600	0.05800	0.04400	0.03800	0.07400	0.010
Cobre	Ppm	0.10800	0.09300	0.07800	0.19300	0.25300	0.200
Mercurio	Ppm	0.00073	0.00033	0.00015	0.00012	0.00022	0.001
Arsénico	Ppm	0.00231	0.01047	0.01127	0.00272	0.00984	0.010
Hierro	Ppm	0.02700	0.18700	0.16500	0.15700	1.17100	0.100

NOTA: Reproducido de La Organización Mundial de la Salud (23 de agosto del 2019). Intoxicación por Plomo y Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.

Generalmente el agua no contiene plomo a su salida de las plantas de tratamiento; el líquido recibe estas partículas al pasar por las líneas de servicio y las tuberías que conectan a las viviendas, al igual que por puntos donde se utilizó soldadura con dicho elemento. Desde 1975, las tuberías de plomo se prohibieron en Canadá; en 1986 le llegó el turno a la soldadura. Asimismo, las regulaciones federales se volvieron más estrictas en 2013 respecto a grifos y otros accesorios. El equipo de investigación constató que varios municipios no sabían con precisión cuántas líneas de distribución tenían dentro de su territorio. En 2017, un comité del Parlamento canadiense determinó que al menos 500.000 hogares del país tenían aún tuberías de plomo.

Resultados de diversos estudios realizados

De acuerdo a la descripción de los resultados de los rasgos más característicos de la concentración de metales pesados como el magnesio, plomo y cadmio e implicaciones para la salud y el ambiente en los afluentes de las plantas de agua potable en algunos países del

mundo, se pudo determinar que en lo referente a la salud, la OMS (2019) sostiene que el agua potable en China, India y Colombia, entre otros países, contiene entre 1 y 5 mg/litro de magnesio, superior al límite promedio permisible que es de 0.06 mg/litro, lo cual contiene bacterias activas o condiciones reductivas.

Sin embargo, según Castro, M. (2016), el magnesio no presenta riesgos para la salud en las concentraciones en las que se encuentra en la planta de agua potable, pero se ha descubierto que beber agua con altos niveles de magnesio puede dañar el desarrollo del cerebro en bebés y niños pequeños, afectando la memoria, atención o problemas motores. Esto significa que el magnesio se absorbe más fácilmente en el cuerpo a través del agua potable. Es decir, en aguas potables, pequeñas cantidades de este metal pesado, aproximadamente menores a 0,2 mg/L propician la vida de bacterias manganésicas en la red de aguas, lo que acarrea problemas de color, turbidez y mal sabor en el agua consumida.

En Colombia, los efectos sobre la salud de la presencia de magnesio en agua es que no se conocen casos de envenenamiento por magnesio en ese país. No obstante, con grandes dosis de magnesio se producen vómitos y diarrea. Las altas dosis de magnesio en agua pueden causar distensiones musculares, problemas nerviosos, depresiones y cambios de personalidad. Como se mencionó anteriormente, no es frecuente introducir límites legales de magnesio en agua potable, ya que no hay una evidencia científica de la toxicidad del magnesio. Equipo técnico Regional de Agua y Saneamiento (ETRAS) OMS/OPS (2016).

En el caso del plomo y cadmio, el Equipo técnico Regional de Agua y Saneamiento (ETRAS) OMS/OPS (2016). señala que:

Canadá, China, India y Colombia, revelan cantidades de estos metales pesados superiores a las recomendadas en la salud y medio ambiente. En Canadá, según el informe realizado por el Ministerio de Salud en 2019, informa que miles de hogares canadienses reciben agua con peligros niveles de plomo adoptándose para ello el cambio de las tuberías y el uso de filtros. Pero el gran problema de este país radica en que no tiene un estándar nacional sobre la calidad d agua potable a diferencia de otros países desarrollados.

En China, el Ministerio de Protección del Ambiente y el Ministerio de Recursos de la Tierra, afirman que el 20% de las tierras cultivables se encuentran afectadas por presencia de metales pesados como el plomo y cadmio, perjudicando drásticamente la producción de arroz, lo cual motivó evaluar la contaminación en las aguas de estos metales.

En India, el incremento en las concentraciones de metales como el plomo y el cadmio está orientado a la contaminación del agua para uso humano y animal, en Colombia en cambio, se presenta contaminación de metales pesados en el agua como resultado de la agroindustria y actividad minera. Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jimenez, E. E. G. (2016). sostienen que las enfermedades transmitidas por el agua, son enfermedades provocadas por el consumo del agua contaminada con restos fecales de humanos o animales (microorganismos patogénicos) y de metales pesados como el plomo y el cadmio.

Por otro lado, según la descripción de los resultados de los rasgos más característicos de la concentración de metales pesados como el arsénico y el mercurio e implicaciones para la salud y el ambiente en los efluentes de las plantas de agua potable en algunos países

del mundo, se pudo establecer que en China el 70% del recurso hídrico del país está severamente contaminada por metales pesados como el mercurio y arsénico. Según Mendoza, O., Sánchez, E (2017), en países como México, Argentina, Chile, el Salvador, Nicaragua, Perú y Bolivia, cerca de cuatro millones de personas consumen aguas contaminadas por arsénico. En México, por ejemplo, permite una concentración de arsénico de 0,025mg/L, mientras que otros países aceptan un índice máximo extremadamente elevado de 0,5mg/L.

En el caso del arsénico, los efectos tóxicos del arsénico en la salud son: la generación de lesiones cutáneas, neuropatía periférica, síntomas gastrointestinales, diabetes, problemas renales, enfermedades cardiovasculares y el cáncer. (OEFA, 2014).

En cuanto a la presencia de mercurio en agua potable, Mendoza, O., Sánchez, E (2017), sostienen que por sí mismo no es dañino para la salud, lo grave afirman ocurre cuando los niveles de mercurio aumentan y sobrepasan lo aceptable para consumo humano o cuando el mercurio sufre alteraciones, En ese caso, las personas que consumen agua que contenga mercurio quedan expuestas a sufrir severos riesgos de intoxicación. En tal sentido, el nivel excesivo de mercurio en el agua, especialmente en su variante de metilmercurio puede ocasionar problemas de salud como: daño a pulmones, daño en los tejidos mucosos del cuerpo, lesiones en la piel, alteraciones en el sistema nervioso y lesiones en los órganos digestivos y renales.

De otra parte, para examinar mediante un análisis comparativo acerca de la variación espacio-temporal de la concentración de metales pesados en el agua potable del Perú, según investigaciones realizadas en los últimos cinco años, durante épocas de estiaje y

avenidas, podemos citar a dos de los más relevantes, por cuanto son los que presentan mayor información sobre un lugar específico y además, sus resultados mostrados se contraponen con la realidad objetiva.

De acuerdo a la recolección de la información proporcionado por las investigaciones de Cieza Ruiz, R. (2017), se encontró que la concentración de metales pesados encontrados (Mercurio, Cadmio, Cromo, Arsénico y Plomo) en los afluentes de la planta de agua potable en época de estiaje no varían con el tiempo, y sobre todo, se señala que están por debajo de los estándares de calidad planteados por las normas ambientales nacionales (ECAS y los LMP); sin embargo, hay que considerar de acuerdo a la propia investigación y la teoría, que las aguas subterráneas como la de los manantiales, así como de las superficiales que abastecen de agua a la zona urbana de Hualgayoc, habitualmente no están salvaguardadas ni tampoco libre de microorganismos expuestas a todo tipo de contaminación del agua (caracteres organolépticos y fisicoquímicos).

De otra parte, conforme a los reportes de investigación de Afan Rojas, K. (2018), de las 15 muestras tomadas de los efluentes de la planta de agua potable en época de lluvias se encontró que la concentración de metales pesados encontrados (Arsénico y Plomo) en 4 de ellas si superaron el límite máximo. La diferencia de los resultados según los autores se debería a las particularidades de cada zona de estudio como las fuentes de contaminación y la composición química del suelo, pues se afirma que Hualgayoc se caracteriza por tener un suelo con altas concentraciones de arsénico. Por lo que contrastando estos resultados con estudios posteriores al parecer concuerdan, pues según ellos la presencia de arsénico, así como de otros metales son fuente de contaminación no solo por las compañías de

exploración minera, sino por el material de los grifos y cañerías que contienen pequeñas cantidades y que están en contacto constante con el agua. Rojas Huamán, O. J. (2019).

Con respecto al plomo, Afan Rojas, K. (2018), nos indican que todas las muestras superaron el Límite Máximo Permisible dado por la DIGESA (0.010 mg/L), demostrando que una de las fuentes potenciales de contaminación del agua potable se debe a la tubería antigua que contiene plomo. Sin embargo, encontramos en dicho estudio limitaciones metodológicas ya que se circunscribe solo a dos metales pesados (Plomo y Arsénico) y a tan solo tres meses de análisis.

Relacionando los resultados de las investigaciones realizadas durante épocas de estiaje y lluvias por Cieza Ruiz, R. (2017), respectivamente, acerca de la variación espacio-temporal de la concentración de metales pesados específicos del agua potable en el distrito de Hualgayoc, mediante un análisis comparativo se puede establecer que ambos estudios no concuerdan con la realidad, pues en abril del 2018 una comisión del congreso realizó una visita de fiscalización a la zona de Hualgayoc donde constataron la contaminación del agua para consumo humano denunciado por los ronderos del lugar. Para verificar la calidad del agua representantes del Instituto Nacional de Salud y la DIGESA detectaron la presencia de Plomo, Cadmio y Arsénico en el agua que la población consume, así como, más del 50% de las 362 sometidas a examen presentaron Arsénico en el cuerpo.

En cuanto a nuestra hipótesis planteada respecto a que existe concentración de metales pesados en los afluentes y efluentes de la planta de tratamiento de agua potable, que pueden repercutir negativamente en la calidad de agua en el distrito de Hualgayoc,

Cajamarca 2019, por las consideraciones expuestas anteriormente vemos que si cumple. En consecuencia, responde a las preguntas de investigación.

En consecuencia, evidenciando las limitaciones de ambos estudios se diseña una estrategia para abordar la solución del problema de minimización de los riesgos para la salud pública y el ambiente por la contaminación de metales pesados en las plantas de agua potable del Perú.

Finalmente, la estrategia planteada para mejorar la calidad del agua contempla la finalidad, que consiste en establecer acciones intersectoriales por parte del gobierno central y a los gobiernos subnacionales en base al cumplimiento de los estándares de calidad sanitaria con referencia a Pb, Hg, Cr, Cd y As, aprobados en la legislación nacional vigente, y de esta manera evitar riesgos para la salud pública por el consumo de agua con estos contaminantes, así como sus objetivos y acciones estratégicas a mediano plazo, los cuales de implementarse se podría mejorar y hacer más eficiente: el manejo integral de los recursos hídricos; de su captación, tratamiento y distribución a los consumidores y sobre todo, de contar con información confiable, cierta y oportuna.

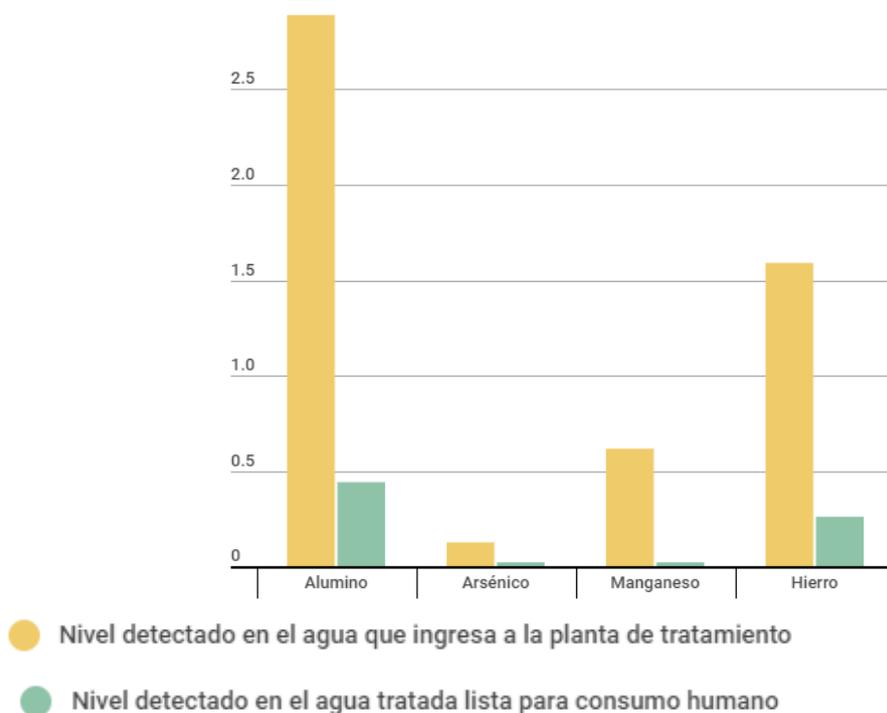
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

En el caso del aluminio, el límite máximo permitido en Perú es de 0,2 mg/L según el Reglamento de calidad del agua para consumo humano, y de 0,1 mg/L, según los estándares de la OMS; pero en 8 muestras se hallaron hasta 2,89 mg/L.

Figura 1.

Minerales que superan el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en agua de Espinar.



NOTA: El gráfico incluye datos del Informe de la Red de Salud Canas Canchis Espinar, 2013

https://www.minam.gob.pe/espinar/wp-content/uploads/sites/14/2013/10/Informe_aprobado.pdf

Las 45 muestras recogidas por la DIGESA no fueron las únicas incluidas en el informe. En el documento también se indica que en junio de 2017 la Municipalidad Provincial de Espinar realizó la toma de otras ocho muestras de agua en el ingreso de la planta de tratamiento Virgen de Chapi, que abastece a Espinar, y a la salida de cuatro

reservorios. El estudio estuvo a cargo del laboratorio BHIOS, acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). El informe evidencia la presencia de estos metales en 17 muestras tomadas del río Apurímac, en canales de ingreso a la planta y los resultados de la muestra tomada al ingreso de la planta de tratamiento Virgen de Chapis halló una concentración de arsénico de 0,12471 mg/L, 12 veces más que el máximo permitido. Del análisis de los resultados se concluye que el agua que distribuye la planta de tratamiento entregada en noviembre del 2015 por la compañía minera Antapaccay, no funciona adecuadamente. (Cárdenas y Merma 2018).

En el reporte de la DIGESA se lee "los parámetros de aluminio, arsénico, hierro y manganeso, exceden los límites máximos permisibles por lo que es de preocupación, ya que su ingesta podría ocasionar algún daño a la salud e incrementar la anemia y desnutrición crónica en niños menores de cinco años". Espinar es una de las provincias más pobres de Cusco. El porcentaje de anemia en la provincia de Espinar es de 65% en el 2017, según el Sistema de Información del Estado Nutricional (SIEM). (Cárdenas y Merma 2018).

De acuerdo al Censo realizado en 2017, el 60% de las viviendas en Espinar cuenta con agua potable, pero no disponen del servicio las 24 horas del día. Otra cifra señala que el 30% de las viviendas consume agua directamente de pozos, puquio o lagunas, vale decir, agua sin tratar. (Cárdenas y Merma 2018).

En la tabla 5 se muestran los valores mínimos, máximos y el promedio de los parámetros de calidad de agua evaluados por Cieza Ruiz, R. (2017), en la época de estiaje (meses de junio, julio y agosto de 2017), donde puede observarse que los valores

mínimos, máximos y el promedio de pH, así como de la temperatura, turbiedad y la conductividad están superando el valor permitido de los ECAS para agua categoría 1A-D. S. N° 004-2017-MINAM.

Tabla 5

Valores promedio de los parámetros evaluados en agua potable en época de estiaje.

Parámetros	Unidades	Valores mínimos	Valores máximos	Promedio	ECA Categoría 1A
pH	Unidades	7,7	9,8	8,75	6.5-8.5
Temperatura	°C	3,58	10,6	6,19	<6
Conductividad	µs/cm	372	380	376	<1,500
Oxígeno disuelto					
Turbiedad	NTU	2,6	2,8	2,7	<5
Caudal	l/seg	2,4	2,6	2,5	

Nota: Elaboración del investigador en base a los resultados de Cieza Ruiz, R. (2017).

En la tabla 6 se muestran los valores mínimos, máximos y el promedio de los parámetros de calidad de agua evaluados por Afan Rojas, K. (2018), en la época de lluvias (meses de setiembre, octubre y noviembre de 2017), donde no se observan valores que superen los ECAS para agua categoría 1A permitidos. Sin embargo, si se nota una diferencia con relación a la época anterior, pues en época de avenida o lluvias se normaliza el pH, aumenta la temperatura y turbiedad y se duplica el caudal.

Tabla 6

Valores promedio de los parámetros evaluados en agua potable en época de lluvias.

Parámetros	Unidades	Valores mínimos	Valores máximos	Promedio	ECA Categoría 1A
pH	Unidades	6,4	8,6	7,5	6.5-8.5
Temperatura	°C	4,6	11,6	8,1	<6
Conductividad	µs/cm	450	530	490	<1,500

Parámetros	Unidades	Valores mínimos	Valores máximos	Promedio	ECA Categoría 1A
Oxígeno disuelto					
Turbiedad	NTU	3,6	4,8	4,2	<5
Caudal	L/s	4,8	5,20	5,0	

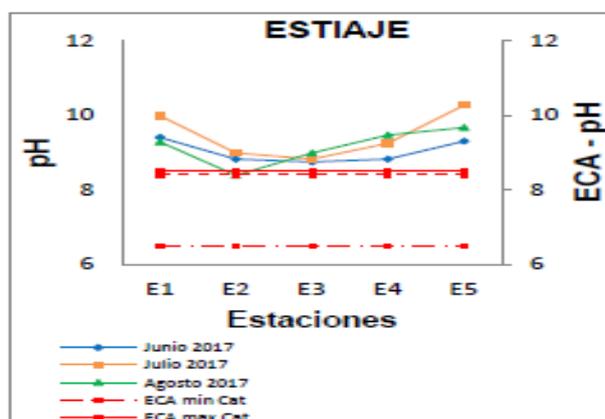
Nota: Elaboración del investigador en base a los resultados de Afan Rojas, K. (2018)

Variación de pH en época de estiaje y avenida

En la figura 2 se observa la variación de pH en época de estiaje, todas las estaciones en todos los meses a excepción de la estación 2 (Peña Blanca II) en el mes de agosto, sus valores se encuentran fuera del rango del ECA Categoría 1A. El valor promedio de pH es 8,75 unidades.

Figura 2.

Variación de pH en época de estiaje.



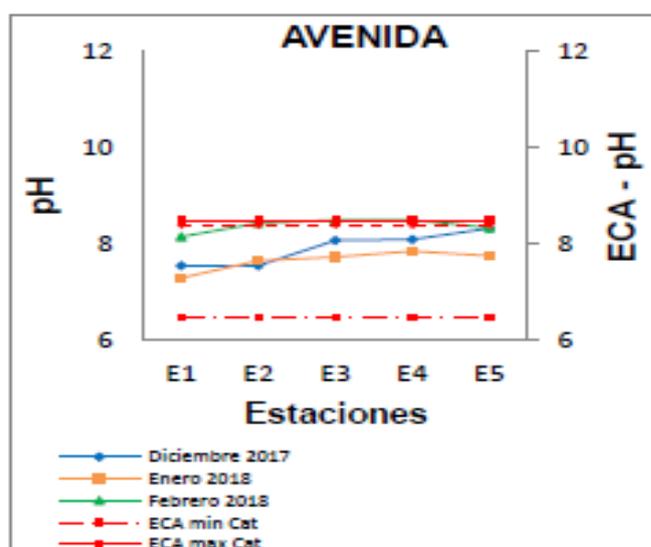
Nota: La figura muestra la variación del pH en época de estiaje. Fuente: Cieza Ruiz, R. (2017).

En la figura 3, se observa en la época de avenida que las estaciones 2 (Peña Blanca), 3 (Huaylla I) y 4 (Huaylla II) en el mes de febrero, los valores de pH se encuentran fuera del rango del ECA Categoría 1A. El valor promedio de pH es 7,5. En la época de estiaje se registró un pH muy alcalino en todas las estaciones, esto se debería a

las características geológicas de la zona (rocas calizas). Estos resultados son corroborados por Afan Rojas, K. (2018), quienes refieren que la tendencia hacia la alcalinidad estaría relacionada con las condiciones edáficas por la que atraviesa la corriente. Sin embargo, en la época de avenida que reciben una precipitación abundante, la mayoría de los carbonatos expuestos y disponibles se han disuelto y han sido lavados a lo largo del tiempo.

Figura 3.

Variación de pH en época de avenida.



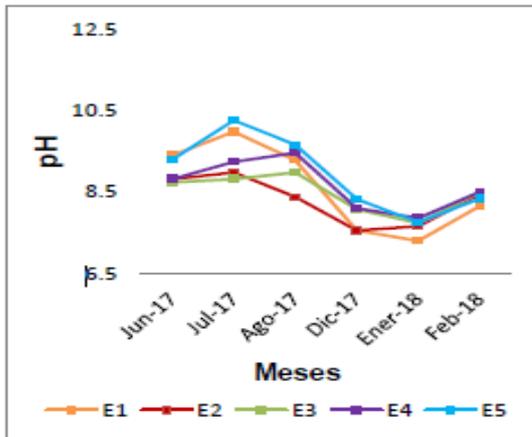
Nota: La figura muestra la variación del pH en época de avenida. Fuente: Afan Rojas, K. (2018).

Por otro lado, el aporte de ácidos que naturalmente pueden acceder a un medio hídrico por arrastre en época de avenida podría edificarlo; por ejemplo, los ácidos húmicos (ácidos débiles) provenientes de la mineralización de la materia orgánica.

En la figura 4, se observa como varia cada estación con referente al pH en los meses evaluados.

Figura 4.

Variación de pH vs. estaciones en el tiempo.



Nota: Elaboración por el investigador en base a los resultados de Cieza Ruiz, R. (2017).

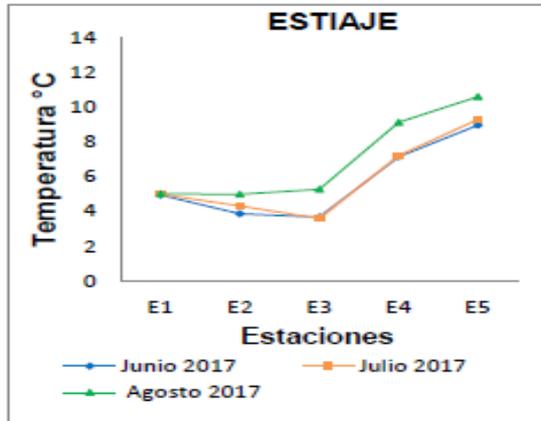
De acuerdo a la figura 3 se evidenció un mayor aumento en la estación 5 (Huaylla III) en todos los meses evaluados, dicha estación se encuentra en la parte alta de la microcuenca en donde existe presencia de vegetación.

Variación de temperatura en época de estiaje y avenida

En las Figuras 5 y 6 se muestran los valores de la temperatura referente a las estaciones en las diferentes épocas, se observa que el valor promedio de la temperatura en época de estiaje es 6.19°C y en época de avenida es 8.1°C, quiere decir que no se ha tenido variaciones bruscas de temperatura en las dos épocas del año. Igualmente se observa en las mismas figuras, que la temperatura tiene un incremento natural con el aumento de la altitud y la hora del día en que se tomaron las muestras, las estaciones se midieron a la misma hora todos los meses, se inició con la estación (parte baja) a las 6 am y se concluyó a las 12 pm con la estación 5 (parte alta) teniendo en cuenta la radiación solar y la temperatura ambiental que aumentaba en el transcurso del monitoreo.

Figura 5.

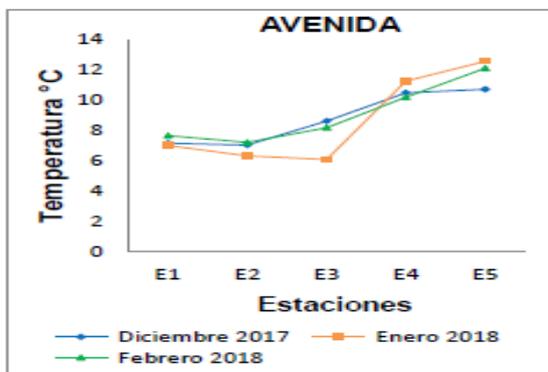
Variación de temperatura en época de estiaje.



Nota: La imagen muestra la variación de temperatura en la época de estiaje. Fuente: Cieza Ruiz, R. (2017).

Figura 6.

Variación de temperatura en época de avenida.



Nota: La imagen muestra la variación de la temperatura en época de avenida. Fuente: Afan Rojas, K. (2018).

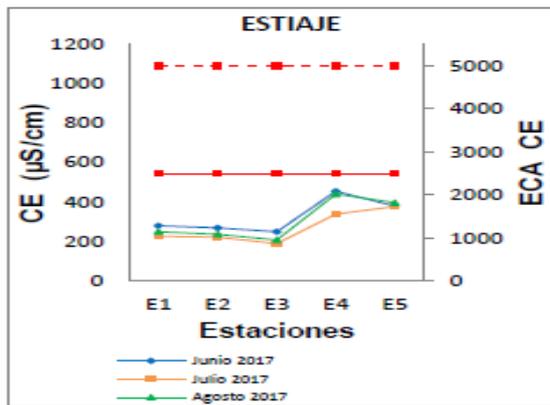
Como puede apreciarse en ambas figuras, la temperatura es mayor en época de avenida que estiaje, diferenciándose en más de 1°C, corroborando lo descrito por la investigación de Cieza Ruiz, R. (2017), quienes mencionan que estas diferencias pueden ser atribuidas a muchos factores al momento de los muestreos, por ejemplo, la diferencia de tiempos meteorológicos, y por ende las diferencias de radiación solar y temperatura ambiental.

En las Figuras 7 y 8 se muestran los valores de la conductividad eléctrica en las cinco estaciones de muestreo en época de estiaje y avenida. En ambas épocas, los valores de conductividad eléctrica (CE) se encuentran de acuerdo a los valores del ECA-agua Categoría 1A.

En época de estiaje el valor promedio de la CE es 376 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en época de avenida es 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Figura 7.

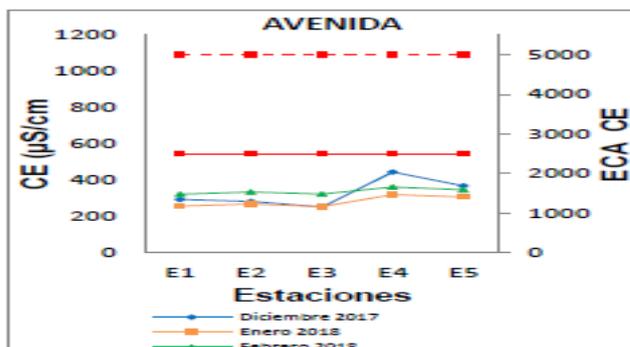
Variación de CE en época de estiaje.



Nota: La imagen muestra la variación de la CE en época de estiaje. Fuente Cieza Ruiz, R. (2017).

Figura 8.

Variación de CE en época de avenida.



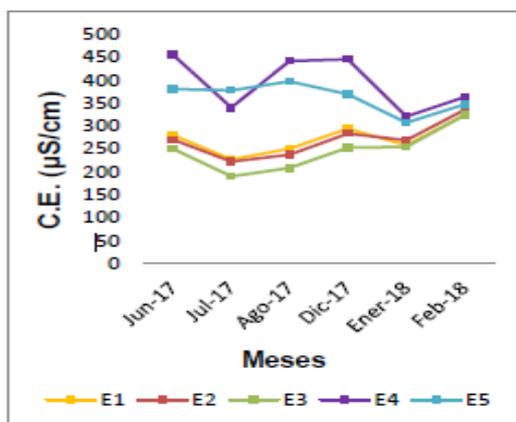
Nota: La imagen muestra la variación de la CE en época de avenida. Fuente: Afan Rojas, K. (2018).

En las figuras 7 y 8 se muestran la misma tendencia a lo largo de la zona en estudio. En las partes altas se inicia con concentraciones mayores, a medida que avanza cuesta abajo se nota una disminución de las concentraciones, siendo mayor durante la época de avenida o época lluviosa por efecto de las precipitaciones de esta época. La escorrentía causada por las lluvias arrastra consigo las sales del suelo como el magnesio, calcio, sodio y potasio que son estos minerales los que conducen mejor la electricidad, llegando al río. Cieza Ruiz, R. (2017), afirma que los niveles de menor conductividad se dan durante la época de estiaje, el agua recibe menos minerales porque las lluvias son escasas y el agua solo corre a lo largo de su lecho produciendo una baja conductividad.

De otra parte, en la figura 9 se observa como varía cada estación con referente a la CE en los meses evaluados. Por consiguiente, en las partes altas las estaciones 4 (Huaylla II) y 5 (Huaylla III), tienen una mayor conductividad en comparación a las demás estaciones en todos los meses evaluados, así como se observa una relación entre la conductividad y la temperatura con respecto a la elevación, pues según lo observado por Cieza Ruiz, R. (2017), quienes refieren que la CE puede ser afectada por la temperatura o el material de composición del lecho de los afluentes y, que un aumento de temperatura puede causar un aumento de iones en disolución, debido a la disociación de moléculas.

Figura 9.

Variación de CE vs. estaciones en el tiempo.



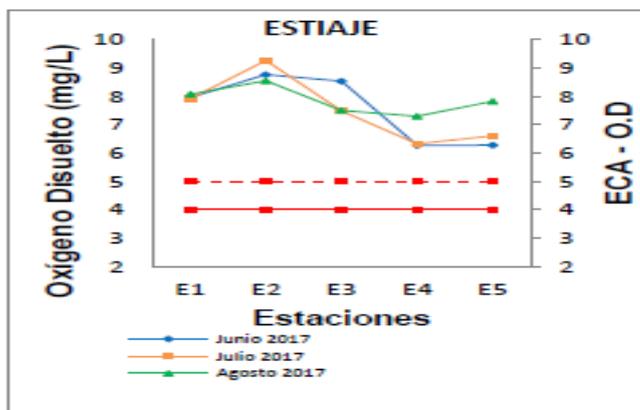
Nota: La imagen muestra la variación de la CE vs. las estaciones en el tiempo. Fuente Cieza Ruiz, R. (2017).

En los resultados de laboratorio encontrados por Cieza Ruiz, R. (2017), se evidenció una mayor concentración de Magnesio y Bario en las partes altas, las cuales serían causa probable de una mayor conductividad eléctrica, debido a la disolución de sales presentes en rocas calizas y diorita presentes en el recorrido de los afluentes.

En las figuras 10 y 11 se observa que, en todas las estaciones y épocas de muestreo, las concentraciones de Oxígeno Disuelto (OD) se encuentran de acuerdo a los valores del ECA categoría 1A. En época de estiaje el valor promedio fue de 7.78 mg/L y en época de lluvia o avenida 7.04 mg/L.

Figura 10.

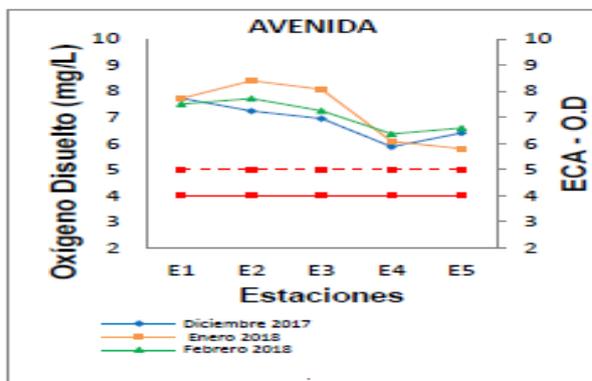
Variación de OD en época de estiaje.



Nota: la imagen muestra la variación del OD en época de estiaje. Fuente: Cieza Ruiz, R. (2017).

Figura 11.

Variación de OD en época de avenida.



Nota: la imagen muestra la variación del OD en época de avenida. Fuente: Afan Rojas, K. (2018).

En las figuras 10 y 11, se observa la misma tendencia a lo largo de la zona de estudio, en las partes altas se inicia con concentraciones menores y a medida que avanza se nota un aumento de las mismas, siendo mayor durante la época de estiaje.

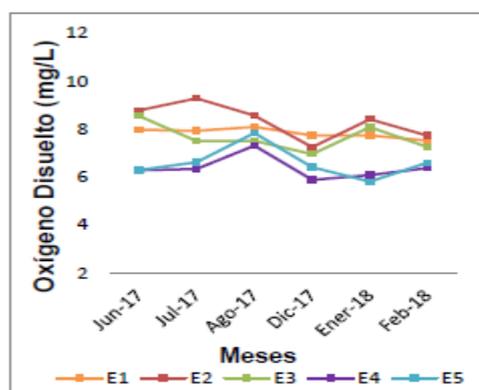
Los resultados obtenidos son corroborados por Cieza Ruiz, R. (2017), quienes señalan que los niveles de oxígeno disuelto son ligeramente mayores en la época de estiaje que en avenida. En forma similar, pero con resultados más marcados, Afan y Rojas.

(2018), describe que en estiaje el oxígeno disuelto es considerablemente mayor que en avenida, este resultado es atribuible a las formas vegetales fotosintéticas que oxigenan el agua y son más abundantes en época de estiaje.

En la figura 12, se observa como varia cada estación con referente al oxígeno disuelto en los meses evaluados.

Figura 12.

Variación de OD vs. estaciones en el tiempo.



Nota: La imagen muestra la variación de la OD vs. las estaciones en el tiempo. Fuente Cieza Ruiz, R. (2017).

Cabe resaltar que se encontraron condiciones bajas 4 (Huaylla II) y 5 (Huaylla III), como se mencionó anteriormente en estaciones aguas arriba la temperatura del agua es mayor y el contenido de OD estaría correlacionado negativamente con la temperatura, lo cual también es reportado por Cieza Ruiz, R. (2017), que afirma que a mayor temperatura menor será la cantidad de OD en el agua, debido a la liberación de éste al medio ambiente y la aceleración de los procesos biológicos que consumen OD. Por lo tanto, un aumento considerable de temperatura en el ambiente podría disminuir significativamente el oxígeno disuelto en un cuerpo de agua. En la estación 1 (Peña Blanca I) y 2 (Peña Blanca II) existe

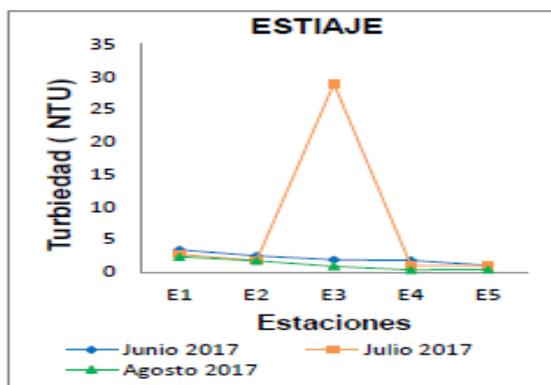
un aumento del oxígeno disuelto, probablemente por efecto del flujo turbulento de los afluentes.

En las figuras 13 y 14 se muestran los valores de la turbiedad en las estaciones de muestreo, en las diferentes épocas donde se puede observar que el valor promedio de turbiedad en época de estiaje es 2,7 NTU y en época de avenida es 4,2 NTU.

La variación de turbiedad en las figuras 13 y 14 corrobora la tendencia decreciente de la estación 1 (aguas abajo) a la estación 5 (aguas arriba), en esta última por ser cuenca alta se observó una disminución de la concentración de turbiedad en sus aguas. Cabe resaltar que en el mes de julio (época de estiaje) en la estación 3 se observó un aumento de turbiedad, debido que se estuvo realizando trabajos de limpieza en el cauce de los afluentes por parte de la municipalidad distrital de Hualgayoc, aguas arriba de dicha estación.

Figura 13.

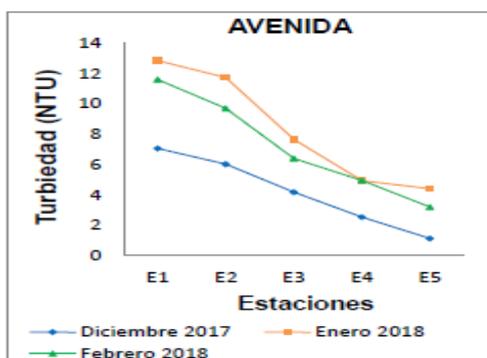
Variación de turbiedad en época de estiaje.



Nota: La imagen muestra la variación de turbiedad en época de estiaje. Fuente: Cieza Ruiz, R. (2017).

Figura 14.

Variación de la turbiedad en época de avenida.



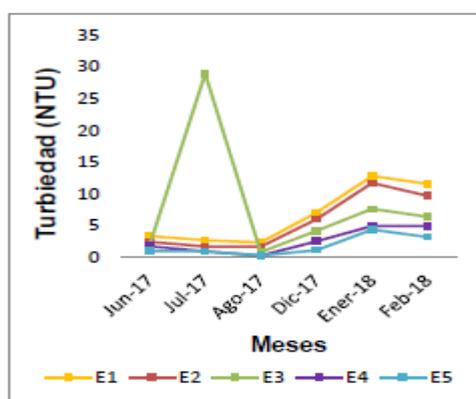
Nota: La imagen muestra la variación de turbiedad en época de avenida. Fuente: Afan Rojas, K. (2018).

De la figura 14 se desprende que mientras mayor sea el volumen del agua (época de avenida), mayor será su turbiedad, debido a las precipitaciones más abundantes que se dan en esta época, que arrastra minerales provenientes de los suelos y rocas, que en muchos casos se encuentran cubiertas de materia orgánica, estas conforman la mayor cantidad de sólidos totales suspendidos en las aguas superficiales.

En la figura 15, se observa como varía la turbiedad en cada estación con referente la turbiedad en los meses evaluados.

Figura 15.

Variación de turbiedad vs. estaciones en el tiempo.



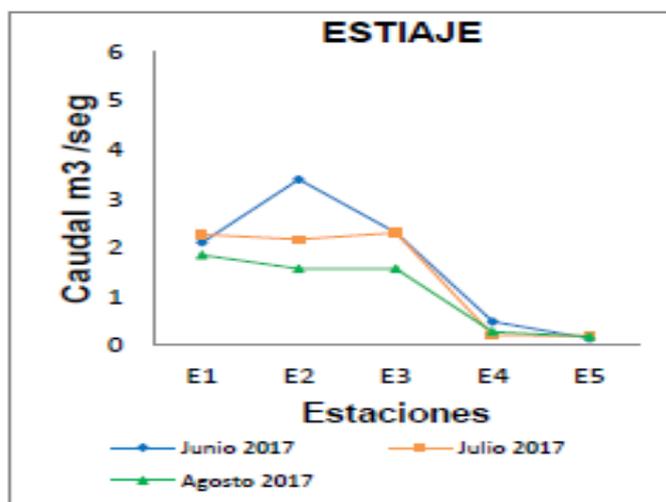
Nota: La figura muestra la variación de la turbiedad vs. las estaciones en el tiempo. Fuente: Cieza Ruiz, R. (2017).

De la figura 14 se observa que en la estación 1 (Peña Blanca I) y 2 (Peña Blanca II) existe un ligero aumento de turbiedad, siendo más notorio en la época de avenida, lo que puede originarse por el aporte de aguas residuales industriales de la Unidad Minera Gold Fields y aguas residuales domésticas de la comunidad El Tingo (sistema de tratamiento por infiltración, evidenciándose un sistema con falta de mantenimiento, inoperativo y colapsado), por lo que serían arrastrados a los afluentes conteniendo diferentes sustancias en suspensión.

En las figuras 16 y 17 se observan el caudal (L/s) en ambas épocas. En la época de estiaje el valor promedio que registró el caudal fue de 2,51 L/s y en avenida de 5 L/s.

Figura 16.

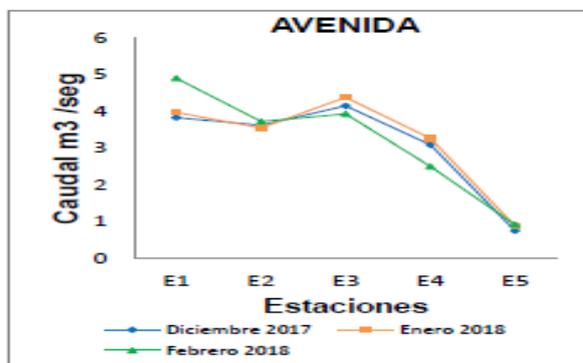
Variación de caudal en época de estiaje.



Nota: La figura muestra la variación del caudal en la época de estiaje. Fuente: Cieza Ruiz, R. (2017).

Figura 17.

Variación del caudal en época de avenida.



Nota: La figura muestra la variación del caudal en la época de avenida. Fuente: Afan Rojas, K. (2018).

En las figuras 16 y 17 la variación del caudal por épocas, es corroborado por la tendencia decreciente de la estación 1 (aguas abajo) a la estación 5 (aguas arriba), esto guarda relación con la precipitación promedio mensual de la región.

A continuación, en la tabla 7 se presenta la comparación de las concentraciones de los parámetros físico-químicos con variación en agua potable en épocas de estiaje y lluvias.

Tabla 7

Comparación de las concentraciones según los parámetros físico-químicos

	Normalidad-	T de Student	Mann-Whitney
pH	0.7554	5.892E-08*	-
Temperatura (°C)	0.2699	0.003277*	-
Conductividad	0.3232	0-5901	-
Oxígeno disuelto	0.2937	0.04106*	-
Turbiedad	0.000001875	-	0.000*
Caudal (m³/s)	0.0343	-	0.002*
Plomo	0.07055	0.1671	-
Arsénico	0.00000776	-	0.317

Fuente: Cieza Ruiz, R. (2017), como producto de la aplicación de la prueba t de Student y Mann-Whitney a un nivel de significación del 5%.

(*) Indica diferenciación significativas $p < 0.05$

(n.s.) Indica diferencias no significativas $p > 0.05$.

Se evaluó la normalidad de los indicadores físico-químicos del agua con Shapiro-Wilk. Se aplicó t de Student, a los indicadores fisicoquímico que presentan distribución normal y Mann-Whitney a los que no presentaron distribución normal, a fin de detectar diferencias significativas ($p < 0.05$) en las dos épocas de muestreo.

Según la comparación entre ambas épocas de muestreo se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para los indicadores pH, temperatura ($^{\circ}\text{C}$), oxígeno disuelto, turbiedad y caudal. Los indicadores conductividad eléctrica y metales pesados (Pb y As), no presentaron diferencias significativas.

Los resultados obtenidos se desarrollaron con el programa estadístico SPSS26, los cuales fueron sometidos a un análisis de correlación con el método de Pearson a un nivel de significancia de 0.01, en cada estación se hallaron las matrices de correlación de Pearson para cada época (estiaje y avenida).

En las figuras 18 y 19, se observan las matrices de correlación de Pearson de los promedios en ambas épocas (estiaje y avenida) de las 5 estaciones de muestreo. En la figura 18 se muestran los resultados del análisis de correlación de Pearson a un nivel de significancia de 0.01, entre 9 variables ordenadas de acuerdo a la clasificación propuesta: elevación y pendiente (fisiográficas), temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbiedad y caudal (físicoquímicas) y los metales pesados (Plomo y Arsénico); el valor y el color del cuadrante reflejan la fuerza de correlación, mostrando las correlaciones no significativas las celdas en color blanco.

Figura 18.

Correlación de Pearson. Promedio de la época de estiaje en la matriz de Pearson. Los índices de correlación de Pearson significativas corresponden a $p < 0.01$

	<i>Pendiente</i>	<i>pH</i>	<i>Temp.</i>	<i>Ce</i>	<i>Od</i>	<i>Turbiedad</i>	<i>Caudal</i>	<i>Pb</i>	<i>As</i>
<i>Elevación</i>	0.04	0.17	0.79	0.77	0.73	0.11	0.84	0.91	0.3
	<i>Pendiente</i>	0.05	0.02	0.04	0.03	0.16	0.01	0.8	0.04
		<i>pH</i>	0.67	0.57	0.72	0.52	0.59	0.7	0.72
			<i>Temp.</i>	0.96	0.9	0.56	0.98	0.6	0.5
				<i>Ce</i>	0.86	0.56	0.98	0.54	0.48
					<i>Od</i>	0.23	0.93	0.58	0.81
						<i>Turbiedad</i>	0.45	0.63	0.09
							<i>Caudal</i>	0.29	0.56
								<i>Pb</i>	0.6

En el primer grupo se analizan las correlaciones entre variables fisiográficas, físico-químicas y metales pesados, observándose correlaciones negativas entre la variable fisiográfica elevación respecto a los metales pesados Plomo $|r| \geq 0.8$, y Arsénico ≥ 0.3 ; así mismo, se observan correlaciones positivas con las variables físico-químicas temperatura, y conductividad eléctrica $|r| \geq 0.7$, y negativas con las variables oxígeno disuelto y caudal $|r| \geq 0.7$; la elevación no presenta correlación con el pH.

Entonces podemos inferir que, para la época de estiaje, si el curso de agua está a menor *elevación*, las concentraciones de Plomo se incrementarían y las concentraciones de Arsénico disminuiría, así mismo desciende la temperatura y conductividad eléctrica, y a su vez se incrementaría la concentración de oxígeno disuelto y el caudal.

No se hallan correlaciones entre la variable *pendiente*, variables físico-químicas y concentraciones de los metales pesados en agua.

En el segundo grupo se analizan las correlaciones entre variables físico-químicas tomadas *in situ* respecto a la concentración de metales pesados, donde:

Se observan correlaciones negativas entre **pH**, respecto a Arsénico $lrl \geq 0.5$ y correlaciones positivas con el metal pesado ≥ 0.3 , por otra parte, se observan correlaciones positivas con las variables físico-químicas temperatura y conductividad eléctrica $lrl \geq 0.5$, y negativas con las variables oxígeno disuelto, turbiedad y caudal $lrl \geq 0.5$.

De lo descrito podemos inferir la disminución del **pH** estaría asociado a un incremento del Plomo y una disminución de Arsénico; a su vez se encuentra relacionado con menor temperatura y conductividad eléctrica, y un incremento del oxígeno disuelto, turbiedad y caudal.

Asimismo, se observan correlaciones negativas entre **temperatura**, respecto al Plomo $lrl \geq 0.4$, correlaciones positivas altas con Arsénico $lrl \geq 0.9$; se observan correlaciones positivas con las variables físico-químicas conductividad eléctrica $lrl \geq 0.9$ y pH $lrl \geq 0.5$, y negativas con las variables oxígeno disuelto, caudal $lrl \geq 0.9$ y turbiedad $lrl \geq 0.5$.

De lo descrito podemos inferir la disminución de **temperatura**, está asociado a un incremento del Pb y una disminución del As, a su vez se encuentra relacionado con menor conductividad eléctrica y pH, y un incremento del oxígeno disuelto, turbiedad y caudal.

La **conductividad eléctrica** presenta correlaciones negativas respecto al Arsénico $lrl \geq 0.4$, correlaciones positivas altas con el Pb $lrl \geq 0.9$; se observan correlaciones negativas con las variables fisicoquímicas oxígeno disuelto, caudal $lrl \geq 0.8$ y turbiedad $lrl \geq 0.5$, y positivas con las variables de temperatura y pH $lrl \geq 0.5$.

De lo descrito podemos inferir la disminución de la **conductividad eléctrica** está asociado a un incremento de Arsénico y una disminución de Plomo; a su vez se encuentra relacionado con un incremento de oxígeno disuelto, turbiedad y caudal, y a una baja temperatura y conductividad eléctrica.

El **oxígeno disuelto** presenta correlaciones negativas altas respecto al plomo $r_{l} \geq 0.9$; correlaciones positivas altas en Arsénico $r_{l} \geq 0.8$. No presenta correlación con Plomo, así mismo se observan correlaciones positivas con las variables fisicoquímicas turbiedad $r_{l} \geq 0.2$ y caudal $r_{l} \geq 0.9$, y negativas con las variables de pH, conductividad eléctrica y temperatura $r_{l} \geq 0.7$.

De lo descrito podemos inferir la disminución de **oxígeno disuelto**, está asociado a un incremento de Plomo, y una disminución de Arsénico; a su vez se encuentra relacionado a una baja turbiedad y caudal, y un aumento de pH, conductividad eléctrica y temperatura.

La **turbiedad** presenta correlaciones negativas media respecto a Plomo $r_{l} \geq 0.3$; correlaciones positivas altas Arsénico $r_{l} \geq 0.8$, así mismo se observan correlaciones positivas con las variables fisicoquímicas caudal $r_{l} \geq 0.4$ y oxígeno disuelto $r_{l} \geq 0.2$ y, negativas con las variables de pH temperatura y conductividad eléctrica $r_{l} \geq 0.5$.

De lo descrito podemos inferir la disminución de la **turbiedad** está asociado a un incremento de Plomo y a una disminución de Arsénico; a su vez se encuentra relacionado con un menor caudal y oxígeno disuelto, y un incremento de pH, temperatura y conductividad eléctrica.

El *caudal* respecto a Plomo y Arsénico $r \geq 0.9$, siendo altas para Arsénico $r \geq 0.8$, así mismo se observan correlaciones positivas entre turbiedad $r \geq 0.4$ y oxígeno disuelto $r \geq 0.9$, y negativas con las variables de pH $r \geq 0.4$, conductividad eléctrica y temperatura $r \geq 0.9$.

De lo descrito podemos inferir la disminución del *caudal* está asociado a un incremento de Plomo, y a una disminución de Arsénico; a su vez se encuentra relacionado con menor turbiedad y oxígeno disuelto, y un incremento de pH, conductividad eléctrica y temperatura.

En el *tercer grupo* se analizan las correlaciones entre metales pesados, donde:

El arsénico y el Plomo se correlacionan positivamente entre sí.

Época de avenida

En la figura 19 se muestran los resultados del análisis de correlación de Pearson a un nivel de significancia de 0.01, entre 09 variables ordenadas de acuerdo a la clasificación propuesta: elevación y pendiente (fisiográficas), temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, turbiedad y caudal (físicoquímicas) y Plomo y Arsénico; el valor y el color del cuadrante reflejan la fuerza de correlación, mostrando las correlaciones no significativas las celdas en color blanco.

Figura 19.

Correlación de Pearson. Promedio de la época de estiaje en la matriz de Pearson. Los índices de correlación de Pearson significativas corresponden a $p < 0.01$

<i>Elevación</i>	<i>Pendiente</i>	<i>pH</i>	<i>Temp.</i>	<i>CE</i>	<i>OD</i>	<i>Turbiedad</i>	<i>Caudal</i>	<i>Pb</i>	<i>As</i>
	0.04	0.92	0.86	0.74	0.87	0.96	0.85	0.86	0.01
	<i>Pendiente</i>	0.08	0	0.05	0	0.06	0.01	0.5	0.02
		<i>pH</i>	0.71	0.63	0.75	0.92	0.59	0.7	0.72
			<i>Temp.</i>	0.96	0.9	0.56	0.96	0.4	0.3
				<i>CE</i>	0.93	0.91	0.85	0.44	0.58
					<i>OD</i>	0.23	0.97	0.68	0.61
						<i>Turbiedad</i>	0.89	0.863	0.54
							<i>Caudal</i>	0.86	0.46
								<i>Pb</i>	0.46

En el primer grupo se analizan las correlaciones entre variables fisiográficas, fisicoquímicas y metales totales, observándose correlaciones negativas entre la variable fisiográfica *elevación* respecto a los metales pesados Plomo $l_{rl} \geq 0.8$; y correlaciones positivas con los metales Arsénico $l_{rl} \geq 0.8$, así mismo se observan correlaciones positivas con las variables fisicoquímicas pH, temperatura, y conductividad eléctrica $l_{rl} \geq 0.7$, y negativas con las variables oxígeno disuelto, turbiedad y caudal $l_{rl} \geq 0.8$.

Entonces podemos inferir que, para la época de avenida, si el curso de agua está a menor *elevación*, las concentraciones de Plomo se incrementarían, y las concentraciones de Arsénico disminuirían, así mismo desciende el pH, temperatura y conductividad eléctrica, y a su vez se incrementaría la concentración de oxígeno disuelto, turbiedad y el caudal.

No se halla correlaciones entre la variable *pendiente*, parámetros físico químico y concentraciones de los metales analizados.

No se halla correlaciones entre la variable *arsénico* con parámetros fisicoquímicos y concentraciones de los metales analizados por ser constante.

En el *segundo grupo* se analizan las correlaciones entre variables fisicoquímicas tomadas *in situ* respecto a la concentración de metales pesados, donde:

Se observan correlaciones negativas entre *pH*, respecto a Plomo $lrl \geq 0.7$, siendo todas de orden moderada; correlaciones positivas moderadas con Arsénico $lrl \geq 0.6$, así mismo se observan correlaciones positivas con las variables fisicoquímicas temperatura, y conductividad eléctrica $lrl \geq 0.6$, y negativas con las variables oxígeno disuelto, turbiedad y caudal $lrl \geq 0.7$.

De lo descrito podemos inferir la disminución del *pH* está asociado a un incremento del Plomo y una disminución de Arsénico, a su vez se encuentra relacionado con menor temperatura y conductividad eléctrica, y un incremento del oxígeno disuelto, turbiedad y caudal.

La *temperatura* presenta correlaciones negativas respecto a Arsénico $lrl \geq 0.8$, siendo todas de orden alta; correlaciones positivas altas con el Plomo $lrl \geq 0.9$, así mismo se observan correlaciones positivas altas con las variables fisicoquímicas conductividad eléctrica $lrl \geq 0.9$ y pH $lrl \geq 0.6$, y negativas altas con las variables oxígeno disuelto, caudal y turbiedad $lrl \geq 0.9$.

De lo descrito podemos inferir que la disminución de *temperatura*, está asociado a un incremento del Plomo; y a una disminución del Arsénico, a su vez se encuentra relacionado a una disminución de conductividad eléctrica y pH; y asociados a un incremento de oxígeno disuelto, turbiedad y caudal.

La *conductividad eléctrica* presenta correlaciones negativas respecto al Plomo $r \geq 0.6$, siendo todas de orden moderada; correlaciones positivas altas con el Arsénico $r \geq 0.9$, así mismo se observan correlaciones positivas las variables fisicoquímicas pH y temperatura; y negativas con las variables oxígeno disuelto, turbiedad y caudal $r \geq 0.8$.fi

De lo descrito se infiere la disminución de la *conductividad eléctrica* está asociado a un incremento de Plomo y una disminución de Arsénico, a su vez se encuentra relacionado con un incremento de oxígeno disuelto, turbiedad y caudal; y a una disminución de temperatura y pH.

El *oxígeno disuelto* presenta correlaciones negativas altas respecto a Arsénico $r=1$; correlaciones positivas altas entre Plomo $r \geq 0.8$, así mismo se observan correlaciones positivas con las variables fisicoquímicas turbiedad y caudal $r \geq 0.9$, y negativas con las variables pH, temperatura y conductividad eléctrica.

De lo descrito podemos inferir la disminución de *oxígeno disuelto*, está asociado a un incremento de Plomo, y una disminución de Arsénico; a su vez se encuentra relacionado a una disminución de turbiedad y caudal; y a un incremento de pH, conductividad eléctrica y temperatura.

La *turbiedad* presenta correlaciones negativas respecto a Arsénico $r \geq 0.9$, siendo todas de orden alta; correlaciones positivas altas entre Plomo $r \geq 0.9$, así mismo se observan correlaciones positivas con las variables fisicoquímicas caudal y oxígeno disuelto $r \geq 0.8$; y negativas con las variables pH, temperatura y conductividad eléctrica.

De lo descrito podemos inferir la disminución de la *turbiedad* está asociado a un incremento de Plomo, y a una disminución de Arsénico, a su vez se encuentra relacionado con una disminución del caudal y oxígeno disuelto; y un incremento de pH, temperatura y conductividad eléctrica.

El *caudal* respecto a Plomo $r \geq 0.9$, siendo todas de orden alta; correlaciones positivas moderada en Arsénico $r \geq 0.6$; así mismo se observan correlaciones positivas con las variables fisicoquímicas turbiedad y oxígeno disuelto $r \geq 0.8$; y negativas con las variables pH, temperatura y conductividad eléctrica $r \geq 0.7$.

De lo descrito podemos inferir en relación a los datos analizados, la disminución del *caudal* está asociado a un incremento de Plomo y a una disminución de Arsénico; así mismo se encuentra relacionado a una disminución de turbiedad y oxígeno disuelto; y un incremento de pH, conductividad eléctrica y temperatura.

En el *tercer grupo* se analizan las correlaciones entre metales pesados, donde:

El Plomo y el Arsénico se correlacionan positivamente entre sí.

Conclusiones

- ❖ Se recopiló información de trabajos relacionados al estudio de la concentración de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú y sus implicaciones para la salud.

- ❖ Producto de la comparación de las investigaciones realizadas en los últimos cinco años, durante épocas de estiaje y avenidas respecto a la concentración de metales pesados en el agua potable del Perú, se puede determinar que los metales pesados evaluados superan los límites máximos permisibles (LMP) del Ministerio de Salud, D.S. N° 031-2010-SA y estándares de calidad ambiental (ECA) del Ministerio del Ambiente, DS-004-2017-MINAM.

- ❖ De los casos de estudio y resultados obtenido se determinó que la acumulación de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú es perjudicial para la salud y que incluso en dosis muy pequeñas producen consecuencias fisiológicas y/o neuronales graves y en niveles altos son cancerígenos. Por ejemplo, el plomo es un elemento químico tóxico con la característica de acumularse y afectar numerosas partes del organismo, como el sistema neurológico, hematológico, gastrointestinal, cardiovascular y renal.

REFERENCIAS

- Afán, K. y Flores, E. (2018). *Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca-octubre 2017*. (tesis de licenciatura). Universidad Norbert Wiener, Lima, Perú.
- Aguirre, W. y Huamán, R. (2019). *Influencia del drenaje ácido de mina del pasivo ambiental San Nicolás en las aguas del río Tingo Maygasbamba, Hualgayoc, Cajamarca 2019*. (tesis licenciatura). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Baudran, Y. (2018). *Metales pesados. Ambiente y salud en Perú*. Ed. Omega.
- Calla, H. y Cabrera, C. (2015). Calidad del agua en la cuenca del Río Rímac, sector de San Mateo, afectado por las actividades mineras. *En revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 3(2) pp. 87-94.
- Campos, H. (2018) Los metales pesados, su contaminación y efectos tóxicos. *Revista contaminación ambiental*. Medellín (Colombia).
- Cárdenas, C y Merma, V. (Diciembre 14, 2018). Espinar: Detectan presencia de metales tóxicos en agua de consumo humano. Ojo público. <https://ojo-publico.com/1019/espinar-detectan-presencia-de-metales-toxicos-en-agua-de-consumo-humano>
- Castro, M. (2016). *Minimización de riesgos para la salud por metales pesados en el agua de consumo humano*. Expo agua Perú.
- Cieza Ruiz, R. (2017). *Concentración de metales pesados específicos en el agua para consumo humano del área urbana del distrito de Hualgayoc 2017*. (tesis de licenciatura). Universidad César Vallejo, Chilayo, Perú.

Dirección Regional de Salud Cajamarca. (09 de setiembre del 2019). *Informe de monitoreo de metales pesados en agua de consumo humano de la provincia de Hualgayoc*. Cajamarca: Cristian Arana.

Equipo técnico Regional de Agua y Saneamiento (ETRAS) OMS/OPS (2016). *Estrategia para abordar la solución del problema de minimización de los riesgos para la salud por el consumo de agua con metales pesados y arsénico*.

Rojas Huamán, O. J. (2019). *Elaboración de ladrillos ecológicos a través de biosólidos de (PTAR) Planta de Tratamiento de Aguas Residuales domésticas, Ancón, 2019*.

Gavilanes García, L.E. (2016). *Estudio de la concentración del plomo en el agua del río tumbes periodo 2012 – 2015 como causa de la minería aurífera y su relación con la salud de los pobladores del caserío de rica playa – tumbes – 2016*. (Tesis doctoral, Universidad Nacional de Tumbes). <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/UCV-SCIENTIA/article/view/1599>

García I. y Dorronsoro C. (2017) Contaminación por metales pesados. [en línea]. España, Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. 2001 . Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/>

Cieza Ruiz, R. (2017). *Concentración de Metales Pesados Específicos en el Agua para consumo humano del Área Urbana del Distrito de Hualgayoc–2017*.

Harvey P. Handley H. and Taylor M. (2016) Wide spread copper and lead contamination of household drinking wáter, New South Wales, Australia. Environmental Research.

Hernández, R. (2019). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. 6° ed. México: Mc Graw Hill.

Huanacuni, V. (2017). *Análisis de metales pesados en el ecosistema de la cuenca Llaucano por la actividad minera en la provincia de Hualgayoc, Cajamarca 2016*. Proyecto de investigación, Universidad Nacional de Chota, Cajamarca, Perú.

- Ispilco Rojas, P.A (2086). “*Eficiencia de la planta de tratamiento de agua cruda para la ciudad de San Marcos, 2017*” (Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca). https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2585/T016_45011070_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Laín E. (2016) *Antropología médica para clínicos*. Barcelona: Salvat Editores S.A; 1986.
- Leguía Ramírez, J. C., & Puma Torres, P. S. (2016). “*Diseño de filtros de bioarena para remover metales pesados (As, Cd, Cr, Pb y Fe) en aguas de uso doméstico*” (Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín). <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/1893>
- Londoño, L., Londoño, P. y Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14 (2), 145-153. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>
- Mendoza, O., Sánchez, E (2017). Riesgos potenciales de salud por consumo de agua con arsénico. *En revista salud pública*, 1(59), pp. 34-40.
- Meza, M. (2018). *Determinación de plomo y arsénico por absorción atómica en aguas de río para consumo humano, provenientes de caños y reservorio en el anexo de Huancapuquio, distrito de Chacas, Provincia de Yauyos, 2017*. (tesis de licenciatura). Universidad Norbert Wiener, Lima, Perú.
- Ministerio de Salud del Perú (2018). *Contaminación con metales pesados*. Perú: Dirección General de Salud. Documento institucional.
- Ministerio de Salud del Perú (2018). Reglamento de la calidad de agua para consumo humano: D.S. N° 031-2010-SA. Ministerio de Salud. Dirección General de salud Ambiental. Lima, Perú. 2011.
- Ministerio de Salud del Perú (2019). *Vigilancia epidemiológica. Exposición a metales pesados*.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2018). *Memoria Anual y reporte de sostenibilidad*. Perú: Dirección General. Documento institucional.

Organización Mundial de la Salud (2010). *Ambientes Saludables y Prevención de Enfermedades*.

Organización Mundial de la Salud (2015). *Guía para la calidad del agua potable*. 3° ed. México: OMS.

Organización Panamericana de la Salud (2016). *Minimización de riesgos para la salud por metales pesados en el agua de consumo humano*. Expo Agua Perú.

Orozco C; Pérez A; Gonzales Ma N; Rodríguez F; Alfayate JM. 2018. *Contaminación ambiental. Una visión desde la química*. Paraninfo S.A. Madrid España. 5ta reimpresión. 684 pág.

Pinedo Pérez, R. F. (2020). *Participación comunitaria para mejorar la calidad del agua para consumo humano en asentamiento humano San Genaro, distrito de Chorrillos – Lima, 2019* (Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín). <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3789/ING.%20SANITARIA%20%20Ray%20Freddy%20Pinedo%20P%C3%A9rez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Reyes, Y., Vergara, I. y Torres, O. (2016). Contaminación de metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *En revista ingeniería, investigación y desarrollo*, 16 (2) pp.66-67.

Sánchez, S. (2015). *Pasivos ambientales mineros en la región Cajamarca*. Perú: Grufides.

Sempértegui Soriano, C. O., Ambrocio Sernaque, B. L., y Rudas Cabrera, C. A. (2019). *“Determinación de la concentración de mercurio, cadmio, arsénico y plomo en el río Saucicucho y efluente minero. san miguel de Algamarca. Cajabamba. febrero y junio.*

2018” (Tesis de bachillerato, Universidad Privada del Norte).
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21627>

Vasquez Choque, M. Evaluación de metales pesados y costo ambiental en los sedimentos del río Chacapalca, provincia de Lampa–región Puno, 2017.

Vega González, J. A. (2012). *Nivel de contaminación por metales pesados (Pb, Cu, Hg, As y Fe) en el río el toro, distrito de Huamachuco de la provincia de Sánchez Carrión durante año 2009 – 2010*” (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Trujillo).
<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5812/Tesis%20Maestr%C3%ADa%20-%20Juan%20Vega%20Gonz%C3%A1les.pdf?sequence=1>

ANEXOS

ANEXO N°1: Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Caracterización de la concentración de metales pesados	Es el estudio de la concentración de los metales pesados en los afluentes y efluentes de las plantas de agua potable	Es el estudio de la concentración de los metales pesados en los afluentes magnesio, plomo y cadmio) y efluentes (arsénico y mercurio) en las plantas de agua potable	Afluentes	- Aguas residuales (Manganeso, plomo y cadmio)
			Efluentes	- Metales tóxicos (plomo, arsénico, cadmio y mercurio)

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Calidad del agua potable	La calidad del agua se refiere al estado en que se encuentra con relación a las características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o posteriormente de ser alteradas por la acción humana. La calidad del agua ha sido asociada al uso del agua para el consumo humano, entendiéndose de que el agua es de calidad cuando puede ser adquirida sin producir daño a la salud.	Es el estado en que se encuentra respecto a sus caracteres organolépticos (olor, sabor, color y turbidez) y fisicoquímicos (pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto), el mismo que posibilitará el mejor uso para el consumo humano, sin alterar ni producir alguna afección a la salud.	Caracteres organolépticos Caracteres fisicoquímicos	- Olor-sabor - Color (UCV) - Turbidez (NTU) - pH - Temperatura (°C) - Conductividad (µs/cm) - Oxígeno disuelto

ANEXO N°2: Matriz de consistencia

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	POBLACIÓN Y MUESTRA	DISEÑO	TÉCNICAS E INSTRUMENTO
Pregunta general	Objetivo General	Hipótesis General	Variable 1	Población:	Método:	Técnicas:
¿De qué manera influye en la salud la concentración de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú?	Analizar que implicaciones para la salud tiene la concentración de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú.	Existen implicaciones prácticas que repercuten negativamente en la salud por la concentración de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú.	Caracterización de la concentración de metales pesados	Todos los metales pesados presentes en los afluentes y efluentes	* Descriptivo	* Análisis documental * Análisis comparativo
Preguntas Específicas	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable 2	Muestra:	Nivel investigativo:	Instrumentos:
*¿Cuáles son los rasgos más característicos de la concentración de metales pesados en los afluentes de las plantas de agua potable del Perú?	* Recopilar información de trabajos relacionados al estudio de la concentración de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú y sus implicaciones para la salud.	* Los rasgos más característicos de la concentración de metales pesados (Manganeso, plomo y cadmio) en los afluentes de las plantas de agua potable del Perú en épocas de estiaje, repercuten negativamente en la salud y el ambiente, pues sus índices señalan que están por encima de los límites máximos permisibles de contaminación.	Calidad del agua potable	La muestra está compuesta por los metales pesados más tóxicos: Plomo, Arsénico, Cadmio y Mercurio.	* Descriptivo	Instrumentos: Estudios de diversos autores a nivel internacional, nacional y regional
*¿Cuáles son los rasgos más característicos de la concentración de metales pesados en los efluentes de las plantas de agua potable del Perú?	* Comparación de metales pesados (Mn, Hg, As, Pb y Cd) con los límites máximos permisibles (LMP) del MINAM.	* Los rasgos más característicos de la concentración de metales pesados s (Arsénico y Mercurio) en los efluentes de las plantas de agua potable del Perú en la época de lluvias, repercuten negativamente en la salud y el ambiente debido a que superan los límites máximos permisibles de contaminación.			Enfoque cualitativo	
*¿Qué variaciones de espacio-temporal de la concentración de metales pesados existen en las plantas de agua potable del Perú?	* Determinar las implicaciones para la salud en los estudios de la concentración de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable del Perú.	* Las variaciones espacio - temporales que presentan la concentración de metales pesados en el agua potable del Perú, es que en época de estiaje los parámetros organolépticos y fisicoquímicos superan los ECAS, mientras que en época de lluvias no.			Diseño: No experimental-	
* ¿Cuáles son las implicaciones para la salud por elevada concentración de metales pesados en las plantas de tratamiento de agua potable en el Perú?		* La estrategia que nos permite abordar la solución del problema de minimización de los riesgos en la salud por la contaminación de metales pesados en las plantas de agua potable del Perú, consiste en establecer acciones intersectoriales que permitan tanto al gobierno central, como a los gobiernos subnacionales, el aseguramiento de la calidad del agua de acuerdo a los estándares de calidad sanitaria y la legislación nacional vigente.				