



SOCIEDAD-MEDIO AMBIENTE

El futuro fluye

Gotas de cambio en el análisis de la
contaminación y sostenibilidad hídrica.
Casos de estudio

Editor. Oscar Tinoco Gómez

Jorge Enrique Castillo Cueva
Schelah Nadia De la Colina Rivas
Miguel Angel Oruna Rodriguez
Alberto Rodriguez Palacios Miñano
Aldo Guillermo Rivadaneira Cuya
Darwin Dean Duran Janampa
Percy Wenceslao Lature Bustamante
Alcides Guillermo Joo Aguayo
Augusto Denis Madueño Macedo

Eduardo Julian Villarroel Nuñez
Juan Enrique Sigarróstegui Gutiérrez
Duilio Angel Aranda Ipince
Silvia Coronado Ramirez
Luis Adrián González Quiñónez
Pedro Jesús De Bracamonte Morales
Julio Douglas Vergara Trujillo
Deina Candelaria Tinoco Orihuela
Oscar Rafael Tinoco Gómez

El futuro fluye

Gotas de cambio en el análisis de la
contaminación y sostenibilidad hídrica.

Casos de estudio

Editor. Oscar Tinoco Gómez

El futuro fluye

Autores:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| © Jorge Enrique Castillo Cueva | © Eduardo Julian Villarroel Nuñez |
| © Schelah Nadia De la Colina Rivas | © Juan Enrique Sigarróstegui Gutiérrez |
| © Miguel Angel Oruna Rodriguez | © Duilio Angel Aranda Ipince |
| © Alberto Rodriguez Palacios Miñano | © Silvia Coronado Ramirez |
| © Aldo Guillermo Rivadaneira Cuya | © Luis Adrián González Quiñónez |
| © Darwin Dean Duran Janampa | © Pedro Jesús De Bracamonte Morales |
| © Percy Wenceslao Lature Bustamante | © Julio Douglas Vergara Trujillo |
| © Alcides Guillermo Joo Aguayo | © Deina Candelaria Tinoco Orihuela |
| © Augusto Denis Madueño Macedo | © Oscar Rafael Tinoco Gómez |

Editado por :

© Oscar Rafael Tinoco Gómez
Calle El Abutillon 3881, Urb. Las Palmeras - Los Olivos
otinocog@unmsm.edu.pe

Diagramación de texto, maquetación y diseño:

© Carlos Alberto Vega Vidal

Hecho el depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2025-00101

Primera edición digital, Enero 2025

ISBN: 978-612-03-0468-6

Libro electrónico disponible en: [http:// librosctscafe.ctscafe.pe/](http://librosctscafe.ctscafe.pe/)

ISBN: 978-612-03-0468-6



9 786120 304686

Capítulo 5

Análisis comparativos de la presencia de metales pesados en afluentes de ciudades de Perú y Ecuador

Luis Adrián González Quiñónez

Pedro Jesús De Bracamonte Morales

Julio Douglas Vergara Trujillo

Deina Candelaria Tinoco Orihuela

INTRODUCCIÓN

La contaminación causada por metales pesados en afluentes urbanos es un problema ambiental que afecta a un recurso tan importante indispensable para todo ser vivo, esta contaminación afecta a ciudades de dos países hermanos en Sudamérica como son Perú y Ecuador. Estos metales, como el plomo (Pb), mercurio (Mg), cromo (Cr), arsénico (As), cadmio (Cd) entre otros, los cuales causan daños graves a la salud humana y al medio ambiente. Se vuelve muy fundamental realizar la comparación de la situación en ambas regiones para entender mejor la magnitud del problema y desarrollar estrategias efectivas para mitigarlo conjuntamente como países hermanos. (Yu-Jing , y otros, 2004)

Perú y Ecuador sufren un gran problema con la contaminación de ríos, lagos, lagunas y mares. Estos recursos hídricos que a nivel mundial presenta una acelerada contaminación, por problemas como malas planificaciones territoriales, industriales, tecnológicas y crecimiento poblacional desproporcionado. Este análisis comparativo el cual busca establecer la presencia de metales pesados en los afluentes de ciudades de Ecuador y Perú tiene un gran realce desde el punto de vista de la conservación de ecosistemas busca poner en el lente de los principales

organismos de control, la dimensión de la contaminación y las consecuencias que acarrearán.

La ubicación geográfica de Ecuador y Perú los cuales en sus territorios albergan gran cantidad de recursos hídricos de agua dulce y una gran cantidad de industrias y minería en los márgenes de estos, estos afluentes representan el escenario propicio para la acumulación de sedimentos los cuales contienen metales pesados. La contaminación por metales pesados en afluentes urbanos se debe a la actividad industrial, agrícola, la gestión inadecuada de residuos y la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales las cuales afectan a la flora y fauna. En Perú, por ejemplo, la actividad minera y la industria manufacturera son importantes fuentes de contaminación. En Ecuador, la falta de regulación y control en la gestión de residuos y la actividad industrial como la generación eléctrica y refinación de derivados del petróleo también contribuyen a la contaminación. (García & Dioses, 2023)

En los últimos años se ha tornado un tema muy importante la contaminación ambiental, la conservación de los recursos hídricos, la calidad del agua que es descargada por cada una de las industrias ubicadas en los márgenes de los afluentes, los diferentes pesticidas que son usados por la agricultura y a calidad de las aguas que son vertidas por los sistemas de tratamientos de aguas urbanas. (Anita Singh, 2010). Al transcurrir cierto periodo de tiempo las aguas residuales conllevan a la acumulación de sedimentos que contienen metales pesados acarreando riesgos potenciales a la salud humana y para la flora y fauna que se sirven de las aguas de estos ríos. Para el Ecuador que es uno de los países, el cual tiene la mayor cantidad de ríos por kilómetros cuadrados en el mundo. (Ecuador, 2017)

Varios artículos científicos realizaron un análisis profundo en los últimos años de la concentración de metales pesados en ríos de agua dulce de algunas ciudades de Ecuador y Perú. En el informe desarrollado por el Ministerio de Ambiente del Perú (2017) donde se estableció que existía una alta concentración de arsénico debido a la actividad minera en los ríos de la región de Cajamarca. Su contraparte el Ministerio de Salud Pública de Ecuador en el año 2019 estableció que existía una gran presencia de cobre y de zinc en los efluentes de la provincia de Loja debido a la actividad agrícola que se desarrolla en la zona. (Cevallos, Lauces Albert, & Cuello Pérez, 2023)

En este artículo se presentará un análisis comparativo de la presencia de metales pesados en afluentes de ciudades de Ecuador y Perú, se realizará una revisión literaria científica disponibles en revistas científicas de alto impacto de la región y el

mundo. Se realizará una discusión de los principales focos contaminantes, cuáles son los principales elementos encontrados en los afluentes, los efectos en la flora y fauna, cuales son las medidas para mitigar el problema ambiental.

Se analizará el Río Puyango el cual se encuentra en Tumbes el cual se encuentra rodeado por montañas las cuales tienen alturas de 3500 metros sobre el nivel del mar, este tiene un caudal de 106 metros cúbicos por segundo. Este río debe su caudal al río Pindo el cual nace de la integración de 4 ríos el río Calera, Amarillo, Lius y Ambocas. (Cadenas, 2022)

En el presente trabajo se han planteado los siguientes objetivos:

- Comparar la presencia de metales pesados en afluentes de ciudades de Perú y Ecuador.
- Analizar las posibles diferencias y similitudes en la concentración de metales pesados entre los afluentes de ambas regiones.
- Evaluar el impacto de la actividad industrial y las prácticas de gestión de residuos en la presencia de metales pesados en los afluentes.
- Identificar los principales metales pesados presentes en los afluentes de las ciudades estudiadas.
- Determinar los niveles de contaminación por metales pesados en los afluentes y compararlos con los estándares ambientales y de salud establecidos.
- Identificar las fuentes y rutas de entrada de los metales pesados a los afluentes.
- Evaluar las implicaciones de la contaminación para la salud y el ambiente.

MARCO TEÓRICO

Contaminación de agua

En la revista Iberdrola (2024) nos menciona que la Organización Mundial de la Salud (OMS) define el agua contaminada como aquella que sufre cambios en su composición hasta quedar inservible. Es decir, es agua tóxica que no se puede ni beber ni destinar a actividades esenciales como la agricultura, además de una fuente de insalubridad que provoca más de 500.000 muertes anuales a nivel global por diarrea y transmite enfermedades como el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis.

Principales contaminantes presentes en el agua

Pesticidas o plaguicidas. - De acuerdo a Lapworth & Gooddy (2006) los pesticidas son sustancias o mezclas de sustancias destinadas a prevenir, destruir, repeler o mitigar las plagas. Debido a la regulación de la cual han sido objeto, se han estudiado durante décadas y, en consecuencia, se tiene un razonable conocimiento sobre su presencia y destino en el medio acuático. En los últimos años la reocupación en torno a estos productos se centra en los metabolitos, productos de degradación, que han sido en su mayor parte ignorados hasta la fecha y que se ha visto que pueden ser más tóxicos que los compuestos a partir de los cuales se generan. Los estudios han demostrado que los metabolitos de plaguicidas a menudo se detectan en aguas subterráneas en concentraciones más altas en comparación con los compuestos precursores.

Fosfatos. - Según (Withers, y otros, 2015) los fosfatos son contaminantes químicos inorgánicos y se presentan tanto disueltos como dispersos en el agua. El fósforo precipita en forma de fosfatos en suelos alcalinos y en suelos ácidos como fosfato de hierro (strengita) o de aluminio (variscita). En la actualidad la mayoría de los países europeos aporta un exceso de nitrógeno y fósforo, incrementándose las reservas de estos en el suelo y aumentando el riesgo de emisión a los medios acuáticos. Parte de los contaminantes de fósforo son obtenidos a partir de la roca de fosfato, de donde se extrae y procesa para obtener finalmente derivados de fósforo, como son el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el fósforo blanco (P_4) para diversas utilidades. En general estos contaminantes provienen de descargas domésticas, agrícolas, industriales o de la erosión del suelo.

Metales pesados. - Los autores Yang & Zhang (2011) mencionan que los metales pesados son contaminantes inorgánicos cuya densidad está por encima de los 5 g/cm³. Dentro de este grupo de sustancias encontramos el arsénico, cadmio, cobre, mercurio, níquel, zinc, cromo y plomo. Algunos de estos metales a pequeñas concentraciones son necesarios para procesos biológicos vitales, sin embargo, cuando sobrepasan estas limitaciones son altamente tóxicos. En los últimos años, y con el desarrollo del sector industrial y agrícola, la contaminación por metales ha aumentado lo que lleva consigo un peligro ambiental importante para invertebrados, peces y seres humanos.

De acuerdo con Kim, Kim, & Seo (2015) el mercurio, el arsénico y el plomo son los metales pesados más tóxicos puesto que son altamente tóxicos a concentraciones muy pequeñas, se utilizan en el sector industrial para la elaboración de baterías para coches, pigmentos, materiales semiconductores, equipos de medición como lámparas LED, en fertilizantes y pesticidas o en minería. Otros metales como el cromo, el níquel o el cadmio son considerados carcinógenos de grado 1 según la Agencia Internacional para la investigación del Cáncer, además, participan en la extracción de minerales, en la elaboración de conservantes para madera, agentes anticorrosivos, monedas, placas de acero o acero inoxidable.

Bifenilos policlorados. – Según Loaysa, Silva, Arce, & Casafranca (2015) los bifenilos policlorados o PCB son una familia de compuestos orgánicos (hidrocarburos policlorados) que se sintetizan por cloración catalítica del bifenilo y está constituida por una mezcla de productos clorados en distinto grado, en las que se han identificado hasta 209 miembros denominados congéneres. Son productos químicos industriales producidos sintéticamente que se utilizan para diversos fines, transformadores y condensadores eléctricos, como líquidos de intercambio de calor, como aditivos de pintura, en papel de copia sin carbón y en plásticosww

Mecanismos empleados para el tratamiento de aguas. – Según Pineda y Gómez (2016) los microorganismos juegan un rol vital en la transformación de elementos traza incluidos los metales ya que influyen su biodisponibilidad y remediación, pueden alterar la toxicidad, solubilidad en agua y la movilidad del elemento. Los microorganismos modifican la concentración de metales pesados en el ambiente, pues estos cuentan con mecanismos enzimáticos y no enzimáticos para remover metales en solución. La capacidad de remoción de metales por bacterias, microalgas y hongos es superior a la reportada con métodos fisicoquímicos convencionales, también se conoce que la adquisición y remoción de los metales pesados puede ser selectiva teniendo en cuenta la capacidad metabólica de cada

especie biorremediadora y el tipo de metal. Entre las transformaciones enzimáticas de los metales realizadas por microorganismos se incluyen la oxidación, la reducción, la metilación, la demetilación; las cuales pueden dar como resultado algunos compuestos poco solubles en agua o bien compuestos volátiles. A continuación, se describen diferentes mecanismos bioquímicos desarrollados por los microorganismos para transformar o acumular diversos iones metálicos.

Adherencia de los metales, su bioacumulación y la biosorción.- Según Coto (2014) los metales pesados son empleados en una gran variedad de productos industriales que a largo plazo tienden a ser depositados en los distintos compartimentos medioambientales. Dicha liberación de metales pesados en el medioambiente se produce desde el principio de la cadena de producción (debido a las actividades de minería con minerales), durante la producción mediante el uso de los productos industriales que los contienen, y también al final de la cadena de producción. Los organismos concentran estos contaminantes en sus tejidos mediante un proceso denominado bioacumulación, que implica el aumento progresivo de la cantidad de sustancia en los tejidos de un organismo como consecuencia de que la velocidad de absorción supera la capacidad del organismo para eliminar dicha sustancia. El grado de acumulación depende de factores tales como la naturaleza química del contaminante, el tipo de organismo, su estado fisiológico, la temperatura del agua y la salinidad.

Biosorción de metales pesados. - Según Federico y otros (2010) los biosorbentes completamente saturados pueden concentrar metales pesados, en un orden que supera miles de veces el valor de su concentración en la fase líquida. Se considera que la superficie es capaz de adsorber solamente una monocapa de adsorbato, considerando una extensión del modelo de Langmuir, desde los procesos de adsorción gas-sólido, líquido-sólido a los procesos de biosorción. La carga de la biomasa puede ser revertida con la finalidad de desorber los metales y varios estudios han demostrado que la elución con soluciones acuosas ácidas llega a ser altamente efectiva. La elución no reduce significativamente la capacidad de unión de la biomasa, así se la puede emplear en varios ciclos consecutivos. En la biosorción de uranio por el alga, en columna de flujo continuo, observó que cuando el material se había cargado en un 100% y se eluía con HCl 0,1N, se recuperaba el uranio unido en un 99,5%. Además, la columna pudo ser utilizada en forma consecutiva durante todo un mes completando cinco ciclos de biosorción-desorción. Durante ese período, la capacidad de biosorción del sustrato disminuyó 7,00% después del primer ciclo y fue menor al 20% después del quinto ciclo, respecto a la biomasa

fresca. La disminución de eficiencia de biosorción, se asignó a la pérdida, por lixiviación, de alginato de la pared celular del alga, siendo éste el polisacárido al que se atribuye la capacidad de retener iones metálicos livianos y pesados. El proceso de biosorción es adecuado como técnica de refinamiento en aguas de desecho con metales pesados, en concentraciones en un rango de 1 a 100 ppm. Así, estos niveles se logran disminuir hasta aquellos correspondientes al agua potable, utilizada en el consumo diario de personas y animales.

Biosorción por algas. - Algunas algas oceánicas presentaron una asombrosa capacidad para biosorber metales. Las algas pardas, en particular, son muy propensas a la unión de iones metálicos, probablemente debido a su contenido en polisacáridos. Según resultados obtenidos, el proceso de biosorción de metales pesados tiene dos fases: (a) una rápida reacción superficial, inferior a los 4 s y (b) una captación del metal mucho más lenta, de alrededor de 2 h. La primera fase se atribuye a adsorción superficial, por un proceso de intercambio aniónico con participación de grupos carboxilo de los ácidos urónicos; y la segunda fase a la difusión de iones dentro de las estructuras celulares. (Federico, y otros, 2010)

Filtración por membrana. - Según Caviedes, et al (2015) esta tecnología presenta altas eficiencias, requiere poco espacio, no es selectiva y es de fácil operación, pero genera una gran cantidad de lodos que contienen metales. Se emplea en procesos para el tratamiento de agua potable, aguas residuales industriales y en menor medida aguas residuales domésticas. Las membranas pueden clasificarse de acuerdo a diferentes características como su peso molecular de corte, material de la membrana (sintéticos o polímeros naturales modificados, acoplados y estructurados), permeabilidad y solubilidad del soluto y el solvente en la película, superficie y espesor activo de la película, así como la carga de su superficie. La separación por membrana se emplea comúnmente para tratar y recuperar sales metálicas de residuos generados en procesos galvanoplásticos, en el reciclaje de aceites, en la producción alimentos y bebidas y en la explotación y producción de hidrocarburos.

Electrodialisis. – Según Caviedes, Muñoz, Perdomo, Rodriguez, & Sandoval (2015) es una técnica de descontaminación que puede remover componentes iónicos de soluciones acuosas empleando membranas permeables selectivas en un campo eléctrico constante. Esta técnica tiene la capacidad de remover iones contaminantes cargados de hasta 0,0001 μm , mediante hojas o laminas porosas de resinas de intercambio iónico con una baja permeabilidad relativa para el agua.

Osmosis inversa. - De acuerdo a Caviedes & Otros (2015) es un proceso de permeación a través de membrana para la separación por difusión controlada o cribado. Tiene la capacidad de seleccionar elementos de tan solo 0.0001 mm, lo que le otorga un amplio abanico de capacidades de tratamiento.

Nanofiltración. - En base a Caviedes & Otros (2015) es una técnica de tratamiento de agua relativamente reciente que utiliza membranas con poros muy pequeños ($<1\text{nm}$) y requiere presiones de funcionamiento en el rango de 10-50 bar. Por lo tanto, las membranas empleadas para la nanofiltración son capaces de retener especies neutras con peso molecular $< 200 - 300 \text{ g/mol}$, y también para rechazar iones inorgánicos por un mecanismo de exclusión por tamaño en combinación con las interacciones electrostáticas entre los iones y la membrana cargada, presenta mayor rechazo de iones divalentes y menor rechazo de iones monovalentes, la presión de funcionamiento más baja, mayor flujo y menor consumo de energía en comparación con la osmosis inversa. Estas características recomiendan la nanofiltración como una tecnología prometedora e innovadora que puede ser ampliamente aplicada en el agua potable y el tratamiento de efluentes industriales.

Biopolímeros. - En base a Caviedes & Otros (2015) son industrialmente atractivos porque son capaces de reducir las concentraciones de iones metálicos de transición a concentraciones de partes por billón, son ampliamente disponibles y ambientalmente seguros. Poseen un número amplio de diferentes grupos funcionales, tales como hidroxilos y aminas, que aumentan la eficiencia de la absorción de iones metálicos.

Hidrogeles. - Son polímeros hidrófilos reticulados capaces de ampliar sus volúmenes debido a su alta expansión en el agua. Por consiguiente, ellos son ampliamente utilizados en la purificación de las aguas residuales Barakat (2011). Diversos hidrogeles se han sintetizado e igualmente investigado su comportamiento de adsorción de metales pesados.

Ceniza volante. - Las cenizas volantes, generadas durante la combustión de carbón para la producción de energía, es un subproducto industrial que es reconocido como un contaminante ambiental, debido a su enriquecimiento en elementos traza potencialmente tóxica que se condensan del gas de combustión. Este material se ha reutilizado como un adsorbente de bajo costo para la eliminación de compuestos orgánicos, gases de combustión y los metales pesados (Visa & Chelaru, 2014); luego de aumentar su capacidad de adsorción mediante de la activación química y física.

Evaluación de toxicidad en el agua. – Según Coto (2014) los efectos tóxicos inducidos químicamente en organismos acuáticos nos sirven como indicadores de riesgo toxicológico para el ser humano y el medio ambiente, por lo que la toxicidad de un contaminante (o varios) sobre los organismos se puede evaluar mediante ensayos de toxicidad y bioacumulación en organismos tanto de agua dulce como marinos (Jones, 2009). En dichos ensayos, los organismos se someten a distintas concentraciones de contaminante durante un cierto período de exposición bajo condiciones estándares, transcurrido el cual, se comprueba el efecto producido sobre los mismos. Estos ensayos son la principal fuente de información respecto a la evaluación toxicológica de los efectos de los contaminantes, ya que se consigue comparar la sensibilidad de una o más especies a distintos tóxicos o a diferentes condiciones para el mismo tóxico. Es por ello que la realización de bioensayos en las evaluaciones ecotoxicológicas para el estudio del medio acuático es considerada de gran importancia, pues se integra con la biología y genera información analítica sobre los efectos de la exposición de un sistema vivo a sustancias contaminantes en un ambiente alterado.

RESULTADOS

En la presente sección se realizará un análisis comparativo entre los resultados obtenidos en el Río Calera en Ecuador y el Río Puyango en Perú, respecto a la presencia de metales pesados en sus aguas; la data a ser analizada es la siguiente:

Tabla N°1: Contenido de metales pesados en el Río Calera – Ecuador

Resultados Río Calera Amarillo (mg/L)				
Mes	Cianuro	Arsénico	Mercurio	Plomo
may	0.766	0.021	<0.001	0.066
jun	0.899	0.035	<0.001	0.055
jul	0.989	0.028	<0.001	0.048
ago	1.002	0.020	<0.001	0.051
set	0.901	0.019	<0.001	0.049
oct	0.933	0.008	<0.001	0.043
nov	0.875	0.009	<0.001	0.028
dic	0.821	0.010	<0.001	0.021
Promedio	0.898	0.019	<0.001	0.045

Fuente: Nivel de contaminación por metales pesados: Hg, Pb, As y Cianuro (CN-), en el nacimiento río Binacional Puyango – Tumbes (Perú – Ecuador), (Yarlequé, 2019) **Elaboración:** Autores

Tabla N°2: Contenido de metales pesados en el Río Puyango – Perú

Resultados Río Puyango Tumbes (mg/L)				
Mes	Cianuro	Arsénico	Mercurio	Plo- mo
may	0.506	0.019	<0.001	0.048
jun	0.550	0.021	<0.001	0.037
jul	0.660	0.011	<0.001	0.032
ago	0.776	0.014	<0.001	0.033
set	0.490	0.010	<0.001	0.022
oct	0.501	0.007	<0.001	0.019
nov	0.520	0.006	<0.001	0.018
dic	0.488	0.006	<0.001	0.020
Promedio	0.561	0.012	<0.001	0.029

Fuente: Nivel de contaminación por metales pesados: Hg, Pb, As y Cianuro (CN-), en el naciente río Binacional Puyango – Tumbes (Perú – Ecuador) , (Yarlequé, 2019) **Elaboración:** Autores

Con la finalidad de contar con una referencia para ser comparado el nivel de presencia de metales pesados en los ríos en mención se tomará como normativa el Decreto Supremo n.º 004-2017-MINAM de fecha 6 de junio de 2017 mediante el cual el Ministerio del Ambiente de Perú aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen diversas disposiciones relacionadas a este tema. En este dispositivo legal en las tablas denominadas “Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales” y “Categoría 4: Conservación del ambiente acuático” de su Anexo, entre otros, establece los niveles máximos de diversos metales pesados para el agua destinado para riego de vegetales, bebida de animales y de ríos, mostrando a continuación un extracto respecto a los metales pesados en materia del presente estudio:

Tabla N°3: Límites máximos permitidos según Decreto Supremo n.º 004-2017-MINAM (mg/L)

Metales	Riego de vegetales D1	Bebida de anima- les D2	Rios E2
Cianuro (CN)	0.1000	0.1000	0.0052
Arsenico (As)	0.1000	0.2000	0.1500
Plomo (Pb)	0.0500	0.0500	0.0025
Mercurio (Hg)	0.0010	0.0100	0.0001

Fuente: Decreto Supremo n.º 004-2017-MINAM

Elaboración: Autores

En base a la información presentada, a continuación se realizará un análisis comparativo de estos valores mediante la presentación de unos gráficos que permitirá evidenciar algunas diferencias y similitudes entre los resultados obtenidos en los dos ríos en mención:

Respecto a la presencia de Cianuro:

Tal como se puede observar en el figura n.º 1, los niveles de presencia de Cianuro, tanto en Ecuador como en Perú, se encuentran por encima de los límites máximos permitidos para los tres categorías en estudio: riego de vegetales (D1), bebida de animales (D2) y río (E2); pero hay que resaltar que el nivel promedio de este metal es más alto en Ecuador (Río Calera) llegando a un valor de 0.898 mg por litro, lo que representa un 60% más del nivel promedio de Perú en el río Puyango (0.561 mg/L).

Figura N°1: Niveles promedio de Cianuro vs límites máximos permitidos



Fuente: Elaboración propia

Si se evalúa el comportamiento de este metal en las aguas de los ríos estudiados se observa que, como se mencionó en el párrafo precedente, los niveles se encuentran por encima de los límites máximos permitidos por la normativa citada para ambos casos. Por otro lado, respecto a la tendencia podemos observar en la figura n.º 2 que existe una pequeña tendencia a la baja pero la diferencia entre los dos valores se mantiene, obteniendo en Ecuador un valor máximo de 1.002 mg/L y en Perú 0.776 mg/L, mientras que el valor mínimo alcanzado fue de 0.766 mg/L en Ecuador y en Perú 0.488 mg/L.

Figura N°2: Evolución de niveles de Cianuro vs límites máximos permitidos



Fuente: Elaboración propia

En adición a lo mostrado, se aplicará una prueba estadística para determinar la similitud o no de los datos de ambos países, para ello primero se determinará si la concentración de Cianuro de cada país tiene una distribución normal para elegir la prueba estadística ser aplicada; en la siguiente tabla se muestran los resultados de la aplicación de la prueba de Shapiro Wilk por tener una cantidad pequeña de datos, así se visualiza que la concentración de Cianuro en Ecuador tienen una significancia de 0.828 por lo tanto tiene una distribución normal, en cambio en el caso de Perú su valor es 0.009 y al ser menor que 0.050 no tendría un comportamiento normal:

Tabla N°4: Resultados de prueba estadística de normalidad con Shapiro Wilk del Cianuro

Variable	Estadístico	gl	Sig.
Cianuro (Ecuador)	0.962	8	0.826
Cianuro (Perú)	0.753	8	0.009

Fuente: Reporte de IBM SPSS

Elaboración: Autores

Como consecuencia de no contar ambas variables con una distribución normal, la prueba estadística ser utilizada para la comparación de medias de ambos países es U de Mann-Whitney, cuya significancia es del valor de 0.001 (menor a 0.050), por lo que se establece que los valores de la concentración de Cianuro en Ecuador y Perú son estadísticamente diferentes.

Tabla N°5: Resultados de prueba estadística de U de Mann-Whitney del Cianuro

Variable	N	Sig. asintótica(bilateral)
Cianuro (Ecuador)	8	0.001
Cianuro (Perú)	8	

Fuente: Reporte de IBM SPSS

Elaboración: Autores

Respecto a la presencia de Arsénico:

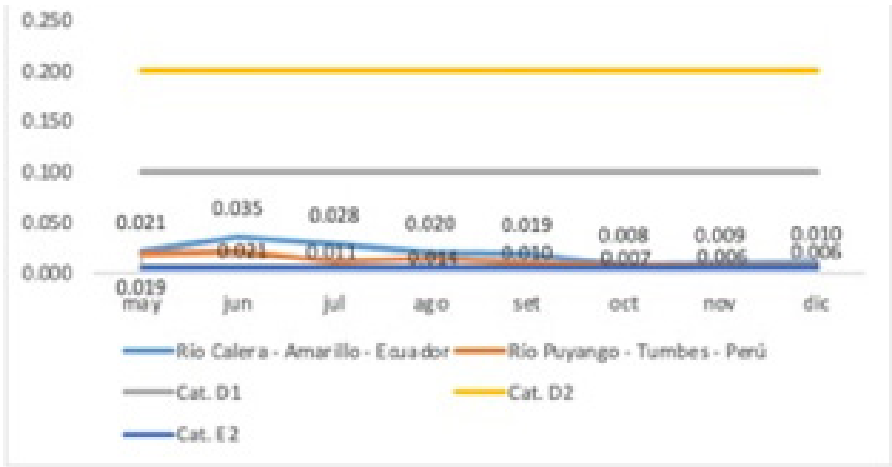
En relación al Arsénico el panorama es diferente, toda vez que como se muestra en la figura n.º 3 el nivel promedio de este metal pesado en ambos lugares (Ecuador y Perú) son similares obteniendo valores promedio de concentración de 0.019 y 0.012 mg por litro, estos valores se encuentran por debajo de los límites permitidos para el riego de vegetales y bebida de animales, pero por encima de los niveles permitidos para el río (0.005 mg/L).

Figura N°3: Niveles promedio de Arsénico vs límites máximos permitidos

Fuente: Elaboración propia

Así también. la misma situación se puede observar en la figura n.º 4 donde se muestra la evolución de los valores de Arsénico en los ríos estudiados de Ecuador y Perú, evidenciando que el valor máximo alcanzado en el periodo de estudio fue de 0.035 y 0.021 mg por litro respectivamente, y los valores mínimos ascendieron a 0.008 y 0.006 mg/L.

Figura N°4: Evolución de niveles de Arsénico vs límites máximos permitidos



Fuente: Elaboración propia

Asimismo, con la finalidad de realizar el comparativo de metas con una prueba estadística. Se evaluarán si los datos de este metal pesado en ambos países poseen una distribución normal, para ello en la tabla n.º 6 se muestran los resultados de este estadístico, observando que tanto en Ecuador como en Perú la concentración de Arsénico tiene un comportamiento normal (valor de significancia 0.428 y 0.230 respectivamente).

Tabla N°6: Resultados de prueba estadística de normalidad con Shapiro Wilk del Arsénico

Variable	Estadístico	gl	Sig.
Arsénico (Ecuador)	0.920	8	0.428
Arsénico (Perú)	0.889	8	0.230

Fuente: Reporte de IBM SPSS

Elaboración: Autores

Como resultado de la evaluación realizada con el estadístico de Shapiro Wilk, se establece que la prueba estadística a utilizar para la comparación de medias entre ambos grupos será la de T-Student para muestras independientes, tal como se muestran los resultados en la tabla n.º 7, el nivel de significancia es mayor a 0.050 (0.099) por lo que se infiere que los valores de concentración de este metal pesado en ambos países son similares estadísticamente.

Tabla N°7: Resultados de prueba estadística de T-Student del Arsénico

Variable	N	Media	Sig. (bilateral)
Arsénico (Ecuador)	8	0.018750	0.099
Arsénico (Perú)	8	0.011750	

Fuente: Reporte de IBM SPSS

Elaboración: Autores

Respecto a la presencia de Mercurio:

En relación al Mercurio, tal como se ha podido observar en las tablas n.ºs 1 y 2 los niveles de este metal pesado es menor a 0.001 mg por litro en ambos ríos (Ecuador y Perú respectivamente), estando por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo n.º 004-2017-MINAM para las tres categorías estudiadas: riego de vegetales (D1), bebida de animales (D2) y río (E2).

Respecto a la presencia de Plomo:

Respecto al último metal pesado estudiado (Plomo), se puede observar en la figura n.º 5 que los niveles promedios alcanzados en ambos países se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles para riego de vegetales y bebida de animales (0.005 mg/L), pero por encima para la categoría de ríos (0.0025 mg por litro). Además, podemos visualizar en esta figura que, el nivel promedio alcanzado en el río ecuatoriano (0.045 mg/L) es mayor al del peruano (0.029 mg/L), representando un 55% más que el peruano.

Figura N°5: Niveles promedio de Plomo vs límites máximos permitidos

Elaboración: Autores

Por otro lado, si se analiza la evolución de estos resultados (figura n.º 6) se puede verificar que la tendencia es la baja en ambos países, logrando en la última medición alcanzar valores muy similares (0.021 y 0.020 para Ecuador y Perú respectivamente), además como producto de esta tendencia inicialmente los valores del río ecuatoriano se encontraban por encima de los límites máximos permisibles para el riego de vegetales y bebida de animales pero terminaron por debajo de este, en cambio en el caso del río peruano siempre estuvo por debajo de este límite. Cabe mencionar que los niveles de plomo en ambos países se encuentran por encima del límite máximo permisible para ríos. Finalmente, podemos mencionar que para el río ecuatoriano se encontró como valor máximo y mínimo 0.066 y 0.021 mg/L respectivamente, mientras en el río peruano dichos valores alcanzaron 0.048 y 0.018 mg/L respectivamente.

Figura N°6: Evolución de niveles de Plomo vs límites máximos permitidos



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se evaluará el comportamiento normal de los valores de Plomo en ambos países mediante la prueba estadística de Shapiro Wilk, cuyos resultados se muestran en la tabla n.º 8 en donde se puede observar que tanto en Ecuador y Perú obtienen un valor de significancia de 0.632 y 0.236 respectivamente, por ende, podemos mencionar que se cuenta con una normalidad.

Tabla N°8: Resultados de prueba estadística de normalidad con Shapiro Wilk del Plomo

Variable	Estadístico	gl	Sig.
Plomo (Ecuador)	0.942	8	0.632
Plomo (Perú)	0.890	8	0.236

Fuente: Reporte de IBM SPSS

Elaboración: Autores

Al contar con una distribución normal en ambas variables, la prueba a utilizar para la comparación de medias es la de T-Student para muestras independientes, es así que tal como se muestra en la tabla n.º 9 el nivel de significancia obtenida es de 0.021 y al ser menor a 0.050 se infiere que los valores de concentración de Plomo en ambos países difieren estadísticamente.

Tabla N°9: Resultados de prueba estadística de T-Student del Plomo

Variable	N	Media	Sig. (bilateral)
Plomo (Ecuador)	8	0.045125	0.021
Plomo (Perú)	8	0.028625	

Fuente: Reporte de IBM SPSS

Elaboración: Autores

CONCLUSIONES

- Los metales identificados en los ríos Calera y Puyango-Tumbes son el plomo (Pb), mercurio (Hg), cromo (Cr), arsénico (As), cadmio (Cd) entre otros
- El estudio se hizo en el río Calera (Ecuador) y el río Binacional Puyango -tumbes, encontrando muchos metales, pero se hizo el estudio en metales pesados como el cianuro, el arsénico, el mercurio y el plomo por ser altamente dañino para la salud pública y el medio ambiente
- La concentración de los metales pesados en cuestión se nota una mayor presencia del cianuro en el Río Calera en comparación con el Río Puyango-Tumbes tiene un 60% más, pero ambos ríos están por encima de los niveles permitidos. La presencia de arsénico es similar en ambos ríos, pero sin mucho peligro para el riego y bebida de animales y lo mismo sucede con el mercurio y con respecto al plomo su presencia es 55% mayor en el río de Ecuador
- La Gestión de los residuos esta normado en ambos países, pero no es controlada por el estado, ni mucho menos sancionar a los causantes de la contaminación de los ríos y sus afluentes
- Los niveles de contaminación en todos los metales pesados en estudio están por debajo de los límites máximos que si no es controlado los medios que la generan muy pronto podría ser un peligro para el medio ambiente
- La presencia de los metales pesados y otros contaminantes se debe a la falta de regulación en la gestión de los desechos industriales por parte de ambos países, la presencia de Mercurio se debe, principalmente, a la minería informal y minería artesanal, desechos de restos de petróleo de arrojado al río por la empresa generación eléctrica, los desechos residuales de las poblaciones aledañas a los ríos
- La acumulación de estos metales podría ser muy dañino a largo plazo tanto para el suelo, los animales y los seres humanos causando un daño irreparable al ecosistema

RECOMENDACIONES

- Establecer sistemas de monitoreo continuo en los ríos de Perú y Ecuador para detectar y registrar la concentración de metales pesados en tiempo real. Estos sistemas deben estar equipados con sensores avanzados que proporcionen datos precisos y oportunos, permitiendo una rápida respuesta ante aumentos peligrosos de contaminantes.
- Mejorar y fortalecer la regulación y supervisión de las actividades industriales y agrícolas en ambos países. Es crucial que los gobiernos de Perú y Ecuador implementen y hagan cumplir leyes más estrictas para controlar la emisión de metales pesados y aseguren la adecuada gestión de residuos industriales y agrícolas.
- Invertir en la construcción y modernización de plantas de tratamiento de aguas residuales en áreas urbanas e industriales. Estas instalaciones deben estar diseñadas para eliminar metales pesados de manera efectiva antes de que las aguas sean vertidas en los ríos, reduciendo así la carga contaminante.
- Fomentar prácticas agrícolas sostenibles que minimicen el uso de pesticidas y fertilizantes que contienen metales pesados. Se deben promover alternativas orgánicas y biológicas, así como técnicas de agricultura de conservación, para reducir la contaminación de los afluentes.
- Desarrollar programas educativos y de concienciación para informar a las comunidades locales sobre los peligros de la contaminación por metales pesados y las formas de prevenirla. Es fundamental que las poblaciones que viven cerca de los ríos comprendan los impactos ambientales y de salud asociados y participen activamente en la protección de sus recursos hídricos.

REFERENCIAS

- Anita Singh, R. K.** (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from wastw water irrigated area of Varanasi, India. *Ecología tropical* , 2s(51), 375-387.
- Barakat, M.** (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*.
- Beltrán Pineda, M., & Gómez Rodríguez, A.** (2016). *BIORREMEDIACIÓN DE METALES PESADOS CADMIO (Cd), CROMO (Cr) Y MERCURIO (Hg) MECANISMOS BIOQUÍMICOS E INGENIERÍA ENÉTICA: UNA REVISIÓN*. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwivp8zY9K6HAxXBILkGHXhGAFgQF-noECC8QAQ&url=https%3A%2F%2Frevistas.unimilitar.edu.co%2Findex.php%2Frfcb%2Farticle%2Fdownload%2F2027%-2F1835%2F6473&usg=AOvVaw2v5HsUsPYNd0G>
- Cadenas, R. d.** (27 de Septiembre de 2022). *La contaminación minera en Ecuador amenaza a miles de habitantes de Perú*. Obtenido de La Barra Espaciadora : <https://www.labarraespaciadora.com/medio-ambiente/contaminacion-minera-ecuador-amenaza-peru/>
- Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodriguez, D., & Sandoval, I.** (2015). *Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales*. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjrq6koq-HAxVZK7kGH-YISBuMQFnoECA0QAQ&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F5432290.pdf&usg=AOvVaw1yuOAjCuExeEIlpSeAhvr7&opi=89978449>
- Cevallos, M., Lauces Albert , M., & Cuello Pérez, M.** (2023). DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS (Pb, Cd, Hg, As) EN AGUAS DEL RÍO TEAONE, ECUADOR. *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*, 7(3), 173-188. doi:<https://doi.org/10.19136/jeeos.a7n3.5692>

- Coto, J. Ó.** (2014). *Estudios de bioacumulación de un metal de interés en contaminación ambiental (plomo) en larvas de lbina de gran valor comercial*. Obtenido de <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/17347/TFG%20-%20Jose%20Oscar%20Coto%20Reyes%20Dic%202014.pdf>
- Ecuador, M. d.** (29 de Marzo de 2017). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE*. Obtenido de Ministerio del Ambiente del Ecuador : Texto Unificado de Legislación
- Federico, L., García, S., Gonzalez, J., Frascaroli, M., Bellú, S., Florencia, M., . . . Salas, J.** (2010). *Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho*. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiJ3-6FmK-HAxUSGLkGHXbIDkMQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F3235861.pdf&usg=AOvVaw3i1pcAMSrt7B2j2dZ9FGid&opi=89978449>
- García, R., & Dioses, J.** (2023). Tipos de cobertura vegetal del Área Natural Protegida “Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes”, Tumbes, Perú. *Manglar*, 20(2). doi:<http://dx.doi.org/10.57188/manglar.2023.020>
- IBERDROLA.** (2024). *La contaminación del agua: cómo no poner en peligro nuestra fuente de vida*. Obtenido de Contaminación del agua: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/contaminacion-del-agua>
- Kim, H. S., Kim, Y. J., & Seo, Y. R.** (2015). *An overview of carcinogenic heavy metal: molecular toxicity mechanism and prevention*. Obtenido de Cancer Prevention.
- Lapworth, D. J., & Gooddy, D. C.** (2006). *Source and persistence of pesticides in a semiconfined chalk aquifer of southeast England*. Obtenido de Environmental Pollution.
- Loaysa, J., Silva, M., Arce, G., & Casafranca, A.** (2015). *Gestión integral de residuos de bifenilos policlorados - PCB (Aspectos generales y ciclo de vida)*.
- MINAM, M. d.** (2017). *Cifras Ambientales 2017*. Ubigeo INEI.

- Ramos, L.** (28 de Febrero de 2023). *Análisis de la Productividad del Sector Acuícola del Catón lHuaquillas, Provincia de el Oro.* . Obtenido de Repositorio Digital Universidad Técnica de Machala : https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20922/1/E-325_LEON%20RAMOS%20LUIS%20RICARDO.pdf
- Visa, M., & Chelaru, A.** (2014). *Hydrothermally modified fly ash for heavy metals and dyes removal in advanced wastewater treatment.*
- Withers, J. A., Elser, J. J., Hilton, H., Ohtake, W., Schipper, W. J., & Van Dijk, K. C.** (2015). *Greening the global phosphorus cycle: How green chemistry can help achieve planetary P sustainability.* Obtenido de Green Chem.
- Yang, Y. Z., & Zhang, S.** (2011). *Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin.* Obtenido de Environmental Pollution.
- Yu-Jing , C., Yong-Guan , Z., Ri-Hong, Z., Deng-Yun, C., Yi-Zhong, H., Yi Qiu, & Zhong Liang, J.** (2004). Transferencia de metales del suelo a vegetales en un área cercana a una fundición en Nanning, China. *Medio Ambiente Internacional* , 30(6), 785-791. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.01.003>

Acerca de los autores

Oscar Rafael Tinoco Gómez

Nació en Huaraz, capital del departamento de Ancash, sus estudios primarios los realizó entre Huaraz y Lima, la secundaria en la Gran Unidad Escolar Ricardo Bentín, Lima, su formación profesional la realizó en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), donde se recibió como Ingeniero Industrial. Su grado de Doctor lo obtuvo en la Universidad Nacional Federico Villarreal, en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Actualmente es Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM, docente Renacyt nivel VI y coordinador del Grupo de Investigación “Producción más limpia”.

Jorge Enrique Castillo Cueva

Doctorando en Ingeniería Industrial en UNMSM, Magister en Administración Estratégica de Negocios en CENTRUM, escuela de negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Ingeniero Industrial de la UNMSM, director de DASAMI Perú SAC, Catedrático universitario.

Schelah Nadia De la Colina Rivas

Doctorando en Ingeniería Industrial en UNMSM. Magister en Administración Estratégica de Empresas en CENTRUM. Especialista en Logística, Gestión de calidad e inocuidad de alimentos en empresas agroindustriales, exportadoras y retail. Consultor de empresas. Catedrático Universitario.

Miguel Angel Oruna Rodriguez

Magister en Administración de Empresas de la UPC. Ingeniero Industrial especializado en la optimización, control y seguimiento de procesos Administrativo, logísticos y de calidad. Profesional, Técnico en Computación e Informática; experiencia comprobada en administración de proyectos, desarrollo académico e investigación. Docente en las más reconocidas universidades e instituciones educativas del país en curso de pre y postgrado.

Alberto Rodríguez Palacios Miñano

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister Gestión y Restauración del Medio Natural de la UB. Coordinador Académico de la UPN, Consultor en Gestión Ambiental y Docente Universitario.

Aldo Guillermo Rivadaneira Cuya

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Administración de Empresas, Titulado en Ingeniería Industrial. Gerente Administrativo de LYM Asesoría y Turismo. Consultor de empresas manufactureras y de servicios. Docente Universitario.

Darwin Dean Duran Janampa

Nació en Huánuco en el año 1983. Ingeniero Industrial de profesión, Magister en ingeniería industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, con estudios de doctorado en la UNMSM, especialización en ingeniería de proyectos, docencia superior y universitaria, estadística aplicada a la investigación científica, adscrito al Colegio de Ingenieros del Perú.

Percy Wenceslao Lature Bustamante

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Gestión Estratégica Empresarial, Ingeniero Mecánico de Fluidos, Especialista en Theory of Constraints. Jefe del Equipo Control y Reducción de Fugas (e), Consultor Interno TOC en SEDAPAL.

Alcides Guillermo Joo Aguayo

Docente Investigador, Ingeniero de Proyectos, Magister en Project Management, Doctorando en Ingeniería Industrial. Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Project Management, Universidad Esan. Ingeniero Mecatrónico (UNI), docente nombrado facultad de Ingeniería Industrial (UNMSM), miembro del Grupo de Investigación Producción más limpia.

Augusto Denis Madueño Macedo

Nació en Lima en el año 1961. Ingeniero Industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, doctorando en la misma especialidad por la UNMSM. Especialización en Informática e Ingeniería de Sistemas. Actualmente se desempeña como especialista en Innovación y Transferencia Tecnológica en el Instituto Tecnológico de la Producción, a la par que es docente en las áreas de pregrado y posgrado de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM. Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Educación, Ingeniero Industrial (UNMSM), miembro de la Red DOLAC - Red de Docentes de América Latina y del Caribe.

Eduardo Julian Villarroel Nuñez

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Administración Estratégica de Negocios, Ingeniero Industrial, Ingeniero Químico. Director Académico de Ingeniería UTP, Consultor Empresarial en Estrategia y Mejora continua. Docente Universitario.

Juan Enrique Sigarróstegui Gutiérrez

Ingeniero Industrial por la Universidad Ricardo Palma con Maestría en Administración de Negocios de la URP y Doctorando en Ing. Industrial en la Universidad Mayor de San Marcos – 3er ciclo; experiencia en el planeamiento, control, operación y gestión de procesos en las áreas de mantenimiento, logística y calidad.

Duilio Angel Aranda Ipince

Doctorando en Ingeniería Industrial, Magister en Administración Estratégica de Negocios. Director de AID Consulting, Agente Internacional de SEBRAE|PR en el Perú, Consultor de empresas y Docente Universitario.

Silvia Coronado Ramirez

Doctorando en Ingeniería Industrial, Ingeniero Industrial por la Universidad Nacional del Callao, Magister en Administración Estratégica de Negocios, Directora de Gestión Académica UTP. Docente universitario.

Luis Adrián González Quiñónez

Docente Investigador, Ingeniero de Mantenimiento, Máster en Sistemas de Gestión

Pedro Jesús De Bracamonte Morales

Ingeniero Industrial egresado de la Universidad Nacional de Trujillo, con Maestría en Gestión Pública otorgada por la Universidad San Martín de Porres USMP, y una segunda Maestría en Administración de Negocios MBA Executive en la Universidad César Vallejo UCV. Con 25 años de experiencia profesional y más de 10 años de labor docente.

Julio Douglas Vergara Trujillo

Ingeniero Industrial egresado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, MBA en Administración de Negocios y Finanzas Internacionales (UCSS-Universidad de Génova)

Deina Candelaria Tinoco Orihuela

Ingeniera Metalurgista y de Materiales egresada de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP), con maestría en Seguridad y Salud en el Trabajo y una segunda maestría en Ingeniería Ambiental en la Universidad Nacional del Centro del Perú, con experiencia en el sector minero metalúrgico, industrial y docente en la Universidad Continental y Universidad Nacional del Centro del Perú.

ISBN: 978-612-03-0468-6

