

**MODELAMIENTO DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS  
EN LA ZONA BAJA DEL RIO LOCUMBA EN LA PROVINCIA DE TACNA (2011-2040)**  
**MODELING OF THE PHYSICAL-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL  
PARAMETERS IN THE LOWER AREA OF THE LOCUMBA RIVER IN THE PROVINCE  
OF TACNA (2011-2040)**

**Autores: <sup>1</sup>Kely Paola Suricalló Menendez, <sup>2</sup> Marco Abad Mendoza Atahuachi, <sup>3</sup>Fray Yhoni  
Quispe Aro y <sup>4</sup>Jeanfranco Alfredo Ibarra Kocfú.**

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-2283-5393>

<sup>2</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-3285-4683>

<sup>3</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5343-7148>

<sup>4</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2122-2609>

<sup>1</sup>E-mail de contacto: [kpsuricallom@unjbg.edu.pe](mailto:kpsuricallom@unjbg.edu.pe)

<sup>2</sup>E-mail de contacto: [mamendozaa@unjbg.edu.pe](mailto:mamendozaa@unjbg.edu.pe)

<sup>3</sup>E-mail de contacto: [fquispea@unjbg.edu.pe](mailto:fquispea@unjbg.edu.pe)

<sup>4</sup>E-mail de contacto: [jibarrak@unjbg.edu.pe](mailto:jibarrak@unjbg.edu.pe)

Afiliación:<sup>1\*2\*3\*4\*</sup> Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

Artículo recibido: 31 de Agosto del 2024

Artículo revisado: 3 de Septiembre del 2024

Artículo aprobado: 15 de Octubre del 2024

<sup>1</sup>Estudiante del VI ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

<sup>2</sup>Estudiante del VI ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

<sup>3</sup>Docente de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

<sup>4</sup>Docente de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, (Perú).

### **Resumen**

La presente investigación se realizó con el objetivo de analizar el efecto de las variaciones de los parámetros físico-químicos y microbiológicos en la calidad del agua de la zona baja del río Locumba, usando datos del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos del ANA (2011-2040), la muestra seleccionada incluye aquellos registros que contienen información sobre parámetros físico-químicos (como pH, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno y metales pesados como arsénico, cadmio y plomo) y microbiológicos (como los coliformes termotolerantes) en los puntos de monitoreo establecidos en la cuenca baja del río Locumba. Los resultados revelaron que, todos los parámetros muestran una tendencia no significativa ( $p = <0,05$ ) en sus cambios a lo largo del tiempo, se ha evidenciado un deterioro en la calidad del agua, con un aumento gradual en la concentración de contaminantes. Estos hallazgos sugieren que, sin intervenciones correctivas, la calidad del agua podría deteriorarse aún más hacia el 2040, lo que afectaría tanto las actividades agrícolas

como la salud pública de las comunidades locales.

**Palabras clave: Calidad de agua, Contaminantes, Modelamiento ambiental, Parámetros físicoquímicos, Microbiológicos.**

### **Abstract**

This research was conducted with the objective of analyzing the effect of variations in physicochemical and microbiological parameters on the water quality of the lower Locumba River, using data from the National Water Resources Observatory of ANA (2011-2040). The selected sample includes records containing information on physicochemical parameters (such as pH, electrical conductivity, biochemical oxygen demand, and heavy metals like arsenic, cadmium, and lead) and microbiological parameters (such as thermotolerant coliforms) at established monitoring points in the lower Locumba River basin. The results revealed that all parameters show a non-significant trend ( $p = <0.05$ ) in their changes over time, with evidence of water quality deterioration and a gradual increase in contaminant concentrations. These findings

suggest that, without corrective interventions, water quality could further deteriorate by 2040, impacting both agricultural activities and public health in local communities.

**Keywords: Water quality, Contaminants, Environmental modeling, Physicochemical parameters, Microbiological.**

### **Sumário**

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de analisar o efeito das variações dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos na qualidade da água da parte baixa do rio Locumba, utilizando dados do Observatório Nacional de Recursos Hídricos da ANA (2011-2040). A amostra selecionada inclui registros que contêm informações sobre parâmetros físico-químicos (como pH, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio e metais pesados como arsênio, cádmio e chumbo) e microbiológicos (como coliformes termotolerantes) nos pontos de monitoramento estabelecidos na bacia baixa do rio Locumba. Os resultados revelaram que todos os parâmetros mostram uma tendência não significativa ( $p = <0,05$ ) em suas mudanças ao longo do tempo, evidenciando um deterioramento na qualidade da água, com aumento gradual na concentração de contaminantes. Estes achados sugerem que, sem intervenções corretivas, a qualidade da água pode se deteriorar ainda mais até 2040, afetando tanto as atividades agrícolas quanto a saúde pública das comunidades locais.

**Palavras-chave: Qualidade da água, Contaminantes, Modelagem ambiental, Parâmetros físico-químicos, Microbiológicos.**

### **Introducción**

La calidad del agua es un componente fundamental para el desarrollo sostenible de las comunidades y la preservación de los ecosistemas acuáticos, especialmente en regiones áridas como Tacna, donde la disponibilidad de recursos hídricos es limitada (Samillan, 2014). La cuenca del río Locumba, localizada en el sur del Perú, es un recurso clave para las actividades agrícolas, industriales y el

consumo humano de la provincia de Jorge Basadre (Alvis & Alvis, 2021). Esta cuenca presenta una variabilidad altitudinal que va desde los 0 hasta los 5,690 msnm, abarcando desde las nacientes en la cordillera andina hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, lo que contribuye a una diversidad de características físicas y químicas del agua a lo largo de su recorrido (Escobar y Huanacuni, 2012; Huanacuni, 2013).

La Autoridad Nacional del Agua (ANA), a través del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos, ha realizado monitoreos participativos de la calidad del agua en la cuenca del río Locumba desde el año 2011. Estos monitoreos han identificado variaciones en los niveles de pH, conductividad eléctrica, concentración de metales pesados (como arsénico y cadmio), y la presencia de coliformes termotolerantes, lo cual ha generado preocupaciones sobre la aptitud de las aguas para diversos usos, como el riego agrícola y el consumo humano (Huanacuni et al., 2012; Escobar y Huanacuni, 2012). Informes técnicos han concluido que, en varios tramos de la cuenca, el agua no es apta para el consumo sin tratamiento, lo que resalta la necesidad de un monitoreo continuo y una gestión adecuada de los recursos hídricos (Samillan, 2014; Alvis y Alvis, 2021).

Estudios previos, como el de Churata y Chambilla (2019), destacan la influencia de actividades mineras e industriales sobre la contaminación de la cuenca baja, especialmente en el contexto de la bahía de Ite, que recibe descargas de aguas residuales tratadas de la minería. Asimismo, Lupaca (2014) analizó la concentración de metales pesados en sedimentos de la cuenca, resaltando la presencia de arsénico en niveles que superan los estándares ambientales para cuerpos de agua. El

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2016) subraya la importancia de la cuenca del río Locumba como fuente de abastecimiento hídrico, así como la necesidad de políticas de manejo sostenible para mantener la calidad del recurso.

En este contexto, el presente estudio se enfoca en el "Modelamiento de los Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos en la Zona Baja del Río Locumba en la Provincia de Tacna (2011-2040)", utilizando datos históricos proporcionados por la ANA. El objetivo principal es identificar las tendencias de variación de los parámetros de calidad del agua desde el año 2011 hasta la actualidad y, a partir de ello, proyectar su evolución hasta el año 2040 (Alvis & Alvis, 2021). Para ello, se emplearán técnicas de regresión lineal mediante el software SPSS, lo cual permitirá estimar los cambios futuros en la calidad del agua considerando los datos recopilados en los diferentes puntos de monitoreo establecidos por la ANA (Huanacuni et al., 2012; Huanacuni, 2013).

El análisis de la calidad del agua en la cuenca baja del río Locumba es esencial no solo para identificar las fuentes de contaminación y su impacto a largo plazo, sino también para desarrollar estrategias de gestión que promuevan el uso sostenible del recurso hídrico (Samillan, 2014; Lupaca, 2014). Los resultados de este estudio contribuirán a la implementación de políticas de manejo del agua, apoyando la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades locales y nacionales (Escobar y Huanacuni, 2012; Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2016). Asimismo, permitirán formular recomendaciones para mitigar el impacto de actividades agrícolas, industriales y domésticas sobre la calidad del agua, garantizando así un

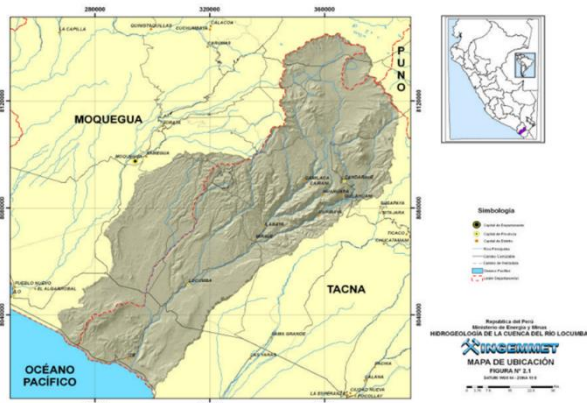
suministro adecuado y seguro para las comunidades que dependen del río Locumba (Huanacuni et al., 2012). Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo: Analizar el efecto de las variaciones de los parámetros físico-químicos y microbiológicos en la calidad del agua de la zona baja del río Locumba, usando datos del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos del ANA (2011-2040).

### **Desarrollo**

La investigación es de tipo cuantitativa y predictiva, ya que se basa en el análisis de datos históricos sobre la calidad del agua obtenidos del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos del ANA. A través de técnicas de regresión, se modelaron las relaciones entre el tiempo y los parámetros de calidad del agua, con el fin de realizar proyecciones que permitan predecir la evolución de estos parámetros hasta el año 2040. El estudio sigue un diseño longitudinal, ya que se analizaron datos desde el año 2011 hasta el presente para identificar cambios en la calidad del agua a lo largo del tiempo y para proyectar su evolución futura. Este diseño es adecuado para observar cómo varían los parámetros de calidad del agua a medida que transcurren los años, proporcionando una visión detallada de la dinámica temporal de las variables.

La población de estudio está compuesta por todos los registros de calidad del agua de la zona baja del río Locumba, desde el año 2011 hasta la actualidad, recopilados por el Observatorio Nacional de Recursos Hídricos del ANA. La muestra seleccionada incluye aquellos registros que contienen información sobre parámetros físico-químicos (como pH, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno y metales pesados como arsénico, cadmio y plomo) y microbiológicos (como los coliformes

termotolerantes) en los puntos de monitoreo establecidos en la cuenca baja del río Locumba.



**Figura 1** Mapa de ubicación del Río Locumba

Los datos que se utilizaron en este estudio son de tipo secundario, provienen de registros históricos de calidad del agua obtenidos del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos del ANA. Estos datos incluyen información detallada sobre la evolución de diversos parámetros de calidad del agua en diferentes puntos de monitoreo a lo largo de los años. Para el análisis se utilizaron bases de datos y reportes digitales proporcionados por el Observatorio Nacional de Recursos Hídricos del ANA. Estos datos serán organizados y procesados en el software SPSS, que se empleará para realizar el análisis de regresión y la generación de proyecciones.

El procedimiento comienza con la recolección y organización de los datos históricos de calidad del agua desde 2011 hasta la fecha actual. Estos datos fueron estructurados en una base de datos en SPSS, asegurando su calidad y consistencia. Posteriormente, se realizó un análisis descriptivo inicial en SPSS para resumir las características de cada parámetro, utilizando gráficos y medidas como la media, la mediana y la desviación estándar.

Una vez concluida la fase descriptiva, se procedió a realizar un análisis de regresión

lineal para cada parámetro de calidad del agua, considerando el año como la variable independiente y los valores de cada parámetro como la variable dependiente. Esto permitió establecer una relación matemática que describa la evolución de cada parámetro a lo largo del tiempo. La validez de los modelos se evaluó a través del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el análisis de los residuos, con el fin de asegurar un ajuste adecuado de los datos históricos. Con las ecuaciones de regresión obtenidas, se generaron proyecciones de los valores de cada parámetro de calidad del agua hasta el año 2040, utilizando las herramientas de predicción de SPSS. Estas proyecciones se representaron gráficamente, facilitando la interpretación de las tendencias futuras.

El análisis de los datos incluye la interpretación de los coeficientes de regresión para cada parámetro de calidad del agua, determinando la dirección y la magnitud del cambio en función del tiempo. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es clave para evaluar qué tan bien los modelos de regresión explican la variabilidad de los parámetros de calidad del agua. Modelos con un  $R^2$  más alto indicarán un mejor ajuste y fiabilidad en las predicciones. Las proyecciones se realizaron directamente en SPSS, extendiendo las ecuaciones de regresión hacia el futuro para obtener predicciones de cada parámetro hasta el año 2040.

La validez interna del estudio se asegura mediante el uso de datos oficiales y confiables proporcionados por el Observatorio Nacional de Recursos Hídricos del ANA, así como la aplicación de técnicas estadísticas apropiadas a través de SPSS. La confiabilidad se garantizó mediante la verificación de los datos antes de su análisis y la repetición de los análisis para comprobar la consistencia de los resultados. Asimismo, se evaluó la normalidad de los

residuos y la homocedasticidad para asegurar que los modelos de regresión sean robustos y que las predicciones sean precisas.

En este estudio, las consideraciones éticas se centraron principalmente en la integridad de los datos y el uso responsable de los métodos estadísticos. El análisis de los datos incluye la interpretación de los coeficientes de regresión para cada parámetro de calidad del agua, determinando la dirección y magnitud de los cambios a lo largo del tiempo.

### **Resultados y discusión**

En el presente estudio se evaluaron las tendencias de los parámetros físico-químicos en la zona baja del río Locumba, usando datos del Observatorio Nacional de Recursos Hídricos del ANA (2011-2040), partiendo de los niveles de aceites y grasas, conductividad eléctrica, concentración de oxígeno disuelto, pH, arsénico, boro, cadmio, plomo, coliformes termotolerantes.

Según la tabla 1, se muestra que el modelo de regresión no es significativo, ya que el valor p de 0.133 indica que la relación entre el año y la concentración de aceites y grasa no es suficientemente fuerte para ser considerada estadísticamente relevante. Por lo tanto, no se puede concluir que el año influya significativamente en la concentración de aceites y grasa (mg/l) en este contexto.

**Tabla 1** *Análisis de varianza para la regresión de aceites y grasa (mg/l)*

Modelo	Suma de cuadrados	gl	MC	F	Sig.
Regresión	,264	1	,264	2,446	,133
Residual	2,265	21	,108		
Total	2,528	22			

*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados muestran que la relación entre el tiempo y la concentración de aceites y grasas no es significativa ( $p = 0.133$ ). Aunque no se

detecta una variación relevante a lo largo de los años, es crucial señalar que los aceites y grasas pueden tener efectos adversos sobre la vida acuática, incluso a bajas concentraciones, ya que crean barreras que limitan el intercambio de oxígeno en la superficie del agua. Samillan (2014) destaca que, en regiones agrícolas como la cuenca baja del Locumba, el uso de productos químicos industriales y agrícolas puede contribuir a la acumulación de estos compuestos. Además, la presencia de aceites y grasas por encima de los estándares permitidos por el ECA puede tener un impacto significativo en el ecosistema, independientemente de las fluctuaciones temporales.

**Tabla 2** *Análisis de varianza para la regresión de conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )*

Modelo	Suma de cuadrados	gl	MC	F	Sig.
Regresión	493613,408	1	493613,408	2,305	,144
Residual	4497320,108	21	214158,100		
Total	4990933,517	22			

*Fuente: Elaboración propia*

El análisis revela que no existe una relación significativa entre el año y la conductividad eléctrica ( $p = 0.144$ ). Sin embargo, Castillo y Medina (2014) subrayan que una elevada conductividad puede limitar el uso del agua para riego, afectando la productividad agrícola y la estructura del suelo. Alvis y Alvis (2021) también identifican que en la cuenca baja del río Locumba, la actividad agrícola intensiva contribuye al arrastre de sales hacia el río, lo que podría estar afectando la conductividad eléctrica. A pesar de que no se observa una tendencia significativa, el monitoreo continuo de este parámetro es esencial para asegurar que los niveles se mantengan dentro de los límites permitidos por el ECA.

Asimismo, en la tabla 3, el análisis de varianza para la regresión de oxígeno disuelto (mg/l) muestra que el modelo está cerca de ser

significativo, con un valor p de 0.057, ligeramente superior al umbral de 0.05. El estadístico F es 4.059, lo que indica una relación moderada entre el predictor AÑO y la variabilidad en el oxígeno disuelto. Aunque el modelo sugiere una tendencia, no se puede afirmar con suficiente confianza que el AÑO tenga un impacto significativo sobre la concentración de oxígeno disuelto (mg/l) en este caso.

**Tabla 3** *Análisis de varianza para la regresión de oxígeno disuelto (mg/l)*

Modelo	Suma de cuadrados	gl	MC	F	Sig.
Regresión	18,081	1	18,081	4,059	,057 <sup>b</sup>
Residual	93,536	21	4,454		
Total	111,617	22			

*Fuente: Elaboración propia*

El análisis muestra una tendencia cercana a la significancia ( $p = 0.057$ ), lo que indica que podría haber una disminución en los niveles de oxígeno disuelto. Este parámetro es vital para la supervivencia de la fauna acuática, y una reducción podría tener efectos negativos sobre la biodiversidad. Alvis y Alvis (2021) mencionan que en la cuenca baja del río Locumba, la intensificación de las actividades agrícolas y la descarga de aguas residuales pueden estar reduciendo los niveles de oxígeno disuelto. Este fenómeno es similar al observado por Auccahuasi (2015) en el río Madre de Dios, donde la eutrofización causada por nutrientes como fosfatos y nitratos contribuyó a una disminución del oxígeno disuelto.

Por otro lado, aunque en la tabla 4 no se encontró una relación significativa entre el pH y el tiempo ( $p = 0.060$ ), es importante mantener este parámetro dentro de los rangos aceptables (6.5 a 8.5) para garantizar la aptitud del agua para la vida acuática y el uso humano. Huanacuni et al. (2012) mencionan que, en la cuenca del Locumba, las variaciones en el pH están relacionadas con la actividad minera y

agrícola, lo que puede afectar la calidad del agua a largo plazo. Cualquier desviación del rango óptimo podría alterar la bioquímica del agua, afectando la flora y fauna acuática.

**Tabla 4** *Análisis de varianza regresión de potencial de hidrogenión (pH)*

Modelo	Suma de cuadrados	gl	MC	F	Sig.
Regresión	10,494	1	10,494	3,937	,060 <sup>b</sup>
Residual	55,978	21	2,666		
Total	66,472	22			

*Fuente: Elaboración propia*

El análisis de varianza para la regresión del potencial de hidrogenión (pH) muestra que el modelo no es estadísticamente significativo, aunque está cerca del umbral con un valor p de 0.060, ligeramente mayor que el nivel común de 0.05. El estadístico F es 3.937, lo que indica una relación moderada entre el predictor AÑO y la variabilidad del pH. Sin embargo, no hay suficiente evidencia para afirmar que el AÑO tenga un impacto significativo en el pH.

En la tabla 5, donde el análisis de varianza para la regresión de arsénico (mg/l) muestra que el modelo no es estadísticamente significativo, con un valor p de 0.868, muy superior al umbral de 0.05. El estadístico F es 0.028, lo que indica que prácticamente no hay relación entre el predictor AÑO y la variabilidad en la concentración de arsénico. Por lo tanto, no se puede concluir que el AÑO tenga un impacto significativo en los niveles de arsénico (mg/l).

**Tabla 5** *Análisis de varianza de regresión de arsénico (mg/l)*

Modelo	Suma de cuadrados	gl	MC	F	Sig.
Regresión	,000	1	,000	,028	,868 <sup>b</sup>
Residual	,198	21	,009		
Total	,198	22			

*Fuente: Elaboración propia*

No se detectó una tendencia significativa para el arsénico ( $p = 0.868$ ), pero cualquier concentración superior a los límites

establecidos (0.01 mg/l) representa un riesgo considerable para la salud humana. Lupaca (2014) encontró que los niveles de arsénico en varios puntos del río Locumba, especialmente después de la confluencia con el río Azufre Chico, exceden los valores guía, lo que refuerza la necesidad de monitorear y mitigar esta contaminación. Este metal pesado, altamente tóxico y bioacumulativo, puede tener efectos a largo plazo sobre la salud pública y los ecosistemas acuáticos.

El análisis de varianza para la regresión de boro (mg/l) muestra que el modelo no es estadísticamente significativo, con un valor p de 0.111, mayor al umbral de 0.05. El estadístico F es 2.770, lo que indica una baja relación entre el predictor AÑO y la variabilidad en la concentración de boro. En consecuencia, no se puede concluir que el AÑO tenga un impacto significativo sobre la concentración de boro (mg/l), tal como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6** *Análisis de varianza de regresión de boro (mg/l)*

Modelo	Suma de cuadrados	gl	MC	F	Sig.
Regresión	6,542	1	6,542	2,770	,111 <sup>b</sup>
Residual	49,589	21	2,361		
Total	56,131	22			

*Fuente: Elaboración propia*

Aunque el modelo no es estadísticamente significativo ( $p = 0.072$ ), el cadmio sigue siendo un contaminante de preocupación debido a sus efectos tóxicos. Márquez et al. (2005) reportaron niveles elevados de cadmio en ríos afectados por actividades industriales, lo que coincide con los hallazgos en el río Locumba. Este metal pesado puede acumularse en los sedimentos y ser liberado bajo ciertas condiciones ambientales, afectando tanto la vida acuática como la salud humana.

En la tabla 7, donde el análisis de varianza para la regresión de cadmio (mg/l) muestra que el

modelo no es estadísticamente significativo, aunque está cerca del umbral, con un valor p de 0.072. El estadístico F es 3.603, lo que sugiere una tendencia moderada en la relación entre el predictor AÑO y la variabilidad en la concentración de cadmio. Sin embargo, dado que el valor p es mayor a 0.05, no se puede afirmar con suficiente confianza que el AÑO tenga un impacto significativo en la concentración de cadmio (mg/l).

**Tabla 7** *Análisis de varianza de regresión de cadmio (mg/l)*

Modelo	Suma de cuadrados	gl	MC	F	Sig.
Regresión	,000	1	,000	3,603	,072 <sup>b</sup>
Residual	,000	21	,000		
Total	,000	22			

*Fuente: Elaboración propia*

Aunque el modelo no es estadísticamente significativo ( $p = 0.072$ ), el cadmio sigue siendo un contaminante de preocupación debido a sus efectos tóxicos. Márquez et al. (2005) reportaron niveles elevados de cadmio en ríos afectados por actividades industriales, lo que coincide con los hallazgos en el río Locumba. Este metal pesado puede acumularse en los sedimentos y ser liberado bajo ciertas condiciones ambientales, afectando tanto la vida acuática como la salud humana.

En la tabla 8, la varianza para la regresión de plomo (mg/l) muestra que el modelo no es estadísticamente significativo, con un valor p de 0.088, superior al umbral de 0.05. El estadístico F es 3.208, lo que indica una relación moderada entre el predictor AÑO y la variabilidad en la concentración de plomo. Sin embargo, debido a que el valor p es mayor a 0.05, no se puede afirmar con suficiente confianza que el AÑO tenga un impacto significativo sobre la concentración de plomo (mg/l).

**Tabla 8** Análisis de varianza de regresión de plomo (mg/l)

Modelo	Suma de cuadrados	gl	MC	F	Sig.
Regresión	,000	1	,000	3,208	,088 <sup>b</sup>
Residual	,001	21	,000		
Total	,001	22			

Fuente: Elaboración propia

El análisis muestra una relación no significativa ( $p = 0.088$ ), pero cualquier concentración que supere los límites establecidos ( $0.01 \text{ mg/l}$ ) representa un riesgo para la salud pública. Churata y Chambilla (2019) mencionan que la actividad minera en la cuenca baja del río Locumba ha contribuido a la presencia de metales pesados como el plomo, que puede acumularse en los organismos vivos y causar problemas de salud, especialmente en poblaciones vulnerables como los niños.

En la tabla 9, el modelo no es estadísticamente significativo, con un valor  $p$  de  $0.399$ , mayor que el umbral de  $0.05$ . El estadístico  $F$  es  $0.742$ , lo que indica una relación muy débil entre el predictor AÑO y la variabilidad en la concentración de coliformes. Por lo tanto, no se puede concluir que el AÑO tenga un impacto significativo sobre la concentración de coliformes ( $\text{mg/l}$ ).

**Tabla 9** Análisis de varianza de regresión de coliformes termotolerantes (mg/l)

Modelo	Suma de cuadrados	gl	MC	F	Sig.
Regresión	2699567423,962	1	2699567423,962	,742	,399
Residual	76423483378,367	21	3639213494,208		
Total	79123050802,330	22			

Fuente: Elaboración propia

Aunque no se encontró una relación significativa entre el tiempo y la concentración de coliformes ( $p = 0.399$ ), la presencia de estos indicadores de contaminación fecal es alarmante. Churata y Chambilla (2019) documentaron que la bahía de Ite, receptora de las aguas del río Locumba, ha estado expuesta a

una contaminación fecal significativa debido a las descargas no tratadas de aguas residuales. Estos niveles de coliformes representan una amenaza directa para la salud pública, especialmente en las áreas donde el agua se utiliza para consumo humano o riego de cultivos.

### Proyección hacia 2040

Los resultados del modelamiento hasta el año 2040 indican una tendencia preocupante en algunos parámetros, como los coliformes termotolerantes y los metales pesados. Sin intervenciones significativas, se espera que las concentraciones de estos contaminantes aumenten, lo que podría afectar gravemente tanto las actividades agrícolas como la salud pública. Lupaca (2014) y Samillan (2014) ya han advertido sobre el impacto negativo de la contaminación en la cuenca baja del Locumba, y los resultados de este estudio refuerzan la necesidad de políticas de gestión más estrictas para mitigar estos efectos.

Como aspecto final, este análisis reafirma la necesidad de implementar medidas correctivas en la cuenca del río Locumba para evitar un mayor deterioro de la calidad del agua. La creciente actividad agrícola, combinada con la falta de sistemas de tratamiento adecuados, está contribuyendo al incremento de contaminantes como los metales pesados y coliformes. Si no se toman medidas, los niveles de contaminación continuarán aumentando, poniendo en riesgo tanto la salud humana como el equilibrio ecológico de la región.

### Conclusiones

El análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua en la cuenca baja del río Locumba, basado en datos históricos proporcionados por el Observatorio Nacional de Recursos Hídricos del ANA, permite concluir



que las actividades humanas, especialmente la agricultura y la industria, han generado un impacto progresivo en la calidad del agua. Aunque todos los parámetros muestran una tendencia no significativa ( $p = <0,05$ ) en sus cambios a lo largo del tiempo, se ha evidenciado un deterioro en la calidad del agua, con un aumento gradual en la concentración de contaminantes como los metales pesados (arsénico, plomo, cadmio) y los coliformes termotolerantes. Estos hallazgos sugieren que, sin intervenciones correctivas, la calidad del agua podría deteriorarse aún más hacia el 2040, lo que afectaría tanto las actividades agrícolas como la salud pública de las comunidades locales.

#### **Agradecimientos**

Se agradece el apoyo al Magister Fray Quispe docente del curso de Simulación y modelamiento ambiental de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Jorge Basadre Grohmann de Tacna, Perú.

#### **Bibliografía**

- Alviz Gonzales, D., & Alviz Gonzales, F. (2021). Análisis comparativo en los niveles de concentración de metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn y Pb) en sedimentos, entre la zona alta y zona baja del río Locumba, región Tacna, 2021.
- Apaza, C., Gonzales, A., & Ancca, M. (2023). Niveles de concentración de metales pesados en sedimentos de zona alta del río Locumba, Perú. *Producción+ Limpia*, 18(2), 103-115.
- Asadi, A., Talebbeydokhti, N., & Massah, A. (2017). Assessing the impacts of climate and land use change on streamflow, water quality and suspended sediment in the Kor River Basin, Southwest of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 20. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-017-6880-6>
- Ashaolu, O. (2020). Proximate analysis and health risk assessment of heavy metal pollutant of water and sediments in osun river. *Open Journal of Environmental Research* (ISSN: 2734-2085), 1(2), 01-08. <http://openjournalsnigeria.org.ng/pub/ojer20200201.pdf>
- Auccahuasi, W. (2015). Calidad de Agua y sedimento en el rio Madre de Dios departamento Madre de Dios, Perú 2015. Madre de Dios: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Obtenido de <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/116>
- Castillo, Z., & Medina, V. (2014). Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río Rímac, de enero a agosto del 2011, en tres puntos de monitoreo. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/243498>
- Chibuike Benjamin A, Gregory Ejikeme O (2022) Heavy Metal Concentration and Pollution Status of Cross River in Afikpo Catchment Area, Ebonyi State, Nigeria, PREPRINT (Version 1) available at Research Square <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs2049006/v1>
- Churata, A., & Chambilla, W. (2019). Historia de la contaminación de la bahía de Ite por la empresa minera Southern Perú. *La Vida y la Historia*, 10. Obtenido de <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/vyh/article/view/874>
- Churata, R., & Chambilla, H. (2019). Historia de la contaminación de la bahía de Ite por la empresa minera Southern Perú. Recuperado de <https://www.investigacionperu.org>
- Egbujor, C., Ogbodo, J., David, A., Anieze, O., Amasiatu, S., & Ekwuatu, I. (2020). Physicochemical Characteristics and Heavy Metal Levels of Four Rivers in Nkanu West and Nkanu East Local Government Areas of Enugu State Nigeria. 8(4): 18-29, 2020; *Article no.AJOCS.57301 ISSN: 2456-7795. DOI: 10.9734/AJOCS/2020/v8i419050*
- Escobar Quispe, L., & Huanacuni Lupaca, C. (2012). Informe técnico del primer monitoreo participativo de calidad de agua superficial del año 2012 en las cuencas Locumba y Sama (realizado del 05 al 17 de marzo 2012).

- Fu L, Yu Y, Yu F, Xiao J, Fang H, Li W, Xie Z, Zhang F and Lin S (2023) Profiles and spatial distributions of heavy metals, microbial communities, and metal resistance genes in sediments from an urban river. *Front. Microbiol.* 14:1188681. doi: 10.3389/fmicb.2023.1188681
- Gevorgyan, G.; Mamyán, A.; Boshyan, T.; Vardanyan, T.; Vaseashta, A. (2021) Heavy Metal Contamination in an Industrially Affected River Catchment Basin: Assessment, Effects, and Mitigation. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18, 2881. <https://doi.org/10.3390/ijerph1806288>
- Guo, X.; Xiao, Y.; Zhao, L.; Yang, T.; Tang, C.; Luo, W.; Huang, C.; Zheng, F. (2023) Spatio-Temporal Analysis and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Water from the Fuhe River, South China. *Water*, 15, 641. <https://doi.org/10.3390/w15040641>
- Huanacuni Lupaca, C. (2013). Informe técnico del segundo monitoreo participativo de calidad de agua superficial del año 2013 en las cuencas Locumba y Sama (realizado del 17 al 27 de abril 2013).
- Huanacuni Lupaca, C. (2013). Tercer monitoreo participativo de calidad de agua superficial en las cuencas Locumba y Sama (realizado del 29 de octubre al 11 de noviembre 2013).
- Huanacuni Lupaca, C., Colque, P., & del Pilar, M. (2012). Informe técnico del segundo monitoreo participativo de calidad de agua superficial del año 2012 en las cuencas Locumba y Sama (realizado del 13 al 22 de agosto 2012).
- Kwok, K. (2014). Sediment quality guidelines: challenges and opportunities for improving sediment management. *Environmental Science and Pollution Research*, 10. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-013-1778-7>
- Laino, R., Bello, R., González, M., Ramírez, N., Jiménez, F., & Musálem, K. (2015). Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y ciencias del agua*, 14. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222015000400004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000400004)
- Lupaca, C. (2014). Evaluación de metales en sedimentos en la cuenca del río Locumba. Autoridad Nacional del Agua.
- Lupaca, H. (2014). "Informe técnico del primer monitoreo participativo de la calidad del sedimento en medio acuático en las cuencas de los ríos caplina, maure, uhusuma, locumba y sama". Tacna.
- Márquez, G., Fernández, Z., del Toro, R., Goehler, C., & Luederitz, V. (2005). Contaminación por metales pesados en los sedimentos de los ríos Tímina y Hatibónico, Camagüey, Cuba. *Revista Cubana de Química*.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2016). Uso de recursos hídricos en la cuenca del río Locumba. Recuperado de <https://www.midagri.gob.pe>
- Rezapour, S., Asadzadeh, F., Nouri, A. y Mohammad Heidari (2022) Distribución, distribución de fuentes y análisis de riesgos de metales pesados en sedimentos fluviales de la cuenca del lago Urmia. *Sci Rep* 12, 17455. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21752-w>
- Ribeiro, Gabrielle França et al. (2022) Coliforms and antibiotic-resistant bacteria in water from rivers and wells at Curitiba, Santa Catarina. *Acta Brasiliensis*, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 43-48. ISSN 2526-4338. Available at: <http://revistas.ufcg.edu.br/actabra/index.php/actabra/article/view/580> Date accessed: 17 oct. 2024. doi: <https://doi.org/10.22571/2526-4338580>
- Samillán Rodríguez, D. (2014). Evaluación físico-química y microbiológica de las aguas del Río Reque-Chiclayo 2014.
- Seo, Mijin, Haejin Lee, and Yongseok Kim. (2019). "Relationship between Coliform Bacteria and Water Quality Factors at Weir Stations in the Nakdong River, South Korea" *Water* 11, no. 6: 1171. <https://doi.org/10.3390/w11061171>
- Sojka, M.; Jaskuła, J. (2022) Heavy Metals in River Sediments: Contamination, Toxicity, and Source Identification. A Case Study

from Poland. *Int. J. Environ. Res.* 19, 10502.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph191710502>  
Uchechi Emmanuella Nwogu, Angela Chika Udebuani and Ugwu Tochukwu Nicholas (2022) "Heavy Metal Contamination Index, Metal Index and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Content of Ochani River in Ogoni, Rivers State, Nigeria". Department of Biotechnology, Federal University of Technology, P.M.B. 1526, Owerri, Nigeria. *31(9): 36-47, 2022; Article no.IJBCRR.92727. ISSN: 2231-086X, NLM ID: 101654445. DOI: 10.9734/IJBCRR/2022/v31i9780*

Zhao, Xingqing, Jian Huang, Xuyan Zhu, Jinchun Chai, and Xiaoli Ji. (2020). "Ecological Effects of Heavy Metal Pollution on Soil Microbial Community Structure and Diversity on Both Sides of a River around a Mining Area" *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17, no. 16: 5680.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph17165680>



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © Kely Paola Suricallo Menendez, Marco Abad Mendoza Atahuachi, Fray Yhoni Quispe Aro y Jeanfranco Alfredo Ibarra Kocfú.

