

Análisis Espacial de Parámetros Físicos-Químicos del agua en el Río Grande de Huamachuco y su relación con la Bocatoma

Spatial análisis of physical-chemical parameters of water in the Huamachuco river and its relationship with the Intake

Carlos Moya Egoavil

Departamento de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Católica de Trujillo
<https://orcid.org/0000-0002-8072-2796>

c.moya@uct.edu.pe

Aldo Roger Castillo Chung

Departamento de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Católica de Trujillo
<https://orcid.org/0000-0002-2270-1671>

a.castillo@uct.edu.pe

Jeremías Jamaca Egoavil

Departamento de Ciencias
Universidad Católica de Trujillo

jeremias.jamanca@upn.edu.pe

DOI: <https://doi.org/10.46363/high-tech.v5i2>

Resumen

El presente estudio analiza el comportamiento espacial de los parámetros fisicoquímicos del agua en el río Grande de Huamachuco y su relación con el uso de la bocatoma. El objetivo es evaluar cómo el pH, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales (TDS) y la salinidad varían a lo largo del cauce y su posible influencia en la calidad del agua para riego. Se empleó un diseño no experimental, de tipo descriptivo y correlacional. Se realizaron muestreos en puntos estratégicos, ubicados entre 200 y 1000 metros antes y después de la bocatoma. Las muestras fueron analizadas utilizando técnicas de medición in situ y laboratorio para determinar los parámetros fisicoquímicos. Los resultados evidenciaron una disminución del pH después de la bocatoma, lo que podría indicar una alteración en la composición del agua. La conductividad eléctrica mostró fluctuaciones leves, sugiriendo variaciones en la concentración de iones disueltos. El análisis de TDS reflejó un patrón de incremento posterior a la captación, mientras que la salinidad presentó una ligera tendencia a aumentar aguas abajo. Se concluye que la bocatoma influye en los parámetros fisicoquímicos del río, lo que podría afectar su idoneidad para riego. Estos hallazgos resaltan la necesidad de monitoreo continuo para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico en la región.

Palabras clave: Río Grande – Huamachuco - bocatoma

Abstract

The present study analyzes the spatial behavior of the physical-chemical parameters of water in the Río Grande de Huamachuco and its relationship with the use of the intake. The objective is to evaluate how pH, electrical conductivity, total dissolved solids (TDS) and salinity vary along the channel and their possible influence on the quality of irrigation water. A non-experimental, descriptive and correlational design was used. Sampling was carried out at strategic points, located between 200 and 1000 meters before and after the intake. The samples were analyzed using in situ and laboratory measurement techniques to determine the physical-chemical parameters.

The results showed a decrease in pH after intake, which could indicate an alteration in the composition of the water. The electrical conductivity showed slight fluctuations, suggesting variations in the concentration of dissolved ions. The TDS analysis reflected a pattern of increase after collection, while salinity showed a slight tendency to increase downstream. It is concluded that the intake influences the physical-chemical parameters of the river, which could affect its suitability for irrigation. These findings highlight the need for continuous monitoring to ensure the sustainability of water resources in the region.

Keywords: Large river – Huamachuco - intake

1. Introducción

El agua es un recurso fundamental para la vida y el desarrollo de las sociedades, desempeñando un papel esencial en la agricultura, la industria y el consumo humano. Su disponibilidad y calidad han sido objeto de estudio a lo largo del tiempo, debido a la creciente presión que ejerce la actividad humana sobre los ecosistemas acuáticos. La calidad del agua no solo depende de sus características físico-químicas y biológicas, sino también de la influencia de factores naturales y antropogénicos que alteran su composición. En el contexto de los ríos andinos, donde el uso del agua es clave para el riego agrícola y el abastecimiento de comunidades locales, es fundamental comprender los cambios en sus propiedades físicoquímicas a lo largo de su curso. El río Grande de Huamachuco, ubicado en la región La Libertad, Perú, es un afluente vital para la actividad agrícola y el sustento de numerosas comunidades. Su calidad de agua es crucial para garantizar su aprovechamiento sostenible, especialmente en zonas donde se han instalado infraestructuras de captación como bocatomas. Estas estructuras, diseñadas para desviar o regular el flujo de agua con fines de riego o abastecimiento, pueden modificar los parámetros físicoquímicos del río, alterando su dinámica y su composición. En este contexto, surge la necesidad de evaluar el impacto que la bocatoma tiene sobre la calidad del agua y sus implicaciones ambientales

y agronómicas.

Los parámetros físicoquímicos del agua, como el pH, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos totales (TDS) y la salinidad, son indicadores fundamentales para determinar su calidad. El pH mide la acidez o alcalinidad del agua y puede verse afectado por descargas industriales, residuos orgánicos y procesos naturales como la meteorización de rocas. La conductividad eléctrica está relacionada con la concentración de iones disueltos en el agua, proporcionando información sobre la presencia de sales y minerales. Los TDS incluyen todas las sustancias disueltas en el agua, desde sales minerales hasta contaminantes, y su valor puede influir en la potabilidad y la aptitud para el riego. La salinidad, por su parte, es un factor clave en la agricultura, ya que niveles elevados pueden afectar la absorción de agua por parte de las plantas y reducir la productividad de los cultivos.

Diversos estudios han demostrado que la captación de agua en bocatomas puede generar cambios en estos parámetros. En algunos casos, la alteración del flujo puede provocar la concentración de ciertos elementos en el agua residual, modificando su composición a lo largo del curso del río. Además, el arrastre de sedimentos y la variación en la velocidad del flujo pueden influir en la calidad del agua disponible aguas abajo. Estos efectos pueden ser particularmente significativos en ecosistemas frágiles, donde la disponibilidad de agua limpia

es limitada y su gestión debe realizarse con criterios de sostenibilidad.

En el caso del río Grande de Huamachuco, la presencia de una bocatoma plantea interrogantes sobre su impacto en la calidad del agua. El presente estudio se enfoca en analizar la variabilidad espacial de los parámetros fisicoquímicos antes y después de la captación, con el fin de comprender los cambios en su composición y su potencial influencia en el uso del recurso para riego. Se busca determinar si la bocatoma genera modificaciones en los valores de pH, conductividad eléctrica, TDS y salinidad, y evaluar la magnitud de estas variaciones en función de la

distancia respecto al punto de captación.

Para alcanzar estos objetivos, se ha diseñado una metodología basada en muestreos sistemáticos en diferentes puntos del río, abarcando un tramo representativo antes y después de la bocatoma. Se han aplicado técnicas de análisis in situ y de laboratorio para la determinación de los parámetros fisicoquímicos, garantizando la precisión y confiabilidad de los resultados. La interpretación de los datos se ha realizado mediante herramientas estadísticas y gráficas, permitiendo visualizar los patrones de variación y su relación con la captación de agua.

1. Materiales y métodos

1.1. Diseño de estudio

El estudio se desarrollará bajo un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la medición y análisis de variables fisicoquímicas del agua del río Grande. Se utilizarán métodos científicos y herramientas analíticas para recopilar datos objetivos y verificables. La investigación es de tipo descriptivo y transversal, ya que se evaluará la calidad fisicoquímica del agua del río mediante la medición de parámetros como pH,

conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, entre otros, con el objetivo de caracterizar su estado actual. De la misma manera se centra en caracterizar la calidad del agua mediante el análisis de sus parámetros fisicoquímicos sin modificar sus condiciones.

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no hay manipulación de variables, pero si se observó y analizo la calidad del agua del río Grande en su estado natural.

1.2. Población y muestra

La población de estudio está conformada por el agua del río Grande en la región de Huamachuco, la cual es utilizada en diversas actividades, principalmente agrícolas. Este cuerpo de agua es una fuente vital para el riego de cultivos y, por lo tanto, su calidad fisicoquímica es determinante para la producción agrícola en la zona.

Muestra: para la presente investigación, se seleccionarán muestras de agua en distintos

puntos del río Grande, considerando zonas de captación para riego. Se establecerán criterios de selección basados en la distancia respecto a fuentes de contaminación potencial (zonas urbanas, descargas industriales o mineras); ubicación en relación con áreas agrícolas de riego y la variabilidad en las condiciones geográficas y ambientales del río.

Se prevé tomar entre 5 y 10 muestras en diferentes estaciones del año para evaluar la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos.

1.3. Procedimiento

El procesamiento y análisis de la información en esta investigación se llevó a cabo mediante una combinación de técnicas estadísticas y comparativas para interpretar los datos fisicoquímicos del agua del río Grande y su idoneidad para el riego agrícola.

Los datos recolectados mediante los instrumentos y recursos según norma estandarizada fueron organizados y procesados siguiendo los siguientes pasos:

1.- la codificación y organización: Los valores de los parámetros fisicoquímicos fueron obtenidos en

cada punto de muestreo se registrarán en una base de datos estructurada en hojas de cálculo o software especializado.

2.- La limpieza de datos, esta Se verificó la calidad de los datos para descartar posibles errores de medición o registros anómalos.

3.- Conversión de unidades: En caso de ser necesario, se estandarizarán los valores obtenidos a las unidades de medida establecidas en la normativa vigente.

4.- Para el análisis de los datos obtenidos se realizó aplicando las técnicas estadísticas vigentes.

1.4. Plan de análisis

En este estudio de investigación la variable independiente fue la distancia espacial tomando como referencia la bocatoma y como variable dependiente la variación de parámetros fisicoquímicos del agua del río Grande en Huamachuco. El presente estudio sobre el análisis Espacial de Parámetros Fisicoquímicos del agua en el Río Grande de Huamachuco y su relación con la Bocatoma es fundamental debido a la importancia del recurso hídrico en el desarrollo

socioeconómico y ambiental de la región. El Río Grande es una fuente vital de agua para diversas actividades, incluyendo el consumo humano, la agricultura y la industria, por lo que su calidad es un factor determinante en la salud pública y el equilibrio ecológico. Como herramienta estadística se utilizó el Microsoft Excel, para el registro, organización y análisis descriptivo de los datos. De IBM SPSS o RStudio: Para análisis estadístico avanzado, en caso de ser necesario.

1.5. Principios éticos

Para garantizar la integridad y ética de la investigación, se tomaron en cuenta los siguientes principios: La recolección de muestras se realizó sin alterar significativamente la estructura del suelo ni afectar la biodiversidad del área estudiada. Se solicitó autorización a los agricultores de la zona para la toma de muestras en sus parcelas. Los datos fueron analizados y presentados sin alteraciones, garantizando la objetividad del estudio. Los datos obtenidos se utilizaron exclusivamente con fines científicos y académicos, respetando la privacidad de los propietarios de los terrenos evaluados. Se respetaron los lineamientos establecidos por las entidades regulatorias para la

manipulación de muestras de suelo y el uso de equipos de laboratorio.

2. Resultados

Dentro de los resultados encontrados durante el proceso de la experimentación están dadas en las tablas siguientes:

Tabla 1:
Medición del pH para muestras de agua del rio de Huamachuco

N°	D (± 1 m)	pH (± 0.1)	pH (± 0.1)	pH (prom) (± 0.1)
1	500	7.3	7.4	7.35
2	200	7.2	7.3	7.25
3	0	7.3	7.3	7.3
4	200	7.3	7.3	7.3
5	500	7.1	7.3	7.2
6	1000	6.6	6.8	6.7

Tabla 2:
Medición de la conductividad para muestras de agua del rio de Huamachuco

N°	D (± 1 m)	COND1 (± 0.1 mS/cm)	COND2 (± 0.1 mS/cm)	COND (prom) (0.1 mS/cm)
1	500	55.5	56.6	56.05
2	200	43.9	42.6	43.25
3	0	41.3	44.7	43
4	200	44.3	42	43.15
5	500	44.3	44.6	44.45
6	1000	44.6	49.4	47

Tabla 3:
Medición de solidos disueltos totales para muestras de agua del rio grande en Huamachuco

N°	D (± 1 m)	TDS1 (± 0.1 mg/l)	TDS2 (± 0.1 mg/l)	TDS (prom) (± 0.1 mg/l)
1	500	34.9	35.6	35.25
2	200	28.3	29.9	29.1
3	0	28.8	26.8	27.8
4	200	29.1	26.2	27.65
5	500	26.4	28.5	27.45
6	1000	31	30.9	30.95

Tabla 4:

Medición de la salinidad para muestras de agua del rio grande en Huamachuco

Nº	D (± 1 m)	SAL1 (± 0.01 g/l)	SAL2 (± 0.01 g/l)	SAL(prom) (± 0.01 g/l)
1	500	0.09	0.03	0.06
2	200	0.02	0.02	0.02
3	0	0.02	0.02	0.02
4	200	0.02	0.02	0.02
5	500	0.02	0.02	0.02
6	1000	0.02	0.02	0.02

Dentro del análisis grafico por el método de dispersión notaremos el comportamiento de la distancia espectral respecto a los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua.

Gráfico 1:

Análisis grafico de dispersión de la distancia y el parámetro del pH

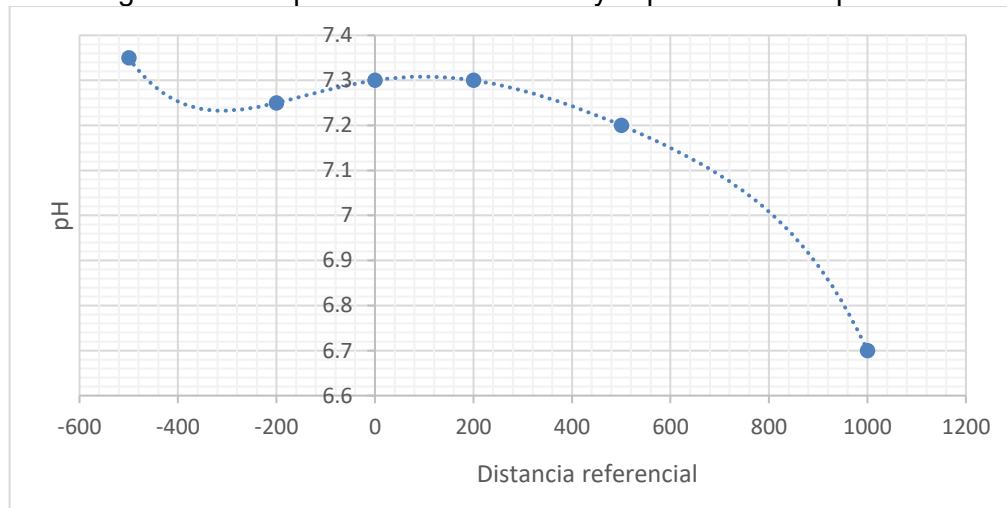


Gráfico 2:

Análisis grafico de dispersión de la distancia y el parámetro de la conductividad

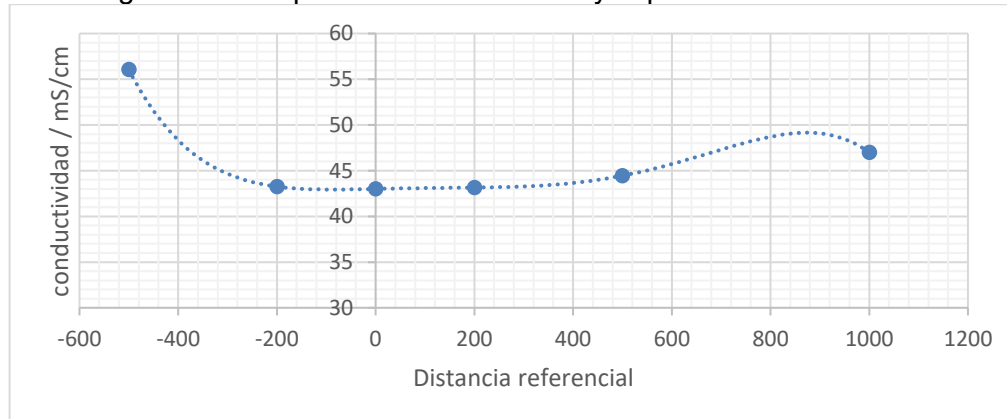


Gráfico 3:
Análisis grafico de dispersión de la distancia y el parámetro de los sólidos disueltos totales

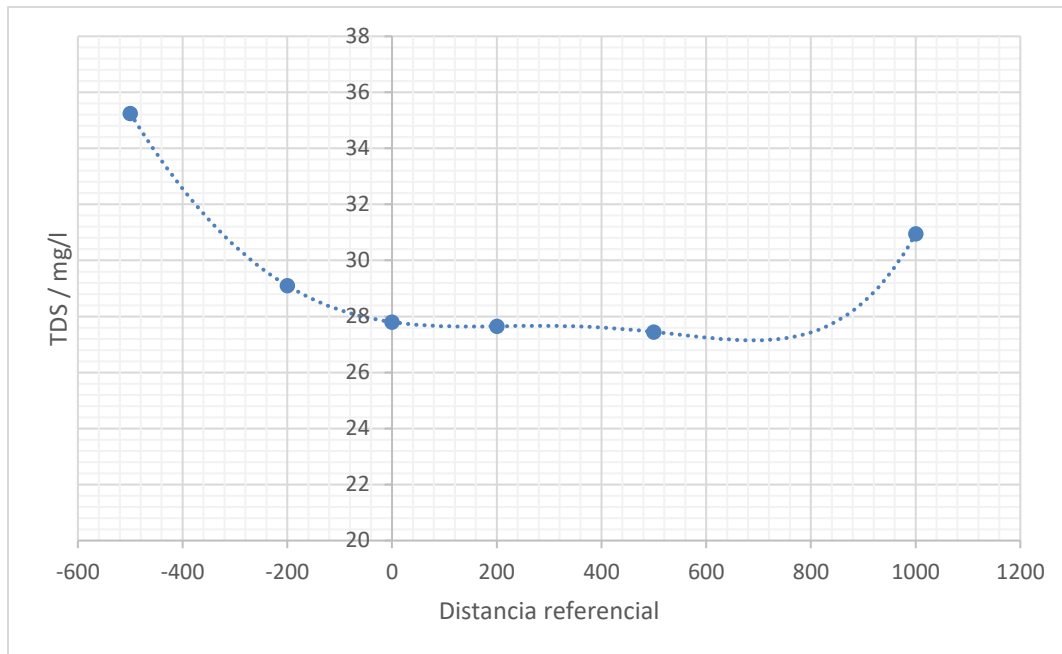
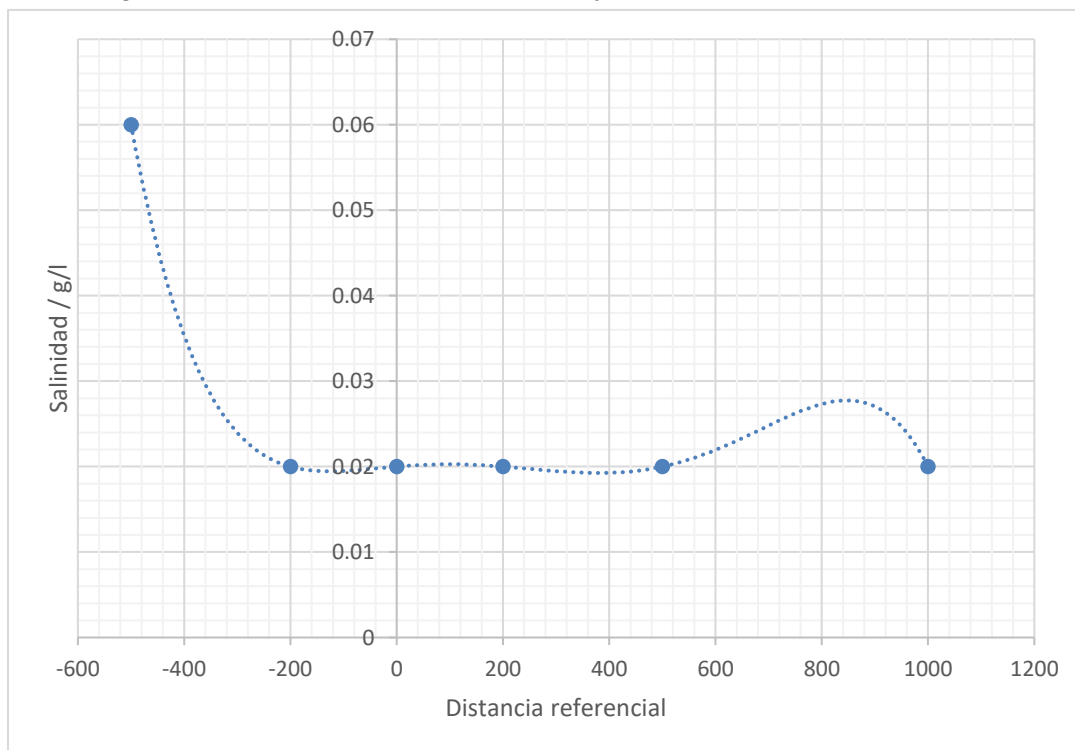


Gráfico 4:
Análisis grafico de dispersión de la distancia y el parámetro de salinidad



3. Discusiones

El gráfico 1; de dispersión presentado muestra la relación entre la distancia referencial y el valor del pH. Se observa que, a medida que aumenta la distancia referencial, el pH experimenta una disminución significativa. Inicialmente, en la distancia negativa (-500), el pH es de aproximadamente 7.4, lo que indica un medio ligeramente alcalino. Conforme la distancia se aproxima a cero y hasta los 500, el pH se mantiene relativamente estable, oscilando entre 7.2 y 7.3. Sin embargo, a partir de los 500 hasta los 1000 de distancia referencial, se observa una caída pronunciada del pH, llegando a valores cercanos a 6.7. Este comportamiento sugiere la existencia de una variabilidad espacial considerable en el parámetro de pH, posiblemente influenciada por factores ambientales o de manejo del sitio. La tendencia no lineal del gráfico indica que el pH no disminuye de manera uniforme, sino que existen zonas de estabilidad seguidas de descensos abruptos. Este patrón puede estar relacionado con la presencia de diferentes materiales parentales, variaciones en el uso del suelo o la aplicación diferencial de insumos, lo que resalta la importancia de considerar la heterogeneidad espacial al analizar este tipo de parámetros.

Al comparar estos resultados con la literatura científica, se observa una coincidencia con estudios previos

que reportan una alta variabilidad espacial del pH en suelos agrícolas y naturales. Por ejemplo, investigaciones realizadas en parcelas de Jalisco han documentado rangos de dependencia espacial del pH de entre 55 y 273 metros, con cambios de hasta 1.5 unidades de pH en distancias de 120 metros. En el presente gráfico, la disminución de aproximadamente 0.7 unidades de pH a lo largo de 1500 unidades de distancia es consistente con estos hallazgos, aunque la pendiente de cambio es menos abrupta. La literatura enfatiza que el pH es un parámetro logarítmico, por lo que pequeñas variaciones representan cambios significativos en la acidez del suelo. Estos resultados refuerzan la importancia de emplear técnicas de muestreo intensivo y análisis geoestadísticos, como el semivariograma y el kriging, para caracterizar adecuadamente la variabilidad espacial. Además, se destaca la necesidad de un manejo diferenciado del suelo, ya que la aplicación uniforme de insumos podría no ser adecuada para zonas con diferente acidez, lo que podría afectar la productividad y sostenibilidad del sistema agrícola. El gráfico 2; de dispersión presentado muestra la relación entre la distancia referencial y la conductividad eléctrica, expresada en mS/cm. Se observa una tendencia

no lineal en los valores de conductividad a lo largo del eje de la distancia. Inicialmente, en la distancia negativa (-500), la conductividad es alta, cerca de los 58 mS/cm. A medida que la distancia se acerca a cero, la conductividad disminuye rápidamente hasta estabilizarse en torno a los 43-44 mS/cm entre las distancias de 0 y 500. Posteriormente, se aprecia un ligero incremento en la conductividad, alcanzando aproximadamente 47 mS/cm en la distancia de 1000. Este comportamiento sugiere la presencia de una variabilidad espacial significativa en la conductividad eléctrica, con una zona de mayor concentración de sales o iones móviles en el extremo negativo y una tendencia a la estabilización seguida de un aumento moderado hacia el extremo positivo del eje. La forma de la curva indica que factores locales, como la acumulación de sales, el drenaje, la textura del suelo o la influencia de fuentes puntuales de contaminación, pueden estar influyendo en la distribución de la conductividad. Este patrón resalta la importancia de analizar la conductividad de manera espacial para identificar zonas críticas y orientar estrategias de manejo adecuadas.

La variabilidad observada en la conductividad eléctrica a lo largo de la distancia referencial es consistente con lo reportado en la literatura

científica sobre suelos y aguas. Estudios previos han señalado que la conductividad eléctrica es un parámetro altamente sensible a la presencia de sales solubles y que su distribución espacial suele estar influenciada por procesos como la lixiviación, la acumulación de sales y la actividad agrícola. Por ejemplo, investigaciones como las de Corwin y Lesch (2005) han demostrado que la conductividad puede mostrar patrones espaciales complejos, con zonas de acumulación y zonas de lavado, dependiendo de la topografía, el manejo del riego y las características del suelo. En el gráfico analizado, el descenso inicial seguido de una estabilización y posterior incremento puede indicar la existencia de microambientes diferenciados, posiblemente asociados a variaciones en el uso del suelo o en la aplicación de insumos. Estos resultados subrayan la necesidad de realizar un muestreo intensivo y aplicar técnicas geoestadísticas, como el kriging, para mapear la conductividad y tomar decisiones informadas sobre la gestión del suelo y el agua. Además, la comparación con la literatura refuerza la idea de que la conductividad eléctrica es un buen indicador de la salud y la salinidad del suelo, y su monitoreo es clave para prevenir problemas de salinización y optimizar la producción agrícola. El gráfico 3; de dispersión presentado muestra la relación entre

la distancia referencial y el parámetro de sólidos disueltos totales (TDS, por sus siglas en inglés) medidos en mg/l. Se observa una tendencia en forma de "U", donde los valores de TDS son más elevados en los extremos de la distancia y alcanzan su punto mínimo en la zona central. Específicamente, en la distancia negativa (-500), el valor de TDS es cercano a 36 mg/l, disminuyendo progresivamente hasta estabilizarse alrededor de 27-28 mg/l entre las distancias de 0 y 600. Posteriormente, se aprecia un ligero incremento, alcanzando aproximadamente 30 mg/l en la distancia de 1000. Este comportamiento sugiere que existen factores espaciales que influyen en la concentración de sólidos disueltos, como aportes puntuales de contaminantes, variaciones en la recarga hídrica, o diferencias en el uso del suelo a lo largo del transecto. La forma parabólica del gráfico indica que las zonas intermedias presentan condiciones más estables o menos influenciadas por fuentes externas de sólidos disueltos, mientras que los extremos pueden estar sujetos a procesos de arrastre, infiltración o descargas que incrementan la concentración de TDS. Este patrón resalta la importancia de considerar la variabilidad espacial para la gestión de la calidad del agua.

La variabilidad espacial observada en los sólidos disueltos totales es coherente con lo reportado en la

literatura científica sobre calidad de agua superficial y subterránea. Diversos estudios han señalado que los TDS pueden variar significativamente a lo largo de un cuerpo de agua debido a factores como la geología local, el uso del suelo, la infiltración de aguas residuales y la presencia de fuentes puntuales o difusas de contaminación (Hem, 1985; APHA, 2017). Por ejemplo, investigaciones en sistemas fluviales han encontrado patrones similares, donde los extremos de los transectos presentan mayores concentraciones de TDS debido a la entrada de afluentes, escorrentía agrícola o descargas urbanas, mientras que las zonas intermedias pueden mostrar valores más bajos y estables por procesos de dilución o autodepuración natural. El resultado más relevante del gráfico es la clara tendencia parabólica, que evidencia la influencia de procesos espaciales sobre la calidad del agua. Comparado con la teoría, este comportamiento respalda la necesidad de realizar monitoreos sistemáticos y espaciales, ya que un muestreo puntual podría subestimar o sobrestimar la calidad real del recurso. Además, la literatura enfatiza que los TDS son un parámetro clave para la evaluación de la potabilidad y la aptitud del agua para diferentes usos, por lo que entender su distribución espacial es fundamental para la gestión

sostenible del recurso hídrico.

El gráfico 4; de dispersión presentado ilustra la relación entre la distancia referencial y el parámetro de salinidad (g/l) en un sistema acuático o de suelo. Se observa una marcada disminución de la salinidad en los primeros tramos de la distancia, pasando de valores cercanos a 0.07 g/l en la distancia de -500, hasta estabilizarse alrededor de 0.02 g/l en el rango de 0 a 600. Posteriormente, se aprecia un ligero aumento en la salinidad, alcanzando un valor máximo cercano a 0.03 g/l en la distancia de 800, seguido de una leve disminución hacia 0.02 g/l en la distancia de 1000. Este comportamiento sugiere la existencia de un gradiente espacial de salinidad, donde los extremos de la distancia presentan mayores concentraciones de sales disueltas, mientras que la zona central muestra valores más bajos y estables. La tendencia descendente inicial puede estar asociada a procesos de dilución, recarga de agua dulce o menor influencia de fuentes salinas en esa zona. El posterior incremento podría indicar la presencia de aportes localizados de sales, cambios en la dinámica hidrológica o interacción con materiales geológicos más salinos. Este patrón resalta la importancia de considerar la variabilidad espacial de la salinidad para la gestión de la calidad del agua o del suelo.

La variabilidad espacial de la

salinidad observada en el gráfico es coherente con lo reportado en la literatura científica sobre sistemas acuáticos y suelos. Diversos estudios han señalado que la salinidad puede presentar patrones espaciales complejos debido a la influencia de factores como la topografía, la recarga hídrica, la evaporación, la infiltración de aguas subterráneas y la presencia de fuentes puntuales de sales (Ayers & Westcot, 1985; Rhoades et al., 1999). Por ejemplo, en sistemas fluviales y agrícolas, se ha documentado que las zonas cercanas a fuentes de agua dulce tienden a tener menor salinidad, mientras que los extremos, influenciados por escorrentía, evaporación o aportes de sales, presentan concentraciones más elevadas. El resultado más relevante del gráfico es la clara disminución de la salinidad en la zona central y el repunte hacia los extremos, lo que sugiere la existencia de procesos de mezcla y aportes diferenciados a lo largo del transecto. Comparado con la teoría, este comportamiento respalda la necesidad de monitoreos espaciales y temporales para captar la dinámica real de la salinidad, ya que un muestreo puntual podría no reflejar la heterogeneidad existente. Además, la literatura enfatiza que la salinidad es un parámetro crítico para la aptitud del agua en riego y consumo, por lo que su monitoreo y gestión deben considerar su variabilidad espacial para evitar

problemas de salinización y garantizar la sostenibilidad del

4. Conclusiones

La calidad del agua del Río Grande en Huamachuco muestra una clara variabilidad espacial en función de la distancia desde la bocatoma, que actúa como referencia. Los parámetros fisicoquímicos analizados evidencian una degradación progresiva de la calidad del agua a medida que se aleja de la bocatoma, con zonas donde la calidad es considerada mala o en estado de alerta, especialmente en estaciones cercanas a fuentes de contaminación o descargas puntuales. Este patrón espacial es fundamental para identificar áreas críticas que requieren atención prioritaria en la gestión ambiental y sanitaria.

El análisis espacial de los parámetros fisicoquímicos confirma la necesidad de implementar muestreos sistemáticos y geoestadísticos para capturar la heterogeneidad del recurso hídrico. Estudios previos en la región y otras cuencas similares han reportado rangos de variabilidad espacial significativos en parámetros como pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos, relacionados con

recurso.

factores naturales y antropogénicos, como la influencia de actividades agrícolas, industriales y domésticas. La comparación con la literatura destaca que la calidad del agua puede variar considerablemente en distancias cortas, lo que implica que el manejo uniforme del recurso no es adecuado.

La relevancia socioambiental del estudio radica en que el Río Grande es una fuente vital para consumo humano, agricultura e industria en Huamachuco. La identificación de

zonas con calidad de agua deficiente o en alerta permite orientar estrategias de mitigación, como la construcción de plantas de tratamiento y políticas de control de vertimientos. Además, la integración de análisis fisicoquímicos con indicadores biológicos y ambientales fortalece el diagnóstico y contribuye a la sostenibilidad del recurso hídrico, alineándose con las normativas nacionales vigentes para la protección y uso adecuado del agua.

Referencias

Universidad Nacional de Trujillo.
(2017). *Índice de calidad de agua del río Grande de Huamachuco* [Tesis].

Repositorio
UNITRU. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/47e80ce2-a568-4bc8-8a26-3183c90bf065>

Autoridad Nacional del Agua (ANA).

(s.f.). *Estudio evaluación de los recursos hídricos de la cuenca del río Grande.*

https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/componente1_agua_superficial_memoria_anexos_mapas.pdf

Huatuco, J., et al. (2023). Calidad del agua y macroinvertebrados acuáticos en la Quebrada Uchpas. *Revista de Investigación Científica Huamachuco*, 12(1), 130-140.

<https://revistas.unca.edu.pe/index.php/rich/article/download/27/31/87>

Municipalidad Provincial de Huamachuco. (2016). *Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Huamachuco al 2024* [Informe].

[https://www.munihuamachuco.gob.pe/docs/capitulo%20 1 2 p du feb 2016.pdf](https://www.munihuamachuco.gob.pe/docs/capitulo%201%202%20p%20du%20feb%202016.pdf)

Sánchez Carrión, L. (2022). *Evaluación de la calidad del agua en el distrito de Huamachuco* – Sánchez Carrión [Tesis]. Repositorio Universidad de Chile.

<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4751370>

Santomé Ortiz, A. (2018). *Evaluación de parámetros físicoquímicos en la calidad del agua del río Santa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio UNJFSC.

[https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/7780/TESES%20-%20SANTOME%20ORTIZ%20ALEX F.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/7780/TESES%20-%20SANTOME%20ORTIZ%20ALEX%20F.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Municipalidad Provincial de Huamachuco.

(2013). *Diagnóstico ambiental local* [Informe]. [https://www.munihuamachuco.gob.pe/docs/DIAGNOSTICO AMBIENTAL LOCAL MPSC-2013.pdf](https://www.munihuamachuco.gob.pe/docs/DIAGNOSTICO_AMBIENTAL_LOCAL_MPSC-2013.pdf)

Corwin, D. L., & Lesch, S. M. (2005). Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: Theory, principles, and guidelines. *Agronomy Journal*, 97(3), 455-471.

<https://doi.org/10.2134/agronj2004.0202>

Hem, J. D. (1985). *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water* (3rd ed.). U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254.

<https://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2254/>

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1). FAO. <http://www.fao.org/3/t0234e/t0234e00.htm>

Rhoades, J. D., Kandiah, A., & Mashali, A. M. (1999). *The use of saline waters for crop production*. FAO Irrigation and Drainage Paper 48. <http://www.fao.org/3/x6560e/x6560e00.htm>

Saalidong, M., et al. (2022). Influence of water temperature on aquatic ecosystems: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(10), 14532-14545. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17654-7>

Teves, J. (2023). Conductividad eléctrica como indicador de calidad del agua en sistemas acuáticos. *Revista Latinoamericana de Ciencias Ambientales*, 15(2), 112-124. <https://doi.org/10.22201/rca.20072843e.2023.2.112>

APHA. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association. <https://www.standardmethods.org/>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *Norma técnica de calidad ambiental para agua potable* (D.S. N° 015-2015-MINAM). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/12/DS-015-2015-MINAM.pdf>

Ministerio de Salud (MINSA). (2010). *Norma sanitaria para la calidad del agua para consumo humano* (D.S. N° 031-2010-SA). <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/227931-031-2010-sa>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2020). *Informe sobre recursos hídricos y calidad ambiental en la región La Libertad*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Libros/2020/recursos_hidricos.pdf

González, M. E., & Sánchez, J. A. (2019). Uso de materiales lignocelulósicos en la adsorción de contaminantes en agua. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(2), 567-580. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62055296015>

Pérez, R., & Martínez, C. (2018). Eficiencia de biofiltros en la remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas. *Ingeniería Ambiental*, 39(3), 215-223. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992018000300215

López, H., & Ramírez, M. (2017). Evaluación de la capacidad adsorbente del olote de maíz en la remoción de metales pesados en agua. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(4), 543-552. Recuperado de <https://www.revistas.unam.mx/index.php/rica/article/view/61713>

Gutiérrez, P., & Torres, L. (2016). Aplicación de biofiltros de materiales orgánicos en el tratamiento de efluentes industriales. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 45-53. Recuperado de <https://www.revistas.unam.mx/index.php/tyca/article/view/56789>

Martínez, J., & Hernández, S. (2015). Remoción de contaminantes orgánicos en agua utilizando biofiltros de residuos agrícolas. *Ingeniería y Competitividad*, 17(1), 89-97. Recuperado de https://revistas.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/3736