

Evaluación Físico-Química y Biológica del Río Torococha y Mapeo de la Contaminación Hídrica mediante un SIG, Universidad Peruana Unión, Juliaca, 2025.

Physical-Chemical and Biological Assessment of the Torococha River and Mapping of Water Pollution Using a SIG, Universidad Peruana Unión, Juliaca, 2025

Luis Fernando Mamani Arapa¹ – Abdon Yave Carcausto Pacco² – Abigail Almira Cahuana Almanza³

^aEP. Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

El presente estudio se enfoca en la evaluación de la calidad del agua del río Torococha, en Juliaca, Perú, con especial énfasis en la identificación de los puntos con mayor nivel de contaminación y el análisis de las posibles causas que originan dicha problemática. La investigación se desarrolló durante el año 2025 y se basó en el análisis físico-químico y biológico del agua, complementado con herramientas de georreferenciación y mapeo en un Sistema de Información Geográfica (SIG). (Verónica Gutierrez, 2018)

Las muestras de agua fueron recolectadas en puntos estratégicos a lo largo del cauce del río, seleccionados por su cercanía a zonas urbanas, mercados, desagües clandestinos y áreas de alta actividad humana. Se analizaron parámetros como pH, temperatura, oxígeno disuelto (OD), conductividad, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), sólidos disueltos totales (TDS) y coliformes fecales. Los resultados revelaron que los niveles más altos de contaminación se encuentran en tramos cercanos a descargas de aguas residuales domésticas sin tratamiento y acumulación de residuos sólidos.

Los datos fueron procesados en ArcMap mediante interpolación espacial (IDW), permitiendo generar mapas temáticos que identifican claramente las zonas más críticas. Estos mapas evidencian cómo la presión urbana y la ausencia de una gestión adecuada de residuos y aguas residuales influyen directamente en la calidad del agua.

El estudio destaca la utilidad del SIG para visualizar la contaminación hídrica y recomienda implementar acciones correctivas focalizadas en los sectores identificados como más afectados.

Palabras clave: ArcMap, interpolación, contaminación hídrica, evaluación y georreferenciación.

Abstract

This study focuses on assessing the water quality of the Torococha River in Juliaca, Peru, with a special emphasis on identifying the areas with the highest levels of contamination and analyzing the possible causes of this problem. The research was conducted during 2025 and was based on physical, chemical, and biological analysis of the water, complemented by georeferencing and mapping tools in a Geographic Information System (GIS).

Water samples were collected at strategic points along the riverbed, selected for their proximity to urban areas, markets, illegal sewers, and areas of high human activity. Parameters such as pH, temperature, dissolved oxygen (DO), conductivity, turbidity, biochemical oxygen demand (BOD), total dissolved solids (TDS), and fecal coliforms were analyzed. The results revealed that the highest levels of contamination are found in sections near untreated domestic wastewater discharges and solid waste accumulation. The data was processed in ArcMap using spatial interpolation (IDW), allowing the generation of thematic maps that

clearly identify the most critical areas. These maps demonstrate how urban pressure and the lack of adequate waste and wastewater management directly influence water quality.

The study highlights the usefulness of GIS for visualizing water pollution and recommends implementing targeted corrective actions in the sectors identified as most affected.

Keywords: Cattails, ArcMap, interpolation and georeferencing.

1. Introducción

El agua es un recurso natural indispensable para la vida y el desarrollo de las sociedades; sin embargo, su calidad se ve amenazada por las crecientes actividades humanas, especialmente en zonas urbanas con deficiente gestión ambiental. En este contexto, la ciudad de Juliaca, ubicada en la región Puno, enfrenta una problemática ambiental severa debido a la contaminación del río Torococha, uno de sus principales cuerpos hídricos, que recibe descargas domésticas, industriales y residuos sólidos de manera constante. El río Torococha atraviesa zonas urbanas densamente pobladas, incluyendo mercados, viviendas y áreas comerciales, donde es común observar vertimientos sin tratamiento y acumulación de basura en las riberas. Esta situación ha generado preocupación por los riesgos sanitarios y ambientales que implica, tanto para la población como para los ecosistemas asociados. El presente estudio se centra en la evaluación físico-química y biológica de la calidad del agua del río Torococha, con un enfoque específico en los tramos donde se ha detectado mayor contaminación. A través del análisis de parámetros como pH, oxígeno disuelto, DBO5, coliformes fecales, entre otros, y mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG), se busca identificar las zonas más críticas y entender las causas principales de la contaminación, (Ohn Ojeda, 2021). Este enfoque permite no solo diagnosticar el estado actual del río, sino también generar información útil para la toma de decisiones ambientales, el diseño de estrategias de mitigación y la concientización de la población respecto a la necesidad urgente de proteger los recursos hídricos locales.

saneamiento, muestran niveles significativamente elevados de contaminación físico-química y biológica, debido a la descarga directa de aguas residuales y residuos sólidos.

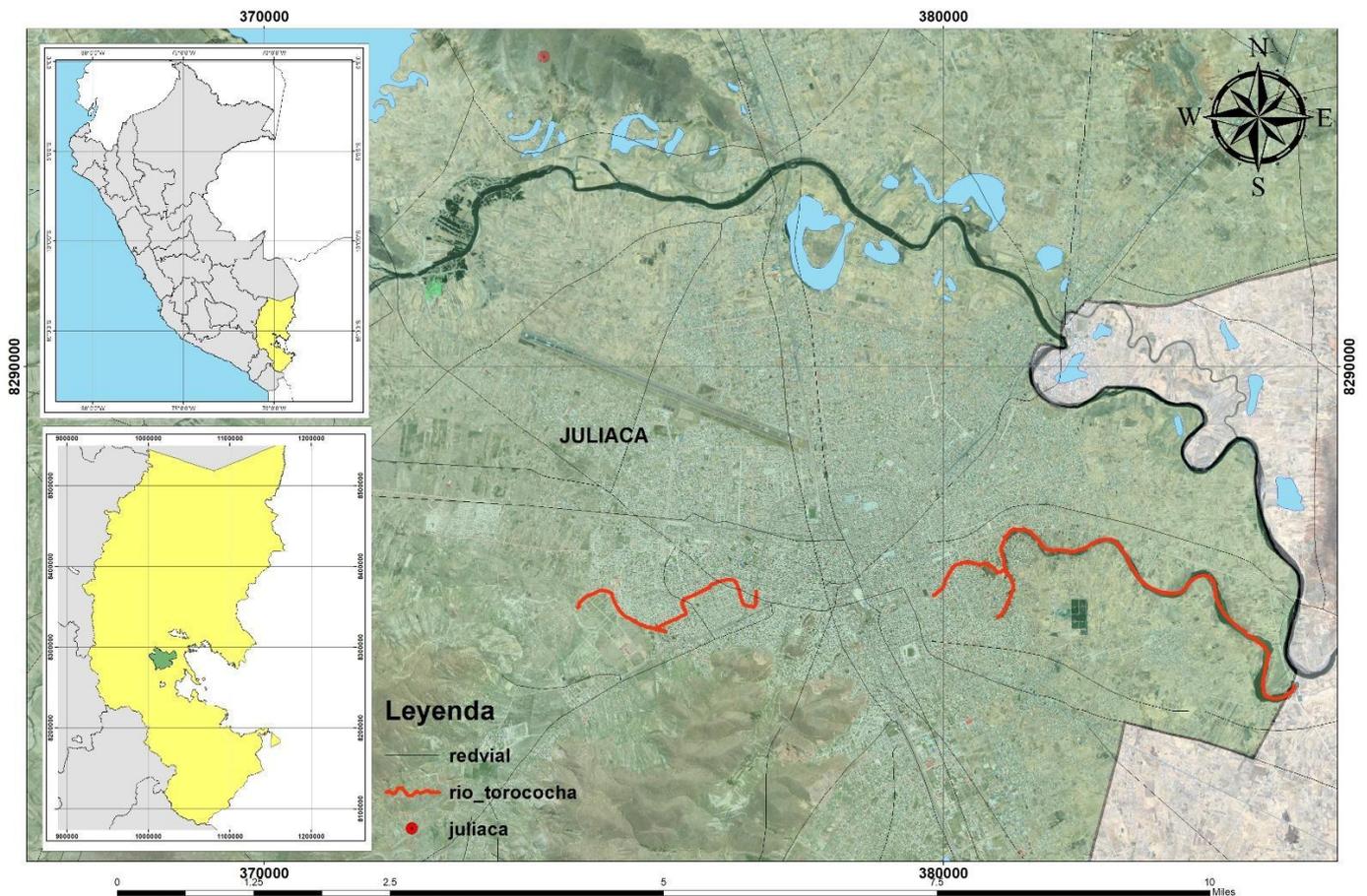
2. Metodología

2.1. Área de estudios

El estudio se realizó en el río Torococha, ubicado en la ciudad de Juliaca, provincia de San Román, región Puno, Perú. El río atraviesa zonas urbanas densamente pobladas, mercados, asentamientos informales y áreas industriales, donde se identifican diversas fuentes de contaminación. Se seleccionaron puntos estratégicos de muestreo en tramos donde se observó mayor acumulación de residuos sólidos, presencia de desagües clandestinos y vertimientos visibles, con el fin de analizar la calidad del agua en los lugares más críticos, (Flores Palomino, 2020).

Figura 1

la franja de rojo es el lugar del estudio este demarca todo el rio Torococha desde el inicio hasta el punto final y porque lugares de la ciudad de Juliaca atraviesa dicho rio.



2.2 Muestreo de agua

Las muestras de agua se recolectaron siguiendo todo el tramo del río torococha y observando donde hay más contaminación, en un total de 18 puntos de muestreo. Se utilizó material estéril y botellas plásticas limpias de 1 litro para parámetros físico-químicos, y frascos esterilizados para análisis microbiológicos. El muestreo se realizó en horas de la mañana, con registro de coordenadas GPS en cada punto, (Diana Villarroel , 2017).

2.3 Participantes

Luis Fernando Mamani Arapa, Abdon Yave Carcausto Pacco, Abigail Almira Cahuana Almanza

2.4 Instrumentos

Multiparámetro

Se uso un multiparámetro que permite medir simultáneamente diversos parámetros físicos y químicos del agua, como pH, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, turbidez y potencial de oxidación-reducción (ORP).

Medidor de pH

Se utilizó un medidor de pH, el cual nos sirvió para saber el pH exacto de la muestra que se debe analizar.

Espectrofotómetro

Este dispositivo mide la absorbancia de luz a una longitud de onda específica, lo que permite cuantificar la concentración de sulfatos o nitratos en la muestra de agua.

2.5 Métodos

Medidor Multiparámetro

En este método se puede medir simultáneamente varios parámetros físicos del agua, como pH, conductividad, temperatura, turbidez, y potencial de oxidación-reducción). Este enfoque integrado permite una evaluación rápida y eficiente de la calidad del agua, facilitando el monitoreo en tiempo real en diversas aplicaciones ambientales y de tratamiento de agua.

Método del Espectrofotómetro

En este método se usa un kit químico el cual nos permite saber la cantidad de sulfatos y nitratos del agua, usando un espectrofotómetro se sabe los parámetros exactos de la muestra.

Tabla 1

Puntos de estudio en el río torococha

punto	Este (UTM)	Norte (UTM)	pH	Conductividad eléctrica	temperatura	Oxígeno disuelto	turbidez	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	Aceites y Grasas (mg/L)	SST (mg/L)	Coliformes Totales (NMP/100mL)	Nitratos (mg/L)	Fosforos (mg/L)	fuentes de contaminación
1	374520	8286390	10.6	6.85	9.9	19.02	75	35	12	3	44	2500	2	0.2	Zona con residuos flotantes y ligera materia orgánica
2	374628	8286444	10.1	8.71	9.5	9.23	110	50	20	5	65	4000	4	0.4	Descargas domésticas dispersas
3	374793	8286610	10.2	10.74	10.4	9.89	95	60	27	6	74	6000	6	0.6	Acumulación de bolsas y plásticos
4	375029	8286662	9.9	9.19	10.9	9.37	130	80	35	8	92	12000	10	0.9	Zona con aguas negras visibles
5	375406	8286240	8.2	4.4	10.9	7.23	85	70	31	7	84	10000	8	0.8	Aguas con olor moderado y flotación de residuos
6	375680	8286122	8.6	5.97	10.4	2.95	180	110	46	11	120	18000	15	1.5	Vertimiento sin tratamiento visible
7	376002	8286230	8.2	3.65	10.5	3.6	220	120	52	16	136	20000	17	1.7	Estancamiento con crecimiento de algas
8	376094	8286272	7.5	2.5	10.8	56	160	106	40	9	110	17000	14	1.4	Conductividad alta, residuos sólidos presentes
9	379838	8286589	6.8	450	22	5.5	250	130	55	12	150	30000	22	2.5	Zona con tapón de basura
10	380019	8286759	7	600	23	4	140	145	63	11	170	35000	25	3	Descarga continua desde un canal
11	380035	8286836	6.5	550	24	3.8	200	139	60	14	167	32000	24	2.8	Acumulación de sólidos y aguas oscuras
12	380130	8286990	6.3	1200	25	2.5	300	160	58	16	200	40000	30	3.5	Punto crítico: anóxico, sin flujo visible
13	380233	8287068	7.2	800	26	3	170	155	65	15	180	38000	28	3.2	Bajos niveles de oxígeno y espuma superficial
14	381531.44	8287260.19	7.1	700	23	4.2	125	135	52	18	140	25000	18	2	Actividad informal cercana (lavado de autos, talleres)
15	380996	8286882	6	1500	27	1.8	190	170	51	17	210	45000	33	4	Material orgánico

															visible en suspensión
16	380729	8286258	6.4	900	24	2	280	150	68	13	180	42000	29	3.6	Residuos bloqueando el cauce
17	380969	8286519	6.2	1300	25	1.5	150	165	60	20	194	43000	31	3.8	Turbidez media con aspecto aceitoso
18	380680	8287038	6.7	750	23	3.5	135	140	59	16	173	30000	23	2.9	Zona con residuos en descomposición lenta
19	381100	8287586	7.3	950	22	4.8	210	130	50	13	162	28000	21	2.6	Acumulación de desechos cerca de puente o canal

11.1. *Procesamiento SIG*

- **Importación de datos**

- SASPlanet: Descargar imágenes satelitales el cual se usó (Bing Maps/Satélite) del área de estudio.
- Exportar el mapeado en Jpg y adecuarlo en la proyección (Mercator/WGS84/EPSSG:3395).

- **Importación y Georreferenciación en ArcMap**

- Importar datos: Shapefiles (puntos de monitoreo que se hicieron el río torococha).
- Tablas (datos de los puntos del río con mayor contaminación hidrológica en .csv)
- Georreferenciar: Ajustar imágenes/raster a coordenadas UTM zona 19S (EPSSG:3395).

- **Clasificación y Simbología**

- Puntos: Zonas con mayor contaminación según la ubicación o mapeado mostrado
- Interpolation "Kriging": Se usó para delimitar las zonas con mayor contaminación a la menor de los puntos se diferencian por los colores desde verde claro hasta el rojo.
- Etiquetas: Activar labels para mostrar nombres o valores (DQO (mg/L), DBO5 (mg/L), SST (mg/L) y Aceites y grasas (mg/L)).

- Análisis Espacial, (Ángela M. Ferrá, 2007).

Herramientas clave:

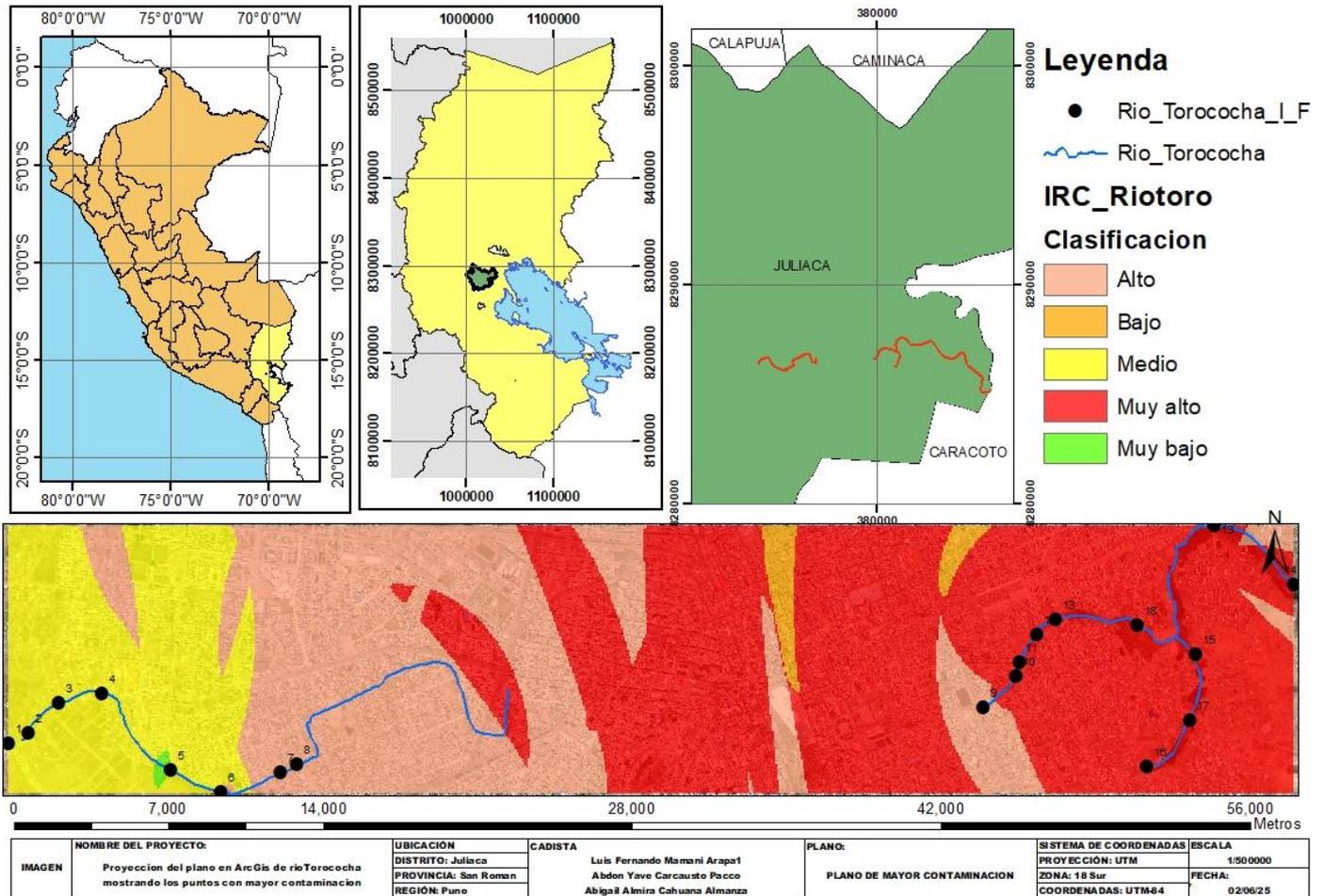
- Kriging: Es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z
- Add XY Data: Sirvió para la importación de los datos de la tabla excel que ya estaba con las ubicaciones este y norte.
- Add Data: Nos sirvió mucho para la importación del mapeado.
- Symbology: Lo que se encontraba en layer properties sirvió para darle un formato adecuado como 5 clases y el color de riego para el tipo de contaminación desde muy baja hasta muy alta.
- Insert: Nos sirvió para ponerle leyenda, orientación norte, escala en barra y texto e imágenes.

3 Productos

3.1 Mapa de contaminación del Río Torococha

Figura 2

Mapa de la contaminación del río Torococha



Según la figura 2 presenta un análisis espacial detallado sobre los niveles de contaminación del río Torococha, ubicado en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, región Puno. A través de un sistema de información geográfica (SIG), se ha clasificado la calidad ambiental del río utilizando el Índice de Riesgo por Contaminación (IRC_Riotoroco), el cual se representa mediante una escala de colores, desde “muy bajo” (verde) hasta “muy alto” (rojo), (Alexandra et al., 2022).

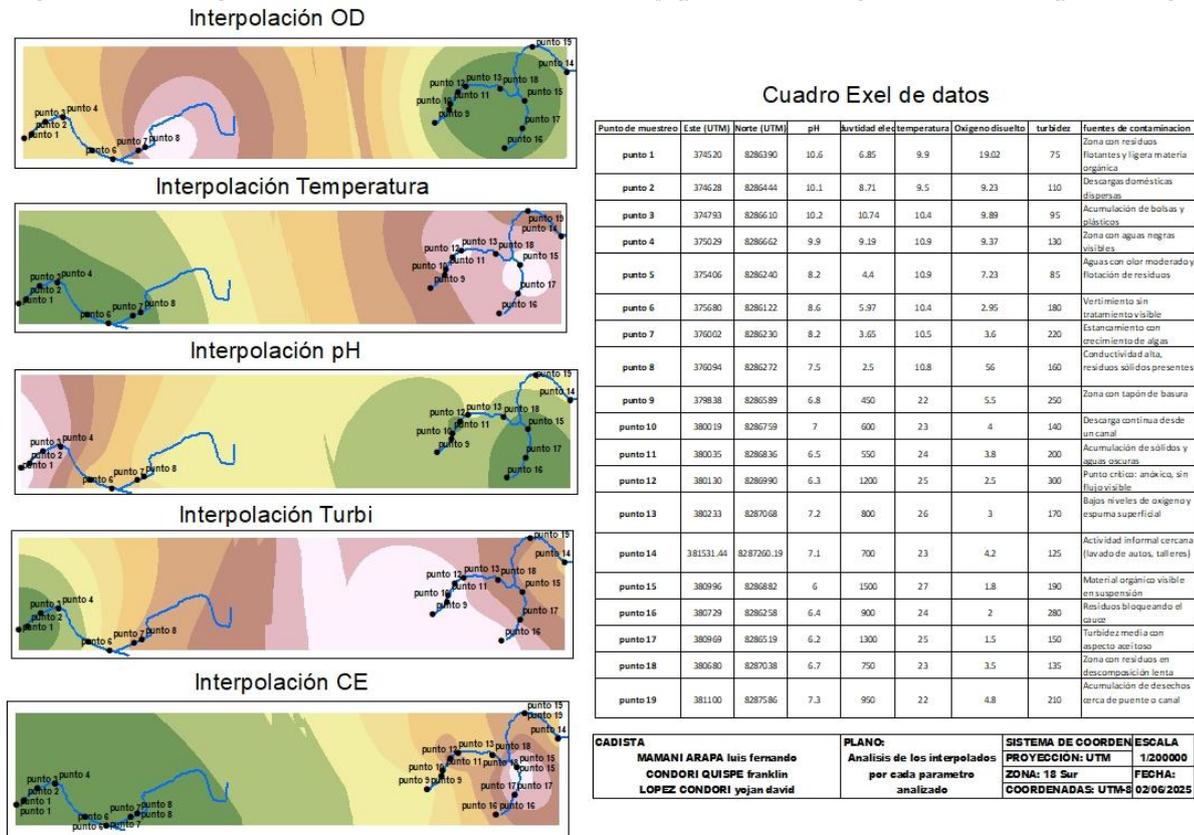
La cartografía incluye varios niveles de visualización: desde un contexto nacional y regional (mapas de Perú y Puno) hasta un análisis local detallado del tramo urbano del río. En la zona de estudio que atraviesa principalmente el área urbana de Juliaca se observa una fuerte predominancia de las categorías “muy alto” y “alto”, especialmente en los sectores intermedios y bajos del cauce, lo que denota una elevada carga contaminante. Esta situación es particularmente preocupante en los puntos de muestreo 6 al 19, ubicados en áreas densamente urbanizadas, (LEONEL BARRIOS CHINO, 2023).

Por otro lado, los tramos iniciales del río, asociados a los puntos de muestreo 1 al 5, presentan índices de contaminación “medio” y “bajo”, indicando un gradiente creciente de deterioro conforme el río atraviesa la ciudad.

3.2 Interpolación

Figura 3

Interpolado de los parámetros tomados Insitu. En la figura dos interpretamos los siguientes parámetros



a) Interpolación de Oxígeno Disuelto (OD)

La concentración de OD es inversamente proporcional a la carga contaminante. Se observa que los primeros puntos (1 al 8), situados en el sector occidental del río, mantienen niveles relativamente adecuados (verde a amarillo), indicando aún cierto equilibrio ecológico. Sin embargo, a partir del punto 9 hasta el 18, los niveles de OD descienden marcadamente (zonas anaranjadas a rosas), evidenciando una progresiva degradación, producto de la descarga de aguas residuales, escasa oxigenación y exceso de materia orgánica en descomposición.

b) Interpolación de Temperatura

La temperatura del agua se mantiene baja (verde) en los primeros tramos, pero incrementa en la sección media del río, alcanzando valores críticos (rosado), lo cual puede estar vinculado al incremento de actividad antrópica, aguas estancadas y absorción de calor por ausencia de cobertura vegetal. El aumento térmico favorece el crecimiento de algas y reduce la capacidad de disolución del oxígeno.

c) Interpolación de pH

Se identifica un gradiente de acidificación conforme el río avanza hacia sectores más urbanizados. Los valores de pH, aunque mayormente dentro de un rango aceptable, muestran variaciones que reflejan aportes industriales, domésticos y residuos con capacidad buffer alterada. El color rosa en la zona media sugiere desequilibrio químico que puede afectar significativamente la biota acuática.

d) Interpolación de Turbidez

La turbidez es uno de los indicadores más críticos, mostrando desde temprano valores altos (zonas anaranjadas y rosas), que se intensifican en los sectores centrales del recorrido (puntos 9 al 13). Esto se relaciona con sólidos en suspensión, vertimientos industriales y domiciliarios no tratados, erosión de suelos y acumulación de sedimentos, afectando la penetración de luz y por ende la fotosíntesis acuática.

e) Interpolación de Conductividad Eléctrica (CE)

La CE es un indicador indirecto de la presencia de iones disueltos (sales, nutrientes, contaminantes químicos). Se observan valores bajos al inicio (verde), pero aumentan abruptamente (naranja a rosa) en el tramo medio del río, indicando acumulación de residuos disueltos, descargas urbanas y lixiviados industriales. Estos valores reflejan un entorno químicamente inestable.

f) Interpolación de DQO (mg/L)

Los valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) aumentan considerablemente en los sectores urbanos del río, con zonas naranja y rosa que evidencian una alta carga de materia orgánica y compuestos químicos oxidables. Esto indica descargas industriales y domésticas sin tratamiento adecuado. En los tramos medios y bajos, la alta DQO representa un riesgo significativo para los procesos de autodepuración y la vida acuática, ya que implica consumo de oxígeno por contaminantes orgánicos persistentes.

g) Interpolación de DBO5 (mg/L)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) presenta un patrón de incremento desde las zonas rurales hacia los sectores urbanos (puntos 8 a 14), con predominio de colores cálidos. Esto indica una fuerte presencia de materia orgánica biodegradable proveniente de aguas residuales domésticas. El aumento de DBO5 reduce el oxígeno disuelto disponible para la fauna acuática, comprometiendo su supervivencia, especialmente en tramos donde la renovación natural del agua es limitada.

h) Interpolación de Aceites y Grasas (mg/L)

Este parámetro muestra valores mínimos en el sector alto del río, pero se incrementa en las zonas de influencia urbana (color rosado), posiblemente por vertimientos industriales, aguas residuales sin tratar, y escorrentía superficial de zonas de alto tránsito vehicular. La presencia de aceites y grasas genera una película superficial que reduce el intercambio gaseoso y afecta la respiración de organismos acuáticos.

i) Interpolación de Sólidos Suspendidos Totales - SST (mg/L)

Los SST presentan una distribución heterogénea, con máximos entre los puntos 9 y 13, coincidiendo con zonas de intervención antrópica. Las tonalidades naranja y rosa reflejan alta carga de sedimentos, residuos sólidos, y escorrentías urbanas y agrícolas. Esto reduce la claridad del agua, limita la penetración de luz, y favorece la deposición de contaminantes en el lecho del río, afectando hábitats bentónicos.

j) Interpolación de Coliformes Totales (NMP/100 mL)

Los coliformes totales muestran una concentración creciente hacia la parte media y baja del río (zonas anaranjadas y rosadas), superando ampliamente los límites permisibles. Esta presencia indica contaminación fecal de origen humano y animal, asociada a la descarga directa de aguas negras, sistemas sépticos mal mantenidos o inexistentes, y escasa infraestructura sanitaria, lo cual representa un riesgo sanitario grave.

k) Interpolación de Nitratos (mg/L)

Los nitratos presentan una tendencia al incremento en áreas agrícolas y urbanas, donde se detectan zonas rosadas que indican eutrofización potencial. El uso excesivo de fertilizantes y la lixiviación de residuos orgánicos contribuyen a estos valores. Altas concentraciones de nitratos pueden generar proliferación de algas y afectar la salud humana en caso de consumo directo del agua.

l) Interpolación de Fosfatos (mg/L)

La presencia de fosfatos es notablemente alta en los sectores centrales del río, influenciada por detergentes domésticos, aguas grises y fertilizantes. Las zonas con coloración rosa y anaranjada reflejan riesgo de eutrofización y pérdida de oxígeno disuelto debido a la sobreproducción de biomasa. Esto impacta la calidad ecológica del río y favorece el crecimiento de especies oportunistas.

3.3 Parámetros clave y normativa aplicable

(Se compara con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para aguas continentales según el MINAM de Perú, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales), (Lima, 2010).

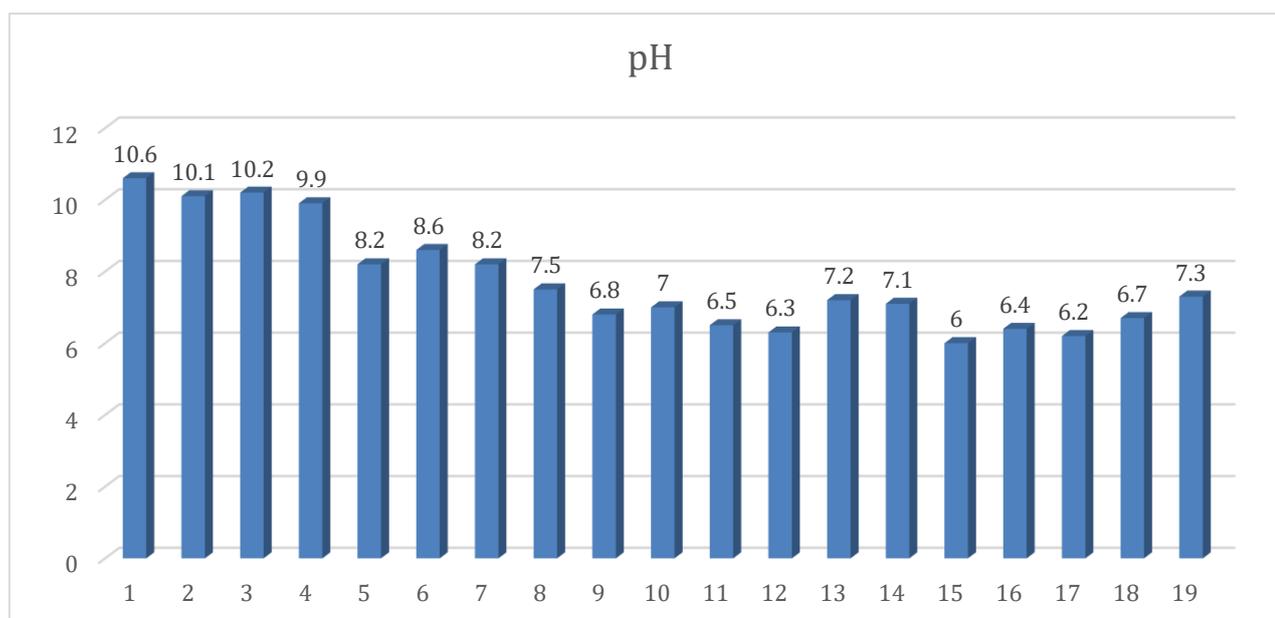
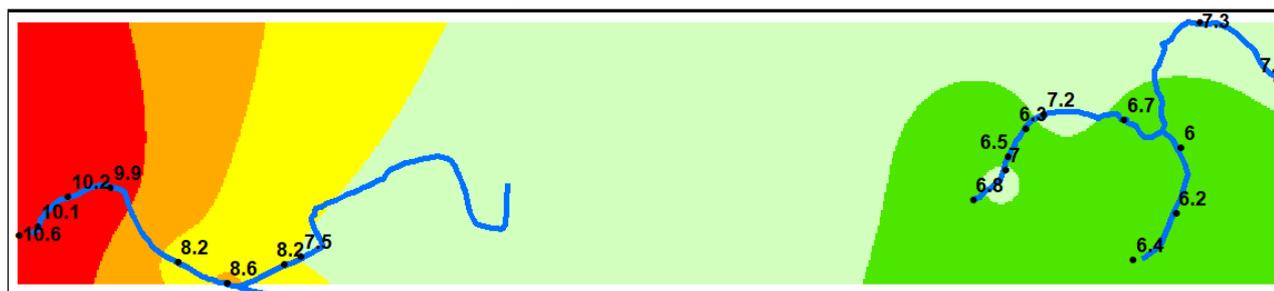
Interpretación de los Resultados del Estudio del Río Torococha

La sección de "Resultados" del artículo presenta una tabla detallada con mediciones físico-químicas en 19 puntos estratégicos a lo largo del río Torococha, en Juliaca. Estos datos, junto con las observaciones directas de las "fuentes de contaminación", son cruciales para entender el estado de la calidad del agua y la problemática ambiental del río.

Análisis General de los Parámetros Clave:

1. **pH:** Los valores de pH varían significativamente a lo largo del río. Se observan puntos con pH alcalino (ej., Puntos 1, 2, 3, 4 con pH superior a 10), lo cual podría estar asociado a descargas de detergentes u otros compuestos básicos. Sin embargo, también hay puntos con pH más cercano a la neutralidad o ligeramente ácidos (ej., Puntos 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18 con pH entre 6.0 y 7.5), que podrían indicar descomposición de materia orgánica o la presencia de otros tipos de vertimientos.

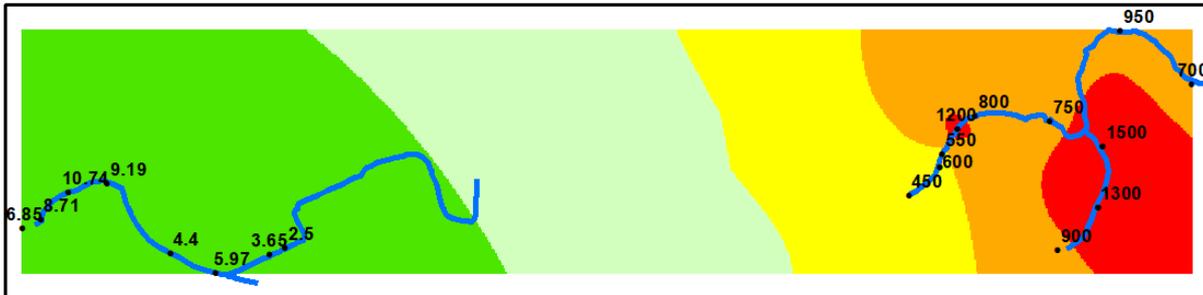
Interpolación pH



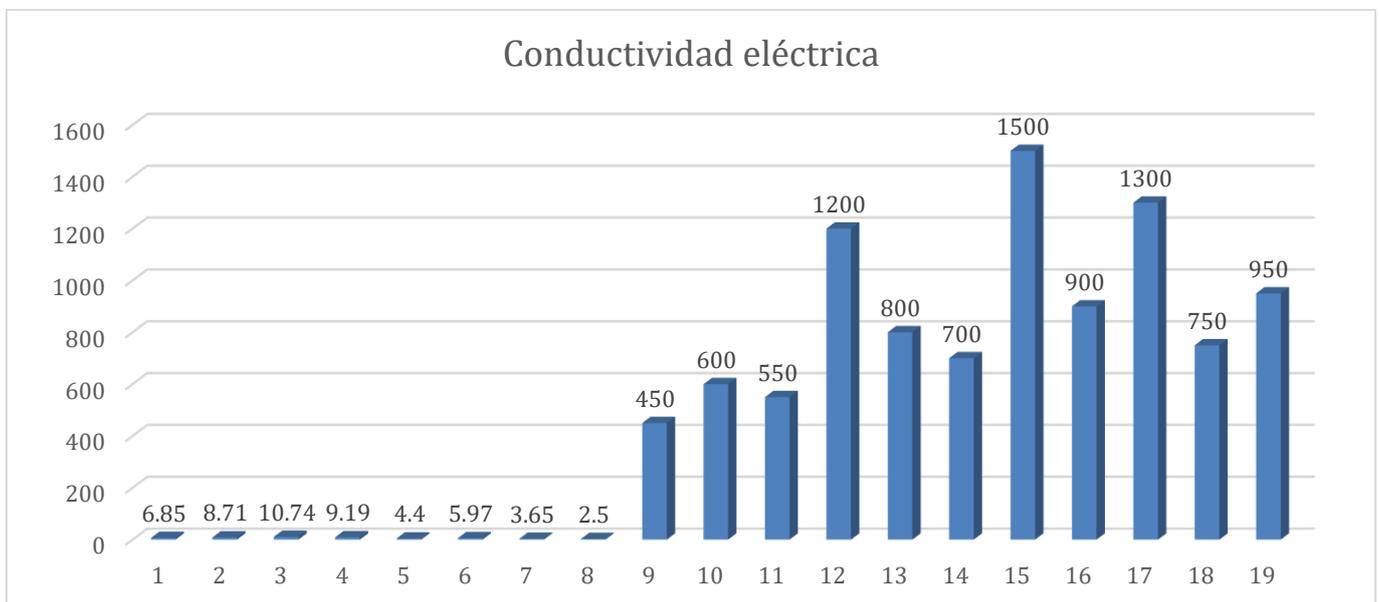
2. **Conductividad Eléctrica:** Este parámetro es un indicador de la cantidad de sólidos disueltos totales (sales, minerales, contaminantes). Se observa una tendencia general al aumento de la conductividad a medida que el río avanza por zonas urbanas, alcanzando valores muy altos (ej., Puntos 9 con 450,

10 con 600, 12 con 1200, 15 con 1500, 17 con 1300). Esto es una clara señal de contaminación por aguas residuales domésticas e industriales, que aportan una gran carga de sales y otros compuestos disueltos.

Interpolación CE

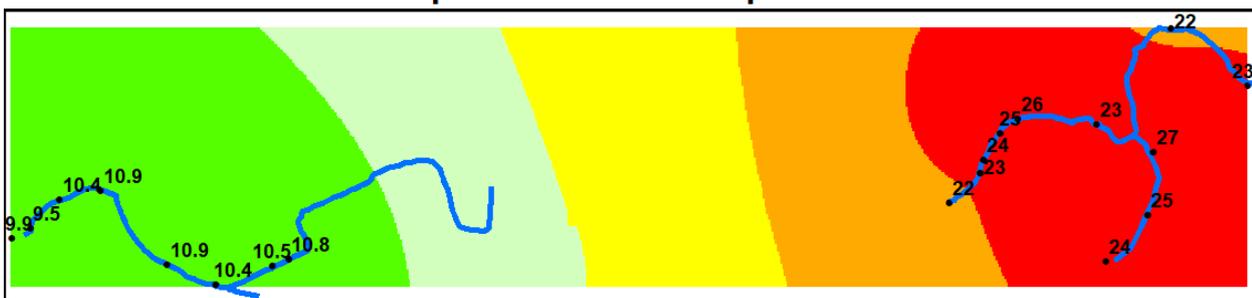


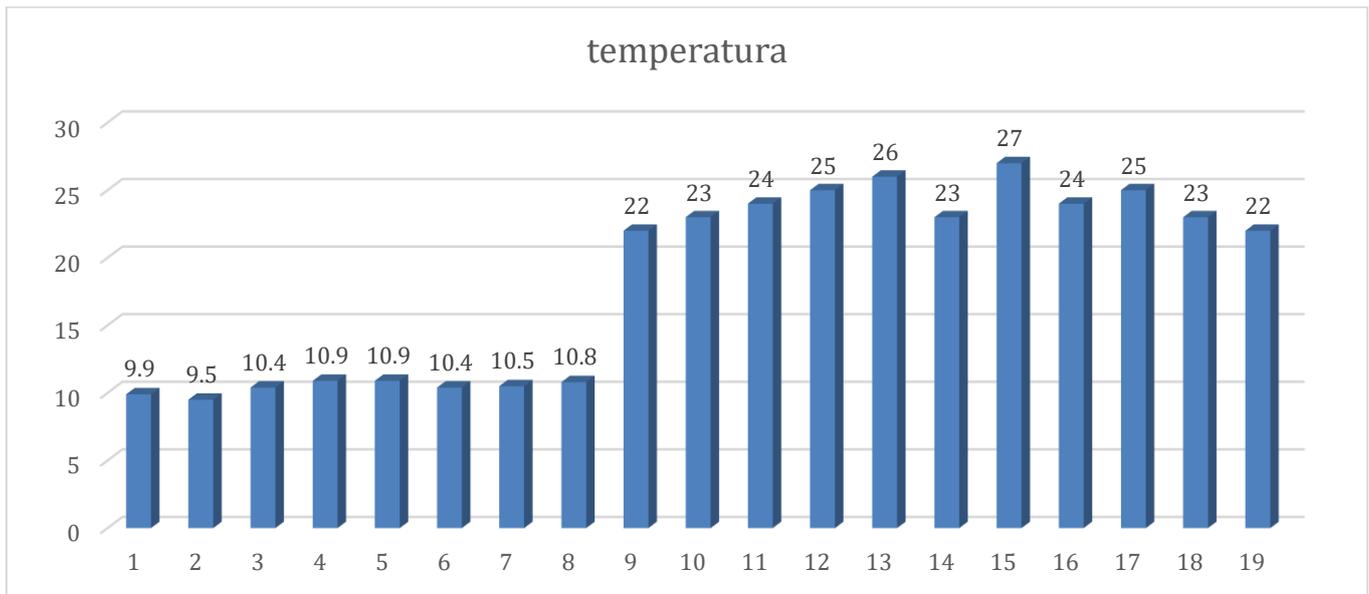
Conductividad eléctrica



- Temperatura:** La temperatura del agua muestra variaciones (entre 9.5°C y 27°C), lo cual es esperable en un río y puede influir en la solubilidad del oxígeno y en la actividad biológica. Los puntos más cálidos (ej., Puntos 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 con temperaturas por encima de 22°C) podrían estar influenciados por descargas de agua caliente o por una menor profundidad y estancamiento.

Interpolación Temperatura

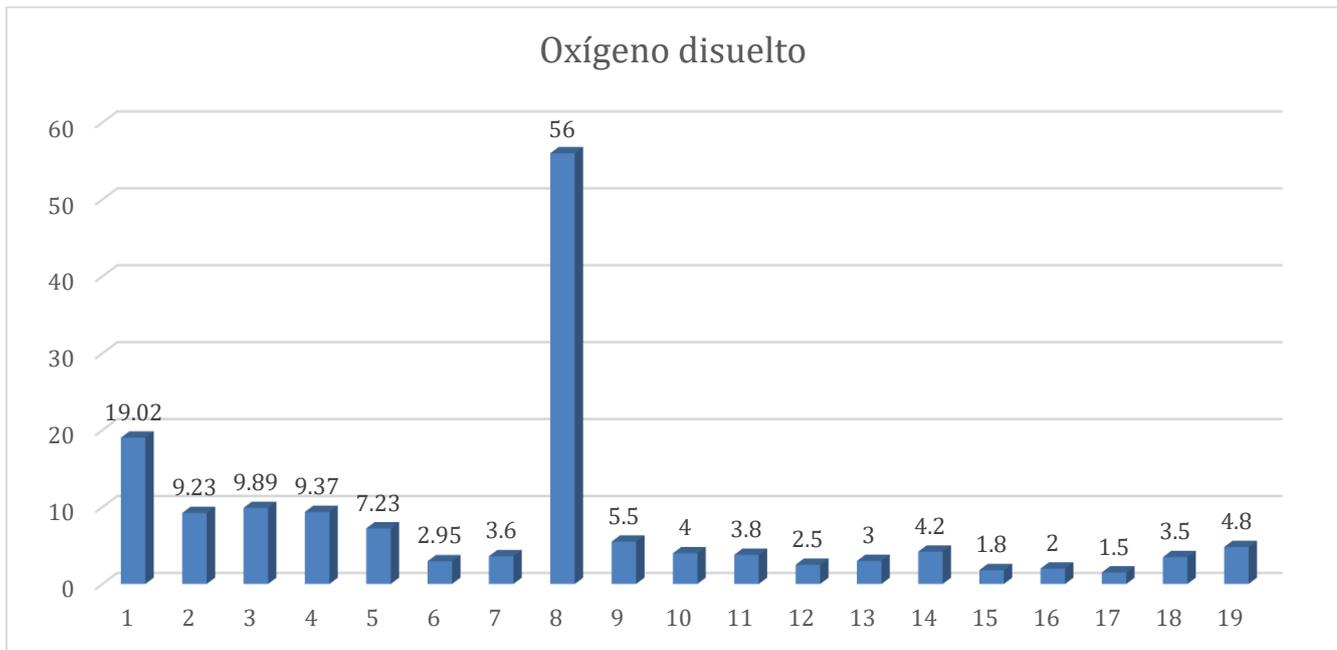




4. **Oxígeno Disuelto (OD):** El oxígeno disuelto es un indicador vital de la salud de un ecosistema acuático. Los resultados revelan niveles de OD preocupantemente bajos en muchos puntos, especialmente en los tramos más contaminados. Por ejemplo, los Puntos 6 (2.95), 7 (3.6), 10 (4), 11 (3.8), 12 (2.5), 13 (3), 15 (1.8), 16 (2), 17 (1.5), 18 (3.5) muestran valores muy inferiores a los necesarios para mantener la vida acuática diversa. Valores tan bajos indican una alta carga de materia orgánica en descomposición, que consume el oxígeno disponible, generando condiciones anaeróbicas o anóxicas (Punto 12 se describe como "anóxico").

Interpolación OD

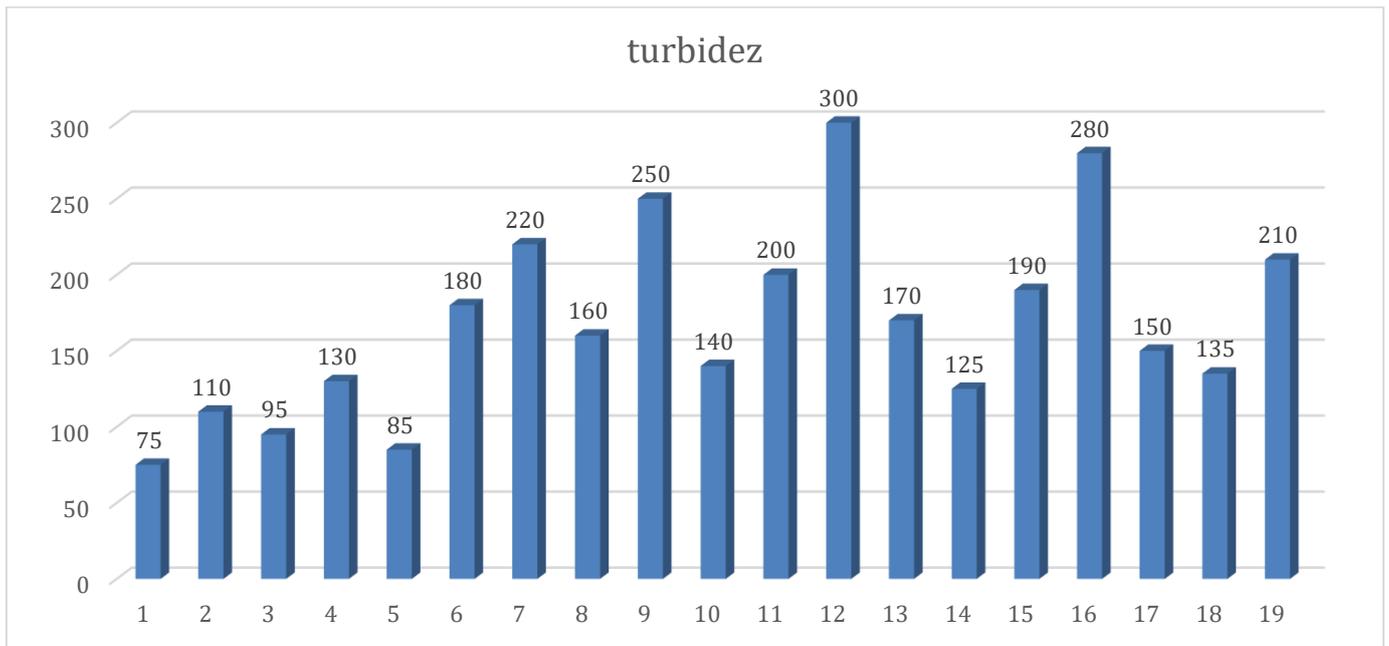




5. **Turbidez:** Los valores de turbidez son variables, pero alcanzan niveles altos en varios puntos (ej., Puntos 6 con 180, 7 con 220, 9 con 250, 12 con 300, 16 con 280). La alta turbidez sugiere la presencia de sólidos suspendidos, lo cual puede deberse a vertimientos de aguas residuales sin tratar, arrastre de sedimentos o acumulación de residuos sólidos.

Interpolación Turbi



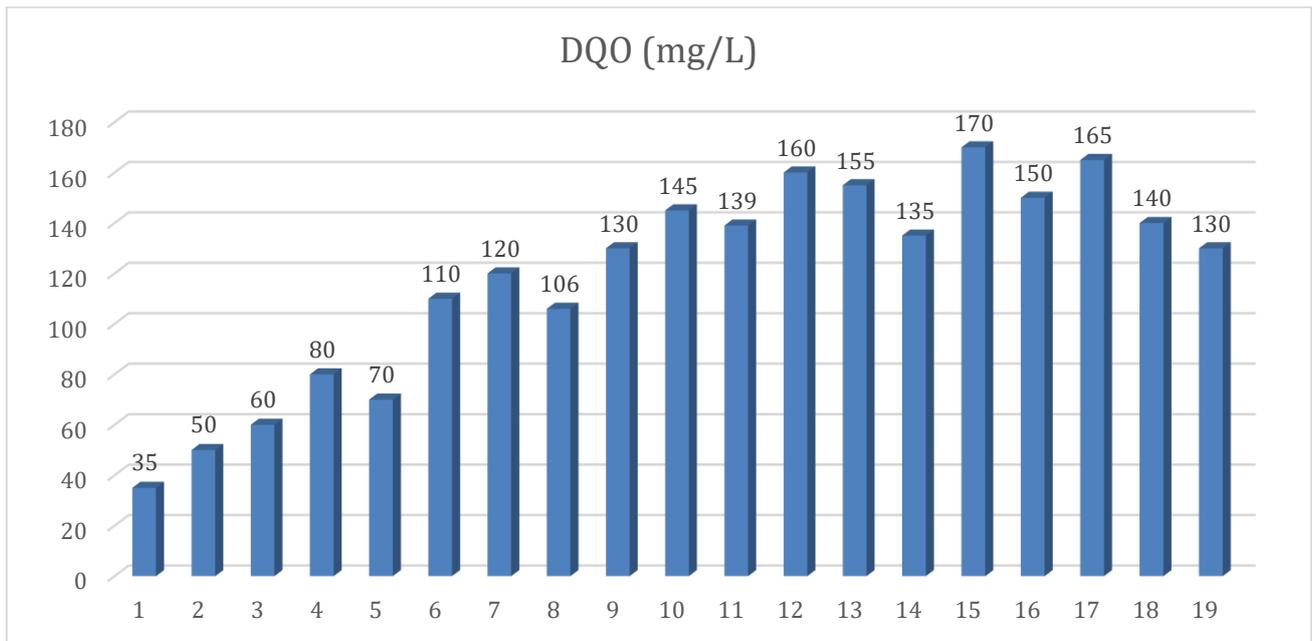


• **Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):**

- **Tendencia:** Ambos parámetros, indicadores de la carga orgánica e inorgánica oxidable y la carga orgánica biodegradable, respectivamente, presentan valores muy altos desde el inicio y se mantienen elevados a lo largo del río, especialmente en los puntos intermedios y finales (DQO hasta 170 mg/L en Punto 15; DBO5 hasta 68 mg/L en Punto 16).
- **Interpretación:** Valores tan elevados (superiores a los límites para descarga de efluentes domésticos tratados) confirman la presencia masiva de materia orgánica sin tratar y otros contaminantes. Esto directamente correlaciona con los bajos niveles de OD, ya que los microorganismos consumen el oxígeno al descomponer esta materia.

Interpolación Coliforme DQO



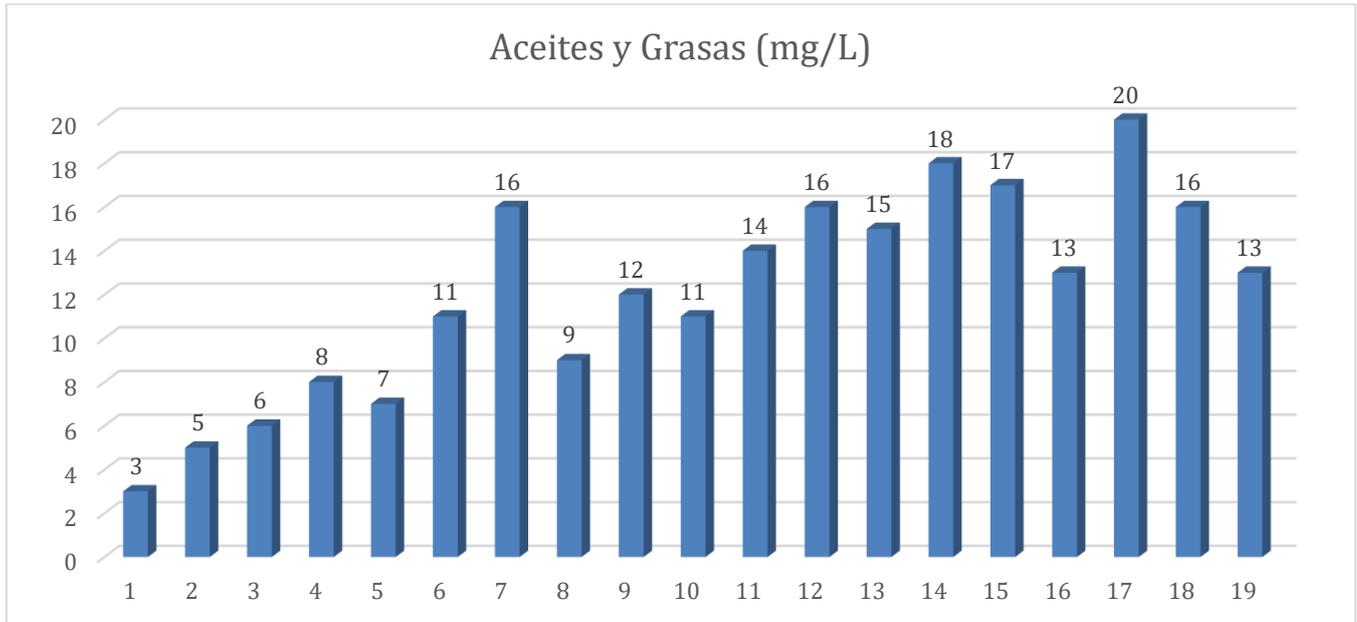


• **Aceites y Grasas (mg/L):**

- **Tendencia:** Se observan valores significativos en varios puntos (ej., 11 mg/L en Punto 6, 20 mg/L en Punto 17).
- **Interpretación:** La presencia de aceites y grasas indica vertimientos domésticos, de talleres mecánicos, restaurantes u otras actividades comerciales. Forman una capa en la superficie que dificulta la transferencia de oxígeno del aire al agua y afecta a la biota acuática

Interpolación Aceites y Grasas



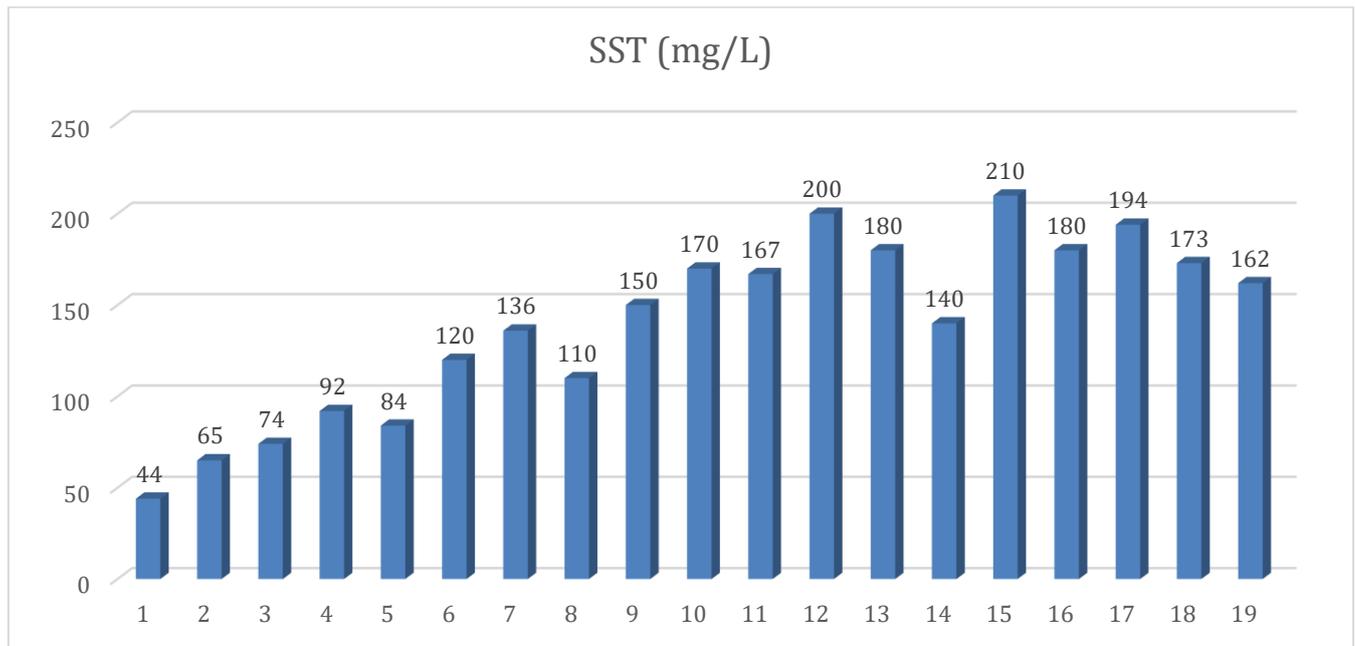


• **Sólidos Suspendidos Totales (SST):**

- **Tendencia:** Los SST son consistentemente altos, especialmente en los tramos más contaminados (ej., 120 mg/L en Punto 6, 210 mg/L en Punto 15, 280 mg/L en Punto 16).
- **Interpretación:** Los valores elevados de SST están asociados a la turbidez y provienen de la descarga de aguas residuales no tratadas y la erosión de riberas. Afectan la estética del río, reducen la penetración de luz y pueden depositarse en el fondo, alterando el hábitat bentónico.

Interpolación SST



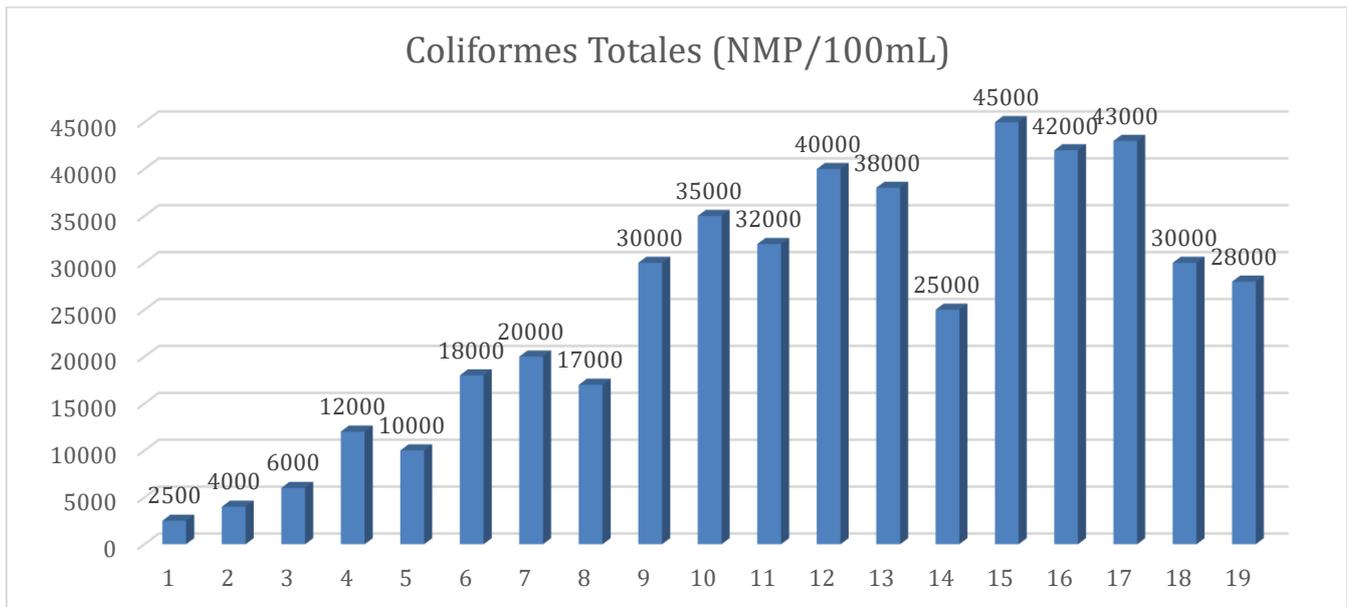


• **Coliformes Totales (NMP/100mL):**

- **Tendencia:** Muestran conteos extremadamente altos en la mayoría de los puntos, llegando a 45000 NMP/100mL en el Punto 15. Incluso los puntos iniciales tienen valores muy por encima de los límites permisibles para cualquier uso.
- **Interpretación:** Los coliformes totales son indicadores de contaminación fecal. Estos valores indican una severa contaminación por aguas residuales domésticas sin tratamiento, lo que representa un alto riesgo sanitario para la población que pueda tener contacto con el agua.

Interpolación Coliforme T



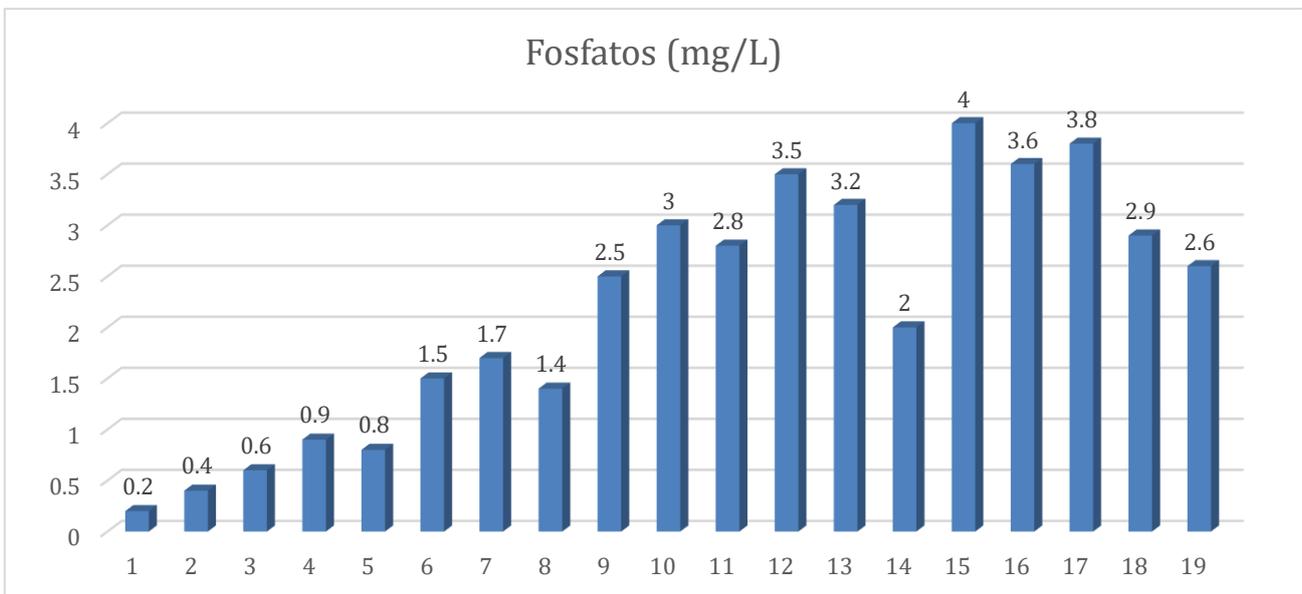
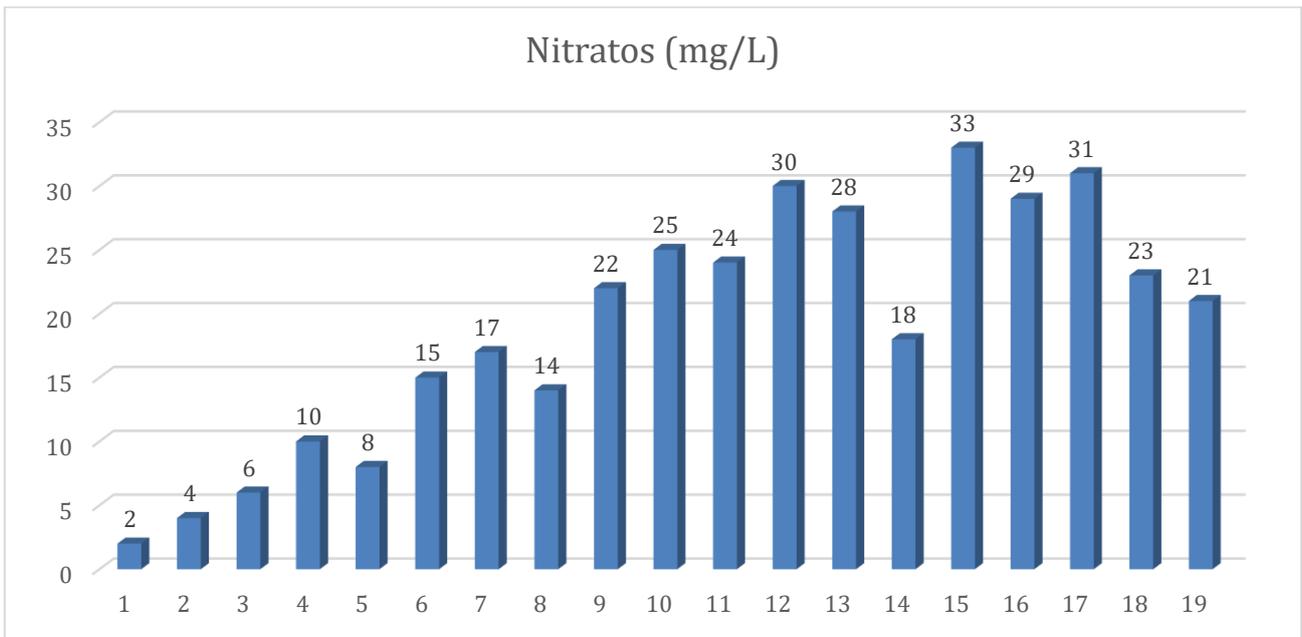


• Nitratos y Fosfatos:

- **Tendencia:** Ambos nutrientes presentan un aumento constante a lo largo del río, alcanzando valores muy altos (Nitratos hasta 33 mg/L en Punto 15; Fosfatos hasta 4 mg/L en Punto 15).
- **Interpretación:** La alta concentración de nitratos y fosfatos es típica de la contaminación por aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales. Estos nutrientes son responsables de la **eutrofización**, que conduce al crecimiento excesivo de algas (como se observa en el Punto 7: "Estancamiento con crecimiento de algas"), al agotamiento del oxígeno por su posterior descomposición, y a la alteración del ecosistema acuático.

Interpolación Coliforme Nitratos





Identificación de Puntos Críticos y Fuentes de Contaminación:

La columna "fuentes de contaminación" confirma y correlaciona las mediciones con las observaciones en campo:

Tabla 2

- **Puntos 1-5:** Muestran contaminación inicial con "residuos flotantes y ligera materia orgánica" y "descargas domésticas dispersas", reflejado en pH alcalino y turbidez moderada.

Punto	pH	Conductividad eléctrica	Temperatura	Oxígeno disuelto	Turbidez	Fuentes de contaminación
-------	----	-------------------------	-------------	------------------	----------	--------------------------

1	10.6	6.85	9.9	19.02	75	Zona con residuos flotantes y ligera materia orgánica
2	10.1	8.71	9.5	9.23	110	Descargas domésticas dispersas
3	10.2	10.74	10.4	9.89	95	Acumulación de bolsas y plásticos
4	9.9	9.19	10.9	9.37	130	Zona con aguas negras visibles
5	8.2	4.4	10.9	7.23	85	Aguas con olor moderado y flotación de residuos

- **Puntos 6-8:** Observaciones como "Vertimiento sin tratamiento visible", "Estancamiento con crecimiento de algas" y "Conductividad alta, residuos sólidos presentes" se corresponden con valores de OD significativamente más bajos y turbidez alta, indicando una degradación importante.

Tabla 2

Punto	pH	Conductividad eléctrica	Temperatura	Oxígeno disuelto	Turbidez	Fuentes de contaminación
6	8.6	5.97	10.4	2.95	180	Vertimiento sin tratamiento visible
7	8.2	3.65	10.5	3.6	220	Estancamiento con crecimiento de algas
8	7.5	2.5	10.8	56	160	Conductividad alta, residuos sólidos presentes

- **Puntos 9-19 (especialmente 12, 15, 16, 17):** Estas son las zonas más críticas. Las observaciones de "Zona con tapón de basura", "Descarga continua desde un canal", "Acumulación de sólidos y aguas oscuras", "Punto crítico: anóxico, sin flujo visible", "Material orgánico visible en suspensión" y "Residuos bloqueando el cauce" se reflejan en:

Tabla 3

Punto	pH	Conductividad eléctrica	Temperatura	Oxígeno disuelto	Turbidez	Fuentes de contaminación
9	6.8	450	22	5.5	250	Zona con tapón de basura
10	7	600	23	4	140	Descarga continua desde un canal

11	6.5	550	24	3.8	200	Acumulación de sólidos y aguas oscuras
12	6.3	1200	25	2.5	300	Punto crítico: anóxico, sin flujo visible
13	7.2	800	26	3	170	Bajos niveles de oxígeno y espuma superficial
14	7.1	700	23	4.2	125	Actividad informal cercana (lavado de autos, talleres)
15	6	1500	27	1.8	190	Material orgánico visible en suspensión
16	6.4	900	24	2	280	Residuos bloqueando el cauce
17	6.2	1300	25	1.5	150	Turbidez media con aspecto aceitoso
18	6.7	750	23	3.5	135	Zona con residuos en descomposición lenta
19	7.3	950	22	4.8	210	Acumulación de desechos cerca de puente o canal

Discusión

El análisis integral de la calidad del agua del río Torococha, basado en 19 puntos de muestreo a lo largo de su cauce en la ciudad de Juliaca, demuestra que este cuerpo hídrico atraviesa un proceso grave de degradación ambiental, principalmente debido a la presión urbana, la carencia de infraestructura de saneamiento básico y la descarga incontrolada de aguas residuales y residuos sólidos. La comparación de los resultados obtenidos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua – D.S. N.º 004-2017-MINAM y los Límites Máximos Permisibles (LMP) para vertimientos – D.S. N.º 003-2010-MINAM evidencia el incumplimiento sistemático de los valores establecidos para proteger tanto la salud pública como los ecosistemas acuáticos.

Uno de los parámetros más críticos fue el oxígeno disuelto (OD). Según el ECA para cuerpos de agua de categoría 3 (recreación), el valor mínimo permitido es de 5 mg/L. Sin embargo, en 12 de los 19 puntos evaluados, los niveles se encontraron por debajo de este umbral, siendo los más alarmantes los puntos 15 (1.8 mg/L) y 17 (1.5 mg/L), lo cual evidencia condiciones anóxicas incompatibles con la vida acuática. Esta deficiencia de oxígeno está directamente relacionada con el exceso de materia orgánica biodegradable, reflejado en los valores elevados de DBO5.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), que mide la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para descomponer materia orgánica, debe mantenerse por debajo de 5 mg/L según el ECA. No obstante, se reportaron valores de hasta 68 mg/L en el punto 16, superando ampliamente los estándares y reflejando una grave sobrecarga de aguas residuales sin tratamiento. Este exceso de materia orgánica acelera la descomposición anaerobia, liberando gases tóxicos, afectando la biodiversidad y generando olores ofensivos.

En cuanto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), el LMP para vertimientos tratados permite un máximo de 120 mg/L. El punto 15 alcanzó un valor de 170 mg/L, lo que indica que ni siquiera se cumple con los requisitos para efluentes ya tratados. Esto sugiere un vertimiento directo de aguas negras o residuos industriales sin ningún tipo de tratamiento previo.

El parámetro de pH también presentó valores alarmantes. El ECA establece un rango permisible entre 6.5 y 8.5. No obstante, en los puntos 1 a 4 se reportaron valores alcalinos superiores a 10, mientras que en puntos como el 15 (6.0) y 17 (6.2) se registraron niveles ácidos, todos fuera del rango adecuado. Esto afecta la fisiología de los organismos acuáticos, altera la toxicidad de los metales y desestabiliza el ecosistema.

La turbidez, cuyo valor máximo aceptable según el ECA es de 5 UNT, alcanzó hasta 300 UNT en el punto 12. Esto se debe a la presencia de sólidos suspendidos, lodos y residuos arrastrados por

lluvias o vertidos, que impiden la entrada de luz, reducen la fotosíntesis y generan hábitats hostiles.

Respecto a los Sólidos Suspendedos Totales (SST), el LMP establece un límite de 50 mg/L. Sin embargo, se registraron valores de hasta 280 mg/L, especialmente en los puntos intermedios y finales del río. Esta condición reduce la claridad del agua, afecta la alimentación de peces filtradores y facilita el transporte de contaminantes adheridos como metales pesados o microorganismos patógenos.

En relación con la contaminación biológica, los niveles de coliformes fecales fueron extremadamente altos. El ECA para categoría 3 establece un límite de 1,000 NMP/100 mL, pero se encontraron hasta 45,000 NMP/100 mL en el punto 15, evidenciando una contaminación fecal masiva, producto del vertimiento de aguas servidas sin tratamiento. Esto representa un riesgo directo para la salud pública, al aumentar la posibilidad de enfermedades gastrointestinales, infecciosas y parasitarias, especialmente en poblaciones vulnerables que viven o trabajan cerca del río.

Los niveles de aceites y grasas, que según el ECA no deben superar los 10 mg/L, llegaron a 20 mg/L en el punto 17, lo cual implica la presencia de descargas desde talleres mecánicos, restaurantes y zonas de lavado informal de vehículos. Estas sustancias generan una película superficial que impide el intercambio gaseoso y deteriora la calidad del hábitat acuático.

En cuanto a nutrientes, los nitratos y fosfatos se encontraron muy por encima de los valores permisibles. El ECA permite hasta 10 mg/L de nitratos y 0.1 mg/L de fosfatos. En el estudio se registraron hasta 33 mg/L de nitratos y 4 mg/L de fosfatos. Estas concentraciones excesivas causan procesos de eutrofización, como crecimiento excesivo de algas, reducción del oxígeno disuelto, muerte de fauna acuática y formación de zonas muertas.

La conductividad eléctrica, aunque no regulada directamente por el ECA, es un indicador indirecto de la carga iónica en el agua. Valores superiores a 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, como los observados en los puntos 12, 15 y 17 (hasta 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), indican una alta concentración de contaminantes disueltos, como sales, detergentes y nutrientes, que afectan la calidad del agua para cualquier uso (humano, agrícola, recreativo).

Por último, la temperatura del agua también presentó valores elevados (hasta 27 °C), posiblemente por el bajo caudal, escasa cobertura vegetal o descargas térmicas. Este incremento reduce la solubilidad del oxígeno, acelera la descomposición bacteriana y agrava el desequilibrio ecológico.

Conclusión:

La presente investigación logró evaluar la calidad físico-química y biológica del agua del río Torococha en sus tramos más contaminados, utilizando herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG), lo cual permitió no solo identificar las zonas críticas, sino también vincular espacialmente las fuentes de contaminación con los resultados analíticos. Los datos evidencian que gran parte del cauce presenta condiciones severamente deterioradas, con parámetros que superan ampliamente los valores establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP) en el Perú. Esta situación confirma que el río Torococha se encuentra afectado por la presión urbana, la descarga de aguas residuales domésticas sin tratamiento y una deficiente gestión de residuos sólidos.

Se identificaron diversas fuentes puntuales y difusas de contaminación a lo largo del río. Entre ellas destacan descargas clandestinas de aguas negras, vertimientos desde viviendas, mercados y talleres mecánicos, así como acumulación de residuos sólidos en riberas. Estas fuentes coinciden con los tramos donde se registraron los niveles más altos de DBO5, coliformes fecales, SST y turbidez.

Mediante el uso de interpolación espacial en ArcMap, se logró representar gráficamente los niveles de contaminación a lo largo del río. Los mapas temáticos permitieron visualizar con

claridad los sectores más afectados, reforzando la utilidad del SIG como herramienta para el diagnóstico ambiental y la planificación de intervenciones.

Los tramos comprendidos entre los puntos 9 y 17 fueron identificados como los más críticos. En estos sectores se registraron valores extremos de DBO5 (hasta 68 mg/L), coliformes fecales (hasta 45,000 NMP/100mL), fosfatos (hasta 4 mg/L) y turbidez (hasta 300 UNT). Estos niveles, muy por encima de los límites del ECA, reflejan una situación de riesgo ambiental y sanitario urgente.

Referencias:

- Alexandra, M., Tucto, B., Vladimir, P., Zambrano, M., Alejandra, R., Barba, A., Rashell, X., & Vinuesa, C. (2022). Evaluación de la contaminación por metales pesados del Río Cuchipamba, Morona Santiago. In *Polo del Conocimiento* (Vol. 7, Issue 7). <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/rt/printerFriendly/4328/0>
- Ángela M. Ferrá. (2007). *Estudio preliminar sobre el asma y la contaminación del aire en Puerto Rico usando ArcGIS*.
- Diana Carolina Villarroel Morales. (2017). *Elaboración de un mapa estratégico de contaminación acústica diurno de las plataformas territoriales dos y tres para la zona urbana Sur y Este de la ciudad de Ambato, mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfico ArcGis, en acuerdo con el Ilustre Municipio de Ambato*.
- Flores Palomino, V. R. (2020). *Generación de máximas avenidas en la sub cuenca Torococha empleando métodos hidrológicos, para diseño del puente Torococha, Juliaca, Puno, 2020*.
- LAURA CARI DIANET RAQUEL. (2016). *LACONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y SU INFLUENCIA EN EL CRECIMIENTO DENIÑOS DE 1 A 5 AÑOS QUE VIVEN EN LAS RIVERAS DEL RÍO TOROCOCHA DE JULIACA, DICIEMBRE 2015-MARZO 2016*.
- LEONEL BARRIOS CHINO. (2023). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL RÍO TOROCOCHA APLICANDO LA METODOLOGÍA ICARHS EN EL DISTRITO DE JULIACA PROVINCIA DE SAN ROMÁN Y DEPARTAMENTO DE PUNO -2023*.
- OHN EDUARDO OJEDA URQUIZO. (2021). *Análisis de la contaminación ambiental del río Ocoña por la minería artesanal utilizando el software ArcGIS dentro del periodo 2013-2021, Arequipa*.
- Verónica Reyna Gutierrez Cabana. (2018). *Evaluación de la calidad de agua del río Coata en la desembocadura del río Torococha utilizando el Índice de Calidad de Agua del Consejo Canadiense CCME-WQI y el ICA-PE, Puno -2018*.

Anexos:

