

Características fisicoquímicas y bacteriológicas de un arroyo urbano altoandino: centro poblado Salcedo, Puno, Perú

Physicochemical and bacteriological characteristics of a high andean urban stream: Salcedo town, Puno, Peru

 Humberto Peñaranda Barra¹,  Alfredo Loza-Del Carpio^{1,2*},  Jesús Miranda Mamani¹ y  Margot Reyes Orihuela³

Resumen

Los arroyos urbanos están siendo cada vez más afectados por centros poblados, debido a la carencia de sistemas de tratamiento de sus aguas residuales. Por ello, se evaluó el impacto del poblado Salcedo en las características fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas del arroyo Ranchopunko que lo atraviesa. Para ello se establecieron tres estaciones de muestreo: curso alto del río sin influencia urbana (estación 1), sección que atraviesa el centro urbano (estación 2) y desembocadura en el lago Titicaca (estación 3), evaluando los principales parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, en un total de 36 muestras durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, con cuyos datos se calculó también el índice simplificado de calidad de agua. A diferencia de la estación 1, la mayoría de parámetros de las estaciones 2 y 3 no cumplieron los estándares de calidad ambiental, siendo significativamente diferentes con la estación 1 ($p < 0,05$). En la estación 2 fueron elevadas la conductividad eléctrica ($1571,58 \pm 101,91 \mu\text{S/cm}$), sólidos suspendidos totales ($128,69 \pm 89,67 \text{ mg/L}$), demanda biológica de oxígeno ($10,04 \pm 2,03 \text{ mg/L}$) y coliformes fecales con máximos de hasta 12000 NMP/100 mL. El índice de calidad definió a las aguas de la estación 1 como de buena y excelente calidad, estación 2 de mala calidad y estación 3 de calidad media a muy mala. Se estima una carga contaminante total de 1101,4 kg/día que ingresa al Titicaca desde el arroyo, de los cuales el 88,5 % corresponde a sólidos suspendidos totales y el 4,6 % a la demanda biológica de oxígeno. El arroyo Ranchopunko se encuentra altamente contaminado desde la sección que atraviesa el poblado Salcedo por ingresos de aguas residuales.

Palabras clave: agua residual, calidad del agua, contaminación, microorganismo, río.

Abstract

Urban streams are increasingly being affected by town due to the lack of wastewater treatment systems. Therefore, the impact of the Salcedo settlement on the physicochemical and bacteriological characteristics of the waters of the Ranchopunko stream that flows through it was evaluated. Three sampling stations were established: the upper reaches of the river without urban influence (station 1), the section that flows through the urban center (station 2), and the stream mouth of Lake Titicaca (station 3). Main physicochemical and bacteriological parameters were evaluated and a simplified water quality index was calculated. Unlike station 1, most parameters at stations 2 and 3 did not comply the standards, being significantly different from station 1 ($p < 0.05$). At station 2, were elevated: electrical conductivity ($1571.58 \pm 101.91 \mu\text{S/cm}$), total suspended solids ($128.69 \pm 89.67 \text{ mg/L}$), biological oxygen demand ($10.04 \pm 2.03 \text{ mg/L}$), and fecal coliforms, with maximum values up to 12,000 MPN/100 mL. The quality index defined the waters at station 1 as good to excellent quality, station 2 as poor quality, and station 3 as medium to very poor quality. A total contaminant load of 1,101.4 kg/day is estimated to enter Titicaca from the stream, of which 88.5% corresponds to total suspended solids and 4.6% to biological oxygen demand. The Ranchopunko stream is highly contaminated from the section that crosses the town of Salcedo due to wastewater inflows.

Keywords: wastewater, water quality, pollution, microorganism, river.

Recibido: 08/04/2025

Aceptado: 18/09/2025

Publicado: 30/09/2025

Sección: Artículo Original

*Autor correspondiente: aloza@unap.edu.pe

Introducción

La emisión de aguas residuales hacia ecosistemas acuáticos es una de las principales causas de deterioro de la calidad de las aguas (Von Sperling, 2007), siendo las fuentes principales los centros urbanos, que aún en muchos países desfogon sus desagües directa o deficientemente tratadas a océanos, lagos y ríos, arrastrando excesivas cargas de nutrientes, microorganismos patógenos y diversos compuestos tóxicos orgánicos e inorgánicos, con alto riesgo para la salud pública (Rodríguez, 2020; Saad et al., 2022). Según la WHO (2023), en el 2019 se presentaron 505 mil muertes por diarrea debidas al agua insegura, 564 mil al

saneamiento inseguro y 384 mil a la precaria higiene de manos, la mayoría en países en desarrollo.

¹Programa de Ecología, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.

²Instituto de Investigación en Ciencias Ambientales Salud y Biodiversidad, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.

³Laboratorio de Ecología Acuática, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.

Como citar: Peñaranda Barra, H., Loza-Del Carpio, A., Miranda Mamani, J., & Reyes Orihuela, M. (2025). Características fisicoquímicas y bacteriológicas de un arroyo urbano altoandino: centro poblado Salcedo, Puno, Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 27, e27710. <https://doi.org/10.18271/ria.2025.710>



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

Cuerpos de agua continentales están siendo particularmente muy alterados en el mundo, el 37 % de ríos están fuertemente afectados y un 23 % moderadamente afectados y más del 50 % de humedales en general han desaparecido por procesos de contaminación y otras formas de deterioro (Revenga et al., 2000), perdiéndose con ello fuentes vitales de recursos hídricos. Los ríos contaminados arrastran cargas crónicas y elevadas de sedimentos hacia su receptor final (lagos, mares, estuarios), colmatando los lechos para disminuir su profundidad, alterando hábitats para la biodiversidad y acumulando metales y otros contaminantes en el fondo para luego ser liberados en formas más tóxicas para los seres vivos (Escobar, 2002).

Los efectos de las áreas urbanas tienen características particulares que aceleran la degradación de los cuerpos lóticos. El alto porcentaje de pavimentación y edificación impide la infiltración, recarga de acuíferos y escorrentía natural de los ríos, siendo más afectados los arroyos pequeños debido a su menor capacidad de crear mecanismos de compensación (González et al., 2007). También provocan en ríos adyacentes un aumento de contaminantes, incrementos drásticos de corrientes fluviales en épocas de avenida y cambios en las concentraciones de los componentes químicos naturales (Waite et al., 2008). Un fenómeno ocasionado por la urbanización es la “contaminación súbita” (shock pollution), referida a que los contaminantes acumulados en suelo urbano se movilizan repentinamente durante una precipitación hasta el arroyo ocasionando un fuerte impacto ambiental por el aumento drástico de algún contaminante o en la demanda biológica de oxígeno (Mount, 1995). De este modo los ecosistemas fluviales son altamente vulnerables a los efectos del desarrollo urbano e irreversibles en muchos casos, creando paisajes completamente modificados (González et al., 2007).

Los ríos como sistemas dinámicos y complejos transportan agua, sedimentos, nutrientes y mantienen seres vivos; además, conforman corredores de gran valor ecológico, paisajístico, bioclimático y territorial (Benjumea-Hoyos et al., 2023). En los Andes, los ríos sustentan alta biodiversidad y proveen trascendentales servicios ecosistémicos, como agua para consumo humano y para la agricultura o uso recreativo, sin embargo, la urbanización y falta de tratamiento de aguas residuales vienen amenazando los beneficios de estos arroyos (Ríos-Touma et al., 2022).

La ciudad de Puno, situada a orillas del lago Titicaca en el sector peruano, desde hace décadas presenta como su principal problema ambiental, la evacuación de sus aguas residuales, que directa o inadecuadamente tratadas, son vertidas hacia el lago Titicaca, en la bahía interior de Puno (BIP), siendo este el principal receptor

de todas las emanaciones contaminantes que se generan en dicha ciudad (Northcote & Morales, 1991; Loza-Del Carpio et al., 2016). El centro poblado Salcedo, ubicado al sur de esta ciudad, constituye una urbe emergente atravesada por el arroyo “Ranchopunku”, que recibe en su trayecto diversos tipos de residuos (aguas residuales y residuos sólidos), sin ningún sistema de tratamiento previo, desconociéndose sus efectos en la calidad del agua y en el lago Titicaca que constituye la fuente receptora final; aunque dicho afluente ya fue reportado preliminarmente como fuente de contaminación para el lago Titicaca por Ocola & Laqui (2017) y Ccama (2021).

El centro poblado Salcedo, inicialmente tuvo un uso agropecuario de sus tierras, cambiando sustancialmente luego a un aprovechamiento urbano, que en 1981 abarcó un área de 28.8 ha, hasta llegar a ocupar 319 ha para el año 2018 (Ccama, 2021) y según los registros de la Municipalidad de este centro poblado, actualmente se cuenta con 7216 predios urbanos y una población aproximada de 23 mil habitantes, de las cuales solo el 60 % cuenta con servicios de agua y desagüe (MCPS, 2022); además, está la presencia de centros industriales, comercio de diversa índole y un centro hospitalario, que a simple vista no cuentan con adecuados sistemas de tratamiento de sus emisiones. Por ello resulta necesario conocer el impacto de esta reciente urbe sobre las características fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas del arroyo Ranchopunku, a fin de diagnosticar su calidad ambiental y conocer con certidumbre el nivel de perjuicio que se tiene sobre este cuerpo acuático. Con ello también se establecerían lineamientos fundamentales para las posteriores acciones de manejo y gestión sostenible del recurso hídrico y las bases para implementar sistemas de tratamiento y de restauración.

Bajo estas perspectivas los objetivos del presente estudio incluyeron: evaluar las características fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas del arroyo Ranchopunku en su trayecto por el centro poblado Salcedo, Puno, determinar la calidad de sus aguas y estimar la carga contaminante que ingresa a la bahía interior de Puno, en el lago Titicaca.

Materiales y métodos

Ámbito de estudio

El centro poblado Salcedo, se localiza a unos 5 km hacia el sur de la ciudad de Puno, geográficamente ubicada en los 15°52'07" Sur y 69°59'55" Oeste, entre los 3810 y 4000 msnm. La temperatura media anual llega a 9 °C, con una precipitación de 800 mm, según las zonas de vida es considerado como páramo muy lluvioso (Aybar et al., 2017) y en su vegetación natural destacan plantas arbustivas, herbáceas y pastizales, incluyendo

algunos relictos de bosques con árboles nativos (colli y queñua) y exóticos (ciprés, pino, eucalipto). El arroyo Ranchopunku tiene una longitud de 6.5 km desde su parte alta hasta la desembocadura en el lago Titicaca, con un ancho que varía entre 0.6 a 1.80 m y una profundidad entre 0.45 a 1.25 m durante el período de estudio, siendo más elevados estos valores en época lluviosa (figura 1).

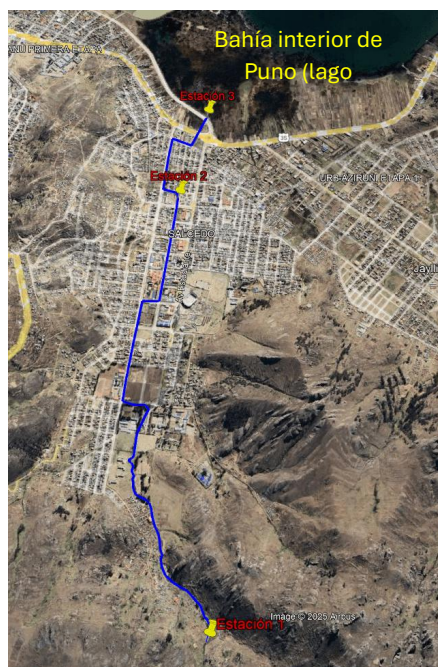


Figura 1. Ubicación del arroyo Ranchopunku y sus estaciones de muestreo en el centro poblado Salcedo, Puno (círculo rojo)

Caracterización de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos

Se obtuvieron muestras de agua en tres estaciones a lo largo del arroyo Ranchopunku, abarcando una parte alta sin aparente impacto por la urbe (estación 1), una parte media en la parte central del poblado (estación 2) y otro punto donde desagua el arroyo en el lago Titicaca (estación 3), durante los meses de agosto a octubre del 2021 (Tabla 1 y Figura 1), obteniéndose 6 muestras en horas de la mañana (7.00 a 9.00 am) y 6 muestras por la tarde (4.00 pm a 6.00 pm) por cada estación, en un total de seis fechas de muestreo (36 muestras en total), considerando los lineamientos de ANA (2016). Se analizaron luego los parámetros de: fósforo (PT) y nitrógeno total (NT) (mediante espectrofotometría), demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO) (incubación Winkler y colorimetría al permanganato) en el Laboratorio Continental Puno del IMARPE; sólidos suspendidos totales (SST) (por gravimetría) y coliformes totales y termotolerantes (técnica de tubos múltiples de fermentación con cinco series) en el Laboratorio de Ecología Acuática de la Universidad Nacional del Altiplano. Todos los análisis se realizaron siguiendo los lineamientos de APHA-AWWA (1999). Además, in situ se evaluaron: pH, temperatura, sólidos disueltos totales (SDT), oxígeno disuelto (OD) y conductividad eléctrica (CE), utilizando multiparámetro AZ EB 86031 y el caudal se midió en cada muestreo utilizando el método del flotador, según indicaciones de Chamorro (2011).

Tabla 1. Características del ámbito de muestreo en el arroyo Ranchopunku, centro poblado Salcedo, Puno

Estación de muestreo	Coordenadas UTM	Altitud (msnm)	Características	Distancia al lago (km)
1	393339 - 8242297	3940	Zona de cerros y vegetación natural, ausencia de viviendas. Actividad agropecuaria.	4,7
2	393018 - 8245331	3820	Parte media del poblado Salcedo, altura de plaza mayor.	1,3
3	393148 - 8245852	3816	Desembocadura del arroyo en el lago Titicaca (bahía interior).	0

Fechas de muestreo (2021): 02, 15 y 30 de agosto; 12 y 26 de setiembre; 11 de octubre.

Análisis de datos

Los valores de cada parámetro evaluado, fueron comparados según estación de muestreo y horario mediante análisis de varianza, diseño completo al azar y arreglo factorial 3*2 (03 estaciones de muestreo y 02 horarios) para determinar variaciones significativas entre estos componentes, comprobando previamente los supuestos de normalidad de datos y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro – Wilk y Levene respectivamente, se incluyó además la prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$). En los parámetros bacteriológicos, se realizó transformación logarítmica de los datos para cumplimiento de supuestos mencionados.

Los resultados del análisis fisicoquímico y bacteriológico, fueron contrastados también con los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) del Perú, Categoría 4 (E2): Conservación del ambiente acuático (MINAM, 2017).

La carga contaminante fue estimada para la estación 3, punto donde descargan las aguas del arroyo Ranchopunku al lago Titicaca, considerando SST, DBO₅, DQO, NT y PT, por ser los principales elementos que aportan a la eutroficación, según la siguiente expresión (Von Sperling, 2007):

$$CC = Cct * Q$$

Donde: CC es la carga contaminante (en kg/día); Cct es la concentración del contaminante (en kg/L) y Q es el caudal (en L/día).

La calidad de las aguas del arroyo se determinó mediante el Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA) (Chaves, 2025; Ortiz et al., 2024) por fecha de muestreo y utilizando la calculadora en línea de la Universidad de Purdue el cual utiliza los parámetros de temperatura, DBO5, SST, OD y CE, para obtener valores de cero hasta 100; dicho índice se calcula utilizando índices parciales (I) por cada parámetro, según la siguiente ecuación (PU, 2025):

$$ISQA = I_{tem} * I_{DBO} + I_{SST} + I_{OD} + I_{CE}$$

Donde:

$$\begin{aligned} I_{tem}: & \text{Si temperatura} \leq 20 \rightarrow I_{tem} = 1 \\ & \text{Si temperatura} > 20 \rightarrow I_{tem} = 1 - (\text{temperatura} - 20) \\ I_{DBO}: & \text{Si DBO} \leq 10 \rightarrow I_{DBO} = 1 - \text{DBO} \\ & \text{Si } 10 < \text{DBO} \leq 60 \rightarrow I_{DBO} = 1 - (0.35 * \text{DBO}) \\ & \text{Si } 60 < \text{DBO} \rightarrow I_{DBO} = 0 \\ I_{SST}: & \text{Si SST} \leq 100 \rightarrow I_{SST} = 25 - (0.15 * \text{SST}) \\ & \text{Si } 250 \geq \text{SST} > 100 \rightarrow I_{SST} = 16.67 - 0.0667 \\ & \text{Si SST} > 250 \rightarrow I_{SST} = 0 \\ I_{OD}: & \text{Si OD} < 10 \rightarrow I_{OD} = 2.5 * \text{OD} \\ & \text{Si OD} \geq 10 \rightarrow I_{OD} = 25 \\ I_{CE}: & I_{CE} = 0.5542 - 15.38 * \text{LogCE} \end{aligned}$$

Resultados

Los resultados se interpretan según la siguiente clasificación: La escala de calidad se categoriza en cinco niveles con base en intervalos numéricos predefinidos. El nivel óptimo, denominado “Excelente”, comprende

el rango de 91 a 100 puntos. Le sigue la categoría de “Buena”, que abarca de 71 a 90 puntos. Los valores de 51 a 70 puntos se clasifican dentro de una calidad “Media”. La categoría “Mala” se aplica a los resultados situados entre 26 y 50 puntos. Por último, el nivel más bajo, definido como “Muy Mala” calidad, se reserva para los puntajes en el intervalo de 0 a 25 puntos.

Características fisicoquímicas

La temperatura no tuvo variaciones significativas entre las tres estaciones de muestreo, con valores promedio entre 10,21 y 12,95 °C (Tabla 2). El pH alcanzó un promedio significativamente mayor en la estación 1, con 7,30 respecto a las estaciones más abajo que alcanzaron promedios menores a 7, indicando cierto nivel de acidez en ellas, pero dentro de los límites establecidos por los ECAs; aunque al analizar los datos individualmente, se detectaron hasta tres muestreos con pH menores a 6 en las estaciones 2 y 3, estando por debajo de lo establecido en los ECAs, confirmando eventuales casos de importante acidez en las aguas.

La CE en las estaciones 2 y 3, en todas sus muestras alcanzaron valores superiores a 1000 µS/cm, promediando 1571,58 y 1639,08 µS/cm respectivamente, ambos con similitud estadística y más de lo establecido en los ECAs; la estación 1 alcanzó un promedio estadísticamente inferior a las otras (229 µS/cm), sin superar la normativa. Los SST excedieron los ECAs en la estación 2 con un promedio de 128,69 mg/L y estadísticamente similar a la estación 3 que alcanzó 89,2 mg/L y ambos significativamente superiores a los 18,23 mg/L de la estación 1; ello refleja el ingreso de alta carga de material particulado en el sector urbano del arroyo (Tabla 2).

Tabla 2. Características fisicoquímicas y bacteriológicas del arroyo Ranchopunku según estaciones de muestreo (promedios, DE en paréntesis y significancia al ANVA), comparados con ECAs (Categoría 4)

Parámetro	E1	E2	E3	$F_{2,30}$	p valor (0,05) ECAs
Temperatura (°C)	11,43 a (5,17)	12,95 a (5,46)	10,21 a (1,99)	2,62	0,09 ns Δ3
pH	7,30 a (0,44)	6,58 b (0,31)	6,66 b (0,35)	12,86	0,0001 ** 6,5 – 9
CE (µS/cm)	229,00 b (23,99)	1571,58 a (101,91)	1639,08 a (228,88)	343,66	0,000 ** 1000
SST (mg/L)	18,23 b (17,80)	128,69 a (89,67)	89,2 a (66,07)	8,29	0,001 ** < 100
OD (mg/L)	7,84 a (1,54)	4,93 b (2,41)	4,27 b (1,57)	13,47	0,000 ** > 5
DBO5 (mg/L)	3,17 c (1,64)	10,04 a (2,03)	6,01 b (3,49)	21,71	0,000 ** 10
DQO (mg/L)	4,21 b (1,92)	12,50 a (2,28)	7,01 b (3,80)	26,38	0,000 ** NA
NT (mg/L)	0,49 b (0,18)	1,48 a (1,00)	1,24 a (1,17)	3,63	0,039 * NA
PT (mg/L)	0,18 b (0,08)	0,34 a (0,12)	0,22 a (0,17)	2,28	0,119 ns 0.05
CT (NMP/100 mL)	4638 b	77728 a	33557 a	17,03	0,000 ** NA
CF (NMP/100 mL)	478 b	2692 a	1316 a	4,94	0,014 ** 2000
Caudal (L/s)	17,60 b (11,60)	120,00 a (20,45)	126,40 a (14,44)	145,74	0,000 ** NA

Promedios en negrita no cumplen ECAs y letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas (Tukey $p < 0,05$). NA = no aplica

Las estaciones 2 y 3 presentaron bajos niveles de OD en la mayoría de muestreos y sus promedios no superaron los 5 mg/L exigidos por los ECAs, ambos significativamente diferentes al OD de la estación 1 que promedió 7,84 mg/L, interpretándose que en esta sección del arroyo las aguas si presentarían aptitud para mantener organismos acuáticos (Tabla 2). La DBO₅, superó los límites de los ECAs en la estación 2 con 10,04 mg/L, valor significativamente superior al promedio de la estación 1 (3,17 mg/L) y de la estación 3 (6,01 mg/L); a su vez esta última significativamente mayor a la estación 1 (Tabla 2). Estos valores en la DBO₅ evidencian una alta tasa de descomposición de materia orgánica en el sector urbano del arroyo. La DQO también mostró diferencias significativas entre la estación 2 con las estaciones 1 y 3 y estas dos a su vez fueron similares estadísticamente (Tabla 2); si bien los ECAs no tienen un valor límite para este parámetro en la Categoría 4, la DQO de 12,50 mg/L en la estación 2 es indicativo de ciertas concentraciones adicionales de elementos inorgánicos con requerimientos de consumo de oxígeno en esta parte del arroyo Ranchopunku.

El NT también presentó valores estadísticamente superiores en las estaciones 2 y 3, con promedios mayores a 1 mg/L, respecto a la estación 1 que promedió 0,49 mg/L (Tabla 2), poniendo en evidencia que desde el sector urbano ingresan fuentes de este nutriente al arroyo Ranchopunku. El PT, también en las estaciones 2 y 3 alcanzó concentraciones significativamente similares, con valores superiores a 0,2 mg/L, pero superiores a la estación que promedió 0,18 mg/L: sin embargo, en todos los casos se superó lo establecido en los ECAs (Tabla 2), revelando altos contenidos de este nutriente, en casi todo el cauce del arroyo.

El caudal en la sección urbana del arroyo evidenció un incremento significativo con promedios mayores a 120 L/s, en comparación la estación 1 que promedió 17,60 L/s (Tabla 2), lo que significa que la urbe tiene un aporte adicional con sus aguas residuales al caudal natural del arroyo.

El ANVA evidenció además que en la mayoría de parámetros fisicoquímicos, no existen diferencias significativas según horario, excepto en la temperatura y el OD, alcanzando el primero un promedio de 8,61 °C por la mañana y significativamente superior en las tardes con 14,44 °C; opuestamente el OD tuvo valores significativamente mayores en la mañana con un promedio de 6,43 mg/L, respecto a 4,93 mg/L de las tardes. La interacción estación*horario, solo mostró diferencias significativas en la temperatura, en cuyo caso la hora de muestreo si condicionó los niveles de temperatura de las aguas del arroyo ($F_{2,30} = 5,71$; $p < 0,008$).

Características bacteriológicas

Los CT de acuerdo al ANVA difirieron estadísticamente según estación, siendo significativamente superiores en la estación 2 y 3, respecto a la estación 1 (Tukey $p < 0,05$) que promedió 4638 NMP/100 mL (Tabla 2). Ello demuestra también que en el sector urbano del arroyo Ranchopunku, hay un incremento considerable de microorganismos procedentes de las viviendas.

El ANVA evidenció también diferencias significativas entre estaciones respecto a CF, donde la estación 1 resultó con menores concentraciones (478 NMP/100 mL) comparada con las estaciones 2 y 3 cuyos promedios fueron 2692 y 1316 NMP/100 mL respectivamente (Tabla 2). Los ECAs establecen como límite 2000 NMP/100 mL de CF para ríos de la sierra, según ello los promedios de la estación 1 y 3 no superan este valor, sólo la estación 2. Sin embargo, al hacer un análisis independiente por muestra, en ningún caso la estación 1 supera estos límites y hay ocasiones en que su valor es cero; en cambio, en la estación 2 el 42 % de sus muestras superaron los ECAs y en la estación 3 el 33 %, siendo además todas las muestras positivas, lo que revela descarga permanente de CF y con frecuencia son tan altos que superan los ECAs (Figura 2).

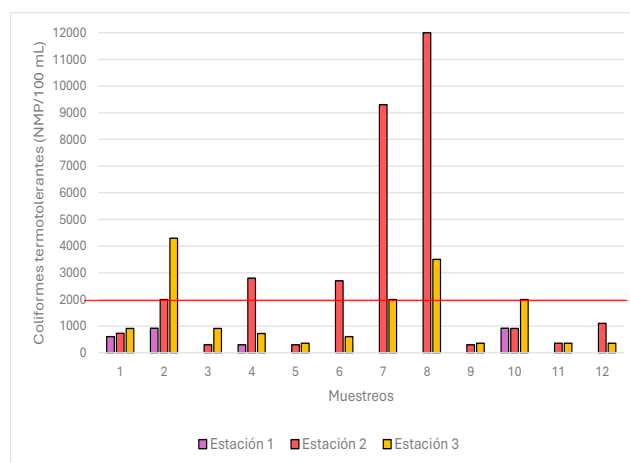


Figura 2. Niveles de coliformes fecales por muestra y según estaciones en el arroyo Ranchopunku. Línea roja indica límite de ECAs

Sólo para el caso de CF, el ANVA evidenció diferencias significativas según horario, siendo superior por las tardes ($F = 0,013$; p valor 0,013) promediando 2006,67 NMP/100 mL, respecto a una media de 983 NMP/100 mL de las mañanas. Esto podría resultar de una acumulación de CF durante el día, para manifestarse en mayores niveles por las tardes. Así mismo, el ANVA no manifestó interacción significativa entre horario*estación para CF ($p = 0,44$).

Carga contaminante

Se ha estimado que desde el arroyo Ranchopunku hasta la BIP hay un ingreso de 974,15 kg/d de SST, repercutiendo en un incremento de sedimentos y partículas contaminantes; ingresa además 51,6 y 60,72 kg/d de DBO₅ y DQO respectivamente (Tabla 3), aportando más carga orgánica al lago. Los aportes de NT y PT fueron moderados, con promedios de 12,7 y 2,2 kg/día cada uno; aun así, significan contribución adicional de estos nutrientes al proceso de eutroficación que viene ocurriendo en la BIP (Tabla 3).

Tabla 3. Carga contaminante de algunos parámetros que ingresan a la BIP, desde el arroyo Ranchopunku

Contaminante	Media±DE (kg/d)	%
SST	974,15±722,19	88,45
DBO ₅	51,6±40,8	4,68
DQO	60,72±45,6	5,52
NT	12,72±11,76	1,16
PT	2,16±1,68	0,19
TOTAL	1101,35±822,03	100

Calidad del agua

El *ISQA* determinó que la estación 1 del arroyo presentó aguas de muy buena a excelente calidad en todas las fechas de muestreo, la estación 2 en la zona media del poblado Salcedo en todos los muestreos presentó aguas de mala calidad y la estación 3, que desemboca en BIP en la mayoría de muestreos evidenció calidad media, excepto en setiembre, donde presentó mala y muy mala calidad (Tabla 4). Ello confirma que las aguas del arroyo Ranchopunku en su curso alto no están afectadas, pero llegando a la zona urbana, manifiestan fuerte contaminación, aunque con un leve efecto de depuración a su llegada al Titicaca.

Tabla 4. Índice de calidad del agua (*ISQA*) del arroyo Ranchopunku según estaciones y fechas de muestreo

Arroyo	Fecha de muestreo (2021)						Interpretación
	2/08	16/08	30/08	12/09	26/09	11/10	
Estación 1	93	92	90	86	84	85	Excelente y buena calidad
Estación 2	49	50	35	42	46	50	Mala calidad
Estación 3	56	63	55	23	50	53	Media, mala y muy mala calidad

Discusión

Las similitudes estadísticas en las temperaturas de las tres estaciones se deben probablemente a la condición climática homogénea de la época evaluada (agosto a octubre); sin embargo, fueron temperaturas concordantes con las de otros ríos altoandinos (Custodio & Chavez, 2019; Sosnovsky et al., 2020), aunque según

horario fueron diferentes, con promedios más bajos en las mañanas que en las tardes, incluso a veces con más de 10 °C de diferencia. Esto sería consecuencia de una acumulación de calor entre la mañana y la tarde, repercutiendo en una mayor disminución de oxígeno en horario vespertino, especialmente en zonas de alta carga orgánica como la estación 2 e incrementando la actividad microbiana (Dallas, 2009), con efecto adverso en la calidad del agua, propiciando incluso emisión de gases contaminantes como metano, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y amonio (Ramírez & Viña, 1998).

Las estaciones 2 y 3, que reciben toda la influencia de la urbe, presentaron mayor acidez respecto a la estación 1, debido a vertidos acidificantes que estarían ingresando desde el poblado Salcedo, como desechos industriales que constituyen fuentes importantes de acidificación del agua (Razali et al., 2020), afectando a organismos acuáticos ya que el valor tolerado para ellos es de 6,5 a 8,5 de pH (Tibebe et al., 2019).

La CE también incrementó en las estaciones 2 y 3 superando los 1000 µS/cm establecido por los ECAs, sugiriendo elevados niveles de contaminación en el tramo urbano por elementos inorgánicos disueltos como sales, iones y minerales diversos que pueden incluir cloruros, nitratos, fosfatos, sulfatos (Mathur, 2015), e incluso con la probabilidad de contener metales pesados que luego estarían llegando al lago Titicaca. La mayoría de ríos altoandinos de condición natural presentan valores de 22 a 144 µS/cm o menos (Sosnovsky et al., 2020; Villamarín et al., 2014), aunque arroyos urbanos de otras latitudes presentaron también valores similares a las estaciones 2 y 3 del Arroyo Ranchopunku, con 1223 µS/cm (Atehortúa et al., 2024) y hasta 1792 µS/cm (Castañe et al., 1998), lo que confirma que las urbes tienen impactos negativos en sus ríos adyacentes.

El promedio de 18,23 mg/L de la estación 1 en el arroyo Ranchopunku, refiere niveles apropiados de SST, considerando que 100 mg/L es el máximo establecido por los ECAs, resultando este valor significativamente menor al promedio de la estación 2 que sí superó la norma y este a su vez fue similar a lo hallado en la estación 2, indicativo de elevados aportes de material particulado en estos tramos, producto del ingreso de aguas residuales. Los SST al representar material particulado de naturaleza orgánica e inorgánica y elementos que generan fenómenos de anaerobiosis (Loucif et al., 2020; Gonzalez-Dávila et al., 2019), es factible que los tramos finales del arroyo estén recibiendo elevados aportes de partículas diversas que propician la disminución de oxígeno y la aparición de microorganismos anaeróbicos y por estar correlacionados con otros contaminantes como metales pesados, DBO₅ e hidrocarburos aromáticos polinucleares (Chan et al., 2008), resultan

importantes indicadores de calidad de agua que proveen indicios de su presencia. Otros ríos urbanos, presentaron mayores valores aún, con promedios de 1556 mg/L en zonas residenciales y 2562 mg/L en zonas industriales (Atehortúa et al., 2024), siendo factible que en el centro poblado Salcedo habría también un aporte importante por las industrias.

Para el OD, los ECAs indican que sus valores deben superar los 5 mg/L, tal como ocurre en la estación 1 del arroyo Ranchopunku; en cambio, las estaciones 2 y 3 presentaron promedios que no superan esta exigencia, producto de la alta carga orgánica en esta parte del arroyo cuyos permanentes procesos de descomposición demandan mayor consumo de oxígeno (Ramírez y Viña, 1998). EL OD determina la cantidad de oxígeno disponible en el agua para los organismos y valores bajos limitan su existencia (PU, 2025), siendo un indicador clave de la salud de los ecosistemas acuáticos y fundamental para la descomposición de la materia orgánica y la mineralización de nutrientes (Wetzel, 2001), por lo que estos procesos no estarían ocurriendo adecuadamente en los tramos del arroyo Ranchopunku con bajas concentraciones. La mayoría de ríos altoandinos naturales presentan valores superiores a 6 mg/L de OD (Villamarín et al., 2014), como lo obtenido en la estación 1 y otros ríos urbanos promediaron 3,5 mg/L (Castañe et al., 1998), similar a algunas muestras de las estaciones 2 y 3, concordando también con Ramírez & Viña (1998), quienes manifiestan que cuerpos lóticos próximos a centros urbanos, presentan condiciones aneróbicas, pero kilómetros abajo pueden recuperar su nivel de OD.

La DBO_5 es el principal indicador de carga orgánica por aguas residuales y hace referencia a la cantidad de oxígeno que consume la materia orgánica durante su descomposición por microorganismos, y sus valores no deben superar los 6 mg/L (Ramírez & Viña, 1998), aunque los ECAs peruanos exigen como límite 10 mg/L, el cual fue superado en las estaciones 2 y 3, mas no en la estación 1. Ello sugiere que en el curso alto del arroyo hay baja presencia de materia orgánica, pero en el tramo medio es relativamente elevado, superando los 10 mg/L de los ECAs cuya procedencia es principalmente urbana, repercutiendo en la calidad de sus aguas. En la estación 3, se percibe sin embargo una relativa remoción propiciada aparentemente por un pequeño humedal donde llega el cauce previo a su ingreso al lago. Otro arroyo urbano alcanzó promedios de 22,1 mg/L de DBO_5 (22,1 mg/L) y se concluye que es debido ingreso de efluentes contaminados desde la urbe (Castañe et al., 1998), similar al caso del centro poblado Salcedo.

La oxidación de materia orgánica en el agua por medios químicos, se representa por la DQO (Ramírez &

Viña, 1998) y mide el consumo oxígeno en la degradación de contaminantes orgánicos a productos finales inorgánicos y también suele usarse como indicador de desechos tóxicos y de presencia de sustancias inorgánicas en una muestra procedentes principalmente de efluentes industriales (LaDuke, 2022). Por ello, la DQO significativamente más alta de la estación 2 del arroyo Ranchopunku (12,50 mg/L) refiere también contaminación orgánica y presencia de sustancias de origen industrial o incluso hospitalaria. Adicionalmente, una relación DBO_5/DQO cercana a cero refiere que los contaminantes de las aguas tienen baja biodegradabilidad y mayor a 0,5 son fácilmente biodegradables (Andrio et al., 2019); según ello, las aguas del arroyo Ranchopunku, son de fácil biodegradabilidad (0,75).

El NT es la suma del nitrógeno como amoníaco, nitrógeno orgánico, nitratos y nitritos y se considera como aceptable hasta 6 mg/L en cuerpos de agua (EPA, 2013), valor no superado en ninguna estación del arroyo, pero los casi cercanos a 1,5 mg/L en las estaciones 2 y 3 son un aporte sustancial que ingresa al Titicaca pudiendo tener incluso formas tóxicas para especies acuáticas (amonio y nitrito) y para humanos (nitratos), considerando que esos valores ya ocasionan impactos ecológicos y contribuyen a procesos de eutroficación (Cárdenas & Sánchez, 2013; Yang, 2022).

El PT superó lo establecido en los ECAs (0,05 mg/L), en todas las estaciones de muestreo, infiriendo que en la estación 1 habría un aporte agropecuario y en las estaciones 2 y 3 por aguas residuales emitidas desde la urbe. Este nutriente es uno de los principales propiciadores de eutroficación en cuerpos lóticos y lénticos (Yang, 2022) y concentraciones superiores a 0,1 mg/L aceleran aún más este proceso (Mancilla-Villa et al., 2022) y en el arroyo Ranchopunku, se superó ese límite. El fósforo es limitado en la mayoría de ecosistemas de agua dulce y adicionar pequeñas cantidades puede tener consecuencias negativas en el agua, como proliferación de algas y disminución del oxígeno por su descomposición, por ello un rango adecuado esta entre 0,01 a 0,04 mg/L (EPA, 2015), valores registrados sólo en algunos muestreos de la estación 1 del arroyo estudiado.

Los CT en su gran parte contienen bacterias que no son dañinas para la salud humana (Sigler & Bauder, 2012) y pueden ser componentes naturales del agua, suelo y plantas (Larrea et al., 2013), pero es un grupo referente de las condiciones ambientales del agua en general, porque pueden contener también bacterias infecciosas para humanos y otros animales (Petculescu et al., 2022). Por ello, los promedios de 77700 y 33500 NMP/100 mL en las estaciones 2 y 3 son suficientes para generar sospecha de riesgo ambiental (Stevens et al., 2003).

En cuanto a CF, la estación 2 en cinco muestreos (42 %) superaron los 2000 NMP/100 mL que establecen los ECAs, con un máximo de 12000 NMP/100 mL, confirmando el ingreso de materia fecal en este sector del arroyo, con riesgo permanente para la salud pública, debido a que contendrían bacterias como *Escherichia coli*, *Klebsiella spp*, *Enterobacter* y *Citrobacter spp* (Stevens et al., 2003). La estación 3 en cuatro muestreos (33 %) superó los ECAs, con promedio estadísticamente similar a la estación 2, evidenciando ingreso eventual de altas concentraciones en la desembocadura al lago Titicaca, con máximos de hasta 4400 NMP/100 mL. La estación 1 en ninguna muestra superó los ECAs, pero niveles máximos como 900 NMP/100 mL sugieren una fuente ganadera de CF en este sector. Los CF proceden del tracto digestivo, que no necesariamente causan infecciones graves, pero pueden estar asociados a microorganismos que sí tienen alto riesgo infeccioso (Petculescu et al., 2022), en ello radica la importancia de su evaluación en el arroyo Ranchopunku.

Se ha estimado que desde el arroyo Ranchopunku ingresa a la BIP una importante carga contaminante y entre los que tienen influencia en procesos de sedimentación, contaminación y eutroficación sumaron un total de 1,1 t/día (unas 400 t anualmente), prevaleciendo principalmente la carga de SST con casi el 89 % de ese aporte. La DBO₅, DQO, NT y PT, tuvieron el aporte restante (11 %), conformando insumos que contribuyen a incrementar aún más el avanzado estado de eutroficación en el que se encuentra la BIP. La carga de contaminantes, depende del volumen del caudal del arroyo y de la magnitud de la población que descarga sus aguas residuales (Camargo, 2021); por ello conforme incrementa la población en el poblado Salcedo, incrementarán también las cargas contaminantes, condicionado a la implementación de un sistema de tratamiento de las aguas residuales. Por ejemplo en caudales de unos 2000 L/s la carga de DBO₅ puede superar las 10 t diarias (Mora-Aparicio et al., 2022).

El ISQA resultó un índice práctico y aplicable en este ámbito, con capacidad de definir concretamente la calidad de las aguas del arroyo evaluado en sus tres tramos, habiéndose aplicado también en otros ámbitos, corroborando que proporciona una visión integral de la calidad del agua, permitiendo determinar su condición de manera precisa utilizando parámetros fisicoquímicos cuyo análisis no requieren complejidad (Chaves, 2025; Ortiz et al., 2024).

Conclusiones

Los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos han demostrado que el primer tramo del arroyo Ranchopunku tienen adecuadas condiciones en la

calidad del agua, aunque al parecer existe una ligera influencia de la actividad agropecuaria debido a que se ha encontrado alguna carga de DBO₅, DQO y NT y CF, aunque sin superar los ECAs. En efecto, según el índice ISQA, esta parte del arroyo presenta excelente y buena calidad.

Por el contrario, la estación 2 en la sección que atraviesa el poblado Salcedo, presenta aguas contaminadas de acuerdo a los altos niveles de CE, SST, DBO₅ y PT, superando ampliamente los ECAs, con importantes ingresos de materia orgánica e inorgánica que reducen los niveles de OD por debajo de lo establecido en la norma y otorgándole cierta acidez a las aguas; los coliformes fecales, también fueron elevados, superando en varios de los muestreos el límite establecido por la normativa, alertando un fuerte riesgo para la salud pública. En este sector también incrementa ostensiblemente el caudal desde 17,60 L/s en el curso alto (estación 1) de origen natural, hasta 120 L/s en la estación 2, es decir hay un incremento de unos 103 L/s como aporte adicional del centro poblado Salcedo, constituido principalmente por aguas residuales. El ISQA confirma que en este tramo las aguas presentan mala calidad en todas las fechas de muestreo.

En la estación 3, que desemboca en la bahía interior de Puno, no cumplieron los ECAs la CE, PT y OD, disminuyendo relativamente la DBO₅ y DQO, lo que conlleva a sugerir cierto proceso de remoción de estos contaminantes en el trayecto; aunque los niveles de PT y NT no disminuyeron significativamente. Tampoco hubo reducción significativa de CF, y en cuatro muestreos superaron lo establecido en la norma. El caudal también fue similar al de la segunda estación (126 L/s). Desde la estación 3 hay un ingreso importante de carga contaminante al lago Titicaca, que en total suman 1101 kg/día, de los cuales un 88,5 % corresponde a los SST y un 10 % al DBO₅ más el DQO, evidenciando un alto ingreso de partículas que incrementan los procesos de sedimentación, colmatación y eutroficación en la BIP. El ISQA indica que las aguas de esta estación son principalmente de regular calidad, pero eventualmente tuvieron mala y muy mala calidad.

Aunque las aguas del arroyo Ranchopunku no tienen ningún uso humano importante en la actualidad, constituye un receptor de desagües clandestinos procedentes de las viviendas, industrias y centros comerciales del centro poblado Salcedo, y es muy probable que aguas residuales del hospital del seguro social también esté teniendo aportes importantes. Por ello se hace necesaria la implementación de un sistema adecuado de tratamiento de sus aguas residuales, ya que siendo una urbe emergente los aportes en el futuro

serán mayores y tendrán mayor impacto en la salud y en el ambiente.

Referencias

- Andrio, D., Asmura, J., Yenier, E., & Putri, K. (2019). Enhancing BOD₅/COD ratio co-substrate tofu wastewater and cow dung during ozone pretreatment. *MATEC Web of Conferences*, 276. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927606027>
- APHA-AWWA, (American Public Health Association–American Water Works Association). (1999). Standards methods for the examination of water and wastewater. L. Clesceri, A. Greenberg, & A. Eaton (Eds.), *Water Environment Federation* (20th ed.).
- Atehortúa, D., Giraldo Buitrago, L. C., & Villegas Palacio, J. C. (2024). Impacto del uso del suelo urbano en la calidad fisicoquímica del agua de escorrentía superficial en una cuenca urbana. *Revista EIA*, 21(42). <https://doi.org/10.24050/reia.v21i42.1749>
- Benjumea-Hoyos, C. A., Ramírez, A. C., & Martínez, A. C. (2023). Calidad fisicoquímica y microbiológica de los ríos asociados a un embalse tropical de montaña en el periodo 2010-2018 (ríos Nare, Nusito y San Lorenzo). *Revista Lasallista de Investigación*, 20(1), 103–122. <https://doi.org/10.22507/rli.v20n1a7>
- Cárdenas, G. L., & Sánchez, I. A. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 15(1), 72–88. bit.ly/4i0pQ10
- Castañe, P., Loez, C., Olguin, H., Puig, A., Rovedatti, M., Topalian, M., & Salibian, A. (1998). Caracterización y variación espacial de parámetros fisicoquímicos y del plancton en un río urbano contaminado, (río Reconquista, Argentina). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 14(2), 69–77.
- Ccama, H. A. (2021). Crecimiento poblacional y cambios territoriales en el centro urbano de Salcedo, Puno. *Espacio y Desarrollo*, 51(37), 37–51. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.202101.002>
- Chamorro, G. I. (2011). *Guía de hidrometría: estimación del caudal por el método de flotadores*. SENAMHI/DR-Lima N° 01-2011.
- Chan, L., Li, Y., & Stenstrom, M. K. (2008). Protocol Evaluation of the Total Suspended Solids and Suspended Sediment Concentration Methods: Solid Recovery Efficiency and Application for Stormwater Analysis. *Water Environment Research*, 80(9), 796–805. <https://doi.org/10.2175/106143008x296497>
- Chaves, E. (2025). Aplicación del Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISQA) en la evaluación de calidad del agua en el río Ocloro, San José, Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 38(1), 59–67. <https://doi.org/10.18845/tm.v38i1.7027>
- Custodio, M., & Chavez, E. (2019). Quality of the aquatic environment of high Andean rivers evaluated through environmental. *Ingeniare, Revista Chilena de Ingeniería*, 27(3), 396–409.
- Dallas, H. (2009). *The effect of water temperature on aquatic organisms: a review of knowledge and methods for assessing biotic responses to temperature* (WRC Report No. KV 213/09).
- EPA, (Environmental Protection Agency). (2013). *Total nitrogen*. bit.ly/3Yi6XAq
- EPA, (Environmental Protection Agency). (2015). *Total Phosphorus*. <https://bit.ly/4lahJCC>
- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. CEPAL, Serie recursos naturales e infraestructura (Vol. 50).
- González-Dávila, R. P., Ventura-Houle, R., De-la-Garza-Requena, F. R., & Heyer-Rodríguez, L. (2019). Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas-México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(1), 01–29. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-01-01>
- González, M., De la Lastra, I., & Rodríguez, I. (2007). *La urbanización y su efecto en los ríos*. Estrategia Nacional de Restauración de Ríos. Ministerio de Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Madrid. https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/Urbanizacion_efectos_en_rios_Julio_2007_1_tcm30-214550.pdf
- LaDuke, O. (2022). Chemical Oxygen Demand and its applications. *Advanced Journal of Environmental Science and Technology*, 13(3), 1.
- Larrea, J., Rojas, M., & Romeu, B. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas. *Revista Cenica, Ciencias Biológicas*, 44(3), 24–34.

- Loucif, K., Neffar, S., Menasria, T., Maazi, M. C., Houhamdi, M., & Chenchouni, H. (2020). Physicochemical and bacteriological quality assessment of surface water at Lake Tonga in Algeria. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 13(January), 100284. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100284>
- Loza-Del Carpio, A., Gamarra, C., & Condori, N. (2016). Caracterización morfobatimétrica y estimación de sedimentos de la bahía interior de Puno, lago Titicaca, mediante tecnología SIG. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 18(2), 237–248. <https://doi.org/10.18271/ria.2016.205>
- Mancilla-Villa, O. R., Gómez-Villaseñor, L., Olguín-Lopez, J. L., Guevara-Gutiérrez, R. D., Hernández-Vargas, O., Ortega-Escobar, H. M., Flores-Magdaleno, H., Can-Chulim, Á., Sánchez-Bernal, E. I., Cruz-Crespo, E., & Palomera-García, C. (2022). Contaminación orgánica por coliformes, Nitrógeno y Fósforo en los ecosistemas acuáticos de la cuenca Ayuquila-Armería, Jalisco, México. *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud*, 24(1), 5–14.
- Mathur, A. (2015). Conductivity: Water Quality Assesment. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3(3), 2014–2016.
- MINAM, (Ministerio de Ambiente). (2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias, El Peruano 10 de julio del 2017. bit.ly/4jqcQUx
- Mora-Aparicio, C., Alfaro-Chinchilla, C., Pérez-Molina, J. P., & Vega-Guzmán, I. (2022). Environmental contribution of Los Tajos wastewater treatment plant in the removal of physicochemical and microbiological pollutants. *Uniciencia*, 36(1), 1–17. <https://doi.org/10.15359/ru.36-1.33>
- Mount, J. F. (1995). *California rivers and streams: The conflict between fluvial process and land use*. University of California Press.
- MCPS–Municipalidad Centro Poblado Salcedo. (2022). *Informe de catastro y servicios de la Municipalidad del Centro Poblado Salcedo–2022*. Oficina de Catastro urbano.
- Northcote, T., & Morales, P. (1991). Desarrollo adecuado de los recursos acuáticos: capacitación, investigación y manejo. In T. Northcote, P. Morales, D. Levy, & M. Greaven (Eds.), *Contaminación en la lago Titicaca, Perú: capacitación, investigación y manejo* (pp. 1–11). Westwater Research Center, University of British Columbia.
- Ocola, J. J., & Laqui, W. F. (2017). *Fuentes contaminantes en la cuenca del lago Titicaca: Un aporte al conocimiento de las causas que amenazan la calidad del agua del maravilloso lago Titicaca*. Autoridad Nacional del Agua-ANA.
- Ortiz, C., Jofre, M., & González, P. (2024). Diagnóstico integral de un río urbano. Aplicación de métricas biológicas, fisicoquímicas y del bosque de ribera. *Ecosistemas*, 33(1), 2613. <https://doi.org/10.7818/ecos.2613>
- Petculescu, I., Hynds, P., Brown, R. S., McDermott, K., & Majury, A. (2022). An assessment of total coliforms and associated thresholds as water quality indicators using a large Ontario private drinking water well dataset. *Science of the Total Environment*, 846(July), 157478. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157478>
- PU, (Purdue University). (2025). *Simple Water Quality Index Calculator*. <https://www.agry.purdue.edu/hydrology/projects/nexus-swm/en/Tools/WaterQualityCalculator.php>
- Ramírez, G., & Viña, V. (1998). *Limnología Colombiana*. Universidad Jorge Tadeo Lozano- Exploration Company Limited (Colombia).
- Razali, A., Syed Ismail, S. N., Awang, S., Praveena, S. M., & Zainal Abidin, E. (2020). The impact of seasonal change on river water quality and dissolved metals in mountainous agricultural areas and risk to human health. *Environmental Forensics*, 21(2), 195–211. <https://doi.org/10.1080/15275922.2020.1728434>
- Revenga, C., Brunner, J., Henninger, N., Kassem, K., & Payne, R. (2000). *Pilot Analysis of Globale Ecosystems: Freshwater Systems*. World Resources Institute.
- Ríos-Touma, B., Villamarín, C., Jijón, G., Checa, J., Granda-Albuja, G., Bonifaz, E., & Guerrero-Latorre, L. (2022). Aquatic biodiversity loss in Andean urban streams. *Urban Ecosystems*, 25(6), 1619–1629. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01248-1>
- Rodriguez, D. J., Serrano, H. A., Delgado, A., Nolasco, D., & Saltiel, G. (2020). *From waste to resource: Shifting paradigms for smarter wastewater*.

- International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. <https://doi.org/10.1596/33436>
- Saad, A. M., Asari, F. ., Afandi, S., & Zid, A. (2022). River Pollution: a mini review of causes and effects. *Journal of Tourism, Hospitality and Environment Management*, 7(29), 139–151. <https://doi.org/10.35631/JTHEM.729011>
- Sáenz-Arias, S., Garcés-Ordóñez, O., Córdoba-Meza, T. L., Blandon, L., Espinosa Díaz, L. F., Vivas-Aguas, L. J., & Canals, M. (2023). Pollution by wastewater discharges: A review on microorganism-microplastic interactions and their possible environmental risks in Colombian coastal waters. *Ecosistemas*, 32(1), 1–14. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2489>
- Sigler, A., & Bauder, J. (2012). *Coliforme total y la bacteria E. coli*. Northern Plains & Mountains, Regional Water Program.
- Sosnovsky, A., Rechencq, M., Fernández, M. V., Suarez, M. J., & Cantet, R. J. C. (2020). Hydrological and physico-chemical dynamics in two andean streams. *Limnetica*, 39(1), 17–33. <https://doi.org/10.23818/limn.39.02>
- Stevens, M., Ashbolt, N., & Cunliffe, D. (2003). *Review of coliforms as microbial indicators of drinking water quality*. Australian Government, National Health and Medical Research Council.
- Tibebe, D., Kassa, Y., Melaku, A., & Lakew, S. (2019). Investigation of spatio-temporal variations of selected water quality parameters and trophic status of Lake Tana for sustainable management, Ethiopia. *Microchemical Journal*, 148(April), 374–384. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.04.085>
- Villamarín, C., Prat, N., & Rieradevall, M. (2014). Caracterización física, química e hidromorfológica de los ríos altoandinos tropicales de Ecuador y Perú. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42(5), 1072–1086. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue5-fulltext-12>
- Von Sperling, M. (2007). *BIOLOGICAL Wastewater Treatment Series: Wastewater characteristics, treatment and disposal, volume one*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.5860/choice.45-2633>
- Waite, I. R., Sobieszczyk, S., Carpenter, K. D., Arnsberg, A. J., Johnson, H. M., Hughes, C. a, Sarantou, M. J., & Rinella, F. a. (2008). *Effects of urbanization on stream ecosystems in the Willamette river basin and surrounding Areas, Oregon and Washington*. U.S. Geological Survey–USGS, Scientific Investigations Report 2006-5101-D.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology. Lake and river ecosystems* (3rd ed.). Academic Press.
- WHO, (World Health Organization). (2023). *Burden of disease attributable to unsafe drinking water, sanitation and hygiene, 2019 update*. WHO.
- Yang, C. (2022). Review on the Causes of Eutrophication in Water. In G. Ali (Ed.), *Advances in Social Science, Education and Humanities Research* (pp. 246–252). Atlantis Press SARL. https://doi.org/10.2991/978-2-494069-31-2_30