

Evaluación de la calidad del agua en el canal Surco de la Zona de Reglamentación Especial del Humedal Los Pantanos de Villa (Lima, Perú)

J. Valeria Yon Leiva¹  y José Antonio Arenas Ibarra^{2, 3, 4} * 

Evaluation of the water quality in the Surco Channel within the Special Regulation Zone of Los Pantanos de Villa wetland (Lima, Peru)

- 1 Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.
- 2 Coastal Ecosystem Research Group, Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.
- 3 Facultad de Biología Marina, Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.
- 4 Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú.



Citar como: Yon-Leiva, V. y Arenas, J. (2024). «Evaluación de la calidad del agua en el canal Surco de la Zona de Reglamentación Especial del Humedal Los Pantanos de Villa (Lima, Perú)». *South Sustainability*, 5(1) e090. DOI: 10.21142/SS-0501-2024-e090

Artículo recibido: 14/11/2023
Revisado por pares
Artículo aceptado: 15/1/2024



© Los autores, 2024. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

* E-mail de correspondencia:
jarenas@cientifica.edu.pe

RESUMEN

El canal Surco es uno de los principales canales de regadío de Lima, que en su discurrir por la metrópoli es afectado por vertimientos de aguas residuales domésticas y residuos sólidos. Este canal se encuentra conectado al humedal Pantanos de Villa a través del acuífero del Rimac y su curso bajo está incluido dentro de la Zona de Reglamentación Especial de los Pantanos de Villa (ZRE PV), área gestionada para su protección ambiental por la Autoridad Municipal de los Pantanos de Villa (Prohvilla) y la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML). El curso bajo del canal Surco recorre áreas urbanas con saneamiento básico deficiente y pobre gestión de residuos sólidos, por lo que su integridad puede estar comprometida. Se evaluó la calidad del agua del canal Surco en función de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, y se la comparó con los valores establecidos en los estándares de calidad ambiental para la conservación de ambientes acuáticos (ECA-4). Las concentraciones de fósforo, amonio, amoniaco y coliformes termotolerantes superaron ampliamente los límites establecidos por el ECA-4. El incremento de nutrientes y el vertimiento de efluentes urbanos han comprometido severamente la integridad del humedal, lo que representa no solo un ecosistema degradado, sino una amenaza a la salud de la población local. Esta situación se origina por deficiencias en la gestión y fiscalización, producto de un marco legal limitado, por lo que urge un plan de acción del Estado para esta área de la ZRE PV.

Palabras clave: Pantanos de Villa, Canal Surco, calidad de agua, parámetros fisicoquímicos, parámetros microbiológicos, gestión de humedales

ABSTRACT

The Surco Creek is one of Lima's main irrigation channels and is affected by the discharge of domestic wastewater and solid waste. It is connected to the Pantanos de Villa wetland through the Rimac aquifer, and its lower course is included within the Pantanos de Villa Special Regulation Zone (ZRE PV), an environmental protection area managed by the Pantanos de Villa Municipal Authority (PROHVILLA) and the Municipality of Metropolitan Lima (MLM). The lower course of the Surco Creek flows through urban areas with deficient basic sanitation and poor solid waste management, which constitute a potential threat to its integrity. The water quality of the Surco Creek was evaluated in terms of physicochemical and microbiological parameters and compared with the values established by the environmental quality standards for the conservation of aquatic environments (ECA-4). Concentrations of phosphorus, ammonium, ammonia and thermotolerant coliforms greatly exceeded the limits established by ECA-4. Increases in nutrients and the discharge of urban effluents have severely compromised the integrity of the wetland, resulting not only in a degraded ecosystem, but also a threat to the health of the local population. This situation stems from deficiencies in management and oversight resulting from a limited legal framework, and consequently a state action plan for this area of the ZRE PV is urgently needed.

Keywords: Los Pantanos de Villa wetlands, Surco Creek, water quality, physicochemical parameters, microbiological parameters, wetland management



Introducción

Los humedales costeros son de los ecosistemas más productivos y valiosos del mundo, ya que proveen una serie de servicios económicos, sociales y ambientales, incluyendo la mantención de la calidad y el suministro de agua, la regulación de gases atmosféricos, el secuestro de carbono, la protección de la costa al reducir la erosión y el riesgo de inundaciones, el sostén de biota endémica, y la provisión de recursos recreacionales y educacionales (Barbier, 2019). Los coloquialmente llamados Pantanos de Villa son de los humedales más estudiados y preservados del Perú, declarado sitio Ramsar en 1997, es decir un humedal de importancia internacional, por su amplia diversidad y hábitats, y considerado el humedal más importante de la costa central del país (Ramírez *et al.*, 2018; Ramírez y Cano, 2010). El Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSLPV) es la única área natural protegida ubicada en medio de la ciudad de Lima, y adquiere especial relevancia por ser un espacio de descanso para las aves migratorias de la costa del Pacífico de América del Sur en medio de la urbanización, lo que les permite alimentarse y reproducirse adecuadamente (Pulido *et al.*, 2020). Por este mismo motivo el RVSLPV enfrenta desafíos de presión antropogénica superiores a las otras áreas naturales protegidas (ANP) del resto del país. El recurso hídrico es uno de los componentes ambientales más afectados por el impacto urbano, debido principalmente al vertimiento de aguas residuales y contaminantes. El crecimiento no planificado de la ciudad resulta en asentamientos humanos con saneamiento básico deficiente, ocasionando que efluentes urbanos y otros residuos sean dispuestos directamente en los cuerpos de agua locales que abastecen los ambientes acuáticos del RVSLPV (Enrique-Ayala *et al.*, 2021).

Este problema es relevante para el RVSLPV, ya que las aguas del canal Surco, uno de los principales canales de regadío de la ciudad de Lima, que cuenta con 29,5 km de extensión, dio origen a los Pantanos de Villa (Pulido Capurro y Bermúdez Díaz, 2018). Según la Comisión de Usuarios del Subsector Hidráulico Surco-Huatica (CUSH), en la actualidad el río o canal Surco presenta tramos revestidos, por lo que se ha convertido en el colector de las aguas residuales de los distintos asentamientos humanos ubicados en sus márgenes; transporta estos efluentes a grandes distancias y contamina el suelo, el agua y la vegetación circundante (CUSH, 2018). El río Surco y las áreas cultivadas o de recreación que son regadas con sus aguas (80 % de las áreas verdes de Lima) constituyen las principales fuentes de recarga del acuífero Rímac, el cual está asociado al afloramiento de los Pantanos de Villa (Ingemmet, 2019). Cabe resaltar que el recorrido del canal Surco se extiende desde el centro poblado Santa Clara, en el distrito de Ate, hasta la playa la Chira, en el distrito de Chorrillos, y la RVSLPV se ubica cerca de la desembocadura, en el último distrito mencionado.

El último tramo del canal es el objeto de estudio de esta investigación. Se encuentra dentro de la Zona de Reglamentación del Área Natural Protegida, específicamente en la Zona de Protección del Acuífero del Río Surco (ZPRS). Por ello, su correcta administración actualmente está a cargo de la MML mediante el organismo descentralizado Prohvilla. A pesar de que el canal Surco no es un afluente directo de los Pantanos de Villa, ambos están vinculados estrechamente a través del acuífero del Rímac (Ingemmet, 2019). Respecto de la calidad del agua, no se tiene registro de estudios que evalúen la calidad del agua del canal Surco en la ZPRS en cuanto a sus características físicas, químicas y microbiológicas. Para la adecuada gestión integral y conservación del sistema de humedales es indispensable conocer la calidad ambiental del agua del canal Surco en la ZPRS, ya que puede ser agente de contaminación y patógenos, lo que afecta a los pobladores, a la biota y otros recursos naturales. En el presente trabajo se evaluó la calidad del agua del canal Surco, en función de parámetros fisicoquímicos (pH, T°, DBO, OD, turbidez, sólidos suspendidos, fósforo, amoníaco y CE) y microbiológicos (coliformes termotolerantes).

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio abarca el tramo bajo del canal Surco, delimitado por el extremo superior de la ZPRS, en el distrito de Chorrillos (figura 1). La recolección de muestras se llevó a cabo en octubre de 2023, siguiendo las indicaciones del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016). Se establecieron cinco puntos de muestreo de acuerdo con un previo reconocimiento de la zona, en donde se analizaron las distintas actividades que se realizan al margen del canal.

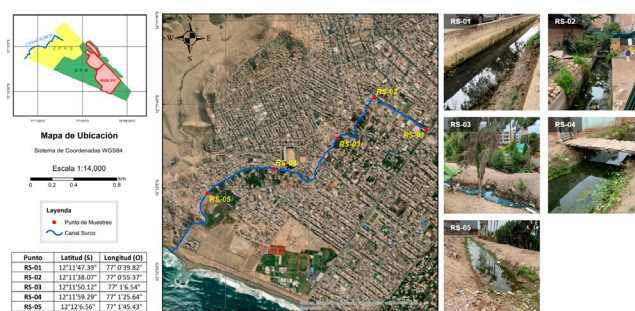


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo. Se indica la ubicación del canal Surco dentro del Área de Reglamentación Especial de la RVSLPV y la ubicación y coordenadas de cada punto de muestreo.

La toma de parámetros en campo y el procesamiento de muestras de agua siguieron lo establecido en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (ANA, 2016) y en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Baird *et al.*, 2017). Se midieron *in situ* los parámetros fisicoquímicos

de pH (Standard Method 4500-H+ pH), temperatura (T°) (Standard Method 2550) y conductividad eléctrica (CE) (Standard Method 2510), mediante un medidor multiparamétrico Hanna Instruments HI9829. El oxígeno disuelto (OD) se midió con un oxímetro Hach HQ1130 (Standard Method 4500-O), mientras que la turbidez y los sólidos en suspensión se midieron con un fotocolorímetro HACH DR900 (Standard Method 2130 B y Standard Method 2540, respectivamente). Se tomaron muestras de agua en frascos de 500 ml que se conservaron a 8 °C hasta ser llevadas a laboratorio. Respecto al análisis de estas muestras de agua, las concentraciones de amoníaco (NH₃) y amonio (NH₄) se determinaron mediante el método de Nessler (Standard Method 4500), utilizando un fotocolorímetro portátil Hanna HI 733. La concentración de fósforo se realizó mediante el método de hetero poli molibdeno (Standard Method 4500-P), utilizando un fotocolorímetro portátil Hanna HI 717 de fosfatos (PO₄⁻³). La concentración de nitratos fue determinada con el método de reducción de cadmio (Standard Method 4500-NO₃ -E), utilizando un fotocolorímetro HACH DR900. La determinación de coliformes termotolerantes y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se realizó en los laboratorios acreditados RLAB y SGS, respectivamente.

Análisis de datos

Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua en la categoría 4 («Conservación del ambiente acuático»), subcategoría E2 («Ríos de costa y sierra»), salvo el parámetro de turbidez para el cual se utilizó el valor establecido en la categoría 1 («Poblacional y recreacional»), subcategoría B («Aguas superficiales destinadas para recreación»), clase B1 («Contacto primario») (Minam, 2017), y se creó una matriz de puntos de muestreo y variables, así como gráficos de comparación en Microsoft Excel. Asimismo, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para reducir la dimensionalidad de la matriz y establecer patrones y gradientes subyacentes a las correlaciones de las variables y los sitios de muestreo (Ramette, 2007; Peck, 2016), mediante el paquete «facto extra» (Kassambara, 2020) en la plataforma Rstudio (RStudio Team, 2020) del *software* R (R Core Team, 2021).

Resultados

Los parámetros limnológicos fisicoquímicos de temperatura, conductividad eléctrica, turbidez y sólidos suspendidos cumplen con la normativa de la categoría 4 del ECA para aguas superficiales. Por otro lado, los parámetros que superan con mayor margen el estándar de calidad establecido son los coliformes termotolerantes, el fósforo y el amoníaco y amonio (tabla 1). El punto RS-05 tuvo valores significativamente mayores de pH, fosfato y amoníaco y amonio, parámetros relacionados con la eutrofización cultural y sobresaturación de oxígeno de un

cuerpo de agua; no obstante, presenta el mayor nivel de oxígeno disuelto y la menor concentración de coliformes termotolerantes con respecto a los demás puntos muestreados. El punto RS-05 fue el único que presentó agua estancada, debido al bajo caudal del canal y a un bloqueo presente por desmonte; además, es el punto más cercano a la desembocadura en el mar.

Tabla 1. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del canal Surco

Parámetros	Categoría 4: conservación del ambiente acuático					
	Canal Surco					
	E2	RS-01	RS-02	RS-03	RS-04	RS-05
	Ríos de costa y sierra					
O.D. (mg/L)	≥ 5	4,36	6,99	3,64	10,49	12,33
pH	6,9-9	7,7	7,78	8,08	8,43	9,18
T (°C)	Δ 3	21,7	22,5	22,6	24	25,4
C.E. (µm/cm)	1.000	789	619	744	627	583
Turbidez (UNT)	100*	4	6	13	12	30
D.B.O. (mg/L)	10	5,1	8,3	33,2	5,1	10,3
S.S.T. (mg/L)	100	2	4	12	10	28
Fósforo (mg/L)	0,05	0,458	0,654	0,817	0,719	1,961
Amoníaco NH ₃ (mg/L)	1	2,266	0,472	3,682	3,776	16,048
Nitratos (mg/L)	13	1,1	1,3	0,6	1,5	0,6
Coliformes termotolerantes (NMP/mL)	2000	17 000	160 000	1600 000	1600 000	1700

Respecto del análisis de componentes principales (PCA), los dos primeros componentes explican el 85,8 % de la variabilidad de los datos (figura 3). El primer componente se correlacionó con las variables fisicoquímicas, y se interpreta como un gradiente positivo de amoníaco, fósforo, turbidez, sólidos suspendidos totales, pH, oxígeno disuelto y temperatura y negativo para conductividad eléctrica, separando claramente a RS-05 de los otros puntos de muestreo en función de las variables relacionadas con la eutrofización cultural. El segundo componente tuvo correlación significativa positiva con el DBO y negativa con los nitratos, diferenciando a RS-03 de los otros ambientes. Por último, el tercer componente se relaciona de forma positiva





Figura 2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del canal Surco. La línea roja indica el límite establecido para cada parámetro por el ECA agua (Minam, 2017).

únicamente a la variable de coliformes termotolerantes, lo que indica que su variabilidad es distinta a la de las demás variables estudiadas, posiblemente porque es una variable de contaminación urbana y no limnológica. Este componente diferencia a RS-03 y RS-04 de los otros puntos de muestreo.

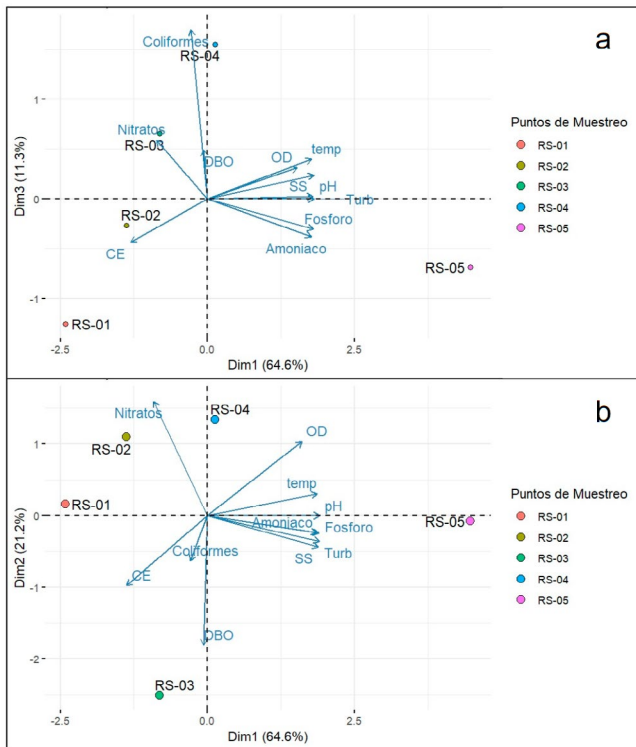


Figura 3. Análisis de componentes principales: a) componentes 1 y 3; b) componentes 1 y 2.

Discusión

Los humedales son uno de los ecosistemas más críticamente amenazados de la biósfera (Irvine, 2018; Reid *et al.*, 2018). En una era en que la conservación de la diversidad e integridad de los ambientes acuáticos está en riesgo, la degradación ambiental ha llevado a perder el 87 % de la extensión de estos ecosistemas en los últimos 300 años y el 54 % desde 1990 (Scholes *et al.*, 2018). Dentro de este contexto, los humedales urbanos han visto afectada su integridad, lo que compromete su funcionamiento ecológico y provisión de servicios ecosistémicos (Alikhani *et al.*, 2021). En Latinoamérica, las principales causas que han llevado a esta situación son la mala gestión de los residuos sólidos y el ingreso de efluentes urbanos (Aponte *et al.*, 2020; Walteros y Ramírez, 2020; Rojas *et al.*, 2020). Durante el trabajo de campo se observó que diversas viviendas descargaban sus aguas residuales domésticas directamente al mismo canal sin recibir tratamiento previo, debido a la ausencia de cobertura de alcantarillado. A pesar de que en el presente estudio no se realizó un inventario exhaustivo de fuentes contaminantes, los bajos niveles de oxígeno disuelto y los elevados valores

de nutrientes y coliformes termotolerantes encontrados son indicadores típicos de contaminación por efluentes urbanos (Zhao *et al.*, 2015; Shi *et al.*, 2017; Novoa *et al.*, 2020; Tuan *et al.*, 2023).

Los ríos y humedales urbanos cambian sus condiciones limnológicas localmente en función del tipo de afectación al que están sometidos (Alikhani *et al.*, 2021). Así, las concentraciones de los iones y componentes orgánicos asociados cambian no solo por el ingreso de efluentes, sino por los cambios en el caudal circulante (Rojas *et al.*, 2020). Esta situación también se registró en la parte baja del canal Surco estudiada. Así, en el punto RS-03 el DBO y los coliformes termotolerantes se encontraron en valores superiores a los otros puntos de muestreo, y mostraron una relación inversa con la concentración de oxígeno disuelto, que es la menor registrada. Los valores elevados de DBO y coliformes termotolerantes sugieren que el agua contiene materia orgánica, probablemente de origen fecal (Salim Dantas *et al.*, 2019), que requiere de grandes cantidades de oxígeno para ser descompuesta, lo que se refleja por las bajas concentraciones de OD. Adicionalmente, en este punto de muestreo el agua presentó coloración lechosa, característica otorgada por los productos de limpieza. La mayoría de jabones y detergentes contienen compuestos orgánicos que son biodegradables (Aboul-Kassim y Simoneit, 1993). Cuando estos detergentes ingresan al agua, los microorganismos presentes pueden descomponer estos compuestos durante el proceso de descomposición biológica, lo que lleva a un aumento en la DBO (Forni *et al.*, 2012). La concentración más elevada de coliformes termotolerantes del punto RS-04 responde a la mayor densidad poblacional de la zona respecto a los otros puntos de muestreo, con condiciones de saneamiento poco óptimas y la presencia conspicua de silos. En otras latitudes se asocian estas condiciones a una mayor emisión de aguas negras que comprometen la calidad de agua (Boutin y Eme, 2016; Khan *et al.*, 2021).

Por otro lado, en todos los puntos, a excepción del punto RS-02, existe una mayor concentración de nitrógeno amoniacal que de nitratos. Esto es característico de sistemas en procesos de eutrofización cultural en los que el ingreso de contaminantes orgánicos promueve procesos anaeróbicos que incrementan la amonificación (Ayana, 2019). El punto RS-05 es el más cercano a la desembocadura, el único que presenta agua estancada y no está canalizado con cemento. Este punto de muestreo tiene un pH mayor a 9, que es más alcalino de lo naturalmente encontrado en los humedales costeros (Hou *et al.*, 2020). Adicionalmente, RS-05 exhibió valores significativamente mayores de amoniac y fósforo con respecto al resto de puntos de muestreo. El ingreso de productos de limpieza comunes, como jabón, champú y detergente, y la acumulación de sustancias orgánicas por falta de flujo, así como la mala gestión de residuos sólidos, promueven estas condiciones (Meng *et al.*, 2013; Patel *et al.*, 2017). Durante el trabajo de campo se constató que

este punto de muestreo es afectado por las condiciones antes mencionadas.

Los problemas de calidad de agua encontrados en el canal Surco también se observan al interior del RVSLPV y los canales que lo abastecen. La laguna Marvilla, uno de los espejos de agua que conforman el humedal Los Pantanos de Villa, también presenta elevadas concentraciones de fósforo, amoníaco y coliformes termotolerantes (Huaman-Vilca *et al.*, 2020), aunque no al mismo nivel de contaminación que el canal Surco; y posee una concentración de oxígeno disuelto superior a la mínima requerida por el ECA. En contraste, los canales Ganaderos y Vista Alegre, que son afluentes directos de los Pantanos de Villa, presentan valores despreciables de coliformes termotolerantes, pH ligeramente ácido y menor concentración de fósforo y oxígeno disuelto (Enrique-Ayala *et al.*, 2021). La diferencia en la concentración de coliformes fecales sugeriría que existe un ingreso de contaminación al humedal distinto a los canales afluentes, que es desconocido hasta el momento.

La afectación de la calidad de agua del RVSLPV es más bien una condición común a los humedales costeros, ya que se ha registrado en los humedales costeros de Campo Nuevo, Balsares de Huanchaco, ACR Ventanilla y Santa Rosa, que también presentan alta concentración de fósforo debido a la disposición de aguas residuales (De La Cruz *et al.*, 2021; Anaya Arce, 2019; Bopp y Peláez, 2019; Vásquez, 2018). A nivel mundial, algunos humedales costeros urbanos de Chile, India y Estados Unidos presentan una calidad de agua similar al complejo de los Pantanos de Villa, ya que mantienen la tendencia de baja disponibilidad de oxígeno disuelto, pH alcalino, elevadas concentraciones de fósforo (Joshi *et al.*, 2021; Morrice *et al.*, 2008) y de amoníaco (Möller, 2008). Sin embargo, ninguno incluye la determinación de coliformes fecales en los análisis de agua.

El canal Surco es Patrimonio Cultural de la Nación según Resolución Viceministerial 041-2019-VMPCIC-MC, y su uso desde tiempos prehispánicos ha sido clave para el desarrollo de Lima como centro urbano (Lizarzaburu, 2020). En la actualidad sus aguas son utilizadas para regar los parques de la ciudad y para sustentar algunas de las pocas zonas agrícolas de la ciudad (Ortiz, 2018, Medina y Vega, 2018, Velásquez, 2022). No obstante, no existe un inventario de fuentes contaminantes, pues este cuerpo de agua no fue incluido en el inventario realizado para la cuenca del Rímac (ANA, 2018).

Los estudios de calidad de agua en el canal Surco son limitados. A pesar de que existe una planta de tratamiento en la Municipalidad de San Borja para darle condiciones de uso para el riego de parques, tanto el agua que llega a esta planta como la que discurre aguas abajo tiene condición no apta para el uso que se les da en cuanto a los coliformes termotolerantes y DBO, situación que es común a la reportada en el presente estudio (Ortiz, 2018,

Medina y Vega, 2018, Velásquez, 2022). No obstante, los valores encontrados por nosotros son aún más críticos. Esto tiene especial relevancia considerando que la zona de estudio se ubica dentro de la ZRE PV. La ZRE tiene la finalidad de regular las actividades que se desarrollan en la zona, con el objetivo de que no representen una amenaza para la gestión del humedal (Sernanp, 2016). La elevada contaminación del canal Surco no solo representa un problema ambiental, sino también pone en evidencia el problema administrativo respecto a la gestión de la zona de uso especial y del canal Surco en particular.

La gestión del canal Surco como cuerpo de agua está bajo la responsabilidad de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), ya que en el marco de la Ley de Recursos Hídricos, Ley 29338, y su Reglamento, Decreto Supremo 001-2010-AG, se establece que la responsabilidad de la operación y el mantenimiento de toda infraestructura hidráulica menor corresponde a las juntas de usuarios, conformadas por agricultores y productores privados. En el caso del canal Surco, es responsabilidad de la Junta de Usuarios Rímac, a través de la Comisión de Regantes Surco. Por otro lado, la Ordenanza 2264-MML establece la ZRE PV y encarga a Prohvilla, en coordinación con la MML, establecer mecanismos o medidas de protección ambiental y prevención de riesgos del Humedal Pantanos de Villa y su área adyacente, para ser gestionados en el referido entorno territorial en el marco de sus competencias. La superposición de funciones ha conllevado a la ausencia de herramientas de gestión y fiscalización ambiental, y ello ocasiona que el canal Surco en la zona de estudio se convierta en un efluente urbano no tratado que representa un peligro ambiental y de salud pública. A pesar de la existencia de la ZRE, esta no puede ser gestionada adecuadamente por Prohvilla debido a los conflictos referentes al uso de suelo con los municipios locales. Según el decreto "Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales" (Decreto Supremo 006-2021-MINAM), el Ministerio del Ambiente (Minam) es la entidad responsable que debe elaborar un Plan de Gestión Multisectorial de Humedales, en donde las diferentes entidades desarrollen sus labores en el marco de sus competencias, para la manutención de la integridad no solo del canal sino de toda la zona de uso especial.

Conclusiones

Este estudio permitió evidenciar la contaminación severa del canal Surco, debido a factores antropogénicos que deterioran la calidad del agua y la integridad del ecosistema. Esta situación constituye un problema ambiental crítico para las poblaciones locales y evidencia los problemas de gestión del RVSLPV y de la zona de uso especial. Se requiere de la elaboración de herramientas de gestión y su correcta aplicación en la ZRE por parte de las autoridades para frenar el deterioro del canal y conservar el humedal.

Agradecimientos

A James López y Sofía Urrutia, del Laboratorio de Ecología de la Universidad Ricardo Palma, y Adán Marina, de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, por su ayuda en el trabajo de campo y los análisis de laboratorio.

Contribución de autoría

J. Valeria Yon Leiva realizó: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, escritura de borrador original, revisión, edición.

José Antonio Arenas Ibarra realizó: conceptualización, análisis formal, investigación, recursos, escritura de borrador original, metodología, revisión, edición.

Fuente de financiamiento

El presente estudio tuvo el soporte de la Universidad Científica del Sur, a través del programa «Investiga en Los Pantanos de Villa 2023» (Resolución Directoral 012-DGIDI-CIENTIFICA-2023), y de Prohvilla, a través del Programa de Pasantía en Gestión Pública y Conservación de Humedales de 2023.

Se utilizaron equipos del Laboratorio de Investigación de la Facultad de Biología Marina y equipos y reactivos del Laboratorio de Ecología de la Facultad Ciencias Biológicas de la Universidad Ricardo Palma, además del apoyo en las labores de campo y laboratorio de personal técnico de esta institución. José Arenas utilizó horas del tiempo protegido para investigación de la Universidad Científica del Sur y de la Universidad Ricardo Palma en el trabajo de campo, análisis de laboratorio, y revisión y corrección del texto. Parte del presupuesto procedió de recursos propios.

Potenciales conflictos de interés

Los autores no declaran conflictos de interés.



Referencias bibliográficas

- Aboul-Kassim, T. A. y Simoneit, B. R. T. (1993).** «Detergents: A review of the nature, chemistry, and behavior in the aquatic environment. Part I. Chemical composition and analytical techniques». *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 23(4), pp. 325-376. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10643389309388456>
- Alikhani, S., Nummi, P. y Ojala, A. (2021).** Urban wetlands: A review on ecological and cultural values. *Water*, 13(22), 3301. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w13223301>
- Autoridad Nacional del Agua, ANA. (2016).** Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. (Resolución Jefatural 010-2016-ANA).
- Autoridad Nacional del Agua, ANA. (2018).** *Estado situacional de los recursos hídricos en las cuencas Chillón, Rímac y Lurín 2016/2017*. Lima: ANA.
- Anaya Arce, J. E. (2019).** *Evaluación de la remoción de nitrógeno total y fósforo total presentes en las aguas del humedal de Santa Rosa mediante la bacteria Pseudomonas putida ATCC 49728*. [Tesis en Ingeniería Ambiental, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Disponible en: <https://repositorio.uccs.edu.pe/handle/20.500.14095/654>
- Anh, N. T., Can, L. D., Nhan, N. T., Schmalz, B. y Luu, T. L. (2023).** «Influences of key factors on river water quality in urban and rural areas: A review». *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100424. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100424>.
- Aponte, H., Gonzales, S. y Gomez, A. (2020).** «Impulsores de cambio en los humedales de América Latina: el caso de los humedales costeros de Lima». *South Sustainability*, 1(2), e023. Disponible en: <https://doi.org/10.21142/SS-0102-2020-023>
- Ayana, E. (2019).** *Determinants of declining water quality*. Disponible en: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17111.83365>.
- Baird, R., Rice, E. W., Eaton, A. D., Bridgewater, L. y Federation, W. E. (2017).** *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington D. C.: American Public Health Association.
- Barbier, E. B. (2019a).** «Chapter 27. The value of coastal wetland ecosystem services». En G. M. E. Perillo *et al.* (eds.), *Coastal wetlands* (pp. 947-964). (2.ª ed.). Cambridge: Elsevier. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63893-9.00027-7>.
- Barbier, E. B. (2019b).** «The value of coastal wetland ecosystem services». En *Coastal wetlands* (pp. 947-964). Cambridge: Elsevier. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63893-9.00027-7>
- Bopp, G. y Peláez, F. (2019).** «Evaluación de la flora vascular de los humedales costeros de La Libertad, Perú». *Manglar*, 16(2), pp. 151-156. Disponible en: <https://doi.org/10.17268/manglar.2019.021>
- Boutin, C. y Eme, C. (2016).** «Domestic wastewater characterization by emission source». En 13ème congres spécialisé IWA on Small Water and Wastewater Systems, p. 8. Athènes, Greece. Disponible en: <https://hal.science/hal-01469077>
- Caraco, N., Cole, J., Findlay, S. y Wigand, C. (2006).** «Vascular plants as engineers of oxygen in aquatic systems». *BioScience*, 56(3), p. 219. Disponible en: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)056\[0219:VPAEOO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)056[0219:VPAEOO]2.0.CO;2).
- Comisión de Usuarios del Sub Sector Hidráulico Surco, Huatica, CUSH. (S. f.).** *Memoria anual 2017. Cada gota cuenta. Comisión Surco*. Disponible en: https://www.comisionsurco.org/_files/ugd/e1a597_69614989a3ea4ca38f7520f3642fb966.pdf
- Congreso de la República del Perú. (2009).** Ley de Recursos Hídricos. Ley 29338. Disponible en: https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ley_29338_0_2.pdf
- Consejo Metropolitano de Lima. (2020).** Ordenanza 2264. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1874551-1>
- De La Cruz, S., Estheban, K. y Ruiz, L. (2021).** «Caracterización fisicoquímica de los humedales del distrito Huanchaco de la provincia Trujillo, 2019». *High Tech-Engineering Journal*, 1(1), pp. 1-8.
- Du, Y., Ma, T., Deng, Y., Shen, S. y Lu, Z. (2017).** «Sources and fate of high levels of ammonium in surface water and shallow groundwater of the Jiangnan Plain, Central China». *Environmental Science: Processes & Impacts*, 19(2), pp. 161-172. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C6EM00531D>
- Enrique-Ayala, E., Gavidia Adriano, C., Garriazo Suni, A. y Changanaqui Alfaro, D. (2021).** «Evaluación de la calidad del agua en los canales de la Zona de Reglamentación Especial de Los Pantanos de Villa (Lima, Perú)». *South Sustainability*, 2(2), e036. Disponible en: <https://doi.org/10.21142/SS-0202-2021-e002>
- Forni, C., Braglia, R., Harren, F. y Cristescu, S. (2012).** «Stress responses of duckweed (*Lemna minor* L.) and water velvet (*Azolla filiculoides* Lam.) to anionic surfactant sodium-dodecyl-sulphate (SDS)». *Aquatic Toxicology*, 110-111, pp. 107-113. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.12.017>
- Hamid, A., Bhat, S. U. y Jehangir, A. (2020).** «Local determinants influencing stream water quality». *Applied Water Science*, 10(1), p. 24. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1043-4>
- Hou, Y., Kong, F., Li, Y., Xi, M. y Yu, Z. (2020).** «Key factors of the studies on benthic macroinvertebrate in coastal wetlands: Methods and biodiversity». *Ecohydrology & Hydrobiology*, 20(3), pp. 424-436. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.02.004>.
- Huaman-Vilca, S., Lucen-Espinoza, M., Paredes-Vite, M. y Changanaqui Alfaro, D. (2020).** «Evaluación de la calidad del agua de la Laguna Marvilla en los Pantanos de Villa (Lima - Perú)». *South Sustainability*, 1(2), e019. Disponible en: <https://doi.org/10.21142/SS-0102-2020-019>.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Ingemmet. (2019).** *Estudio hidrogeológico del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, Chorrillos - Lima*. Lima: Ingemmet. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2241>
- Irvine, K. (2018).** «Editorial: Aquatic conservation in the age of the sustainable development». *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 28, pp. 1264-1270. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/aqc.3007>
- Jørgensen, N. O. G., Tranvik, L., Edling, H., Granéli, W. y Lindell, M. (1998).** «Effects of sunlight on occurrence and bacterial turnover of specific carbon and nitrogen compounds in lake water». *FEMS Microbiology Ecology*, 25(3), pp. 217-227. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1998.tb00474.x>
- Joshi, P., Siva Siddaiah, N. y Dixit, A. (2021).** «Urban wetlands of Delhi, India: water quality and pollution status». *Chemistry and Ecology*, 37(2), pp. 104-131. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/02757540.2020.1836164>.
- Kassambara, A. (2020).** «Factoextra: Extract and visualize the results of multivariate data analyses». Disponible en: <https://rpkgs.datanovia.com/factoextra/>
- Khan, A., Khan, A., Khan, F. A., Shah, L. A., Rauf, A. U., Badrashi, Y. I., Khan, W. y Khan, J. (2021).** «Assessment of the impacts of terrestrial determinants on surface water quality at multiple spatial scales». *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(3), pp. 2137-2147. Disponible en: <https://doi.org/10.15244/pjoes/122503>
- Lizarzaburu, J. (2020).** «The Surco canal, an ancient irrigation canal in Lima, Peru, and a citizens' campaign for its protection». *Water Hist*, 12, pp. 299-310. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12685-021-00275-7>

- Medina Ruiz, M. P. y Vega Dominguez, J. E. (2021).** *Tratamiento del agua contaminada del canal de riego Surco, con la intervención de la lombriz Eisenia foetida, Surco, 2021.* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/84283/Medina_RMP-Vega_DJE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Meng, F., Huang, G., Yang, X., Li, Z., Li, J., Cao, J., Wang, Z. y Sun, L. (2013).** «Identifying the sources and fate of anthropogenically impacted dissolved organic matter (DOM) in urbanized rivers». *Water Research*, 47(14), pp. 5027-5039. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.043>.
- Merlo, C. y Abril, A. (2014).** «Multidisciplinary approach to assess the water self-depuration characteristics of Suquia River (Córdoba, Argentina)». *Revista Chilena de Historia Natural*, 87(1), p. 12. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40693-014-0012-4>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2010).** Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos. Decreto Supremo 001-2010-AG. Disponible en: <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/DGGAE/ARCHIVOS/legislacion/LEGISLACION%202017/normas%20ambientales%20transversales/RECURSOS%20HIDRICOS/2.%20DS%20001-2010-AG.pdf>
- Ministerio de Cultura. (20190).** «Declarar Patrimonio Cultural de la Nación al Paisaje Arqueológico "Canal de Surco-Segmento 3"». Resolución Viceministerial 041-2019-VMPCIC-MC. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/302242/RVM_041_Declarar_Patrimonio_Cultural_de_la_Nación_al_Paisaje_Arqueológico_Canal_de_Surco_Segmento_3.pdf?v=1553618579
- Ministerio del Ambiente, Minam. (2017).** «Aprueban estándares de calidad ambiental (eca) para agua y establecen disposiciones complementarias». Decreto Supremo 004-2017-MINAM. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/ds-004-2017-minam.pdf>
- Ministerio del Ambiente, Minam. (2021).** «Disposiciones generales para la gestión multisectorial y descentralizada de los humedales». Decreto Supremo 006-2021-MINAM. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1950469-9>
- Möller, P. (2008).** «Characterization and conservation status of an urban wetland in the city of Valdivia, southern Chile». *Gestión Ambiental*, 15, pp. 53-65. Disponible en: https://www.ceachile.cl/revista/cdn/GA_15_2008_Moller.pdf
- Morrice, J. A., Danz, N. P., Regal, R. R., Kelly, J. R., Niemi, G. R., Reavie, E. D., Hollenhorst, T., Axler, R. P., Trebitz, A. S., Cotter, A. M. y Peterson, G. S. (2008).** «Human influences on water quality in Great Lakes coastal wetlands». *Environmental Management*, 41(3), pp. 347-357. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00267-007-9055-5>
- Novoa, V., Rojas, O., Ahumada-Rudolph, R., Sáez, K., Fierro, P. y Rojas, C. (2020).** «Coastal wetlands: Ecosystems affected by urbanization?». *Water*, 12(3), 698. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/w12030698>
- Ortiz Girón, M. (2018).** «La ciudad nos agrede»: *Gestionando conflictos por el agua en Lima Metropolitana. El caso del canal de riego Surco (2008-2016)*. (Tesis de magister en Gestión de los Recursos Hídricos, Pontificia Universidad Católica del Perú). Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/9875/ORTIZ_GIRON_LA_CIUADAD_NOS%20AGREDE_GESTIONANDO_CONFLICTOS_POR_EL_AGUA_EN_LIMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Patel, M., Sheth, D. y Desai, M. (2017).** «A study on characterization & treatment of laundry effluent». *International Journal of Innovative Research in Science & Technology*, 2349-6010(4), pp. 50-55.
- Peck, J. E. (2016).** *Multivariate analysis for ecologist: step-by-step*. Oregon: MjM Software Design.
- Pulido Capurro, V. M. y Bermúdez Díaz, L. (2018).** «Estado actual de la conservación de los hábitats de los Pantanos de Villa, Lima, Perú». *Arnaldoa*, 25(2), pp. 679-702. Disponible en: <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25219>
- Pulido, V., Salinas, L., Del Pino, J. y Arana, C. (2020).** «Preferencia de hábitats y estacionalidad de las especies de aves de los Pantanos de Villa en Lima, Perú». *Revista Peruana de Biología*, 27(3), pp. 349-360. Disponible en: <https://doi.org/10.15381/rpb.v27i3.18681>.
- R Core Team. (2020).** R: A language and environment for statistical computing.
- RStudio Team. (2020).** RStudio: Integrated Development for R. RStudio.
- Ramette, A. (2007).** «Multivariate analyses in microbial ecology: Multivariate analyses in microbial ecology». *FEMS Microbiology Ecology*, 62, 142-160. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2007.00375.x>
- Ramírez, D. W., Aponte, H., Lertora, G. y Gil, F. (2018).** «Incendios en el humedal Ramsar Los Pantanos de Villa (Lima, Perú): Avances en su conocimiento y perspectivas futuras». *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 20(3), pp. 347-360. Disponible en: <https://doi.org/10.18271/ria.2018.398>.
- Ramírez, D. W. y Cano, A. (2010).** «Estado de la diversidad de la flora vascular de los Pantanos de Villa (Lima - Perú)». *Revista Peruana de Biología*, 17(1), pp. 111-114.
- Reddy, K. R., D'Angelo, E. M. y DeBusk, T. A. (1990).** «Oxygen transport through aquatic macrophytes: The role in wastewater treatment». *Journal of Environmental Quality*, 19(2), pp. 261-267. Disponible en: <https://doi.org/10.2134/jeq1990.00472425001900020011x>
- Reid, A. J., Carlson, A. K., Creed, I. F., Eliason, E. J., Gell, P. A., Johnson, P. T. J., Kidd, K. A., MacCormack, T. J., Olden, J. D., Ormerod, S. J., Smol, J. P., Taylor, W. W., Tockner, K., Vermaire, J. C., Dudgeon, D., Cooke, S. J. (2018).** «Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity: Emerging threats to freshwater biodiversity». *Biological Reviews*. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/brv.12480>
- Rojas, C., Aldana-Dominguez, J., Munizaga, J., Moschella, P., Martínez, C. y Stamm, C. (2020).** «Urban wetland trends in three Latin American cities during the latest decades (2002-2019): Concón (Chile), Barranquilla (Colombia), and Lima (Perú)». *Wetland Science & Practice*, 37, pp. 283-293.
- Salim Dantas, M., Cordova de Oliveira, J., Cristiane Pinto, C. y Corrêa Oliveira, S. (2020).** «Impact of fecal contamination on surface water quality in the São Francisco River hydrographic basin in Minas Gerais, Brazil». *Journal of Water and Health*, 18(1), pp. 48-59. Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wh.2019.153>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, Sernanp. (S. f.).** «Plan Maestro del Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa».
- Shi, P., Zhang, Y., Li, Z., Li, P. y Xu, G. (2017).** «Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales». *CATENA*, 151, pp. 182-190. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.017>
- Vargas, J. y Rivera, D. (2023).** «Formulación de un modelo del comportamiento del oxígeno disuelto frente al efecto del viento en un lago estratificado térmicamente». XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México.
- Vásquez Saboya, O. (2018).** *Estimación del riesgo ambiental del agua superficial de los Humedales de Ventanilla debido a la descarga de aguas residuales urbanas en el A.A.H.H Defensores de la Patria - Lima-2018.* [Tesis de licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad César Vallejo]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25943>



Velásquez León, A. P. (2022). *Evaluación de la eficiencia de la electrocoagulación como tratamiento complementario para las aguas del río Surco en la planta de tratamiento de San Borja (PTSB), Lima-Perú, 2021.* [Tesis de licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad Científica del Sur]. Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/2673/TL-Velasquez%20A-Ext.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Walteros, J. M. y Ramírez, A. (2020). «Urban streams in Latin America: Current conditions and research needs». *Revista de Biología Tropical*, 68(S2), pp. S13-S28. Disponible en <https://doi.org/10.15517/rbt.v68iS2.44330>

Zhao, W., Zhu, X., Sun, X., Shu, Y. y Li, Y. (2015). «Water quality changes in response to urban expansion: spatially varying relations and determinants». *Environmental Science and Pollution Research*, 22(21), pp. 16997-17011. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4795-x>