

Evaluación de la calidad del agua subterránea en un sector de la Zona de Reglamentación Especial de Los Pantanos de Villa

Evaluation of the groundwater quality in a sector of Los Pantanos de Villa Special Regulatory Zone

Adison Puma-Quispe¹, Paola Zavaleta-Muñoz²,
Tatiana Palma-Ventura^{3*} y Valeria Garcia-Medina²

1 Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
2 Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
3 Facultad de Ciencias de la Salud y de la Vida, Universidad Científica del Sur. Lima, Perú.



Citar como: Puma-Quispe A. *et al.* (2022). Evaluación de la calidad del agua subterránea en un sector de la Zona de Reglamentación Especial Pantanos de Villa en la actualidad. *South Sustainability*, 3(2), e062. DOI: 10.21142/SS-0302-2022-e062

Artículo recibido: 6/6/2022
Revisado por pares
Artículo aceptado: 28/8/2022



© Los autores, 2022. Publicado por la Universidad Científica del Sur (Lima, Perú)

* E-mail de correspondencia:
tatiana.palma0802@gmail.com

RESUMEN

Los Pantanos de Villa es un Área Natural Protegida (ANP), un sitio Ramsar y el único Refugio de Vida Silvestre en Lima. El crecimiento urbano, la industrialización y la falta de conciencia ambiental por parte de los pobladores generan amenazas sobre este ecosistema. Un espacio próximo al ANP Pantanos de Villa es el asentamiento humano Palmeras de Villa Baja, el cual no cuenta con los servicios de agua potable ni desagüe, por lo que utiliza silos y descarga sus aguas negras y grises a los canales sin revestir. Con el objetivo de evaluar la influencia que tienen las actividades antropogénicas en la calidad del agua subterránea del ANP Pantanos de Villa, se realizaron encuestas a la población del lugar y muestreos de agua. Para esto último, se siguió la metodología proporcionada por el manual titulado National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data (NFM). Los resultados obtenidos fueron comparados con los estándares de calidad ambiental (ECA), en los cuales se observó una notable diferencia entre las muestras colectadas fuera y dentro del ANP. Las muestras colectadas fuera del ANP mostraron que ciertos parámetros (nitratos, coliformes fecales, *Escherichia coli*) no cumplen con la normativa mencionada, lo que genera un riesgo para los seres vivos. Sin embargo, la disminución de ciertos parámetros (nitratos, fósforo total y parámetros biológicos) dentro del ANP evidencia la función reguladora y fitorremediadora del humedal.

Palabras clave: calidad de agua, agua subterránea, humedal costero, sitio Ramsar

ABSTRACT

Los Pantanos de Villa is a Protected Natural Area (ANP), a Ramsar site, and the only designated Wildlife Refuge in Lima. Urban growth, industrialization and low environmental awareness on the part of local inhabitants pose threats to the Pantanos de Villa Wildlife Refuge ecosystem. Located close to Pantanos de Villa is the Villa Baja human settlement, which does not have drinking water and sewage services, and therefore uses silos, as well as discharging its sewage (black and gray waters) into unlined canals. In order to evaluate the influence of anthropogenic activities on the quality of the groundwater in Pantanos de Villa, surveys of the local population were conducted and water samples were taken. For the taking of samples, the methodology contained in the US Geological Survey's National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data (NFM) was followed. The results obtained were compared with environmental quality standards (ECA), and a significant difference was observed between the samples collected outside and within the Protected Natural Area. The samples collected outside the ANP showed that certain parameters do not meet the aforementioned standards (nitrates, fecal coliforms, *Escherichia coli*), thereby constituting a risk to human and animal health. However, at the same time, the lower levels for certain parameters within the ANP demonstrate the regulatory and phytoremediation functions of the wetland.

Keywords: water quality, groundwater, coastal wetland, Ramsar site



Introducción

Los humedales son considerados como sistemas con un gran valor hidrológico, cultural y paisajístico. En torno a estos se han firmado tratados y convenios con el objetivo de su conservación y preservación. «La convención Ramsar (Ramsar, 1971) [...] ha sido una de las iniciativas que ha permitido que estos ecosistemas estratégicos sean foco de atención» (Betancur-Vargas *et al.*, 2017). Además, los humedales son considerados ecosistemas frágiles frente a perturbaciones humanas, ya que el balance que poseen está compuesto por múltiples factores y procesos, por lo que se enfatiza en la necesidad de protegerlos ante cualquier alteración.

Los humedales son áreas donde el agua es el principal controlador del medio y la vida vegetal y animal asociada a él (Secretaría de la Convención Ramsar, 2013). En cuanto a la fuente de agua, puede ser superficial como subterránea. Los humedales que dependen de las aguas subterráneas son ecosistemas productivos que se caracterizan por ser menos fluctuantes que aquellos que solo dependen del agua superficial (Custodio Gimena, s. f.). Además, juegan un papel muy relevante en el mantenimiento y la conservación de la biodiversidad (Pernía Llera y Fonrés Azcoiti, 2009). En general su aparición viene acompañada por la existencia de una superficie freática a escasa profundidad, que posibilita el desarrollo y la permanencia de vegetación aun durante periodos de sequía prolongada (Custodio y Manzano, 1982).

Los humedales de los Pantanos de Villa se forman debido a los afloramientos de las aguas subterráneas provenientes de la filtración de las aguas de lluvia en la cuenca del río Rímac, siguiendo la dirección del antiguo ramal del río Surco. También las filtraciones de agua de mar realizan un aporte, en una zona llamada zona de mezcla o zona de interfase (Ingemmet, 2019). En las zonas aledañas a este humedal, es común encontrar asentamientos humanos que utilizan silos para la disposición de sus aguas residuales, debido a que no cuentan con servicios de saneamiento adecuados (Callo Luque y Coyla Bustinza, 2019). Estas descargas realizadas por la población, que posteriormente son lixiviadas, se infiltran y pueden originar un grave problema ecológico, al que se enfrentan las áreas a las que llegan las aguas residuales de los asentamientos humanos (Pacheco Ávila y Cabrera Sansores, 2003).

A menudo las aguas subterráneas adquieren mayor importancia en la estación seca y pueden llegar a ser la única fuente de suministro de agua para el humedal, de modo que incluso pequeñas aportaciones de aguas subterráneas pueden resultar vitales para el mantenimiento de las características ecológicas del humedal (Secretaría de la Convención Ramsar, 2010). La importancia del análisis de la calidad del agua subterránea radica en que esta puede ser medio de transporte de agentes contaminantes que pueden afectar la calidad de vida de la fauna en la zona de

estudio (Herrero *et al.*, 2003). Por ello, el objetivo de esta investigación es evaluar la calidad del agua subterránea en la zona de reglamentación especial de Pantanos de Villa.

Materiales y métodos

Área de estudio

El área de estudio es la Zona de Reglamentación Especial de los Pantanos de Villa (ZRE PV), ubicada en el distrito de Chorrillos (Lima, Perú), en el sector de Palmeras de Villa Baja y al interior del Área Natural Protegida Pantanos de Villa (ANP PV). Se tuvieron seis estaciones de monitoreo de calidad de agua subterránea. La ubicación de dichos puntos fue determinada debido a que ahí se encontraban los piezómetros operativos, tal como se muestra en la figura 1.

Diseño metodológico

Diagnóstico preliminar

El diagnóstico preliminar se realizó tanto en el asentamiento humano Palmeras de Villa Baja como dentro del ANP PV. En este se realizó el monitoreo del nivel freático los días 14 y 15 de junio de 2021 y la inspección de los cuerpos de agua. Adicionalmente, se tuvo una reunión con el secretario general del asentamiento humano Palmeras de Villa Baja, quien comentó sobre la situación de abastecimiento de agua y desagüe, además del uso de silos y su mantenimiento.

Encuestas

Para conocer el manejo de las aguas residuales en el asentamiento humano se realizó una encuesta a la población de Palmeras Villa Baja. Con esta, se buscó conocer el tratamiento de las aguas residuales, aprender del sistema de silos y conocer su vida útil, así como el funcionamiento en general. Se encuestó a una muestra de 50 hogares (que representa más de la mitad), cada uno con 3-6 habitantes. La encuesta se dividió en tres ejes:

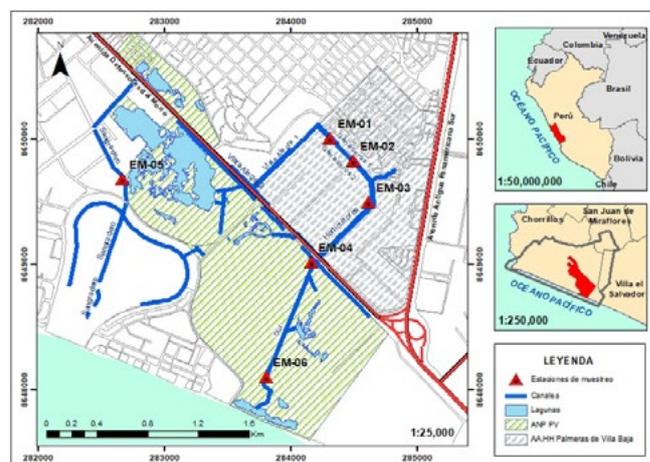


Figura 1. Mapa de zona de estudio y puntos de muestreo.

abastecimiento de agua, manejo de aguas residuales y percepción de la población.

Protocolo de muestreo

Para el muestreo de calidad de agua subterránea se utilizó la metodología proporcionada por la U.S. Geological Survey en el NFM (United States Geological Survey, s. f.). Se empleó la información respecto a las actividades de premuestreo y muestreo de agua subterránea.

El premuestreo fue efectuado siguiendo el protocolo, el cual recomienda realizar una visita de campo previa al muestreo. En esta visita se realizó el inventario de piezómetros operativos para el registro del nivel freático. Consideramos a piezómetros operativos a aquellos que contaban con un nivel freático mínimo de 15 cm, ya que ese nivel nos permitió obtener la cantidad suficiente de muestra. Se identificó el acceso de las estaciones de monitoreo planteadas y las posibles dificultades al momento del muestreo.

Por su parte, para el muestreo se prosigue a realizar la medición del nivel freático, monitoreado previamente mediante la red de piezómetros ya existente. Luego se tomó la muestra en las calicatas realizadas con anterioridad dentro y fuera del ANP. Para la preservación de la muestra, y en los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y aceites y grasa, se añadió 20 gotas de ácido sulfúrico. Por otra parte, para los demás parámetros se preservó la muestra dentro de los *coolers* con *ice packs*. Además, los equipos fueron calibrados y limpiados con agua destilada.

El muestreo se hizo por medio de tres calicatas representativas del asentamiento humano Palmeras de Villa Baja y tres calicatas dentro del ANP de aproximadamente 1,5 m, profundidad a la cual se logró obtener suficiente cantidad de agua para la muestra. Su posición geográfica se encuentra en la tabla 1.

Parámetros de calidad de agua

Los parámetros físicos, químicos y biológicos fueron evaluados en el laboratorio RLAB, acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (Inacal). Diez parámetros

Tabla 1. Posición geográfica de los puntos de muestreo en coordenadas UTM.

Puntos	Este	Norte	Referencia
EM-01	284314	8650012	Calle Ganaderos (fuera de la ANP)
EM-02	284496	8649827	Av. Miramar con Ganaderos (fuera de la ANP)
EM-03	284617	8649479	Calle Horticultores (fuera de la ANP)
EM-04	284164	8649021	Canal Sur (dentro de la ANP)
EM-05	282670	8649683	Canal Sangradero (dentro de la ANP)
EM-06	283809	8648111	Espalda de la laguna Marvilla (dentro de la ANP)

fueron evaluados: nitratos, fosfatos, DQO, DBO, aceites y grasas, detergentes aniónicos, coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella*. De igual manera, se midieron cuatro parámetros *in situ*: temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto a través del medidor multiparámetro y un medidor de oxígeno disuelto. Los resultados de calidad de agua fueron comparados con los estándares de calidad de agua. Los utilizados fueron el ECA 1 (2017): «Poblacional y recreacional», la subcategoría «Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable A1 y A2»; y el ECA 4: «Conservación del ambiente acuático», E1: «Lagunas y lagos».

Resultados y discusión

Encuestas

Los datos obtenidos de la encuesta (tabla 2) muestran que el 100 % de la población evaluada utilizan silos, por lo que son una fuente importante de contaminación. Además, se observó que solo el 69,4 % del total de familias realiza el mantenimiento de esta actividad, y se infiere que la cantidad de silos utilizados seguirá aumentando. Por otra parte, el 94 % no cuenta con el servicio de alcantarillado, y los que sí cuentan con el servicio no le dan uso en la actualidad. Se puede deducir que el uso de silos irá en aumento.

Tabla 2. Resultados de la encuesta sobre uso de aguas domésticas en Pantanos de Villa.

Pregunta	Sí (%)	No (%)
Eje: Abastecimiento de agua		
¿Cuenta usted con servicio de agua potable?	15 (30 %)	35 (70 %)
¿Se abastece de agua a través de cisterna?	36 (72 %)	14 (28 %)
Eje: Manejo de aguas residuales		
¿Cuenta usted con servicio de alcantarillado?	3 (6 %)	47 (94 %)
¿Cuenta usted con silos?	50 (100 %)	0 (0 %)
¿Realiza el mantenimiento de los silos?	35 (69,4 %)	15 (30,6 %)
Eje: Percepción de la población		
¿Considera usted que el manejo inadecuado de aguas residuales domésticas afecta su calidad de vida?	73,4 % está totalmente de acuerdo; 16,3 %, de acuerdo; 2 %, totalmente en desacuerdo, y 8,2 % está indeciso.	
¿Con qué frecuencia percibe malos olores?	65,3 % los percibe frecuentemente; 20,4 %, ocasionalmente; 8,2 %, raramente, y 6,1% nunca los perciben.	
¿Conoce usted sobre la presencia de aguas subterráneas?	39 (78 %)	11 (22 %)



Con respecto a la percepción de la población, se tiene que el 73,4 % está totalmente de acuerdo con que el manejo de aguas residuales doméstica afecta su calidad de vida y el 65,3 % lo percibe frecuentemente. El 78 % de los encuestados conoce sobre la presencia de las aguas residuales.

Análisis de parámetros in situ

Los parámetros analizados *in situ* fueron pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. En cuanto al pH, los datos obtenidos se encuentran dentro del rango de neutralidad, y en los puntos evaluados en el asentamiento humano Palmeras de Villa Baja es neutro; el máximo valor obtenido es de 7,7 en la calle Horicultores, y el mínimo es de 6,7 en el canal Sangradero (dentro del ANP). Asimismo, los mayores valores de temperatura registrados fueron en los puntos EM-04 y EM-05 con 25,2

°C y 24,8 °C, respectivamente. Los mayores valores de temperatura se deben a que las muestras fueron tomadas después del mediodía a una temperatura ambiental de 21 °C (soleado).

La conductividad eléctrica fue medida y todos los valores superan los tres ECA analizados. El punto EM-05 presenta un mayor valor de conductividad eléctrica debido a que se tiene presencia de suelo salino. Comparando con otro humedal costero, como el humedal de Ventanilla, sus valores de conductividad eléctrica pueden llegar en promedio hasta 105000 uS/cm (Fajardo Vidal, 2018). Finalmente, los resultados de oxígeno disuelto, al no superar los tres ECA analizados, sugieren que el agua está contaminada por materia orgánica o nutrientes. En la tabla 3 observamos que los menores contenidos de oxígeno disuelto se ubican en los puntos fuera del ANP, donde principalmente se tiene las fuentes contaminantes.

Tabla 3. Resultados de parámetros de laboratorio *in situ* en calidad de agua subterránea de Pantanos de Villa.

Puntos	EM-01	EM-02	EM-03	EM-04	EM-05	EM-06	ECA 1 A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	ECA 1 A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	ECA 4 E1: Lagunas y lagos
Fecha	14/10/2021			15/10/2021					
Hora	11:30 AM	12:40 PM	13:20 PM	03:00 PM	12:20 PM	09:30 AM			
pH	7,3	7,5	7,7	7,2	6,7	7,7	6,5 - 8,5	5,5 - 9	6,5 - 9
T (°C)	21,9	22,6	22,4	25,2	24,8	21,3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
C. E. (uS/cm)	7220	SD	SD	8170	9230	SD	1500	1600	1000
Oxígeno disuelto	2.9	3.3	2.9	SD	SD	5	≥6	≥5	≥5

EM: estación de monitoreo

ECA: estándar de calidad ambiental

SD: sin determinar

Δ3: significa la variación de 3 °C respecto al promedio mensual multianual del área evaluada

Tabla 4. Resultados de laboratorio de parámetros de calidad de agua.

PARÁMETROS	EM-1	EM-2	EM-3	EM-4	EM-5	EM-6	ECA 1 A1	ECA 1 A2	ECA 4 E1
Fósforo total	0,316	0,216	0,071	<0,007	<0,007	0,241	0,1	0,15	0,035
Nitratos	>50	>50	5,552	0,062	<0,017	48,451	50	50	13
Demanda química de oxígeno (DQO)	47,7	28,8	59,3	48,2	92,1	24,9	10	20	
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	0,9	4,7	9,8	2,1	47,8	4,6	3	5	5
Aceites y grasas	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	0,5	1,7	5
Detergentes aniónicos	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025			
Coliformes totales	13 000	24 000	230	2	2	790	50	**	
Coliformes fecales	330	230	49	<1,8	<1,8	79	20	2000	1000
<i>Escherichia coli</i>	330	230	49	<1,8	<1,8	79	0	**	
<i>Salmonella</i>				Ausencia			0	0	

Nota:

EM: estación de monitoreo

ECA: Estándar de Calidad Ambiental

El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta subcategoría.

Δ 3: significa la variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Análisis de resultados de laboratorio

Los resultados del laboratorio se detallan en la tabla 4.

Nitratos y fósforo total

De los tres puntos de muestreo que se encontraban fuera del ANP, dos de ellos presentaron valores por encima de los dados por los tres ECA utilizados, en EM-01 y EM-02. La presencia de nitratos en esta zona proviene principalmente del uso de sistemas sépticos, silos en este caso, y, además, al uso de detergentes. Los nitratos están asociados a los nitritos, los cuales nos indican puntos de putrefacción o descomposición (Ingemmet, 2019). Es importante mencionar que una de las especies de flora que predomina en el humedal es *Typha domingensis*. Un estudio reciente cuyo objetivo era evaluar el desempeño de la especie en mención respecto al tratamiento de aguas residuales en un humedal construido reveló que tiene el potencial de reducir la concentración de ciertos parámetros, como nitrógeno amoniacal y fósforo total (López *et al.*, 2019). Esto explicaría la reducción de dichos parámetros en algunos puntos de muestreo dentro del ANP.

La presencia de fósforo se debe sobre todo al uso de detergentes en la zona. Sin embargo, en la EM-03 (canal Horticultores) se tuvo una reducción de este valor, en cumplimiento con la normativa. Dentro del ANP, la EM-04 y la EM-05 dieron valores muy por debajo de los ECA. Por el contrario, la EM-06 superó los valores indicados por el ECA 4-E1. Este es el punto más cercano a la laguna Marvilla, donde se evidencia que el origen de estos valores se debe a la intensa actividad biológica de flora y fauna que rodea esta zona.

DQO y DBO5

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en la muestra de agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia (Raffo Lecca y Ruiz Lizama, 2014). Los valores de DBO, en los puntos EM-01, EM-02, EM-04 y EM-06, no superaron los valores dados por el ECA 1-A2 y ECA 4-E1, pero los puntos EM-04 y EM-06 sí superaron el ECA 1-A1. Los puntos EM-03 y EM-06 superaron los valores de los tres ECA analizados. Esto indicaría la presencia de materia orgánica en los puntos mencionados anteriormente. Por otro lado, los valores de DQO superaron a los ECA en los seis puntos de muestreo.

Aceites y grasas y detergentes aniónicos

En cuanto a los aceites y grasas, los seis puntos de muestreo se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental en la categoría de conservación del ambiente acuático. De igual manera, los detergentes aniónicos están dentro de los ECA en la categoría de agua

destinada para recreación, y en las categorías destinadas a bebida de animales y riego de vegetales.

Respecto a la afectación a la vida acuática, los detergentes remueven la capa de mucosidad que cubre al pez al potenciar los efectos dañinos de otros contaminantes y promover el desarrollo de hongos y protozoarios patógenos (Malagrino y Rocha, 1987). En una investigación realizada se obtuvo una presencia de detergentes en la laguna Mayor, debido a que esta recibe mayores aportes de agua de canales de abastecimiento provenientes de la zona urbana (Alvarez Gutierrez, 2016). Sin embargo, en la evaluación realizada en aguas subterráneas, los seis puntos de muestreo poseen concentraciones menores a 0,025 mg/L.

Coliformes (totales, fecales y E. coli)

Uno de los grupos de microorganismos recomendados en guías y normas como indicadores de la calidad del agua, importantes para su valoración en términos sanitarios, es el grupo de las bacterias coliformes, formado por los coliformes totales y fecales. Este último se relaciona con la posible presencia de contaminación fecal (Fernández-Santisteban, 2017). Los puntos con más presencia de coliformes totales fueron aquellos ubicados en la calle Ganaderos (EM-01 y EM-02), que está cercana a las viviendas, y presentan un riesgo a la salud de las personas. Esto se debe a que se conoce que los pobladores utilizan las aguas de esos canales para fines recreativos y otros propósitos como el lavado de ropa. Además, debido a la infiltración del agua subterránea a la superficie, pueden generarse enfermedades a las personas por la cantidad microbiológica que posee. No obstante, nuevas tendencias en la investigación de ecosistemas implican el uso de técnicas de secuenciamiento para el estudio del microbioma en ambientes naturales.

De igual manera, en una investigación desarrollada en el Área de Conservación Regional de los Humedales de Ventanilla se obtuvo que los valores más altos fueron aquellos ubicados en Valle Verde, el cual está próximo a los asentamientos humanos de la zona, y los valores que le seguían en orden de cantidad eran los de la parte noreste del humedal Espejo de Agua, caracterizado por la presencia del mayor número de aves y por su proximidad a los asentamientos humanos Bahía Azul y Cooperativa Apurímac (Fajardo Vidal, 2018). En el presente trabajo, los puntos con mayor presencia de coliformes totales fueron los ubicados dentro del asentamiento humano Palmeras Villa Baja. Asimismo, el punto ubicado a la espalda de la laguna Marvilla también presentó un valor alto de 790 NMP/100 mL, que superó la categoría 1 del ECA. En el humedal de Ventanilla estos valores están relacionados con la alta cantidad de aves, y en el caso particular del humedal Pantanos de Villa pueden estar influenciados por las heces de caballos, especie no nativa, que se encuentra en esta zona.



Es importante considerar que no todos los coliformes totales representan una amenaza para la salud. Por ejemplo, los coliformes *Serratia spp* y *Hafnia spp* pueden crecer en las lagunas de los humedales, dado que forman parte de este tipo de ecosistemas (Ashbolt, Grabow y Snozzi, 2001). No obstante, las cantidades de 13 000 NMP/100 mL y 24 000 NMP/100 mL muestran que existe una rica fuente de nutrientes que mantiene a la comunidad bacteriana, probablemente por la cercanía de los asentamientos humanos que poseen silos y afectan a la calidad del agua subterránea (Rodríguez et al., 2017). Dentro de las afectaciones a la salud humana que causan las bacterias coliformes están el síndrome urémico hemolítico, la gastroenteritis, las infecciones (urinaria, del tracto respiratorio bajo, de piel y tejidos blandos, intraabdominales y oftálmicas), la intoxicación alimentaria, la meningitis neonatal y la septicemia (Ávila de Navia y Estupiñán-Torres, 2006).

En cuanto a los coliformes fecales, se considera que los niveles bajos son buenos indicadores de ausencia de organismos patógenos (Del C. Cortés-Lara, 2003). Los resultados obtenidos fluctúan desde menores a 1,8 NMP/100 mL hasta 330 NMP/100 mL, lo cual puede ser atribuido a la cercanía de los asentamientos humanos, que al no poseer desagües utilizan sistemas alternativos que alteran la calidad del agua subterránea. Es importante destacar cómo el humedal Pantanos de Villa cumple con su función autodepuradora, ya que de 330 NMP/100 mL se logra reducir la cantidad de coliformes fecales hasta una cifra menor a 1,8 NMP/100 mL en las zonas dentro del ANP, como en canal Sur y en el canal Sangradero. Asimismo, en el punto ubicado cercano a la laguna Marvilla posee 79 NMP/100 mL relacionados con heces de animales homeotérmicos, los cuales incluyen a las aves y los mamíferos (Fajardo Vidal, 2018).

Otro parámetro microbiológico fundamental en el estudio es la presencia de *Escherichia coli*. En los mismos puntos donde se obtuvo la mayor concentración de coliformes totales y fecales, en la calle Ganaderos, se obtuvieron los valores más altos de esta bacteria. Es considerado por su especificidad como un buen índice de contaminación fecal, perteneciente a la familia *Enterobacteriaceae*. La mayoría de las bacterias pertenecientes a la especie *Escherichia coli* forman parte de la microflora intestinal normal del hombre y de animales homeotérmicos. La mayor parte de las cepas son inocuas, pero existen algunas que son patógenas (Rodríguez-Angeles, 2002).

Salmonella

El último parámetro microbiológico evaluado fue la presencia de *Salmonella spp*, debido a que es un patógeno de interés sanitario. Los resultados mostraron que no hay presencia de esta bacteria en ninguno de los seis puntos, por lo que no generaría riesgo alguno para la salud humana o animal.

Conclusiones

Los resultados sugieren que la principal actividad antropogénica, realizada en el asentamiento humano Palmeras de Villa Baja, que contamina las aguas subterráneas, es el uso de silos. Este sistema es utilizado por el 100 % de la población encuestada. El 78 % de los encuestados conoce de la presencia de aguas subterráneas.

Los parámetros monitoreados *in situ* muestran que el agua subterránea es de pH neutro, con conductividad eléctrica alta, debido a que se trata de un humedal costero. Los valores de oxígeno disuelto dan indicios de contaminación antrópica microbiológica, principalmente bacterias y materia orgánica.

Los resultados de laboratorio, respecto a los parámetros de nitratos, fósforo total, y los parámetros biológicos, mostraron la capacidad reguladora y resiliencia del humedal gracias a la presencia principalmente de la totora (*Typha spp*) como barrera del humedal. No obstante, el incremento de la población y la falta de adecuados servicios sanitarios (silos) sugieren una mayor presión antropogénica que conllevaría a cambios en el microbioma de este ecosistema.

Se tiene presencia de una alta concentración de coliformes totales y fecales en la zona de Palmeras de Villa Baja, por lo que el agua no se puede utilizar para ningún fin. De esta manera, se protegerá la salud de las personas, considerando también que existe presencia de *Escherichia coli*. Por otro lado, se destaca el rol regulador y fitorremediador que cumple el humedal, pues los parámetros microbiológicos disminuyen conforme se ingresa al área natural, lo que refleja el equilibrio que existe entre la acción antrópica y la natural.

No se encontraron valores de aceites y grasas y detergentes aniónicos que superen los ECA, por lo que la presencia de descargas de aguas grises a los canales sin revestir no significa una amenaza para el ANP.

Recomendaciones

Para futuras investigaciones se recomienda contar con un estudio topográfico de la Zona de Reglamentación Especial Pantanos de Villa, junto con los datos del nivel freático y la dirección de flujo del acuífero en esta área de estudio. Con ello, se podrá identificar de dónde proviene la contaminación en las estaciones de monitoreo de calidad de agua subterránea.

Se debe concientizar a la población acerca del riesgo que provoca el vertimiento de las aguas residuales, de tal forma que se realice el mantenimiento correspondiente de sus sistemas sépticos, de la mano del municipio como ente de apoyo, haciendo cumplir lo mencionado, con el fin de la conservación del medioambiente.

Igualmente, es importante no incrementar la concentración de coliformes, pues en un futuro puede

resultar negativo y romper su equilibrio. Se sugiere realizar monitoreos constantes al agua subterránea.

Agradecimientos

El presente artículo se realizó gracias al apoyo de Daniela Changanaqui y Daniel Carey de la Oficina de Investigación Científica y Proyectos de Prohvilla, y de Dámaso Ramírez, profesor de la Universidad Científica del Sur.

Fuentes de financiamiento

Este trabajo tuvo el soporte logístico de Prohvilla.

Contribución de autoría

AP-, PZ-M, TP-V y VG-M contribuyeron por igual al presente trabajo, tanto en la toma de muestras como en el procesamiento de datos, el análisis de resultados y la redacción del artículo.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Referencias bibliográficas

- Alvarez Gutierrez, C. C. (2016).** *Determinación analítica de detergentes en las aguas de Los Pantanos de Villa*. Tesis de licenciatura en Química, Pontificia Universidad Católica del Perú. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/7570/ALVAREZ_GUTIERREZ_CARMEN_PANTANOS_DE_VILLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ashbolt, N., Grabow, W. y Snozzi, M. (2001).** *Water quality: guidance, standards and health: indicators of microbial water quality*. Londres: IWA Publishing.
- Ávila de Navia, S. L. y Estupiñán-Torres, S. M. (2006).** «Calidad bacteriológica del agua del humedal de Jaboque, Bogotá, Colombia». *Caldasia*, 28(1), pp. 67-78. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/288653784_Calidad_Bacteriologica_del_agua_del_Humedal_de_Jaboque_Bogota_Colombia
- Betancur-Vargas, T., García-Giraldo, D., Vélez-Duque, A., Gómez, A., Flórez-Ayala, C., Patiño, J., Ortiz-Tamayo, J. (2017)** «Aguas subterráneas, humedales y servicios ecosistémicos en Colombia». *Biota Colombiana*, 18(1), pp. 1-28. Disponible en: <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/33628>
- Del C. Cortés-Lara, M. (2003).** «Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit». *Revista Biomédica*, 14(2), pp. 121-123. Disponible en: <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v14i2.349>
- Callo Luque, L. M. y Coyla Bustinza, H. C. (2019).** *Evaluación de la influencia de las letrinas sobre parámetros microbiológicos de pozos artesanales de aguas para consumo humano de la Comunidad de Mucra I, del distrito de San Miguel, provincia de San Román, Región Puno*. Tesis de grado en Ingeniería Industrial, Universidad Peruana Unión. Disponible en: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2739/Liz_trabajo_Bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Custodio Gimena, E. (2001).** «Aguas subterráneas y humedales». *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, Asociación Española de Hidrología Subterránea*, XXIV, pp. 3-30
- Fajardo Vidal, N. S. (2018).** *Evaluación de la calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas en el área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, región Callao, Perú*. Tesis de magister en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/7738>
- Fernández-Santisteban, M. T. (2017).** «Determinación de coliformes totales y fecales en aguas de uso tecnológico para las centrifugas». *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 51(2), pp. 70-73.
- Herrero, M. A., Iramain, M. S., Korol, S., Flores, M. y Pol, M. (2003).** «Calidad de agua y contaminación en tambos de la cuenca lechera de abasto sur, Buenos Aires (Argentina)». *Revista Argentina de Producción Animal*, 22(1), pp. 61-70.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Ingemmet. (2019).** *Estudio hidrogeológico del Refugio de Vida Silvestre de los Pantanos de Villa (RVSPV). Chorrillos-Lima*. Lima: Ingemmet.
- López, T., Duré, G., Doldán, M., Galeano, E. y Marín, D. (2019).** «Desempeño de humedales construidos a escala piloto para el tratamiento de agua residual urbana utilizando *Cyperus giganteus* Vahl y *Typha domingensis* Pers». *Revista Steviana*, 11(1), pp. 3-14.
- Malagrino, W. y Rocha, A. A. (1987).** «Estudo comparativo da ação tóxica de um detergente biodegradável sobre *Poecilia reticulata* e *Poecilia vivípara* (Pisces: Poeciliidae)». *Revista DAE*, 47(148), pp. 86-91.
- Manzano, M. y Custodio, E. (1982).** «El acuífero de Doñana y su relación con el medio natural». En: F. García Novo y C. Marín (eds.), *Doñana. Agua y biósfera* (pp. 133-142). Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/600/adr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pacheco Ávila, J. y Cabrera Sansores, A. (2003).** «Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas». *Ingeniería*, 7(2), pp. 47-54.
- Pernía Llera, J. y Fonrés Azcoiti, J. (2009).** «Cambio climático y agua subterránea». *Environmental and Engineering Geoscience*, 15(3), pp. 211-212. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/199866/267284>
- Raffo Lecca, E. y Ruiz Lizama, E. (2014).** «Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno». *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 17(1), pp. 71-80. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Rodríguez-Angeles, M. G. (2002).** «Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de *Escherichia coli*». *Salud Pública de México*, 44(5), pp. 464-475. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/spm/v44n5/14036.pdf>
- Rodríguez, R., Retamozo, R., Aponte, H. y Valdivia, E. (2017).** «Evaluación microbiológica de un cuerpo de agua del ACR Humedales de Ventanilla (Callao, Perú) y su importancia para la salud pública local». *Ecología Aplicada*, 16(1), p. 15. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v16n1/a03v16n1.pdf>
- Secretaría de la Convención Ramsar (2010).** *Manual 11. El manejo de las aguas subterráneas*. 4.ª ed. Edited by D. Pritchard. RAMSAR. Disponible en: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-11sp.pdf>
- Secretaría de la Convención Ramsar. (2013).** *Manual de la Convención de Ramsar*. 6.ª ed. Ramsar. Disponible en: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>
- United States Geological Survey. (2019).** «National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data (NFM)». Disponible en: https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/national-field-manual-collection-water-quality-data-nfm?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects