

CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL CUERPO DE AGUA DE LOS HUMEDALES DE HUASAO (OROPESA-CUSCO, PERÚ)

MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE BODY OF WATER IN THE HUASAO WETLANDS (OROPESA-CUSCO, PERU)

Angela F. Sota-Cano¹  Ana I. Cáceres-Vizarreta¹  Yuliza Anchari-Oblitas¹ 

¹Universidad Tecnológica de los Andes-Abancay-Perú

Correspondencia:
Angela Sota-Cano
asotac@utea.edu.pe

Como citar este artículo: Sota, A., Cáceres, A., & Anchari, Y.(2023). Caracterización microbiológica del cuerpo de agua de los humedales de Huasao (Oropesa-Cusco, Peru). *Hatun Yachay Wasi*, 2 (1), 7 - 14. <https://doi.org/10.57107/hyw.v2i1.31>

RESUMEN

Los humedales son considerados ecosistemas muy importantes y fácilmente vulnerables por el ser humano. El objetivo de este estudio fue caracterizar microbiológicamente el cuerpo de agua del humedal de Huasao, Oropesa de la ciudad del Cusco. Se realizaron muestreos en dos épocas del año 2022 (sequía y lluvias). Se cuantificaron coliformes totales, *Enterococcus faecalis*, y *Escherichia coli*; además, se determinó presencia o ausencia de *Vibrio spp.* en seis puntos de muestreos. Los resultados se compararon con los estándares peruanos de Calidad Ambiental para el Agua (ECA). Se utilizó Mann-Whitney para la variable temporada y Kruskal-Wallis, para el punto de muestreo. La mayoría de los parámetros evaluados sobrepasaban los estándares, por lo que la presencia de microorganismos patógenos generaría un efecto negativo en la salud pública local.

Palabras clave: microorganismos patógenos, humedal, ecosistemas, Huasao.

ABSTRACT

Wetlands are considered very important ecosystems and easily vulnerable by humans. The aim of this study was to microbiologically characterize the body of water of the Huasao wetland, Oropesa in the city of Cusco. Samplings were carried out in two times of the year 2022 (dry and rainy). Total coliforms, *Enterococcus faecalis*, and *Escherichia coli* were quantified; In addition, the presence or absence of *Vibrio spp.* at six sampling points. The results were compared with the Peruvian Environmental Quality for Water (EQW) standards. Mann-Whitney was used for the season variable and Kruskal-Wallis, for the sampling point. Most of the parameters evaluated exceeded the standards, so the presence of pathogenic microorganisms would generate a negative effect on local public health.

Keywords: pathogenic microorganisms, wetland, ecosystems, Huasao.



INTRODUCCIÓN

Los cambios en el ciclo hidrológico conllevan a modificaciones en la cantidad y a los movimientos del agua, alterando las concentraciones de nutrientes y sedimentos, por lo que estos cambios afectan, tanto al hombre como a la función y productividad de los sistemas ecológicos, debido a que ambos dependen del suministro del agua (Bai et al., 2019).

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM) el Perú forma parte de la Convención Relativa a los humedales de Importancia Internacional o Convención de RAMSAR por resolución legislativa desde 1991 (Ministerio de Ambiente [MINAM], 2015).

Perú tiene actualmente 14 sitios designados como humedales de importancia internacional (sitios Ramsar), con una superficie de 6,789,685 hectáreas, los cuales se encuentran distribuidos en todo el territorio nacional, principalmente en zonas rurales cercanas a poblaciones locales (Ramsar, 1992).

Según la Convención de Ramsar, humedal se define como toda área terrestre que está saturada o inundada de agua, bien sea estacional o de manera permanente, bajo un régimen hídrico natural o artificial, dulce o salobre y que alojan comunidades biológicas características, que aportan servicios ecosistémicos (Ramsar, 2015).

El humedal es un ecosistema intermedio entre el medio acuático y el terrestre, con partes húmedas, semihúmedas y secas, el cual se caracteriza por poseer biodiversidad, tanto en flora como, fauna. Son importantes debido a su producción alta de nutrientes y por su captación de gases generados por el efecto invernadero; así mismo, controlan erosiones, inundaciones, ya que absorben, acumulan y liberan lentamente el agua lluvia, retienen sedimentos y nutrientes (Estupiñán et al., 2020; Ávila et al., 2018); además, dan apoyo

a la cadena trófica de una región; brindan hábitat a la biodiversidad del lugar y en algunos casos, sirven como sitios de depuración y control de contaminantes (Caho & López, 2017).

Los microorganismos desempeñan un rol primordial en la biogeoquímica de los humedales mediante sus diversas funciones, los cuales responden a las alteraciones ambientales de manera permanente o temporal, modificando sus condiciones físicas y químicas afectando la función del ecosistema; debido a sus rápidas tasas de crecimiento, las poblaciones microbianas pueden servir como bioindicador más sensible y rápido en respuesta a varios contaminantes (Urakawa & Bernhard, 2017) entre ellos, microorganismos patógenos, derivados de actividades antropogénicas, como *Escherichia coli*, *Enterococcus*, *Salmonella* y *Vibrio spp*, los cuales se usan para evaluar el impacto de los desechos urbanos sobre la calidad bacteriológica de aguas superficiales (Bisimwa et al., 2017).

En este aspecto, Rodríguez et al. (2017) realizaron un diagnóstico microbiológico de los cuerpos de agua del Área de Conservación Regional (ACR) Humedales de Ventanilla (Callao, Perú). De las 15 estaciones monitoreadas, seis de ellas presentaron un promedio anual de coliformes totales mayor al LMP (>2000 NMP/100 mL), y para los coliformes termotolerantes, dos estaciones sobrepasaron los LMP (>1000 NMP/100 mL).

La presencia de *Vibrio spp.* fue casi constante en tres de las cuatro estaciones evaluadas. *Salmonella spp.* estuvo ausente en todos los puntos, concluyendo que las actividades humanas alteran los cuerpos de agua, pudiendo convertirlos en un reservorio de microorganismos patógenos, para la salud de la población que lo utiliza.

Así mismo, Estupiñán et al. (2020), evaluaron la calidad sanitaria del agua del Humedal Salitre,

por medio de indicadores de aguas residuales (coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus spp.*) y otros grupos bacterianos como *Aeromonas spp.* y *Pseudomonas spp.* Se reportó que el agua contiene un alto número de coliformes totales y *Enterococcus spp.*, comprobando la contaminación de origen fecal en todo el ecosistema. Este humedal posee menos recuentos de los indicadores bacterianos, principalmente en épocas de lluvia, al compararse con otros humedales.

Por otra parte, Símpalo et al. (2020) caracterizaron la descontaminación de los humedales de Villa María ubicados en la ciudad de Chimbote, por lo que se determinó fisicoquímica y microbiológicamente el agua de dichos humedales en dos puntos, mostrando una alta contaminación de las aguas, planteando la aplicación de nuevas tecnologías como el uso de burbujas ultrafinas y biofiltros, para la descontaminación de aguas con la finalidad de minimizar su impacto negativo en el ecosistema de dicha localidad.

El conocimiento que se tiene sobre la caracterización microbiológica del agua superficial de los Humedales de Huasao, Oropesa es muy escasa, contándose solo con trabajos realizados por el centro Human Poma quienes recuperaron dicho humedal.

Por lo tanto, se desconoce y ni se han estudiado las consecuencias que la contaminación microbiológica genera en el ecosistema lo que, causa que los habitantes de esas zonas se vean afectados. Esta situación preocupante se puede deber al constante perjuicio que el entorno ecológico recibe por las actividades de las poblaciones aledañas; en este caso, se podría señalar: arrojamiento de basura en los humedales, de aguas contaminadas en canales que conectan con el humedal y directamente en el espejo de agua, ampliación de viviendas y negocios muy cercanos al humedal y falta de manejo ambiental en la zona.

El objetivo de este estudio fue caracterizar microbiológicamente el cuerpo de agua del humedal de Huasao, Oropesa de la ciudad del Cusco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Población

La población de estudio consistió en el área de muestreo que comprende el Humedal de Huasao ubicado en Oropesa, Provincia de Quispicanchi-Cusco.

Muestra y muestreo

Las muestras de agua fueron tomadas en seis puntos de muestreo (Fig.1) durante dos épocas del año 2022, (sequía y lluvias). En las muestras colectadas se cuantificaron coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis*; además, se verificó la presencia de *Vibrio spp.*

Los resultados se compararon con los Estándares de Calidad del Agua (ECA, 2008) (Ministerio de Ambiente [MINAM], 2008), para los coliformes totales y para *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* y *Vibrio spp.*, los ECA, (2017) (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

Técnica

Para la recolección de la muestra de agua, se tomó en consideración el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016). Posteriormente las muestras fueron enviadas al laboratorio certificado Louis Pasteur, para su análisis haciendo uso de cultivos *in vitro*. Los medios de cultivo utilizados fueron agar M-FC (para *Escherichia coli*), agar endo NPS (para coliformes totales) y agar ácido NPS (para *Enterococcus*). Los recuentos de colonias se realizaron previa dilución y crecimiento bacteriano en los medios antes mencionados.

FIGURA 1*Puntos de muestreo*

Nota: Google Earth

Los métodos usados fueron para los *coliformes totales* y *Escherichia coli* (SMEWW-APHA.AWWA-WEF Part 9221 B 23rd Ed. (2017) y SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 7, respectivamente); para el *Enterococcus faecalis*, el SMWW92308,2017 y para el *Vibrio spp*, SMEWW9260H.

Análisis estadístico

Se analizaron los datos haciendo uso del programa R-Studio. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, para verificar la distribución de normalidad de las variables con un nivel de significancia $p < 0.05$; las variables evaluadas tuvieron distribución no normal, aplicándose pruebas no paramétricas para el análisis de los datos. Mann-Whitney, para verificar si existe diferencia significativa entre las temporadas y Kruskal-Wallis, si existen diferencias significativas entre el tipo de bacterias, según el punto de muestreo.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se observan los parámetros microbiológicos en los diferentes puntos de muestreo para época de sequías. El punto 6 mostró mayor cantidad de *Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis*, mientras que, en el caso de coliformes totales, fue el punto 5 de muestreo. No hubo presencia de *Vibrio spp* en ningún punto de muestreo.

La Tabla 2 reporta que para la época de lluvias en el punto de muestreo 2 hubo mayor cantidad de *Escherichia coli*, los coliformes totales en el punto 3, mientras que para *Enterococcus faecalis*, el punto de muestreo 6. Hubo ausencia de *Vibrio spp*.

Al realizarse la prueba estadística Mann-Whitney, no hubo diferencia significativa entre las diferentes bacterias en la variable temporada; mientras que con la prueba Kruskal-Wallis se observó que hubo diferencia significativa según punto de muestreo (datos no mostrados en Tablas).

TABLA 1

Parámetros microbiológicos en puntos de muestreo para época de sequías

Punto de muestreo	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	Coliformes totales (NMP/100 mL)	<i>Enterococcus faecalis</i> (NMP/100 mL)	<i>Vibrio spp</i>
1	< 1,8	16x10 ²	< 1,8	Ausente
2	13x10	16x10 ⁴	4,5	Ausente
3	23	16x10 ⁴	< 1,8	Ausente
4	33	35x10 ⁴	2,0	Ausente
5	17x10 ²	54x10 ⁴	7,8	Ausente
6	35x10 ²	35x10 ²	9,2 x 10 ²	Ausente

TABLA 2

Parámetros microbiológicos en puntos de muestreo para época de lluvias

Punto de muestreo	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL)	Coliformes totales (NMP/100 mL)	<i>Enterococcus faecalis</i> (NMP/100 mL)	<i>Vibrio cholerae</i>
1	< 1,8	35x10 ²	< 1,8	Ausente
2	70x10	54x10 ³	6,8	Ausente
3	4,5	92x10 ³	< 1,8	Ausente
4	< 1,8	35x10 ²	< 1,8	Ausente
5	13x10	54x10 ³	< 1,8	Ausente
6	35x10	17x10 ²	2,2 x 10	Ausente

DISCUSIÓN

Las actividades antropogénicas como cultivos, disposición no adecuada de aguas residuales, abonos orgánicos, agricultura no sostenible, entre otras, promueven la contaminación de aguas que alteran la calidad microbiológica de las fuentes de agua (Núñez, 2009 como se citó en Ríos et al., 2017). Por otra parte, las variaciones estacionales, como una lluvia o sequía, podría causar cambios en la estructura y cantidad en la población bacteriana (Bisimwa et al., 2022).

En la legislación peruana existen diversos instrumentos de gestión ambiental y dentro de estos se encuentran los estándares de calidad ambiental (ECA) y límites máximos permisibles (LMP). Las bacterias *Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis* estuvieron presentes en los diferentes puntos de muestreo en ambas épocas; al ser comparados estos resultados con los (LMP) establecidos por los estándares peruanos de Calidad Ambiental para el Agua (ECA, 2017), se observa que se encuentran por encima de los valores establecidos en ellos,

los cuales indican que la *Escherichia coli* debe estar ausente y *Enterococcus faecalis* menor a 200 NMP/100 mL.

La presencia de altas cargas de estas dos bacterias indicaría contaminación por heces o cercanía a aguas residuales; lo que pondría en riesgo la salud no solo de los visitantes de dicho humedal sino de los pobladores que habitan cerca (Rodríguez et al. (2017)). De las dos bacterias mencionadas, *Enterococcus faecalis* sugiere contaminación fecal periódica y de largo tiempo, puesto que no se multiplica en el medio ambiente (Ávila et al., 2018). Esta contaminación se pudo apreciar en campo por la presencia de un canal que conecta el humedal con vertientes del exterior.

Así mismo, en esta investigación, se determinaron coliformes totales en cada uno de los puntos de muestreo, tanto en época de sequía como lluvias; estos generalmente se consideran indicadores de la contaminación fecal del agua y se utilizan más comúnmente en la evaluación de riesgos para la salud humana (Bisimwa et al., 2022); resultados similares se encontraron en las investigaciones de Símpalo et al. (2020) y Estupiñán et al. (2020).

Debido a que la normativa del ECA, (2017) no contemplan en sus LMP los coliformes totales, los resultados se compararon con los LMP establecido por ECA, 2008 (MINAM), donde se indica que estos no pueden ser mayores a 3000 NMP/100 mL; por lo que, en este estudio los valores sobrepasaron dichos límites en casi todos los puntos de muestreo, en las dos épocas evaluadas, lo que podría estar asociado a la cercanía de los asentamientos humanos y negocios a estos humedales y al uso de estos como receptores de aguas residuales. Estos impactos negativos podrían ocasionar cambios del ecosistema del humedal, transformándolo en una fuente de incidencia, morbilidad de enfermedades (Rodríguez et al., 2017).

Del grupo de coliformes totales, los termotolerantes no deberían sobrepasar de 2000 NMP/100 mL según los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por ECA, (2017) considerando el agua de lagos y lagunas; variable el cual no fue objeto de este estudio, por lo que su análisis debería realizarse en futuras investigaciones, debido a que los coliformes fecales relacionados a la flora intestinal, presentan la particularidad de ser termotolerantes, los cuales se pueden encontrar en aguas orgánicamente enriquecidas, como efluentes industriales o de componentes vegetales y en suelos en estado de putrefacción (Gianoli et al., 2018).

Al realizar la prueba estadística Mann-Whitney se observó que no hubo diferencia significativa entre las temporadas del estudio para las diferentes bacterias analizadas, por lo que la presencia de estos patógenos es continua y no se ve afectada por la temporalidad en los humedales de Huasao en Oropesa, lo que pudiera ser atribuido a la continua afluencia de público y a la presencia de canales provenientes de la zona exterior hacia el humedal; sin embargo, se observó que hubo diferencia significativa en cuanto a la concentración microbiana que se encontró en cada punto de muestreo, es decir, que existen puntos de muestreo que contienen mayor carga microbiológica que otros, siendo el punto 6 en la temporada de sequía el que presenta mayor concentración de *Escheichia coli* y *Enterococcus faecalis* y el punto 5 en cuanto coliformes totales encontrados en la misma época del año; estos resultados concuerdan con lo observado en campo ya que, el punto 6 en sequia es el que presenta mayor accesibilidad durante el recorrido en el humedal y el punto 5 presenta conexión a canal que conecta el humedal con la zona de la población aledaña lo que podría implicar contaminación con desechos de alcantarilla, aceites, etc.

Rodriguez et al, (2017) determinaron la presencia de coliformes totales, valores superiores a los LMP

en seis estaciones de la laguna "Pisciplaya"; así como, la presencia de coliformes fecales en dos estaciones, superando los LMP, evidenciando que los humedales sufren alteraciones por la actividad humana y se evidencia la fragilidad de estos ecosistemas.

CONCLUSIONES

El análisis microbiológico del cuerpo de agua de los humedales de Husao, Oropesa ciudad del Cusco evidencia la presencia de microorganismos patógenos (*Escherichia coli* y *Enterococcus faecalis*) que generarían un efecto negativo en la salud pública local.

Los microorganismos a excepción de *Vibrio sp* sobrepasan los LMP establecidos por los estándares peruanos de Calidad Ambiental para el Agua.

La alta concentración de microorganismos en casi todos los puntos de muestreo estaría asociada a la cercanía de los asentamientos humanos y negocios a estos humedales y al uso de los humedales como receptores de aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos. http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._010-2016-ana_0.pdf

Ávila, S., Estupiñán, S., Caicedo, L., Calderón, X., & Rubiano, W. (2018). Diagnóstico de la calidad bacteriológica del agua del Humedal Córdoba, Bogotá. *NOVA*, 17 (31), 87-95. <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/article/view/946/1364>

Bai Y., Ochuodho, T., & Yang, J. (2019). Impact of land use and climate change on water-

related ecosystem services in Kentucky, USA. *Ecological Indicators*, 102, 51-64. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.079>

Bisimwa, A., Kisuya, B., Kazadi, Z., Muhaya, B., & Kankonda, A. (2022). Monitoring faecal contamination and relationship of physicochemical variables with faecal indicator bacteria numbers in Bukavu surface waters, tributaries of Lake Kivu in Democratic Republic of Congo. *Hygiene and Environmental Health Advances*, 3, 100012. <https://doi.org/10.1016/j.heha.2022.100012>

Caho, C., & López, E. Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI1. *Producción + Limpia*, 12 (2), 35-49 DOI: 10.22507/pml.v12n2a3

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.[El Peruano]. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua. 06 de junio de 2017. Ministerio del Ambiente

Estupiñán, S., Ávila, S., Bejarano, I., García, F., & Arias, N. (2020). Calidad microbiológica del agua del humedal Salitre, Bogotá, D.C. Colombia. *Biociencias*, 3 (1), 191-201 <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/Biociencias/article/view/4408/4251>

Gianoli, A., Hung, A., & Shiva, C. (2018). Relación entre coliformes totales y termotolerantes con factores fisicoquímicos del agua en seis playas de la bahía de Sechura-Piura 2016-2017. *Salud y Tecnología Veterinaria*, 6(2), 62. <https://doi.org/10.20453/stv.v6i2.3460>

- Mancera, R., Camargo-Ávila, A., Cohen-Padilla, H., & Ahumado-Monterrosa, M. (2016). Influencia de los factores bióticos en humedales artificiales. *IPSA Scientia Revista Científica Multidisciplinaria*, 1(1), 52–57. <https://doi.org/10.25214/27114406.894>
- Ministerio de Ambiente (2008). Estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Decreto Supremo. N°002-2008-MINAM. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-002-2008-minam/>
- Ministerio de Ambiente (2015). Estrategia Nacional de humedales <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2015/01/Anexo-Decreto-Supremo-N%C2%B0-004-2015-MINAM2.pdf>
- Ramsar (1992). Perú. <https://www.ramsar.org/es/humedal/peru#:~:text=Per%C3%BA%20tiene%20actualmente%2014%20sitios,una%20superficie%20de%206%2C789%2C685%20hect%C3%A1reas.>
- Ramsar (2015). La Convención de Ramsar: ¿de qué trata? https://www.ramsar.org/sites/default/files/fs_6_ramsar_convention_sp_0.pdf
- Ríos, S., Agudelo, R., & Gutiérrez, L. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2): 236-247. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08
- Rodríguez, R., Retamozo-Chávez, R., Aponte, H., & Valdivia, H. (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), 15-21. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i1.899>
- Símpalo, W., Miñan, G., Galarreta, G., & Castillo, W. (2020). Caracterización de la contaminación de las aguas de los humedales de Villa María en el distrito de Nuevo Chimbote Ancash - Perú. *Veritas Et Scientia*, 9(2), 243 - 252. <https://doi.org/10.47796/ves.v9i2.399>
- Urakawa, H., & Bernhard, A. (2017). Wetland management using microbial indicators. *Ecological Engineering*, 108, 456 - 476. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.07.022>