

CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DE LOS HUMEDALES DE VILLA MARÍA EN EL DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE ANCASH – PERÚ

CHARACTERIZATION OF THE CONTAMINATION OF THE WATERS OF THE VILLA MARÍA WETLANDS IN THE DISTRICT OF NUEVO CHIMBOTE ANCASH – PERU

Wilson Daniel Símpalo López¹
Guillermo Segundo Miñan Olivos²
Gracia Isabel Galarreta Oliveros³
Williams Esteward Castillo Martínez⁴

Aceptado: 07/12/2020
Publicado online: 14/12/2020

RESUMEN


La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar la descontaminación de los humedales de Villa María ubicados en la ciudad de Chimbote y proponer tecnologías para su minimizar su impacto negativo en el ecosistema de dicha localidad. Para ello se realizó una caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de dichos humedales en dos puntos, con la finalidad de determinar el grado de contaminación y de esta manera plantear alternativas de solución aplicando tecnologías que permitan recuperar dicho ecosistema. Los resultados de los ensayos en el primer punto (coordenadas 09° 06' 23.7" – 078° 33' 06.8), fueron: coliformes totales 1700 NMP/100ml; coliformes Termotolerantes 490 NMP/100ml; conductividad 17 980 uS/cm; demanda bioquímica de oxígeno 59 mg/l; demanda química de oxígeno 337 mg/l; oxígeno disuelto 4,83 mg/l; pH 6,25 y salinidad 16%. En el punto dos (coordenadas 09° 06' 34.4" – 078° 32' 59.4") los ensayos arrojaron los siguientes resultados: coliformes totales <1,8 NMP/100ml; coliformes termotolerantes <1,8 NMP/100ml; conductividad 196 000 uS/cm; demanda bioquímica de oxígeno 1 033 mg/l; demanda química de oxígeno 10 927 mg/l; oxígeno disuelto 0,70 mg/l; pH 6,88 y salinidad 20%. Los resultados obtenidos de los diferentes ensayos permitieron concluir una alta contaminación de las aguas de estos humedales, por lo que se proponen la aplicación de nuevas tecnologías como el uso de burbujas ultrafinas y biofiltros para la descontaminación de aguas, tecnologías que ya han sido aplicadas en situaciones semejantes con éxito.

Palabras clave: humedales, agua, descontaminación, ecosistemas, tecnologías.

¹ Maestro en Gerencia de Industrias Agropecuarias y Pesqueras. Universidad César Vallejo, Chimbote, Perú.

wsimpalo@ucv.edu.pe,  0000-0001-9523-8043

² Maestría en Gestión Pública. Universidad César Vallejo, Chimbote, Perú. gsmo_1987@hotmail.com,  0000-0001-9523-8043

³ Ingeniera Industrial. Universidad César Vallejo, Chimbote, Perú. ggalarreta@ucv.edu.pe,  0000-0001-8915-6607

⁴ Maestro en Gerencia de Industrias Agropecuarias y Pesqueras. Universidad César Vallejo, Chimbote, Perú.

wcastillom@ucv.edu.pe,  0000-0001-6917-1009

ABSTRACT

The purpose of this research was to characterize the decontamination of the Villa María wetlands located in the city of Chimbote and to propose technologies to minimize their negative impact on the ecosystem of that locality. To this end, a physical-chemical and microbiological characterization of the water of these wetlands was carried out in two points, in order to determine the degree of contamination and thus propose solution alternatives using technologies that allow recover that ecosystem. The results of the tests at the first point (coordinates 09° 06' 23.7" – 078-33' 06.8), were: total coliforms 1700 NMP/100ml; Thermotolerant coliforms 490 NMP/100ml; conductivity 17 980 uS/cm; biochemical oxygen demand 59 mg/l; chemical demand for oxygen 337 mg/l; dissolved oxygen 4.83 mg/l; pH 6.25 and salinity 16%. At point two (coordinates 09' 06' 34.4" – 078- 32' 59.4") the assays yielded the following results: total coliforms <1.8 NMP/100ml; thermotolerant coliforms <1.8 NMP/100ml; conductivity 196 000 uS/cm; biochemical oxygen demand 1 033 mg/l; chemical demand for oxygen 10 927 mg/l; dissolved oxygen 0.70 mg/l; pH 6.88 and salinity 20%. The results obtained from the different tests led to the completion of high pollution of the waters of these wetlands, so they propose the application of new technologies such as the use of ultrafine bubbles and biofilters for water decontamination, technologies that have already been applied in similar situations successfully.

Keywords: wetlands, water, decontamination, ecosystems, technologies.

INTRODUCCIÓN

Un humedal es un ecosistema que tiene lugar cuando la inundación ocasionada por agua produce suelos dominados por procesos anaeróbicos forzando a la biota, particularmente a las plantas enraizadas, a exhibir adaptaciones para tolerar la inundación (Keddy, 2010). Es así como los humedales cumplen funciones importantes en el desarrollo del ecosistema, como la conservación de la biodiversidad, el control de la erosión, el almacenamiento de agua. (Lazcano, 2014) Además son elementos importantes del patrimonio cultural en diversos territorios del mundo. (De Groot et al., 2006)

Los humedales en Perú y principalmente el humedal de Villa María, en el distrito de Nuevo Chimbote, está siendo impactado de forma negativa por ello es necesario saber una breve definición de este ecosistema, Loayza (2002) dice que es un ecosistema marino – costero templado, que se desarrolla sobre una terraza hidromórfica a 3 msnm con pendiente promedio de 1%, y cuyo régimen hídrico depende de la infiltración permanente del río Lacramarca y aguas de regadío, que originan la presencia de cinco sistemas: ribereño, palustrino, estuarino, marino y artificial, donde se pueden identificar gradientes salinos entre oligosalino a hipersalino y una vegetación hidrófila emergente típica, soporte de importante diversidad faunística acuática, particularmente avícola.

Actualmente, el desarrollo industrial y urbano, de manera descontrolado y desordenado viene causando deterioro en diferentes ecosistemas o en el peor de los casos la pérdida total de ellos, el distrito de Nuevo Chimbote no es ajeno a esta situación. Cerca al pueblo joven Villa María, se encuentran los humedales del mismo nombre, que albergan flora y fauna muy diversa, pero que con el pasar del tiempo las especies van desapareciendo, esto se debe principalmente a la contaminación causada por las zonas industriales y las áreas urbanas, por la falta de cumplimiento de las políticas medioambientales que causan un daño irreversible a este ecosistema. Es notorio la presencia en estos humedales, de residuos sólidos en grandes cantidades que se vienen acumulando cada vez más, debido principalmente a la deficiente educación ambiental de los pobladores y la falta de información de las consecuencias que acarrea la destrucción de estos ecosistemas. Es por ello por lo que a través de la presente investigación se logró caracterizar el agua en los humedales de Villa María, que se ubican en la ciudad de Nuevo Chimbote, dentro de la Región Ancash, además

esta investigación permitió plantear diversas propuestas para contribuir con su descontaminación, mejorando la calidad del agua y principalmente del ecosistema.

METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó, en los humedales de Villa María (Figura 1), ubicados en el distrito de Nuevo Chimbote y Chimbote, en la parte baja del valle del río Lacramarca, el cual está comprendido entre los límites de la avenida Portuaria, el Océano Pacífico y la Prolongación de la Av. Los Pescadores, con una extensión de 50 hectáreas, emplazados entre los distritos de Chimbote y Nuevo Chimbote, Provincia del Santa, Departamento de Ancash-Perú.



Figura 1 Toma fotográfica de los humedales de Villa María de Nuevo Chimbote, Perú.

Dichos humedales se presentan como un ecosistema de carácter singular debido al recurso hidrobiológico de flora y fauna, es decir con una gran riqueza biológica.

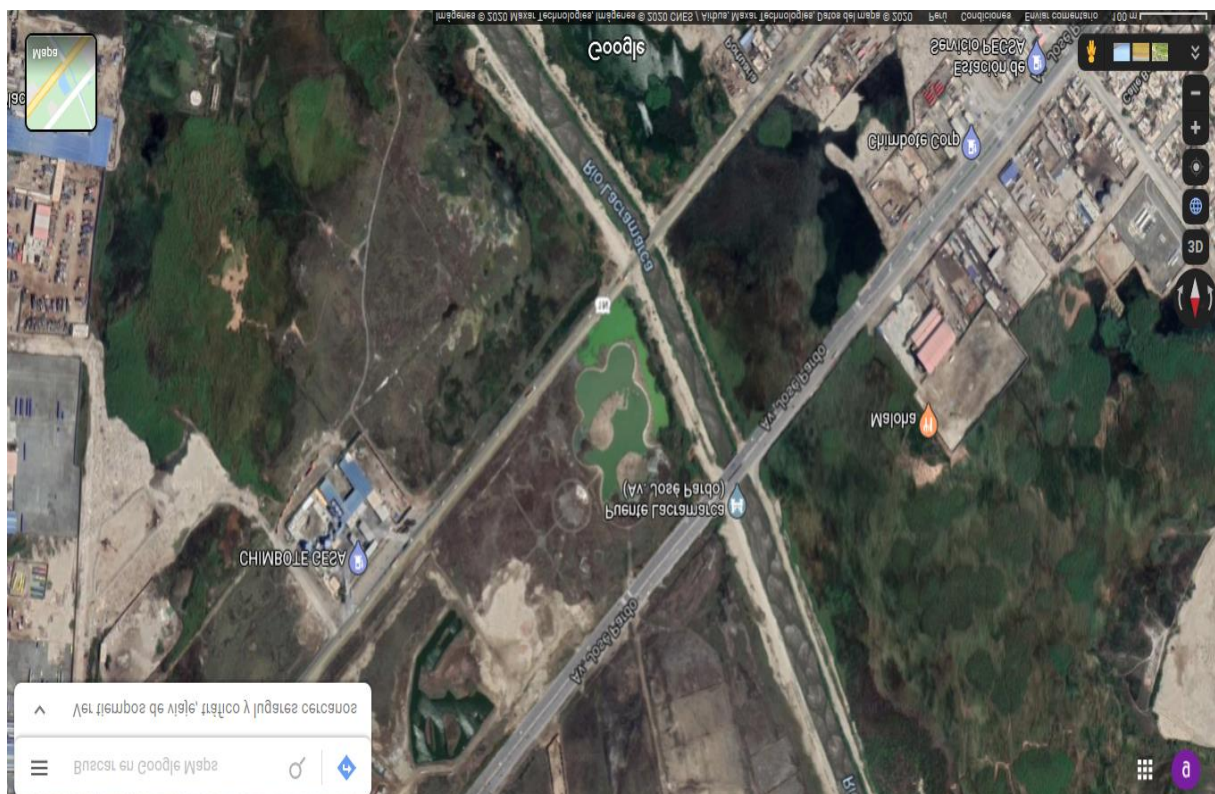


Figura 2 Ubicación de los humedales de Villa María – Chimbote, Perú.

Para analizar el ecosistema en estudio se tomaron muestras del agua presente en los humedales, en dos puntos diferentes en topografía, drenaje, suelo y vegetación, el primero con una latitud de 09° 06' 23.7" y una longitud de 078° 33' 06.8", y el segundo con una latitud de 09° 06' 34.4" y una longitud de 078° 32' 59.4", tal como se muestra en Figura 2.

Para caracterizar las muestras de agua recolectadas se procedió a realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos (pH, oxígeno disuelto, dureza, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes totales, coliformes termotolerantes), como se indica en la tabla N°1. En base a los resultados obtenidos se propondrán las mejores tecnologías de descontaminación de los humedales de Villa María.

Tabla 1

Métodos utilizados para el análisis de agua de los humedales de Villa María.

Coliformes Numeración	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221B, 23 rd Ed. (2017). Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
Coliformes Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 23 rd Ed. (2017). Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant coliform test (EC médium)
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510-B, Conductivity. Laboratory Method. 2017 23 rd Ed.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. (2017). Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. (2017). Chemical Oxygen Demand. Closed Reflux Colorimetric Method.
Oxígeno disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G, 23 rd Ed. (2017). Oxygen (Dissolved). Membrane Electrode Method.
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B. electrometric Method. 2017 23 rd Ed.
Salinidad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 23 rd Ed. 2017. Part 2520 B, Salinity. Electrical Conductivity Method.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los límites máximos permisibles, establecidos por los estándares peruanos de Calidad Ambiental para el Agua (ECA) del año 2017 (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM).

RESULTADOS

La caracterización del agua de los humedales de Villa María se realizó con la toma de muestras, obtenidas de dos puntos distintos, los resultados se muestran en la Tabla 2 y Tabla 3. Los resultados de la Tabla 2 corresponden a la muestra tomada en el primer punto, identificado por sus coordenadas con una latitud de 09° 06' 23.7" y una longitud de 078° 33' 06.8". Se observa que los valores obtenidos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), pH, oxígeno disuelto, dureza, coliformes totales, coliformes termo tolerantes, indican una presencia de alta concentración de materiales extraños que están alterando las características fisicoquímicas de estas aguas, así como de contaminación microbiana.

Tabla 2

Resultados de la caracterización del agua en el primer punto, identificado por sus coordenadas 09° 06' 23.7'' – 078° 33' 06.8'', en los humedales de Villa María, Chimbote, Perú.

ENSAYOS	UNIDAD	L.C.	RESULTADOS
Coliformes Numeración	NMP/100ml	1,8	1700
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1,8	490
Conductividad	uS/cm	0,01	17 980
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	2 (1)	59
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	80	337
ENSAYOS DE CAMPO			
Oxígeno disuelto	mg/l	0,01 (1)	4,83
pH	unidades de pH	0,01 (1)	6,25
Salinidad	-	0,1	16%

LC: Límite de cuantificación (1): Límite de detección

En la Tabla 3 se muestra los resultados del segundo punto de toma de muestra, identificado por sus coordenadas con una latitud de 09° 06' 34.4'' y una longitud de 078° 32' 59.4''. Se observa al igual que en la Tabla 2, que los valores obtenidos de la DBO5, DQO, pH, oxígeno disuelto, salinidad, coliformes totales, coliformes termotolerantes indican una alta contaminación, por lo que es necesario un inmediato tratamiento de descontaminación de las aguas de estos humedales, con la finalidad de preservar la flora y fauna de este ecosistema.

Tabla 3

Resultados de la caracterización del agua en el segundo punto, identificado por sus coordenadas 09° 06' 34.4'' – 078° 32' 59.4'', en los humedales de Villa María, Chimbote, Perú.

ENSAYOS	UNIDAD	L.C.	RESULTADOS
Coliformes Numeración	NMP/100ml	1,8	<1,8
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1,8	<1,8
Conductividad	uS/cm	0,01	196 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	2 (1)	1 033
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	80	10 927
ENSAYOS DE CAMPO			
Oxígeno disuelto	mg/L	0,01 (1)	0,70
pH	unidades de pH	0,01 (1)	6,88
Salinidad	-	0,1	20%

LC: Límite de cuantificación (1): Límite de detección

Los humedales, por sus características y peculiaridades, suelen ser ecosistemas propensos a ser afectados por las variaciones del clima y los fenómenos extremos del tiempo. Grandes pérdidas, a veces irreversibles, suelen ocurrir en estos por la acción del clima y los fenómenos meteorológicos extremos. Cambios en la temperatura, en los patrones de precipitación, aumento del nivel del mar, son entre otras variaciones del clima que pueden producir sensibles impactos en los humedales. (Moya et al., 2005). Además de los factores antes mencionados también podemos incluir a la falta de cumplimiento de políticas ambientales por parte de las empresas y de los pobladores aledaños a estos ecosistemas, como es el caso de los humedales de Villa María.

Así mismo, en dichos ecosistemas (humedales), se albergan una variedad de especies, alta biodiversidad, ya que es un espacio propicio para el desarrollo de fauna y flora diversa, de manera general se puede decir que en la mayor cantidad de humedales se encuentra gran variedad de

especies como peces, aves, mamíferos, roedores e insectos; por otro lado, con respecto a la flora se presenta una gran variedad de árboles, plantas acuáticas, terrestres o aéreas (Chacón et al., 2016). Los humedales de Villa María no son ajenos a esta realidad y también presentan una gran diversidad de flora y fauna que debe ser preservada. Los humedales de Villa María, tiene un alto valor ecológico debido a que cuenta con 94 especies de aves, 186 especies de flora, 5 bienes y 10 servicios ecosistémicos y biotopos como, juncal, carrizal, etc., que lo hacen un ecosistema muy importante en la costa peruana. (Flores, 2015).

DISCUSIÓN

El conocimiento que se tiene sobre la caracterización del agua en los Humedales de Villa María, Nuevo Chimbote es muy escaso, hasta el momento se cuenta con escasos trabajos que traten esta problemática ambiental de esta localidad. Por lo tanto hay un desconocimiento de las consecuencias que la contaminación genera a la flora y fauna de este ecosistema, originando que los seres vivos que habitan esas zonas se vean afectados por la cantidad de desechos que se vierten en el lugar, esta situación medioambiental preocupante se debe a que su entorno ecológico es constantemente perjudicado por las actividades de la ciudad tales como: el arrojado de basura en los humedales, el arrojado de aceite a los espejos de agua, ampliación de la carretera adyacente y la tala indiscriminada de totora (Vilela, 2010).

Con respecto a los resultados de los ensayos realizados al agua de los humedales de Villa María, específicamente al análisis microbiológico, se determinaron coliformes totales y coliformes termotolerantes, debido a que estos microorganismos permiten establecer el grado de degradación de los cuerpos de agua y es utilizado internacionalmente como indicador de contaminación (Pullés, 2014). El recuento microbiológico de coliformes totales y coliformes termotolerantes fueron de 1700 NMP/100ml y 490 NMP/100ml respectivamente para el primer punto (09° 06' 23.7" – 078° 33' 06.8"); si a estos valores lo comparamos con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por los estándares peruanos de Calidad Ambiental para el Agua (ECA) del año 2017 (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM), considerando el agua de lagos y lagunas, notaremos que aún está por debajo de los LMP (Coliformes Termotolerantes 1000 NMP/100 ml).

En lo que respecta a los coliformes totales, los ECA del 2017 no contemplan sus LMP, sin embargo en esta investigación si se tomó en cuenta el recuento de coliformes totales, debido a que también es indicativo del nivel de contaminación de aguas; los niveles de coliformes totales encontrados en los humedales de Villa María, se pueden comparar con los LMP establecido por ECA del año 2008 (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM), donde indica que estos no deben ser mayores de 2000 NMP/100 ml, los coliformes totales encontrados en los humedales de Villa María fue de 1700 NMP/100 ml, estando muy cerca del LMP. Los resultados de los ensayos en el punto número dos (09° 06' 34.4" – 078° 32' 59.4"), arrojaron también presencia de coliformes totales y coliformes termotolerantes en concentraciones de <1.8 NMP/100mL, por lo que presenta menor contaminación microbiológica que el punto uno, por lo que también se podría realizar una descontaminación del agua por métodos tradicionales. La contaminación microbiológica de los humedales por coliformes se podría deber a la interacción que tiene la población con el humedal. Estupiñán et al. (2020) determinó un nivel de contaminación similar en el humedal Gualí-Tres Esquinas (coliformes totales entre 400 y 12500 UFC/100mL, *Escherichia coli* entre 300 y 16700 UFC/100mL y *Enterococcus spp.* entre 100 y 18100 UFC/100mL) y mencionaba que dicha situación se presentaba debido a la presencia de zonas urbanas aledañas y al uso de los humedales como receptores de aguas residuales. En un futuro, estos impactos podrían ocasionar cambios del ecosistema, transformándolos en una fuente potencial para la proliferación de enfermedades (Rodríguez et al., 2017).

Esta realidad no solo se presenta en los humedales de Villa María, por ejemplo en el estudio realizado a los humedales de Ventanilla (Callao, Perú) y su importancia para la salud pública local (Rodríguez et al., 2017), presentaron altos niveles de contaminación microbiológica (de las 15 estaciones monitoreadas, seis de ellas presentaron un promedio anual de coliformes totales mayor al LMP (>2000 NMP/100 ml), y para el caso de los coliformes termotolerantes, dos estaciones sobrepasaron los LMP (>1000 NMP/100 ml). Esto es debido posiblemente a que en el Perú existe una falta de políticas, o cumplimiento de estas, que permitan la conservación de estos ecosistemas. Asimismo, la investigación de Ávila et al. (2019) halló una elevada cantidad de coliformes totales en las aguas del humedal de Córdova -Bogotá (en épocas de lluvia alcanzó un valor medio de 240,6 UFC/100 mL y durante la época seca bordeó los 229,2 UFC/100 mL). Dichos resultados indicaban un alto riesgo de padecer patologías, tales como: meningitis neonatal, gastroenteritis, infecciones urinarias, entre otras.

Con respecto a los ensayos fisicoquímicos, estos se realizaron con la finalidad de conocer si hay compuestos químicos que alteran la composición natural del agua de los humedales de Villa María, y por tanto puedan afectar la vida de la flora y fauna de este ecosistema. Los parámetros fisicoquímicos que se evaluaron fueron conductividad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto, pH y salinidad obteniéndose los resultados siguientes para el punto uno (09° 06' 23.7" – 078° 33' 06.8"): 17 980 uS/cm, 59 mg/L, 337 mg/L, 4,83 mg/L, 6,25, 16% respectivamente, si estos valores los comparamos con los estándares peruanos de calidad ambiental para el Agua (ECA) del año 2017 (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM), para aguas de la categoría IV (Conservación del ambiente acuático), subcategoría E1: Lagunas y lagos, que incluye a los humedales, notamos que para el caso de la conductividad está por encima de los parámetros establecidos, indicando la presencia de alta concentración de solutos, con respecto a la DBO, el resultado obtenido fue más de diez veces mayor que los estándares establecidos por la ECA (5 mg/L), indicativo que los humedales de Villa María tiene una alta carga de compuestos orgánicos biodegradables.

Con respecto al oxígeno disuelto en el agua de los humedales de Villa María presenta una cantidad menor a lo establecido por ECA, lo que significaría menos oxígeno disponible para la respiración de las bacterias aeróbicas y facultativas, así como de todos los organismos presentes en el ecosistema acuático (Lascano, 2014). Otro de los parámetros fisicoquímicos importante fue el pH, cuyo valor estuvo por debajo de los estándares recomendados (6,5 a 9,0), lo que significa que el agua tiene una concentración mayor de iones de hidrogeno indicativo de agua ligeramente ácida. Con respecto al punto número dos (09° 06' 34.4" – 078° 32' 59.4"), los resultados de los ensayos al igual que el punto número uno, están fuera de los estándares de calidad del agua, solo a excepción del pH que si se encuentra dentro del rango. Estos resultados nos muestran el no cumplimiento de los estándares de calidad del agua de la categoría IV (Conservación del ambiente acuático), donde son incluidos los humedales. Asimismo, el promedio obtenido estuvo por debajo de los resultados presentados por Ruiz et al. (2019), el cual determinó un promedio de 7,81 para el agua de las lagunas A y B del humedal Choc Choc en Trujillo – La Libertad.

Una situación distinta identificó Bopp (2019), quién midió la calidad ambiental de los humedales costeros del departamento de La Libertad, mediante el uso de parámetros fisicoquímicos y biológicos; y pudo determinar un adecuado estado de los mismos ya que la temperatura promedio del aire fue 24,5°C, la temperatura superficial promedio del agua 22,3°C, el pH del agua entre 6,7-9,0; la conductividad eléctrica 220 a 1065 uS/cm; sólidos totales disueltos entre 150 a 1006 ppm y una alcalinidad entre 80 a 240 ppm. A nivel internacional, también se podrían mencionar estudios en zonas que a pesar de tener gran afluencia de público demuestran una adecuada calidad del agua. En esa línea, el estudio de Jovanelly et al. (2020) demostró que las cuencas hidrográficas en parques nacionales y áreas protegidas de Costa Rica mantienen un adecuado índice ambiental (pH,

temperatura, coliformes fecales, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, nitratos, fosfatos totales, turbidez) a pesar de recibir unos 3.1 millones de visitas al año.

Ahora bien, si se toma en cuenta los ejemplos positivos mencionados, donde se preserva la calidad del agua en zonas naturales a pesar de la interacción con el ser humano, se precisa la necesidad de que los humedales de Villa María lleguen a esa misma posición de equilibrio ambiental. Para revertir la contaminación existente en las aguas de los humedales estudiados, existen nuevas tecnologías que podrían dar solución a esta problemática y por tanto conseguir la recuperación de las aguas de los humedales de Villa María. Para reducir el nivel de contaminación biológico en aguas, existen diferentes métodos como la desinfección con ozono, la desinfección con cloro y la radiación ultravioleta entre otros. Es de destacar que el ozono puede ser más efectivo que los métodos de tratamiento estándar actuales, como el cloro o la radiación UV para inactivar virus, criptosporidio y otros patógenos resistentes a los químicos (Mezzanotte et al., 2007; Eriksson, 2005; Korich et al., 1990). Por otro lado, un laboratorio en Japón descubrió que el tratamiento de efluentes secundarios mediante la inyección de gas ozono a una concentración de 40 mg /l como microburbujas y un tiempo de contacto de 10 minutos resultó en una inactivación de aproximadamente el 25% de E. coli y una inactivación del 44% de E. coli cuando el agua se irradió ultrasónicamente (Sumikura, 2007).

Hung (2016), en su investigación denominada “ozonización mejorada con burbujas ultrafinas para tratamiento de aguas”, buscó evaluar el potencial para usar burbujas ultrafinas en conjunto con gas ozono como método de tratamiento y desinfección del agua. Al inyectar gas ozono en el agua en forma de burbujas ultrafinas, es posible alcanzar niveles más altos de ozono disuelto en el agua, que si se inyectara gas ozono en el agua utilizando métodos convencionales como burbujear gas ozono a través de difusores de aire. Como las burbujas ultrafinas no flotan hacia la superficie como lo hacen las burbujas normales, se inyecta significativamente menos ozono en el agua. Del mismo modo, las burbujas ultrafinas tienden a ser más estables, permitiendo que el ozono gaseoso se disuelva lentamente en el agua. La inyección de gas de ozono en el agua como burbujas ultrafinas permite que el ozono disuelto permanezca presente en el agua por más tiempo que si el ozono se inyectara convencionalmente.

Otra de la tecnología para descontaminar agua, semejante a la antes expuesta, es la nanotecnología con ozono. Pardo (2017), en su investigación: “Nanotecnología con Ozono para la reducción de Cianobacterias en las aguas de los Humedales de Villa, Chorrillos, Lima 2017”, reporta una reducción de entre 77 a 79% de cianobacterias, además de una reducción notable del DQO y DBO después del tratamiento; y un incremento del oxígeno disuelto.

Morikawa (2012), en su trabajo de investigación “Tratamiento y Transferencia Tecnológica para la recuperación del agua y conservación del medio ambiente en el humedal El Cascajo, en el distrito de Chancay” empleo la nanotecnología, que es un tratamiento con micronaburbujas que pueden permanecer entre 4 y 8 horas en el agua, en este tiempo atrapan e inmovilizan las bacterias y virus que terminan por destruirlas, adicionalmente empleo biofiltros para retener y separar microorganismos contaminantes; logrando reducir significativamente el DQO, nitrógenos totales y fósforos totales, esto trajo como consecuencia, la recuperación de la biodiversidad como por ejemplo el retorno de más de 40 especies de aves migratorias.

Las tecnologías para el tratamiento de aguas, antes mencionadas, constituyen una alternativa que se podrían aplicar al tratamiento de las aguas de los humedales de Villa María y de esta manera recuperar y salvaguardar un ecosistema que ofrece un considerable servicio ambiental; contribuyendo significativamente a la reducción de emisiones de CO₂, gas que produce efecto invernadero y calentamiento global.

CONCLUSIONES

El agua de los humedales de Villa María, tiene un alto grado de contaminación microbiológica, además del no cumplimiento de los límites máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos establecido por estándares peruanos de calidad ambiental para el agua, sin embargo existen tecnologías que permiten revertir esta situación, como la aplicación de burbujas ultrafinas de ozono con la finalidad de reducir la carga microbiana y además complementadas con tecnologías de separación física como los biofiltros, de tal manera que en conjunto, se podría reducir significativamente el grado de contaminación de las aguas, siendo estas tecnologías factibles de aplicar en los humedales en estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila, S., Estupiñán, S., Caicedo, L., Calderón, X. & Rubiano, W. (2019). 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>
- Bopp, G. (2019). *Calidad ambiental de los humedales costeros del departamento de La Libertad, mediante parámetros físicos, químicos y biológicos, 2016*. [Tesis para optar por el Título de Doctor en Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional UNITRU. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15276>
- Chacón, A. N., Pachón, P. F., Valero, J. G., & Velásquez, M. (2016). Determinación de la importancia de los humedales en la ciudad de Bogotá D.C, a través de pruebas fisicoquímicas y como el impacto de la intervención del hombre afecta estos ecosistemas. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 9 (15), 201-213. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.extra2016-6335>
- De Groot, R., Stuij, M., Finlayson, M. & Davidson, N. (2006). *Valuing wetlands: guidance for valuing the benefits derived from wetland ecosystem services*, Ramsar technical report. https://www.researchgate.net/publication/40110849_Valuing_Wetlands_Guidance_for_Valuing_the_Benefits_Derived_from_Wetland_Ecosystem_Services
- Eriksson, M. (2005). *Ozone chemistry in aqueous solution: ozone decomposition and stabilization*. KTH Chemistry. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-303>
- Estupiñán, S., Cepeda, A., Hurtado, A. & Vega, K. (2020). Calidad bacteriológica del agua del humedal Gualí-Tres Esquinas, Funza, Cundinamarca. *NOVA*, 18 (33): 113-122. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/3703/3768>
- Flores A. (2015). *Valoración Ecológica y Económica del Humedal de Villa María – Chimbote, Perú* [Tesis para optar el título profesional de biólogo acuicultor, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio institucional digital de la Universidad del Santa. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2771>
- Hung, I. (2016). *Ultrafine bubble – enhanced ozonation for water treatment* [Thesis Submitted For opt the Degree of Master of Science, The University of Arizona]. Repositorio de la Universidad de Arizona. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/621853>
- Jovanelly, T., Rodríguez, L., Sánchez, R., Mena, L., & Thomas, D. (2020). Evaluating watershed health in Costa Rican national parks and protected areas. *Sustainable Water Resources Management*, 6 (76), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00431-6>
- Keddy, P. (2010). *Wetland ecology. Principles and conservation* (2a. ed.). Cambridge University Press
- Korich, D., Mead, J., Madore, M., Sinclair, N. & Sterling, C. (1990). Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine, and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocyst viability. *Appl Environ Microbiol*, 56 (5), 1423–1428. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2339894/>
- Lazcano, C. (2014). *Biotecnología Ambiental de Aguas y Aguas Residuales*. Fondo Editorial UNMSM.
- Loayza, R. (2002). *Diagnóstico del humedal de Villa María*. Instituto Ambientalista Natura.
- Mezzanotte, V., Antonelli, M., Citterio, S., & Nurizzo, C. (2007). *Wastewater disinfection alternatives: Chlorine, ozone, peracetic acid, and UV light*. *Water Environment Research*, 79 (12), 2373 – 2379.

https://www.researchgate.net/publication/5804255_Wastewater_Disinfection_Alternatives_Chlorine_Ozone_Peracetic_Acid_and_UV_Light

- Morikawa, M. (2012). *Tratamiento y Transferencia Tecnológica para la Recuperación del Agua y Conservación del Medio Ambiente en el Humedal El Cascajo*. Congreso de la República del Perú. [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/comisiones/2012/com2012ciencia.nsf/0/0e4a37d3270f8de105257acd006e78c3/\\$FILE/Resumen_proyecto.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/comisiones/2012/com2012ciencia.nsf/0/0e4a37d3270f8de105257acd006e78c3/$FILE/Resumen_proyecto.pdf)
- Moya, V., Hernández, A., Elizalde, H. (2005). Los humedales ante el cambio climático. *Investigaciones Geográficas*, 1(37), 127-132. <https://www.redalyc.org/pdf/176/17612746005.pdf>
- Pardo, M. (2017). *Nanotecnología con Ozono para la reducción de Cianobacterias en las aguas de los Humedales de Villa, Chorrillos, Lima 2017* [Tesis para optar por el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad César Vallejo]. Repositorio digital institucional de la UCV. <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/21259?locale-attribute=en>
- Pullés, M. (2014). Microorganismos indicadores de la calidad del agua potable en Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 45(1), 25–36. <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181230079005.pdf>
- Rodríguez, R., Retamoso, R., Aponte, H., & 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), 15-21. <https://dx.doi.org/10.21704/rea.v16i1.899>
- Ruiz, M., Huamán, E., & Mejía, F. (2019). Diagnóstico ecológico del humedal CHOCHOC. *Revista de Investigación Científica REBIOL*, 39 (2), 3 – 18. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/faccbiol/article/view/2729/2790>
- Sumikura, M., Hidaka, M., Murakami, H., Nobutomo, Y. & Murakami, T. (2007). Ozone micro-bubble disinfection method for wastewater reuse system. *Water Science & Technology*, 56 (5), 53 – 61. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.556>
- Vilela, R. (2010). Estudio del recurso natural humedales de villa maría y su importancia en el desarrollo urbano, ambiental y turístico en la ciudad de Chimbote – Perú. *UCV – Scientia*, 2(1), 81-90. <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/UCV-SCIENTIA/article/view/237>