

Determinación de metales pesados en los cuerpos de agua del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, Región Callao, Perú

Determination of heavy metals in water bodies from the Regional Conservation Area Wetlands of Ventanilla-Callao, Peru

Narda Fajardo Vidal¹, Hilda Solís Acosta², Fernando Gil Villacres³

Recibido: Agosto 2015 - Aprobado: Diciembre 2015

RESUMEN

Los metales pesados muchas veces se encuentran como contaminantes de las aguas. Por dicha razón en el presente estudio se llevó a cabo la determinación de metales pesados (Hg, Cd, Pb, As) en los cuerpos de agua del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante el método de Inducción de Plasma Acoplada (ICP). Se colectaron muestras de agua en 17 estaciones de muestreo durante tres periodos de monitoreo para el análisis de cuatro variables de la calidad fisicoquímica de los cuerpos de agua. La presencia de estos elementos en el agua es motivo de interés ambiental y para la salud de las comunidades humanas asociadas a los cuerpos de agua. Algunos metales son rápidamente atrapados por los sedimentos, por lo que su presencia en la columna de agua es indicador de contaminación reciente. Se compararon las características fisicoquímicas halladas, con los límites establecidos en la legislación peruana del 2008 y 2015. En el caso de los metales pesados, el plomo, el arsénico y el mercurio exhiben valores más altos por lo que se discuten sus fuentes de origen potencial.

Palabras clave: Metales pesados, Cuerpos de agua, Plomo, Cadmio, Mercurio, Arsénico, Humedal.

ABSTRACT

Heavy metals are often found as contaminants in the water. Accordingly, the current study was conducted to determine heavy metals (Hg, Cd, Pb, As) in water bodies from the Regional Conservation Area Wetlands of Ventanilla by the method of Inductively Coupled Plasma (ICP). Water samples were collected at 17 sampling stations for three monitoring periods for the analysis of four variables of the physico-chemical quality of the water bodies. The presence of these elements in water are important for environmental and health of human communities associated with water bodies. Some metals are quickly trapped by sediments, so its presence in the water column is indicative of recent contamination. The physicochemical characteristics found were compared with the proposed concentration limits of the Peruvian law of 2008 and 2015. In the case of heavy metals, lead, arsenic and mercury have higher values so that their potential sources are discussed.

Keywords: Heavy metals, Bodies of Water, Lead, Cadmium, Mercury, Arsenic, Wetlands

¹ Egresada de la Maestría en Ciencias Ambientales, mención Gestión y Control de la Contaminación de la FIGMMG, UNMSM; Estudiante del Programa de Complementación Pedagógica de la Facultad de Educación, UNMSM. E-mail: stella_fv@yahoo.es

² Facultad de Medicina, IMT, Departamento de Microbiología Médica. E-mail: hsolisa@unmsm.edu.pe

³ Gobierno Regional del Callao, Jefatura del ACR Humedales de Ventanilla. E-mail: fernando_mgv28@yahoo.es

I. INTRODUCCIÓN

Para Davis, Blasco y Carbonell (1996), los humedales son extensiones de marismas, pantanos, turberas, superficies cubiertas con agua y áreas de agua marina con profundidades no mayores a 6m en marea, los cuales pueden tipificarse como subsistemas: marino, estuarino, ribereño, lacustre y palustre (Bravo y Windevoxhel, 1997).

Los humedales son ecosistemas donde se encuentran plantas que dependen íntimamente de los cuerpos de agua (Mitsch y Gosselink, 2007). Dentro de ellos podemos considerar a área de pantanos, ciénagas, turberas de agua, permanentes o temporales, con agua estática o que fluye, dulce, salobre o salada, incluyen áreas donde la profundidad marina con marea baja no excede los seis metros (Ramsar, 1989). Por la gran diversidad de organismos que alberga, y por la cantidad de servicios ecosistémicos que nos proveen, los humedales son ecosistemas muy importantes de la Costa central del Perú (Carazas, et. al., 2016).

Los bienes y servicios que presentan los humedales están íntimamente relacionados al agua, suelo, gases, nutrientes y al clima. Entre los servicios ecosistémicos se encuentran el control de las corrientes de agua y la mantención de su calidad, la regulación de los niveles de carbono global y la provisión de ambientes de gran valor cultural, recreacional y turístico (Carazas, et. al., 2016).

La Estrategia Nacional de Humedales del Perú señala que es necesario contar con un inventario y una evaluación actualizada de los humedales en cada región, con el objetivo de obtener información que sirva de base científica para la toma de decisiones sobre la gestión, aprovechamiento y conservación de estos ecosistemas (Suárez, et. al., 2015). Uno de los humedales que ha venido ganando atención por la comunidad científica local es el Área de Conservación Regional (ACR) Humedales de Ventanilla, el cual se ubica en la Provincia Constitucional del Callao. Este humedal alberga una riqueza grande de aves, plantas, mamíferos, protozoarios entre otros grupos (Carazas, et. al., 2016).

Este ecosistema está compuesto por gramadales, juncuales y salicorniales, así como de cuerpos de agua que son hábitat de una gran cantidad de aves y plantas (Guillén, et. al., 2015). También se conoce que los humedales constituyen una excelente fuente de agua para

uso doméstico, industrial y agrícola, además de actuar en algunos casos como retenedores naturales del líquido, regulando su flujo, evitando inundaciones y permitiendo la recarga de los acuíferos (Mostacero, et. al., 2008).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización del Área de Estudio

La investigación se realizó de marzo a agosto del 2015, en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, ubicado en la parte baja y centro occidental de la Cuenca del Río Chillón, en el Departamento de Lima, Región Callao, Distrito de Ventanilla. Sus coordenadas geográficas, son $-77^{\circ} 9' 12.24''$; $- 77^{\circ} 8' 16.8''$ LO y $-11^{\circ} 16' 41.8794''$; $- 11^{\circ} 54' 15.4794''$ LS (Sobre la base del Decreto Supremo N° 003-2012-MINAM).

El área natural protegida presenta una extensión de 275.45 hectáreas. Esta reserva fue creada el 20 de diciembre del 2006 mediante Decreto Supremo 074-2006 AG, como un área de conservación regional. La administración se encontraría a cargo del Gobierno Regional del Callao a través de la Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente (Carazas et. al., 2016) (GRC 2008-2014).



Figura N° 1. Localización de las estaciones de muestreo del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, Callao, Perú

2.2 Muestra

Se tomaron muestras de agua en cada una de las diecisiete estaciones de muestreo con el fin de realizar la caracterización química de metales pesados (Arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomo) durante las tres épocas de monitoreo (Febrero, Mayo y Agosto). Para el establecimiento de las estaciones de muestreo se consideró las zonas más críticas, los cuerpos de agua no estacionales y de importancia ecológica. Se establecieron 17 estaciones de muestreo considerando 7 estaciones establecidas en el Plan Maestro 2008, bajo el esquema de triangulación, de tal manera que estas permitieron la interpolación de los datos de las estaciones de muestreo mediante técnicas de análisis geo estadístico, establecido a partir del variograma de mejor ajuste y permitieron evaluar la tendencia (gradiente) mediante la generación de isolíneas.

De las 17 estaciones de muestreo 15 fueron de agua superficial y 2 fueron de agua subterránea. Las estaciones de muestreo M-1,M-2,M-3,M-4,M-5,M-6,M-7,M-8,M-9,M-10,M-11,M-12,M-13, M-14,M-15 fueron de agua superficial, de estas, las estaciones de muestreo M-8 y M-9 corresponden a canales de agua superficial que sufren de presión ambiental constante, según reportes del gobierno regional en ocasiones dichos canales son tapados por los pobladores que buscan ganar espacio con fines de invasión, por tal motivo se establecieron 2 piezómetros que fueron las estaciones M-16 y M-17 (estaciones de agua subterránea) para efectos de realizar la triangulación y no perder información.

2.3 Recolección

Se colectaron muestras simples por cada estación de muestreo. La cantidad de muestra fue de 250 ml de agua, en envases de plástico nuevos, rotulados adecuadamente y congelados inmediatamente para limitar la actividad biológica y prevenir cualquier transformación química.

Las muestras fueron enviadas al laboratorio ambiental Servicios Analíticos Generales, acreditado por el INDECOPI - Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, donde se analizaron los parámetros señalados.

2.3.1. Muestreo de Agua Subterránea

Se ubicó la estación de muestreo y se preparó el área de trabajo alrededor del piezómetro, se colocó una cubierta plástica sobre el suelo para prevenir la contaminación cruzada. Por tratarse de un piezómetro de monitoreo, se retiró el seguro a la tapa y se abrió. Procedimos a colocarnos los guantes de látex. Retiramos la cubierta de la sonda de interfase y tomándola con un paño limpio revisamos el extremo metálico de la misma. En la boca del piezómetro, y cuidando de no introducir en él materia extraña alguna, marcamos el punto desde el cual se midió la profundidad del nivel de agua. Conociendo el nivel del agua y la profundidad del piezómetro, se calculó el volumen de la columna de agua del piezómetro. Se procedió a purgar el piezómetro empleando una bomba sumergible para ello se instaló una bomba peristáltica. Se empleó el Criterio del Volumen Almacenado en el Piezómetro: Se encendió la bomba y se retiró del piezómetro un volumen de agua igual a al menos unas tres (03) veces el volumen del piezómetro. También se empleó el Criterio de la Estabilización de Parámetros: Se instaló la celda de flujo para la medición de parámetros a la línea de descarga de la bomba. La celda tenía instalada la sonda para medición de conductividad del multiparámetro. Se encendió la bomba y cada cierto tiempo se leía la conductividad del agua que pasaba por la celda. Cuando la lectura se estabilizó se pudo iniciar el muestreo. Se empleó un bailer para cada piezómetro. Se bajó el bailer suavemente hasta que entro en contacto con la superficie del agua, evitando en todo momento que se perturbase los sedimentos y que entre en contacto con las paredes del piezómetro. Cada vez que se sacó el bailer del piezómetro, se medía sin demora empleando el criterio de estabilización de parámetros. Cuando se alcanzó la estabilidad se pudo iniciar el muestreo. Para los parámetros fisicoquímicos, antes de la toma de las muestras se enjuago cada envase dos veces con el agua a muestrear. Una vez preservadas, tapadas herméticamente y rotuladas, las muestras se colocaron en caja térmicas (coolers), en posición vertical, con sus respectivos geles refrigerantes, a una temperatura aproximada de 4°C y con su correspondiente Cadena de Custodia. Además se consignaron los datos de temperatura y las estaciones de muestreo, así

como la dirección del laboratorio y el lugar de origen.

2.3.2. Muestreo de Aguas Superficiales

Se identificó los parámetros y sus respectivos preservantes, materiales y cuidados a tomar. Los frascos, materiales y equipos para muestreo estaban en buen estado, limpios y exentos de contaminantes.

Al momento de salir a muestrear se colocaron los geles o hielo (refrigerantes) dentro de cajas térmicas (coolers). Se realizó el muestreo en zonas no turbulentas, de corriente uniforme. Se evitó tomar muestras en la superficie y en el fondo del cuerpo de agua superficial. Se evitó remover los sedimentos. Se tomaron los frascos sin destaparlos y se sumergieron bajo la superficie del agua a una profundidad de 20 a 30 cm, tras lo cual se giraron de manera que la boca apuntaba hacia la corriente (si es que existía), o bien creando dicha corriente por arrastre de la botella en el interior del agua, se abrió y se tomó la muestra. Luego se tapó el envase antes de sacarlo del agua. Para los parámetros fisicoquímicos se enjuago el envase con el agua a muestrear, al menos unas dos veces antes de tomar la muestra. Se tomó la precaución de evitar la formación de burbujas en el recipiente y se llenó por completo.

2.4 Análisis de las Muestras

La concentración de metales se analizó mediante la técnica de ICP (Inducción de Plasma Acoplado). EL método analítico de ICP es una técnica usada para detectar las trazas de metales en muestras en general. La meta del ICP es hacer que los elementos emitan su onda específica de luz la cual puede ser medida. (Martin et al, 1994).

2.5 Tratamiento de los datos

Para evaluar los datos de la calidad del agua, se analizaron por separado los resultados de cada una de las estaciones de muestreo, generando una tabla en la cual se registraron los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros tanto en el primer, segundo y tercer periodo de monitoreo, con el fin de analizar estos resultados con la normatividad correspondiente y determinar los niveles de deterioro del recurso.

La interpolación de los datos de las estaciones de muestreo mediante técnicas de análisis geo estadístico, permitió evaluar la tendencia (gradiente) regional del parámetro Plomo e identificar las áreas o sectores 'anómalos' con respecto a esa tendencia regional. La proyección cartográfica se realizó con el Programa Arc Gis 10.3 en el sistema de coordenadas UTM WGS84. Conjuntamente con este software se utilizó la extensión 3D Analyst Tools del programa Arc Map 10.3, opción Rater Interpolación; herramienta Spline que se encarga de la interpolación de puntos y que permitió la elaboración de las isolíneas que se utilizaron para la representación de fenómenos continuos, consistentes en el trazado de líneas que unen puntos de igual valor. Las isolíneas se emplean para poner de manifiesto distribuciones de todas aquellas características que puedan ser cuantificadas y representadas por un conjunto de puntos, un ejemplo son las isoterms (líneas de igual temperatura) (Franco y Valdez, 2003).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los períodos de monitoreo el análisis de las muestras de agua mostraron valores (para tres parámetros) por encima del límite máximo permisible para la conservación de ambientes acuáticos en algunas de las estaciones de muestreo (ver Tablas N.º 1, 2, 3 y 4).

Los valores de plomo, mercurio y arsénico del Humedal de Ventanilla sobrepasaron o estuvieron cercanos a los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua según normas establecidas por el Ministerio del Ambiente, según D.S. N° 002-2008-MINAM y el D.S. N° 004-2015-MINAM. Para aguas destinadas a la conservación del medio ambiente acuático (estuarios), los valores encontrados estuvieron por encima de los estándares. Los límites establecidos según normativa son: Para el plomo (estándar de 0,0081 mg/L), el mercurio (estándar de 0,001 mg/L), el arsénico (estándar de 0,05 mg/L) y el cadmio (estándar de 0,005 mg/L), de los cuales solo el cadmio no supero los límites máximos permisibles en las estaciones evaluadas. En cuanto al arsénico cuyo estándar es 0,05 mg/L en el (Estándar de Calidad Ambiental del Agua) ECA 2008 y 0,036 mg/L en el ECA 2015 para la conservación del ambiente acuático, los valores superaron el estándar en las estaciones M-4, M-6, M-10, M-13, M-16 y M-17.

La presencia de mercurio (Hg) estándar es 0,001 mg/L en el ECA 2008 y 0,0001 mg/L en el ECA 2015 para la conservación del ambiente acuático, los valores superaron el estándar en las estaciones M-1 y M-15. Se detectó plomo (Pb) en 11 estaciones de muestreo. El valor estándar es 0,0081 mg/L en el ECA 2008 y en el ECA 2015 para la conservación del ambiente acuático, los valores superaron el estándar en las estaciones M-4, M-5, M-6, M-7, M-9, M-10, M-11, M-12, M-13, M-16 y M-17. Cabe resaltar que la concentración de plomo fue alta en la estación M-10 (0,1138 mg/L).

En todas las estaciones, las concentraciones de Cadmio se encontraron por debajo de los límites máximos permisibles.

En cuanto al mercurio su presencia podría deberse a conflictos como el arrojado de desmontes y residuos sólidos, entre los residuos están los RAE (Residuos de fluorescentes, bombillas eléctricas) que contienen trazas de mercurio. En el reporte de patrullajes del área de conservación regional humedales de Ventanilla del día 14 de agosto del 2015, el personal de ACR Humedales de Ventanilla realizó una evaluación de los canales acuáticos adyacentes al A.H. Valle Verde, reportando una mayor presencia de montículos de desmonte, ladrillos rotos, esteras y residuos sólidos en todos los canales acuáticos. El mercurio puede contaminar el agua o a la tierra a causa de depósitos naturales de este metal o por el que se eliminan en los basureros. El metilmercurio es bioacumulable, es decir se acumula en los tejidos de peces.

En cuanto al plomo, no se conocen depósitos de este metal en el área, por lo que su presencia en el agua puede tener otros orígenes. Es necesario considerar que el plomo tiene su origen no sólo en la erosión de depósitos naturales, sino también pueden provenir de las aguas residuales domésticas que contienen desechos metabólicos, jabones y detergentes, los cuales contribuyen con cantidades apreciables de los mismos, así como de cromo y zinc (Correa, 2014).

Cabe mencionar que en ninguno de los asentamientos humanos existentes en el área se tratan las aguas residuales, aún más, al no contar con servicio de alcantarillado público como es el caso del A.H. Valle Verde adyacente a los humedales quienes vierten sus aguas residuales en los canales próximos a sus domicilios como consta en los reportes de vigilancia del 27 de mayo del 2014 realizado por

el personal guardaparque del ACR Humedales de Ventanilla del Gobierno Regional, por lo que se identifica como una fuente de contaminación directa de las aguas en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla.

En el caso del plomo, cabe recordar que es un aditivo de la gasolina y se encuentra presente en las baterías de los carros, fuentes orales de la población manifestaron como alteraciones anteriores al ecosistema el entierro de baterías de autos en varias zonas del humedal de tal manera que contribuirían con la carga de plomo en las estaciones de muestreo.

Existen depósitos de concentrado de mineral enterrado en la zona de amortiguamiento donde se estableció la estación de muestreo M-4, dichos depósitos datan del año 2004, fuentes orales de la Gerencia de Recursos Naturales y Gestión de Medio Ambiente manifestaron que dicha actividad fue clandestina y se realizó antes de la creación del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla. Estos minerales no fueron tratados por lo que podrían estar afectando los acuíferos subterráneos y las aguas superficiales del humedal y explicaría los resultados obtenidos en las estaciones de muestreo M-4, M-6, M-16 y M-17 donde los valores de Arsénico y Plomo superaron los límites máximos permisibles. Posiblemente, estos metales estén afectando directamente al ser humano o a través de la bioacumulación por peces que son ingeridos por la población como es el caso de la tilapia. En algunos de los cuerpos de agua de los humedales se encuentran cantidades considerables de peces pequeños, fundamentalmente ornamentales y algunas tilapias (Rojas, 2010).

La afectación del plomo en aves y en la población podría ocasionar cuadros de saturnismo que es el envenenamiento que produce el plomo (Pb) cuando entra en el cuerpo humano. Se denomina saturnismo hídrico al que se produce a través del agua ingerida, pues el plomo, mineral inoxidable muy maleable, no confiere gusto al agua ni a los alimentos. El saturnismo genera anemia, debido a que el plomo en la sangre bloquea la síntesis de hemoglobina y altera el transporte de oxígeno a la sangre y hacia los demás órganos del cuerpo. Se cree que estas reacciones son provocadas tras la sustitución de los metales como el calcio, el hierro y el zinc por plomo dentro de las enzimas; las diferencias en las propiedades químicas provocan que no cumplan debidamente las funciones enzimáticas.

Tabla N° 1. Concentración de Arsénico en Aguas Superficiales de cuerpos de agua en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla. Concentración expresada en mg/L.

Estación	Arsénico		Arsénico		Arsénico	
	Febrero	Mayo	Agosto	ECA	ECA	
					2008	2015
M-1	<0.001	<0.001	<0.001	0.05	0.036	
M-2	<0.001	<0.001	<0.001	0.05	0.036	
M-3	<0.001	<0.001	<0.001	0.05	0.036	
M-4	0.231	0.073	0.004	0.05	0.036	
M-5	0.002	<0.001	<0.001	0.05	0.036	
M-6	0.066	0.032	0.051	0.05	0.036	
M-7	0.033	0.008	0.020	0.05	0.036	
M-8	0.014	0.006	0.008	0.05	0.036	
M-9	0.026	0.005	0.002	0.05	0.036	
M-10	0.054	0.008	<0.001	0.05	0.036	
M-11	0.013	0.005	<0.001	0.05	0.036	
M-12	0.013	<0.001	<0.001	0.05	0.036	
M-13	0.103	0.014	<0.001	0.05	0.036	
M-14	<0.001	<0.001	<0.001	0.05	0.036	
M-15	<0.001	<0.001	<0.001	0.05	0.036	
M-16	0.018	0.048	0.045	0.05	0.036	
M-17	0.085	0.034	0.022	0.05	0.036	

Tabla N° 2: Concentración de Cadmio en Aguas Superficiales de cuerpos de agua en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla. Concentración expresada en mg/L.

Estación	Cadmio		Cadmio		Cadmio	
	Febrero	Mayo	Agosto	ECA	ECA	
					2008	2015
M-1	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-2	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-3	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-4	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-5	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-6	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-7	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-8	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-9	<0.0004	0.0009	<0.0004	0.005	0.0088	
M-10	0.0027	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-11	<0.0004	0.0008	<0.0004	0.005	0.0088	
M-12	0.0038	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-13	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-14	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-15	<0.0004	<0.0004	<0.0004	0.005	0.0088	
M-16	<0.0004	0.0012	0.0010	0.005	0.0088	
M-17	<0.0004	0.0012	<0.0004	0.005	0.0088	

Tabla N° 3: Concentración de Mercurio en Aguas Superficiales de cuerpos de agua en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla. Concentración expresada en mg/L.

Estación	Mercurio		Mercurio		Mercurio	
	Febrero	Mayo	Agosto	ECA	ECA	
					2008	2015
M-1	<0.001	0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-2	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-3	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-4	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-5	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-6	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-7	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-8	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-9	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-10	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-11	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-12	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-13	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-14	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-15	<0.001	<0.001	0.147	0.001	0.0001	
M-16	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	
M-17	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.0001	

Tabla N° 4: Concentración de Plomo en Aguas Superficiales de cuerpos de agua en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla. Concentración expresada en mg/L.

Estación	Plomo		Plomo		Plomo	
	Febrero	Mayo	Agosto	ECA	ECA	
					2008	2015
M-1	<0.0004	<0.0004	0.0018	0.0081	0.0081	
M-2	<0.0004	0.0009	0.0007	0.0081	0.0081	
M-3	<0.0004	0.0013	0.0010	0.0081	0.0081	
M-4	0.0453	0.0131	0.0126	0.0081	0.0081	
M-5	0.0165	0.0087	0.0248	0.0081	0.0081	
M-6	0.0139	0.0026	0.0040	0.0081	0.0081	
M-7	0.0137	0.0067	0.0010	0.0081	0.0081	
M-8	0.0032	0.0029	0.0013	0.0081	0.0081	
M-9	0.0146	0.0009	<0.0004	0.0081	0.0081	
M-10	0.1138	0.0047	<0.0004	0.0081	0.0081	
M-11	0.0465	0.0628	0.0024	0.0081	0.0081	
M-12	0.0841	0.0033	0.0298	0.0081	0.0081	
M-13	0.0587	0.0008	0.0065	0.0081	0.0081	
M-14	<0.0004	0.0035	0.0022	0.0081	0.0081	
M-15	<0.0004	0.0024	0.0050	0.0081	0.0081	
M-16	0.0243	0.0187	0.0146	0.0081	0.0081	
M-17	0.0937	0.0348	0.0156	0.0081	0.0081	

Se tiene reportes de ingesta de perdigones de plomo en humedales del mediterráneo (Suarez y Urios, 1999). El plomo es peligroso en la naturaleza pero es en las zonas húmedas en donde el impacto es superior, contiene en sus sedimentos concentraciones elevadas de perdigones (bolas de plomo que constituyeron una munición). El plomo es un metal pesado contaminante, resistente a las condiciones existentes en la intemperie. Sin embargo más rápido o más lento, el plomo se disuelve y contamina el agua dulce.

Por último el plomo es un veneno para la fauna. Es un metal pesado tóxico para cualquier organismo viviente. En forma de sales o compuestos que contaminen el suelo o las aguas, puede ser absorbido y contaminar microorganismos, flora y fauna, y de esta manera incorporarse a las cadenas tróficas alimentarias (Suarez y Urios, 1999).

Los metales pesados pueden ser emitidos al medio ambiente tanto por fuentes naturales como antropogénicas (Duruibe, et. al., 2007).

Los metales traza tienen el potencial de bioacumularse y las tendencias globales de bioacumulación en humanos se dan en pelo, uñas y suero (Jawad, et. al., 2015).

Según el trabajo de Juan D. Correa en los Humedales del Plano de Inundación del Río Atrato (Colombia) la presencia de mercurio (Hg) y cadmio (Cd) no se pudo detectar en la mayoría de las muestras, y en las que fue posible medir concentración se encontró por debajo de los valores admisibles para aguas de consumo humano, de uso pecuario y agrícola; en todas las ciénagas se detectaron plomo (Pb); sin embargo sus concentraciones están por debajo de los límites admisibles de referencia reportándose solo concentraciones altas en la ciénaga de Tadia, en las otras ciénagas las concentraciones de plomo se encontraron por debajo de los criterios señalados para los diferentes usos (Correa, 2014). En nuestra investigación los hallazgos fueron más críticos para el plomo encontrándose 11 estaciones de muestreo con valores por encima del límite máximo permisible.

En la investigación realizada por Berardo Beder Ruíz Sánchez realizado en el Humedal El Paraíso (Perú) también se reportó que la concentración de mercurio en el agua fue superior al establecido en los estándares de calidad de agua para conservación del ambiente

acuático dado por el ministerio del Ambiente según el D.S. N° 002-2008-MINAM (Ruiz, et. al., 2013).

Los valores plomo, cadmio, mercurio y arsénico del humedal El Paraíso sobrepasaron o estuvieron cercanos a los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua según normas establecidas por el Ministerio del Ambiente, según D.S. N° 002-2008-MINAM de acuerdo a lo reportado por El Peruano (2008). Dichos hallazgos coinciden con nuestros resultados en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, para aguas destinadas a la conservación del medio ambiente acuático (estuarios), lo que evidenciaría una problemática en común para nuestros humedales costeros.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El presente estudio ha determinado la presencia de metales pesados como el Arsénico, Mercurio, Plomo y Cadmio en los cuerpos de agua superficial y en las dos estaciones de agua subterráneas M-16 y M-17 del ACR Humedales de Ventanilla.
2. Las estaciones de muestreo más afectadas con Arsénico y Plomo fueron las establecidas en las zonas de amortiguamiento M-4, M-6 y las estaciones establecidas en el transecto de aves M-13 y en el espejo rojo M-10 por lo que explicaría el hallazgo de algunas aves muertas en febrero del 2015, las estaciones de agua subterráneas M-16 y M-17 también reportan valores por encima de los límites máximos permisibles y están próximas a la zona de influencia de la estación M-4 por lo que el depósito de minerales en las proximidades de dicha estación habría afectado el acuífero subterráneo.
3. El plomo se reporta en la mayoría de las estaciones de muestreo y es preocupante su presencia en estaciones donde hay presencia de aves como las estaciones M-4, M-5, M-6, M-7, M-9, M-10, M-11, M-12, M-13 porque podría causarles saturnismo y cuadros de anemia.
4. La presencia de plomo en las estaciones M-5, M-6, M-7, M-9 y M-12 estaría afectando a los peces por ser bioacumulable y a través de la cadena trófica afectaría a las aves que los consumen. En los reportes de patrullajes así como en los controles de amenazas de los guardaparques del ACR y en el Plan

- Maestro 2008 se declara como amenaza la pesca clandestina y el consumo de peces por parte de los pobladores de las zonas colindantes al humedal por lo que estaría afectando la salud de las personas.
5. Entre las posibles fuentes de contaminación se tiene los depósitos de concentrado de mineral enterrado en la zona de amortiguamiento donde se estableció la estación de muestreo M-4, al ser minerales no tratados podrían estar afectando los acuíferos subterráneos y las aguas superficiales del Humedal, también es preocupante los vertimientos de aguas residuales de algunos asentamientos humanos a los cuerpos de agua del humedal, los depósitos de desmonte de material de construcción y residuos sólidos que afectan canales de agua.
 6. Es preciso conocer cómo los metales afectan la calidad del agua en los cuerpos de agua del Área de Conservación Humedales de Ventanilla, por lo que algunos parámetros fisicoquímicos pueden reflejar las alteraciones a las que se han visto sometidos.
 7. Es importante conocer la magnitud de la contaminación por metales pesados en toda la Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla. La presencia de estos elementos en el agua es motivo de interés ambiental y para la salud de las comunidades humanas asociadas a los cuerpos de agua.
 8. Se sugiere la realización de más investigaciones en el área de estudio, así como biorremediaciones en las zonas afectadas, la identificación de fuentes de contaminación, la realización de campañas educativas y su incorporación como tema de trabajo y debate en la Comisión Regional Ambiental (CAR) Callao y sus grupos técnicos.
 9. Es necesario desarrollar estudios más detallados que abarquen las variaciones espaciales y temporales de las características fisicoquímicas y microbiológicas de los cuerpos de agua y los sedimentos del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla para alcanzar un nivel de conocimiento más profundo de sus características, por lo que se hace indispensable iniciar mayor número de investigaciones que relacionen éstos contaminantes, ya que su presencia en el agua podría causar problemas de salud en las personas y en la fauna silvestre.
 10. A pesar que en las estaciones de muestreo las concentraciones de Cadmio no representen niveles preocupantes, si merece atención su exploración en los sedimentos y los procesos de bioacumulación y biomagnificación en los organismos acuáticos, ya que para las poblaciones humanas que aprovechan los recursos pesqueros en el área su consumo puede generar problemas de salud.
 11. El desarrollo de estrategias para el manejo de aguas residuales domésticas, así como de los residuos sólidos, es un componente fundamental de cualquier programa que pretenda el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades colindantes al Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla. A pesar que actualmente no se emplea el agua de las lagunas para consumo humano o doméstico, el contacto con esta agua se presenta durante la actividad de pesca artesanal furtiva, las actividades recreativas de los bañistas clandestinos y el transporte en botecito, por lo que las personas, principalmente los pescadores furtivos, están expuestas a contraer enfermedades.
 12. Se sugiere una evaluación médica y dosaje de metales pesados en la población expuesta. Así como estudios toxicológicos en flora y fauna del Humedal.

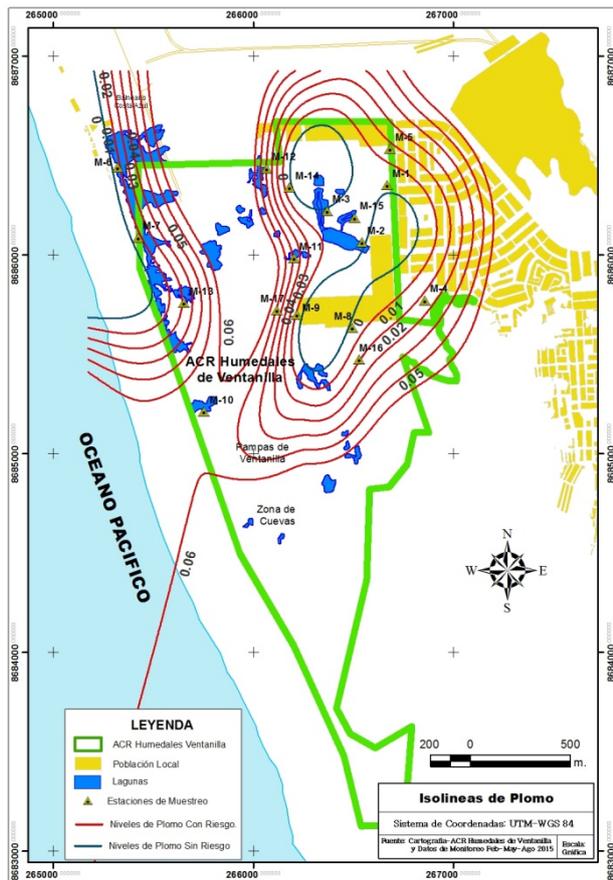


Figura N° 2: Isocóncas de Plomo en los cuerpos de agua en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla. Concentración expresada en mg/L.

V. AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a la empresa Servicios Analíticos Generales (S.A.G) por el apoyo en la realización de este proyecto de investigación. Otro agradecimiento al Ingeniero Fernando Manuel Gil Villacres Jefe Administrador del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla y a los guardaparques por toda su colaboración durante el desarrollo del presente estudio.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bravo, J. & Windevoxel N. (1997). *Manual para la Identificación y Clasificación de Humedales en Costa Rica*. Recuperado de <https://www.iucn.org/es/content/manual-para-la-identificaci%C3%B3n-y-clasificaci%C3%B3n-de-humedales-en-costa-rica>
2. Carazas, N., Gil, F., Aponte, H., Velásquez, W., Paucar, M., Salazar, R. & Zárate R. (2016). Área de Conservación Regional

Humedales de Ventanilla: Estado Actual del Conocimiento Biológico y Turístico. *Novum Otium*. Vol(2)1-16. Recuperado de https://www.academia.edu/27654543/AREA_DE_CONSERVACION_REGIONAL_HUMEDALES_DE_VENTANILLA_ESTADO_ACTUAL_DEL_CONOCIMIENTO_BIOL%C3%93GICO_Y_TUR%C3%8DSTICO_REGIONAL_CONSERVATION_AREA_WELTANDS_OF_VENTANILLA_STATE_OF_BIOLOGICAL_AND_TOURISTIC_KNOWLEDGE

3. Correa, J.D. (2014). Calidad del Agua en Humedales del plano de inundación del Río Atrato. *Rev. Ciencias Ambientales y Sostenibilidad CAS Vol.1* (1), pp. 93-109. Recuperado de <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/CAA/article/view/16917/16758>
4. Duruibe, J.O., Ogwuegbu, M.O & Egwurugwu. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences Vol. 2*(5), pp. 112-118. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/267362952_Heavy_Metal_Pollution_and_Human_Biotoxic_Effects
5. Franco, S. & Valdez, M.E. (2003). *Principios Básicos de Cartografía y Cartografía Automatizada*. México, ISBN. Recuperado de <http://www.worldcat.org/title/principios-basicos-de-cartografia-y-cartografia-automatizada/oclc/57450145>
6. Jawad, M., Syed, A. M.A.S.E., Mauro, F., Ambreen, A., Irfan, M., Nadeem, A., Liangpo, L., Siyuan, P & Heqing, S. (2015). Human exposure to toxic metals via contaminated dust: Bio-accumulation trends and their potential risk estimation. *Chemosphere, Vol* (132), pp.142-151. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25840340>
7. Gobierno Regional del Callao-GRC (2008-2014). «*Plan Maestro del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla*». Callao. Recuperado de <http://www.oceandocs.org/handle/1834/8220>
8. Guillén, G., Aponte, H., Bacigalupo, X., Rodríguez, R. (2015). Protozoarios de vida libre del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla Callao, Perú) en el período septiembre 2011-enero 2012. *Rev. Científica*. Vol.12 (1), pp.61-69. Recuperado: http://aplicaciones.cientifica.edu.pe/repositorio/catalogo/_data/17.pdf

9. Martin, T.D., Brockhoff, C.A., Creed J.T. (1994). *Environmental Protection Agency. Method 200.7. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry*. Recuperado: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/method_200-7_rev_4-4_1994.pdf
10. Mitsch, W. & Gosselink, J. (2007). *Wetlands* (5.a ed.). Recuperado de: <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1118676823.html>
11. Mostacero, J., Ramírez, R. & Mejía, F. (2008). Caracterización biológica, física y química de los Humedales altoandinos de La Libertad, Perú, 2008. *RevREBIOL*. Vol. 28(2), pp. 91-98. Recuperado de: www.facbio.unitru.edu.pe/index.php?option=com_docman&task=doc...
12. Secretaría de la Convención de Ramsar (1971). *Manual de la Convención de Ramsar*. Recuperado de: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf
13. Rojas, M. (2010). Situación actual y perspectivas turísticas de los humedales de Ventanilla – Callao. *Rev. CULTURA Vol* (24), pp. 1-20. Recuperado de: http://aplicaciones.cientifica.edu.pe/repositorio/catalogo/_data/22.pdf
14. Ruiz, B., Rodríguez, R. & Ipanaqué, J. (2013). Determinación de la acumulación de Metales Tóxicos en agua, sedimento y biota del Humedal el Paraíso. *Rev. Infinitum*. Vol. 3(2), pp. 57-63.
15. Suarez, C. & Urios, V. (1999). La contaminación por saturnismo en las aves acuáticas del parque natural de El Hondo y su relación con los hábitos alimenticios. *Rev. SEHUMED*. Vol. 1, pp. 83-90. Recuperado: http://www.sehumed.es/banco/archivos/SEHUMED10_colecc83.PDF
16. Suárez, E., Orrego, M. & Regal, F. (2015). Evaluación Ecológica Rápida del Humedal de Tragadero (Junín, Perú). *Rev. Científica*. Vol. 12 (2), pp.132-144. Recuperado: <http://revistas.cientifica.edu.pe/index.php?journal=cientifica&page=article&op=view&path%5B%5D=160&path%5B%5D=179>