

Estado trófico del lago Pomacochas a través de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos

Trophic state of Pomacochas lake through physicochemical and bacteriological parameters

^aJhesibel Chávez Ortiz¹, ^bDámaris Leiva Tafur¹, ^cJesús Rascón², ^dIngrith Hoyos¹ y ^eFernando Corroto^{2*}

RESUMEN

El lago Pomacochas se encuentra en un área de gran importancia agropecuaria y piscícola, actividades que suponen la base de la economía local. En este sentido, la población establecida en sus márgenes descarga parte de sus efluentes cloacales así como los derivados de la ganadería y la agricultura, sin tratamiento, en el lago, lo que genera un impacto sobre este.

En el presente trabajo se evaluó el estado ecológico del lago Pomacochas, haciendo uso de parámetros microbiológicos, fisicoquímicos, y la aplicación del índice de contaminación trófica. Para tal fin se realizaron muestreos en Junio y Julio de 2015. Las mayores concentraciones bacterianas se presentaron en la zona centro-oeste del lago, coincidiendo con la cercana población de Florida-Pomacochas, con valores superiores a 1600 NMP de coliformes/ 100ml, evidenciando la existencia de contaminación de origen fecal en esta zona. Según los Estándares de Calidad Ambiental para aguas del Perú, el agua fue apta sólo para las categorías III y IV. En cuanto a la búsqueda de posibles indicios de eutrofización del lago, las variables analizadas en su mayoría no demuestran que exista esta posibilidad actualmente, pero no se descarta este problema a futuro según el índice de contaminación trófica aplicado.

Palabras clave: Estado ecológico, Lago Pomacochas, calidad de agua, Eutrofización, Estándares de calidad ambiental.

ABSTRACT

Pomacochas lake is located in an area of great agricultural and fisheries importance, activities involving the base of the local economy. In this sense the population living in their margins discharge of their sewage and livestock and agriculture derivatives in the lake without treatment, making an impact on this.

In this paper was assessed the ecological status of Pomacochas lake, using microbiological and physicochemical parameters, and the application of a pollution trophic index. For this purpose samples were taken in June and July of 2015. The highest bacterial concentrations were presented at the central-western area of the lake, coinciding with the close town of Florida-Pomacochas, with higher values than 1600 NMP coliform / 100 ml, showing the existence of fecal contamination in this area. According to the Environmental Quality Standards for waters of Peru, the water was suitable only for categories III and IV. In search for possible signs of eutrophication of the lake, the variables analyzed mostly do not show that this possibility exists currently, but this problem could be occur in the future according to the trophic pollution index applied.

Keywords: Ecological State, Lake Pomacochas, water quality, eutrophication, environmental quality standards.

¹Ingeniero Ambiental. Investigador del INDES-CES.

²Biólogo. Investigador del INDES-CES y docente de la UNTRM.

^ae-mail: jhesibel.chavez@untrm.edu.pe ^be-mail: damaris.leiva@untrm.edu.pe ^ce-mail: jesus.rascon@untrm.edu.pe ^de-mail: ihoyos@indes-ces.edu.pe

^eAutor de correspondencia. E-mail: fcorroto@indes-ces.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la contaminación de los sistemas lénticos de agua se ha visto incrementada de manera exacerbada debido al crecimiento desmesurado de la población y sus inherentes impactos negativos sobre estos ambientes.

Las cuencas hidrográficas funcionan de forma compleja, interrelacionando los sistemas terrestres con los sistemas acuáticos y las partes altas con las partes bajas. Por esta razón la contaminación genera efectos que no se focalizan en una escala local, sino que habitualmente influyen en áreas alejadas, gracias a los efectos de transporte principalmente por el agua de lluvia (Comair *et al.*, 2012).

En este sentido, las actividades humanas y la ocupación no planificada de tierras en las cuencas acuáticas pueden impulsar la eutrofización cultural, que es la principal causa de contaminación del agua (Schindler, 2012), lo que conduce al aumento de las concentraciones de nutrientes y al agotamiento de la biodiversidad (Callisto *et al.*, 2014)

Los procesos de eutrofización o hipertrofia en los lagos se han incrementado considerablemente en las últimas décadas a lo largo de todo el mundo (Smith y Smith, 2007); uno de los casos más conocidos es el que sufre el Mar Caspio (entre Rusia y Kazajistán) por el vertimiento en sus aguas de desechos industriales. Muchos de los principales lagos desde América del Norte hasta América del Sur se enfrentan actualmente a problemas de contaminación derivados, al igual que en el caso anterior, de actividades industriales y agrícolas, como ocurre en los lagos Huron y Erie, entre Estados Unidos y Canadá (Eriksen *et al.*, 2013), en Méjico con el lago Chapala (Beintema, 2006), o en Nicaragua con el lago Cocibolca (Scheibye *et al.*, 2014).

En América del Sur la situación es similar, con casos como el del lago Lugano y el lago Soldati en Argentina (APA, 2013), o el lago Maracaibo en Venezuela (Díaz y Contreras, 2013), que actúan como receptores de desagües cloacales y pluviales provenientes de las ciudades cercanas a estas fuentes de agua. En Colombia y Perú, los lagos con mayor superficie en cada país, el Tota y el Titicaca, respectivamente, sufren sendos procesos de eutrofización, y las principales causas que han provocado esta situación son derivadas del acelerado crecimiento demográfico de varias poblaciones

ribereñas en el primer caso (Abella y Martínez, 2012), y el aumento del turismo no planificado en el área de influencia del segundo, el lago Titicaca, en el cual se ha incrementado significativamente la cantidad de residuos sólidos que se descargan en sus aguas (Fontúrbel *et al.*, 2003; Fontúrbel, 2004).

Existen diferentes indicadores de calidad para determinar el estado trófico de estos cuerpos de agua: relacionados con el análisis de la hidromorfología (Scott y Haggard, 2015), de la bacteriología (Haack *et al.*, 2013), de la fisicoquímica (Weber y Brown, 2011), de parámetros estrictamente bióticos (Kozak *et al.*, 2014) e incluso desde un punto de vista socioeconómico (Brefle *et al.*, 2013).

Hay países en los que el seguimiento y monitoreo de lagos y ríos engloban todas las metodologías antes citadas; ejemplo de ello es la Confederación Hidrográfica del Tajo (España), que ha venido realizando controles sistemáticos de la calidad de las aguas, en siete lagunas de la cuenca hidrográfica de este río, evaluando su estado ecológico (Molina Navarro *et al.*, 2010; Garza Garrido y Orío Hernández, 2012).

Sin embargo, son pocos los estudios sobre la calidad del agua en los lagos de Perú (Fontúrbel, 2005), y hasta la fecha no existen estudios de carácter formal que se hayan enmarcado en la evaluación del estado ecológico de lagos de montaña del norte del país.

El objetivo de este trabajo fue realizar la evaluación del estado ecológico del lago Pomacochas, con la finalidad de precisar las zonas más impactadas a partir de variables físicoquímicas y microbiológicas.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El lago de Pomacochas se encuentra en el distrito de Florida de la provincia de Bongará, en la región Amazonas de Perú (Figura 1). La creciente población del distrito de Florida sobrepasa en la actualidad los 2000 habitantes y ocupa un área urbana de aproximadamente 72,18 hectáreas. (Maco, 2006; INEI, 2015).

El lago está situado a una altitud de 2233 m s. n. m., y posee una superficie de 4 224 635,5 m². La microcuenca del lago de Pomacochas pertenece a la Región Hidrográfica del Amazonas, y dentro de esta se encuadra en la cuenca del Alto Amazonas - Subcuenca Alto Marañón, con una superficie total de la microcuenca de 63 094 082.750 m².

Las condiciones climáticas muestran poca estacionalidad en cuanto a la temperatura anual, en torno a los 14 °C de media al año, existiendo una variación diaria que va desde los 8 °C en la madrugada hasta los 21 °C durante el día. Estos datos fueron obtenidos de la Estación Meteorológica situada en la localidad de Pomacochas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

Muestras

Los muestreos se realizaron durante los meses de Junio y Julio de 2015, en plena temporada seca. Se establecieron seis puntos de muestreo a lo largo del lago con el objetivo de tomar datos y coleccionar muestras en cada uno, para su análisis microbiológico y fisicoquímico (Tabla 1) para que todo estuviera distribuido de manera equilibrada en el lago en relación a las distintas perturbaciones que recibe.

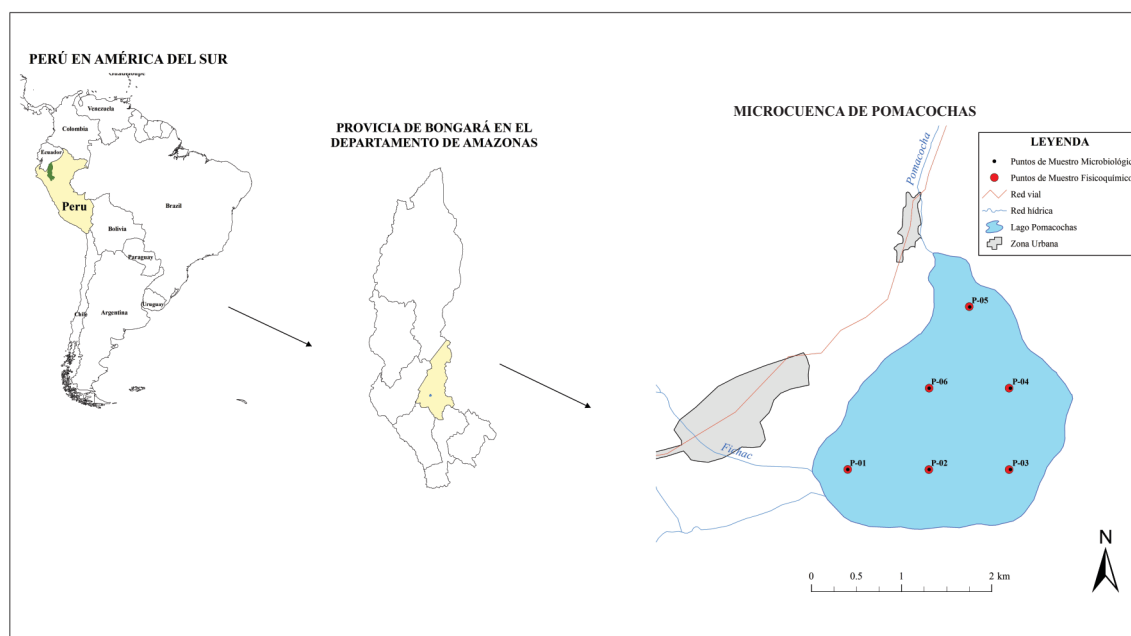


Figura 1. Mapa de la ubicación del Lago de Pomacochas y los puntos de muestreo

La recolección, almacenamiento y traslado de las muestras y los análisis de laboratorio para los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, se realizó siguiendo las directrices del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012), en acuerdo con los Estándares nacionales de Calidad del Agua (ECAs) (MINAM, 2015).

Muestreo microbiológico

La determinación de las estaciones de muestreo microbiológico responde a la morfología del lago. De esta manera se dividió el lago en tres sectores debido a las características heterogéneas de cada uno de ellos. Así nos encontramos con el sector centro-oeste y suroeste (CO-SO), que es el más cercanos a la población principal correspondiente al pueblo de Florida-Pomacochas, y dentro del cual se situaron tres puntos de muestreo, MB-I, MB-II y MB-VI; el sector este (E), que está localizado en el área eminentemente ganadera, donde se emplazaron dos puntos de muestreo, MB-III y MB-

IV; y el sector norte, situado en la zona de drenaje superficial o desaguadero, y en el que se ubicó un único punto de muestreo, el MB-V. Todas las muestras se tomaron a una profundidad de 0,2 m aproximadamente. Para realizar los análisis microbiológicos las muestras se recolectaron en botellas de vidrio previamente esterilizadas, las cuales fueron abiertas en el momento del muestreo. Las mismas fueron almacenadas a una temperatura menor de 4°C y transportadas al laboratorio para su posterior análisis.

El recuento de coliformes totales, termotolerantes, y *Escherichia coli* se realizó mediante la técnica de fermentación en Tubos Múltiples (Numero Más Probable), utilizando caldo Lauril Sulfato, caldo Brilla, caldo EC y agar EMB-Levine. Para la determinación de *Salmonella* sp. (SS) se realizó el análisis mediante filtración por membrana de 47 mm, preenriquecimiento en Agua de Peptona Tamponada (APT), enriquecimiento en caldo Rappaport-Vassiliadis, y posterior siembra en agar SS.

Muestreo fisicoquímico

La determinación de los puntos de muestreo fisicoquímicos continuó las pautas seguidas en el establecimiento de las estaciones microbiológicas, por lo que se situaron en el mismo lugar que estas.

Tanto las seis muestras de agua para laboratorio como los análisis de campo (oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura del agua (T_{ag}) y del aire (T_{ai}), turbiedad (TUR) y conductividad (CE)) se tomaron a una profundidad de 0,2 metros aproximadamente.

Se colectaron muestras para laboratorio en recipientes plásticos de tres litros de volumen, enjuagados tres veces en un punto próximo al punto de muestreo antes de recoger la muestra definitiva; estas muestras fueron transportadas en refrigeradores portátiles hasta el Laboratorio de Investigación en Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza para su análisis. Así, los parámetros fisicoquímicos que se analizaron en el laboratorio fueron: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), alcalinidad (AL), dureza total (DT), cloruros (CL), nitratos (NO₃) y fosfatos (Po₄).

Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreo

*C: Centro; O: Oeste; E: Este; S: Sur.

Punto de Muestreo		Sector
MB	FQ	
MB I	FQ I	CO-SO
MB II	FQ II	CO-SO
MB III	FQ III	E
MB IV	FQ IV	E
MB V	FQ V	N
MB VI	FQ VI	CO-SO

Fuente: Elaboración propia

Índice de contaminación trófica

Para determinar el índice de contaminación trófica (ICOTRO) se tuvo en cuenta los valores de fosfatos (PO₄-P) a partir del análisis fisicoquímico realizado. Este índice se fundamenta únicamente en la concentración de fósforo total o fósforo del fosfato (Ramírez *et al.*, 2007, Guerrero *et al.*, 2012), de tal forma que la concentración del fósforo en el fosfato define por sí misma una categoría discreta que se usará para determinar el estado trófico del lago (Tabla 2).

Tabla 2. Calidad del agua respecto a los valores de PO₄-P

Concentración de PO ₄ -4 (mg/L)	Calidad
< 0,01	Oligotrófica
0,01-0,02	Mesotrófica
0,02-1	Eutrófica
> 1	Hipertrófica

Fuente: Elaboración propia

II. RESULTADOS

2.1. Análisis microbiológicos

En el punto de muestreo MB-II, dentro del sector centro-oeste y suroeste, se alcanzaron los valores más altos con respecto a Coliformes Totales (CT) y Termotolerantes (CF), con más de 1600 NMP/100 mL; de igual manera ocurrió con los valores de *Escherichia coli* (EC) los cuales se situaron en 1600 NMP/100 mL (Tabla 3). Estos datos fueron inferiores, pero igualmente altos en el punto MB-I del mismo sector. Por otra parte, los datos obtenidos fueron similares entre ellos en el resto de puntos de muestreo (MB-III, MB-IV, MB-V y MB-VI), entre los que el MB-V registró los valores más altos en referencia a CT (110 NMP/100 mL), CF (94 NMP/100 mL), y EC (94 NMP/100 mL). El punto MB III presentó valores cercanos al MB-V en CT (94 NMP/100 mL) y CF (49 NMP/100 mL), entretanto el producto obtenido para EC fue sustancialmente menor (34 NMP/100 mL). Por último, el punto MB-VI mostró valores más moderados de CT (2 NMP/100 mL), CF (4 NMP/100 MI), y EC (menor a 2 NMP/100 MI).

En cuanto a los análisis realizados en búsqueda de *Salmonella* sp en las muestras de agua, todos resultaron negativos para cada uno de los seis puntos de muestreo.

Tabla 3. Recuento de coliformes totales, termotolerantes, *Escherichia coli* y *salmonella* sp.

PM	P-MB			
	CT	CF	EC	SS
MB-I	540	350	220	(-)
MB-II	>1600	>1600	1600	(-)
MB-III	94	49	34	(-)
MB-IV	2	4	<2	(-)
MB-V	110	94	94	(-)
MB-VI	70	63	23	(-)

Fuente: Elaboración propia

(-) Ausencia de *Salmonella* sp.

(+) Presencia de *Salmonella* sp.

Análisis fisicoquímicos

Para el conjunto de datos obtenidos en las seis estaciones se observó un cuadro fisicoquímico relativamente homogéneo.

Los valores de alcalinidad oscilaron entre los 118 (FQ-V) y 141 mg/L (FQ-III) de Ca CO₃, y los de dureza total entre los 120 (FQ-I) y 150 (FQ-III) mg/L de Ca CO₃. Los cloruros tuvieron una gran variación entre el punto FQ-II (33,9 mg/L de Cl) y el FQ-III (9,5 mg/L de Cl), contrariamente a lo que se observa para los nitratos y los fosfatos, los cuales se mantienen en todos los puntos de muestreo entre 3,0 y 3,5 mg/L, y entre 0,0 y 0,5 mg/L, respectivamente.

Esta escasa variación en los resultados obtenidos se repite para el pH (en torno al 8,5), el oxígeno disuelto (alrededor de 8 mg/L), la conductividad eléctrica (próximos a 240 μS/cm), la temperatura del agua (20,2 a 20,3 °C), la temperatura del aire (19,1, a 19,3 °C), y la turbiedad (entre 1,2 y 1,8 UNT).

En cuanto a los datos obtenidos para la demanda bioquímica de oxígeno, los valores oscilaron entre los 7,16 mg/L para el FQ-VI, y los 8,34 mg/L en el FQ-II.

Tabla 4. Valores registrados de los parámetros fisicoquímicos de campo y de laboratorio

P-FQ	Puntos de muestreo					
	FQ-I	FQ-II	FQ-III	FQ-IV	FQ-V	FQ-VI
AL	122	125	141	133	118	132
DT	120	138	150	127	127	123
CL	33,9	14	12,1	9,5	16,2	10,3
NO ₃	3,4	3,3	3,1	3	3,1	3,2
PO ₄	0,1	0,1	0,5	0	0,3	0
pH	8,46	8,54	8,53	8,53	8,49	8,54
CE	242	241	239	239	244	238
OD	7,98	8,04	8,12	8,08	8,1	8,05
T ag	20,2	20,2	20,2	20,3	20,3	20,3
T ai	19,1	19,1	19,1	19,2	19,2	19,3
TUR	1,34	1,78	1,56	1,23	1,26	1,3
DBO	8,12	8,34	7,76	7,45	8,02	7,16

Fuente: Elaboración propia

ICOTRO

De acuerdo a los valores de PO₄-P de la tabla 2, el índice de contaminación trófica indica que el lago Pomacochas se encuentra en un estado eutrófico, ya que la concentración superior de este compuesto fue de 0,5 mg/L, en el FQ-III.

IV. DISCUSIÓN

Los valores bacteriológicos obtenidos en los puntos MB-I y MB-II situados en el sector centro-oeste, el más cercano a la población de Florida-Pomacochas y a la tubería de la red de evacuación y saneamiento por la que convergen los residuos fecales de la localidad de Pomacochas, no llegarían a los niveles alcanzados en el presente estudio si dicha tubería de desagüe funcionara en perfectas condiciones; sin embargo, esto no ocurre así, constando fugas de la misma a lo largo de su paso paralelo al lago. Asimismo, es en este sector del lago donde desembocan las principales quebradas, Congona y Fichac, que nutren el lago después de atravesar la localidad. Estos resultados pueden tener relación con el hecho de que los coliformes son buenos indicadores de contaminación fecal reciente ya que son más vulnerables a las condiciones ambientales y se mantienen cercanos a las fuentes de emisión (Noble *et al.*, 2003; Tu, 2011; Cajas, 2014).

Presumiblemente, en el punto MB-V, situado en las cercanías del desaguadero del lago, deberían darse valores elevados al tratarse de un punto de confluencia del agua del lago, previo a la salida del mismo. Sin embargo, y a pesar de la clara contaminación bacteriológica existente en el lago a partir del sector centro-oeste, los resultados arrojados en este punto no son superiores a los obtenidos en MB-I y MB-II, debido a que la contaminación de origen fecal disminuye su concentración en el gradiente horizontal al alejarse de los cascos urbanos de las poblaciones (Guielmi *et al.*, 2008).

Tanto para CT, CF, EC como para *Salmonella* sp, los resultados de los análisis determinan un agua apta para las categorías III (Riego de vegetales y bebidas animales) y IV (Conservación del ambiente acuático) de los ECAs según el MINAM (2015), en todos los sectores excepto en el sector centro-oeste (MB-I y MB-II).

Sin embargo, para la categoría I (Poblacional y recreacional) los valores solo serían aceptables en cuanto a los resultados obtenidos para *Salmonella* sp, ya que los restantes los superan.

Además, cabe reseñar que los muestreos se efectuaron durante la temporada seca, presentándose problemas de contaminación microbiana que por lo general se incrementan en esta época coincidiendo con la cota más baja en lagos (Moreno y Aguirre, 2009).

Por otra parte, y tras la comparación de los análisis microbiológicos con los fisicoquímicos, se encuentra que el alto contenido en cloruros en el FQ-I puede deberse a la contaminación del agua con aguas residuales (CPISCA, 2005) ya que los valores obtenidos en este punto son muy superiores a los obtenidos en el resto.

En cuanto a los valores de oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica, nitratos, fosfatos, alcalinidad, dureza, temperatura del agua, y turbiedad, estos se encuentran dentro de los límites establecidos por el ECA del país para las categorías I, III y IV. No ocurre así con la DBO₅, que sería exclusivamente aceptada para las categorías III y IV.

En la búsqueda de posibles indicios de eutrofización en el lago, resulta necesario mencionar que todas las concentraciones de fosfatos encontradas en los puntos de muestreo, exceptuando los puntos FQ-IV y FQ-VI, fueron relativamente mayores a 0,05 mg/L; Vázquez y Ríos (2001) reportan valores similares en los embalses de Puerto Rico, donde según la junta de calidad ambiental los cuerpos de agua que superan este estándar son clasificados como eutróficos, y por tanto en situaciones cercanas a la eutrofización, en este caso relacionada con la agricultura, que debido al gran uso de fertilizantes, aumentan el nivel de nitratos y fosfatos debido a la lixiviación de los suelos cargados de estos nutrientes (Lee, 2015; Mahmoudi, 2015).

Además, a pesar de que los muestreos se realizaron en época seca, durante la misma se dieron algunas precipitaciones, y los mayores valores de fosfatos se dan en época de lluvias generando un incremento en las concentraciones de fosfatos (Hernández-Morales *et al.*, 2009), Este proceso de eutrofización no es perceptible en la actualidad, ya que los demás parámetros analizados: nitratos, sulfatos, oxígeno disuelto y turbidez, que son los parámetros generalmente usados como indicadores de este proceso de degradación ambiental (Olmos, 2000; Ledesma *et al.*, 2013), no se encuentran en niveles significativos que puedan contribuir a la eutrofización; las principales manifestaciones de este fenómeno se reflejan en una disminución en las concentraciones de oxígeno disuelto, un incremento en la concentración de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, y un aumento de la sedimentación y de la turbiedad de las aguas (Moreta, 2008), condiciones

que no se observaron en el presente estudio, a excepción de los niveles intermedios de fosfatos detectados. Sin embargo, cabe la posibilidad de que suceda esto en un futuro, pues las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente en aguas tranquilas se encuentran entre 0,005-0,01 mg/l de PO₄-P (Pütz, 2008), datos que están por debajo de los obtenidos en este estudio. Finalmente, el resultado obtenido del índice de contaminación trófica (ICOTRO) caracteriza al lago con un estado eutrófico (Ramírez *et al.*, 2007; Guerrero *et al.*, 2012), por lo que es recomendable continuar con este tipo de estudios regularmente a lo largo de los próximos años, complementando con otros análisis específicos como los de clorofila y fitoplancton, con el objetivo de obtener resultados más reales en cuanto al estado ecológico del sistema fluvial, ya que este parámetro es un buen indicador de las presiones fisicoquímicas e hidromorfológicas que se dan sobre los sistemas lénticos (Vicente *et al.*, 2005).

Es destacable que el comportamiento de la DBO se muestre estrechamente relacionado con el régimen climático dominante en la zona; los valores más altos de este parámetro coinciden con los regímenes de precipitaciones, debiéndose a este fenómeno y sus implicancias el incremento en la DBO (Londoño, 2006; García-Alzate, 2010). Los valores de DBO oscilan entre 7,16 y 8,34, y caracterizan al lago con la denominación de “moderadamente contaminado”, según Toledo y Amurrio (2006). A todas estas causas hay que añadir la fuerte deforestación sufrida en la zona, en favor de actividades agrícolas y ganaderas, lo que provoca que los derivados que se quedan en las capas de suelo terminen en el lago debido a la filtración de los suelos (Maco *et al.*, 2010).

V. CONCLUSIONES

Los valores de contaminación fecal más altos se encontraron en las cercanías de la desembocadura de las dos quebradas que atraviesan la localidad de Florida-Pomacochas, dándose que, a través de estas existen descargas puntuales de efluentes emitidos desde viviendas aledañas. Esto supondría un riesgo para posibles actividades recreativas como la natación o los deportes acuáticos en el caso de que se practicaran en este sector, sin embargo si existe alguna amenaza en la

zona, sería para la pesca, que se da a lo largo de todo el lago de Pomacochas y en las puntuales entradas de agua al mismo. Otro dato a tener en cuenta es que en este sector se encuentra el principal puerto del lago, donde se hallan estacionadas diversas embarcaciones con fines turísticos, por lo que en favor del mismo sería positivo controlar los residuos cloacales.

Las variables microbiológicas y fisicoquímicas analizadas, conjuntamente con el ICOTRO, permitieron determinar que el lago Pomacochas muestra contaminación moderada. Actualmente el lago no presenta altos indicios de eutrofización, aunque no existe suficiente evidencia para determinarlo como tal, y ante la falta de estudios anteriores se desconoce la tendencia que está siguiendo el lago.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, J. y M.J. Martínez. "Contribución de un afluente tributario a la eutrofización del Lago de Tota (Boyacá, Colombia)". *Revista Colombiana de Química*, Vol. 41 (2012): 243.
- APA (Agencia de Protección Ambiental). *Evaluación del programa de monitoreo de la calidad del agua*. Informe Técnico, Buenos Aires: Ministerio del ambiente y espacio público, GCBA, 2013.
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Work Association) y WPCF (Water Pollution Control Federation). *Standard methods for examination water and wastewater*. Washington: APHA, 2012.
- Beintema, N., R. Boyd, X. Cherny, A. Conliffe, B. Fredvik, M. Gutiérrez y H. Wilkins. "Un Reporte Diario del IV Foro Mundial del Agua". *Boletín del foro Mundial del Agua*. México: IIDS (Instituto Internacional para el desarrollo Sostenible), (2006): 1-4.
- Breffle, W.S., D. Muralidharan, R.P. Donovan, F. Liu, A. Mukherjee y Y. Jin. "Socioeconomic evaluation of the impact of natural resource stressors on human-use services in the Great Lakes environment: a Lake Michigan case study". *Resources Policy*, Vol. 38 (2013): 152-161.
- Cajas, D. "Dispersión de polución en medio acuático, aproximación numérica y simulación computacional Bahía de Buenaventura Colombia". *Congreso Nacional del medio Ambiente*. São Paulo: Universidade Estadual de Campinas-Brasil, (2014): 1-23.
- Callisto, M., J. Molozzi y J.L.E. Barbosa. *Eutrophication of Lakes. In Eutrophication: Causes, Consequences and Control*. Springer Netherlands, 2014.
- Comair G.F., D.C. McKinney y D. Siegel. "Hydrology of the Jordan River Basin: Watershed delineation, precipitation and evapotranspiration". *Water Resource Management*, Vol. 26 (2012): 4281-4293.
- CPISCA (Centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). *Procedimientos Simplificados de Análisis Químicos de Aguas Residuales 2005*. Lima: OPS (Organización Panamericana de la Salud), 2005.
- Díaz, P.B. y L.M. Contreras. "Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Vol. 29 (2013): 7-23.
- Eriksen, M., S. Mason, S. Wilson, C. Box, A. Zellers, W. Edwards, H. Farley y S. Amato. "Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes". *Marine pollution bulletin*, Vol. 77 (2013): 177-182.
- Fontúrbel F., G. García, N. Brun, M. Ferrufino y R. Rocha. "Propuesta de producción sostenible de *Telmatobius culeus* (Anura: Leptodactylidae) en el lago Titikaka, mediante la implementación conjunta de un sistema de control de calidad ambiental". En: *Propuestas Para un Desarrollo Sostenible: Lago Titikaka Por Estrategias*, de Fontúrbel F., 19-52. La Paz: Publicaciones Integrales, 2003.
- Fontúrbel, F. *Modelo operacional ambiental y aspectos sociales relevantes del proceso de eutrofización localizada en cuatro estaciones experimentales del lago Titikaka*. La Paz: Publicaciones Integrales, 2004.
- Fontúrbel, F. "Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka". *Ecología Aplicada*, Vol. 4 (2005): 135-141.
- García-Alzate, C.A., C. Román-Valencia, M.I. González y A.M. Barrero. "Composición y variación

- temporal de la comunidad de insectos acuáticos (Insecta) en la Quebrada Sardineros, afluente Río Verde, Alto Cauca, Colombia”. *Revista de Investigaciones de la Universidad Quindío*, Vol. 21 (2010): 21-28.
- Garza Garrido, R. y A. Orío Hernández. *Valoración del estado ecológico en las lagunas de la Cuenca Hidrográfica del Tajo*. Informe Técnico, Madrid: Confederación Hidrográfica del Tajo, 2012.
- Guerrero, W., F.C. Vargas y P.A. Fuquen. “Calidad físico química del agua del río Fonce; una mirada desde conceptos especializados”. *Revista Matices Tecnológicos*, Vol. 4 (2012): 1-7.
- Guielmi, G., G. Moncada y M. Luján. “Diagnóstico sobre el nivel de contaminación de acuíferos en el distrito 9 del municipio de Cercado en la ciudad de Cochabamba y propuesta para su protección y control”. *Acta Nova*, Vol. 4 (2008): 51-86.
- Haack, S.K., L.R. Fogarty, E.A. Stelzer, L.M. Fuller, A.K. Brennan, N.M. Isaacs y H.E. Johnson. “Geographic setting influences Great Lakes beach microbiological water quality”. *Environmental science y technology*, Vol. 47 (2013): 12054-12063.
- Hernández-Morales, R., M.R. Ortega-Murillo, J.D. Sánchez, R. Alvarado y M.S. Aguilera. “Ocurrencia nictimeral del fitoplancton en la época de lluvias en el lago tropical profundo de Tacámbaro, Michoacán, México”. *Biológicas*, Vol. 11 (2009): 48-55.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). *Compendio Estadístico Amazonas 2015*. Chachapoyas, 2015.
- Kozak, A., K. Kowalczywska-Madura, R. Goldyn y A. Czart. “Phytoplankton composition and physicochemical properties in Lake Swarzędzkie (midwestern Poland) during restoration: Preliminary results”. *Archives of Polish Fisheries*, Vol. 22 (2014): 17-28.
- Ledesma, C., M. Bonansea, C.M. Rodríguez y A.R. Sánchez. “Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina)”. *Revista Ciencia Agronómica*, Vol. 44 (2013): 419-425.
- Lee, T.A. *Influences of the environment and plankton community interactions on toxic cyanobacterial blooms in Vancouver Lake, Washington, a temperature shallow freshwater system*. Tesis Doctoral, Pullman: Washington State University, 2015.
- Londoño, J.C. “Estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el área del embalse Porce II y su relación con la calidad del agua”. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, Vol. 5 (2006): 45-58.
- Maco, J. «Tipos de ambientes acuáticos de la Amazonía Peruana.» *Folia Amazónica* 15, n° 1-2 (2006): 131-140.
- Maco, J., L. Rodríguez y H. Sánchez. *Hidrobiología*. Informe Temático, Iquitos: IIAP-PROTOTERRA, 2010.
- Mahmoudi, N., M.S. Robenson, H.F. Castro, J.L. Fortney, S.M. Techtmann, D.C. Joyner, C.J. Paradis, S.M. Pfiffner y T.C. Hazen. “Microbial community composition and diversity in Caspian Sea sediments”. *FEMS Microbiology Ecology*, Vol. 91 (2015): 1-11.
- MINAM (Ministerio de Ambiente). *Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación*. Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, Lima: Ministerio de Ambiente del Perú, 2015.
- Molina Navarro, E., S. Martínez Pérez y A. Sastre Merlín. “El Limnoembalse de Cola de Pareja (Guadalajara): aspectos medioambientales e hidrológicos”. *Boletín Geológico y Minero*, Vol. 121 (2010): 69-80.
- Moreno, Y.M. y N. Aguirre. “Estado del arte de la limnología de lagos de planos inundables”. *Gestión y Ambiente*, Vol. 12 (2009): 85-105.
- Moreta, J.C. *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. Tesis para obtener el grado de tecnólogo en saneamiento ambiental, Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2008.
- Noble, R.T., D.F. Moore, M.K. Leecaster, C.D. McGee, S.B. Weisberg. “Comparison of total coliform, fecal coliform, and enterococcus bacterial indicator response for ocean recre-

- ational water quality testing". *Water Research*, Vol. 37 (2003): 1637-1643.
- Olmos, C. *Eutrofización en embalses de altura, Inca-chaca-jhampaturi. Problemática del siglo XXI*, Tesis de Maestría, Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2000.
- Pütz, P. *Analítica de Laboratorio y Sistema de Control de Proceso, Nutrientes, Fosfato*. Informe práctico, Bilbao: HACHLANGE, 2008.
- Ramírez, A., R. Restrepo y G. Viña. "Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulación y aplicación". *Ciencia, tecnología y futuro*, Vol. 1 (2007): 135-153.
- Scheibye, K., J. Weisser, O.K. Borggaard, M.M. Larsen, P.E. Holm, K. Vammen y J.H. Christensen. "Sediment baseline study of levels and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in Lake Nicaragua". *Chemosphere*, Vol. 95 (2014): 556-565.
- Schindler, D.W. *The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes*. Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 2012.
- Scott, J.T. y B.E. Haggard. "Implementing effects-based water quality criteria for eutrophication in Beaver Lake, Arkansas: linking standard development and assessment methodology". *Journal of environmental quality*, Vol. 44 (2015): 1503-1512.
- Smith, T.M. y R. L. Smith. *Ecología*. Madrid: Pearson Educaciones, 2007.
- Toledo, R. y D. Amurrio. "Evaluación de la calidad de aguas del río Rocha en la jurisdicción de SEMAPA en la provincia Cercado de Cochabamba Bolivia". *Acta Nova*, Vol. 3 (2006): 521-542.
- Tu, J. "Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression." *Applied Geography*, Vol. 31 (2011): 376-392.
- Vázquez, L. y R. Rios. *Estudio sobre las concentraciones de nitrógeno y fósforo en los embalses de Puerto Rico*. Monografía, San Juan: Universidad de Puerto Rico, 2001.
- Vicente, E., C. De Hoyos, P. Sánchez y J. Cambra. *Protocolos de muestreo y análisis para fitoplankton*. Confederación Hidrográfica del Ebro. Ministerio de Medio Ambiente URS, 2005.
- Weber, M.J. y M.L. Brown. "Relationships among invasive common carp, native fishes and physicochemical characteristics in upper Midwest (USA) lakes". *Ecology of Freshwater Fish*, Vol. 20 (2011): 270-278.