

NOTA CIENTÍFICA

Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011

Water quality of the inner Puno Bay, Titicaca Lake, during summer 2011

Diana F. Beltrán Farfán ^{*1,2}, Rocio P. Palomino Calli ¹, Edmundo G. Moreno Terrazas ¹, Cesar G. Peralta ³
y Daniel B. Montesinos-Tubée ^{4,5}

* Autor para correspondencia

1 Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú. Av. Sesquicentenario 1150 – Puno, Perú.

2 Asociación Para la Investigación y Desarrollo Sostenible Suma Marka ONGD. Jr. Arequipa 1055- Puno, Perú.

3 Instituto del Mar del Perú – Laboratorio Continental de Puno, Perú. Av. Circunvalación Sur 1911 – Puno, Perú.

4 Nature Conservation & Plant Ecology Group. Wageningen University, The Netherlands.

5 Instituto Científico Michael Owen Dillon, Arequipa, Perú.

Email Diana Beltrán: dfbeltranf@gmail.com

Email Rocio P. Palomino: clarisabrina_2@hotmail.com

Email Edmundo G. Moreno: gmorenot@yahoo.com

Email Cesar Gamarra Peralta: cgamarra@imarpe.gob.pe

Email Daniel B. Montesinos Tubée: dbmtperu@gmail.com

Resumen

Con objetivo de evaluar la calidad acuática de la bahía interior de Puno, se establecieron 12 estaciones de muestreo aleatoriamente, evaluadas mensualmente entre diciembre del 2010 a abril del 2011. Se determinaron parámetros fisicoquímicos utilizando las metodologías validadas de EPA y APHA, los nutrientes se determinaron mediante espectrofotometría. La temperatura, oxígeno disuelto, pH, fosfatos, nitratos y nitritos del agua indican que el área próxima a la salida de la laguna de estabilización de la ciudad (isla Espinar) es una zona crítica de contaminación en la bahía interior de Puno. Los valores de transparencia del agua fueron bajos. La conductividad eléctrica del agua registró valores elevados. Los valores de alcalinidad fueron altos (75 – 150 mg/L) y muy altos (>150 mg/L), indicando un alto contenido de carbonatos y bicarbonatos. La dureza total registrada indica aguas duras (121 – 180 mg/L) y muy duras (>180 mg/L). Las altas cantidades de coliformes fecales (*E. coli*) en aguas cercanas a la isla Espinar serían el resultado de las descargas de aguas residuales de la ciudad de Puno, sin un tratamiento adecuado.

Palabras clave: calidad acuática; lago Titicaca; eutrofización; aguas residuales.

Abstract

Water quality of the inner Puno Bay was evaluated; we established 12 stations, and were assessed monthly from December 2010 to April 2011. Physicochemical water parameters were determined with EPA and APHA standard methods. Nutrients were determined spectrophotometrically. The parameters of temperature, dissolved oxygen, pH, phosphates, nitrates and nitrites of water show that the outlet of the stabilization lagoon of Puno City (Espinar Island) is a critical area of contamination at the inner Puno Bay. Transparency values were low. The electrical conductivity of water showed high values. Alkalinity values were high (75 - 150 mg/L) and very high (> 150 mg/L), indicating a high content of carbonates and bicarbonates. Water hardness were high (121-180 mg/L) and very high (> 180 mg/L). High levels of fecal coliform in waters near the island Espinar would be the result of wastewater discharges from the Puno city, without proper treatment.

Keywords: Water quality; Titicaca lake; eutrophication, wastewater.

Citación:

Beltrán Farfán D.F., R.P. Palomino Calli, E.G. Moreno Terrazas, C.G. Peralta & D.B. Montesinos Tubée. 2015. Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011. Revista peruana de biología 22(3): 335 - 340 (Diciembre 2015). doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v22i3.11440>

Presentado: 12/02/2015

Aceptado: 13/10/2015

Publicado online: 18/12/2015

Información sobre los autores:

DFBF realizó el planteamiento, ejecución y redacción del trabajo; RPPC participó en la redacción del trabajo; EGMT, DBMT y CGP brindaron asesoramiento en el planteamiento y redacción del trabajo; DBMT revisó el texto del trabajo de investigación.

Los autores manifestamos que no existe conflicto de intereses de ningún tipo.

Journal home page: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/rpb/index>

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Peruana de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citadas. Para uso comercial, por favor póngase en contacto con editor.revperubiol@gmail.com.

Introducción

A inicios de los años 80 la Universidad de Columbia Británica de Canadá (UBC) y la Universidad Nacional del Altiplano Puno (UNA) realizaron estudios sobre la contaminación del Lago Titicaca, y determinaron que la zona más afectada es la bahía interior de Puno, un área de 15 Km² al frente de la ciudad de Puno (Northcote et al. 1991). En esta zona se registraron valores notablemente diferentes a otras zonas del lago Titicaca, como temperaturas más altas (aproximadamente 20 °C), transparencia del agua más baja (mucho menos de 0.5 m), concentraciones de nutrientes más altas (nitrógeno y fósforo disueltos), y niveles de sobresaturación de oxígeno disuelto en la capa de agua superficial que indicaría una alta densidad y producción de fitoplancton, y a veces los niveles de oxígeno disuelto más bajos indicando altas tasas de descomposición bacteriana, además la biomasa de algas planctónicas es mucho más alta en la bahía interior que en la bahía exterior de Puno o en el Lago Grande (Northcote et al. 1991).

Aunque en la mayoría de estudios limnológicos del lago Titicaca, como los estudios de Gilson (1939a, 1964b) y Richerson et al. (1975), se han centrado en las regiones del Lago Grande. Algunos estudios han sido realizados en zonas litorales de Lago. Tal vez, el más relevante ha sido el de Northcote et al. (1989) que informó sobre la proliferación de macrófitas acuáticas flotantes como *Lemna gibba* Moench y *Azolla* sp. en la bahía interior de Puno, como una clara evidencia de la severa eutrofización. Actualmente es fundamental determinar las condiciones físico-químicas de esta zona para la mitigación de la eutrofización y restauración.

La calidad del agua de la bahía interior de Puno viene siendo degradada. Al respecto un episodio destacado fue el crecimiento abundante de *Lemna* spp., que llegó a cubrir aproximadamente 10 km² de la Bahía Interior y con varios centímetros de grosor (Cruz 2005). La abundancia de la lenteja de agua en la bahía interior refleja un estado de concentración de nutrientes y el poco flujo de las aguas en esta zona (Collot 1980, Cornejo & Aramayo 1989). Es decir una zona en proceso de eutrofización causado por el ingreso de aguas servidas de la ciudad de Puno sin ningún tratamiento.

En este trabajo se presenta información sobre la calidad del agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca, entre diciembre del 2010 a abril del 2011, y se compara con la información de estudios previos.

Material y métodos

Área de estudio.- El lago Titicaca es el lago más grande de agua dulce en América del Sur. Con una superficie de 8300 km², una longitud máxima de 195 km, 285 m de profundidad máxima, y una anchura media de 50 km, es el lago navegable más alto del mundo (3808 m). Tanto el sector peruano y boliviano están incluidas en la lista de humedales de importancia internacional después de la Convención de Humedales, Ramsar, 1971. Una de las características únicas de este lago es la temperatura de sus aguas, siendo cálidas para esa altura (de -10 a 12 °C), permitiendo la existencia de una rica flora y fauna acuática (Constantini et al. 2004)

La bahía interior de Puno, (Figs. 1) está ubicada a 15°50'34"S 69°59'43"W, tiene un extensión de 16.1 km², una profundidad media de 2.7 m. La bahía interior de Puno es somera y de poco flujo, características que combinadas con las altas entradas de nutrientes provenientes de los desagües de la ciudad de Puno (con un población de 125663 habitantes, INEI 2007), dan lugar a un cuerpo de agua severamente contaminado. Las principales actividades que se realizan en la bahía interior son la pesca, extracción de totora, tránsito de lanchas para el turismo, comercio y ganadería.

La ciudad de Puno cuenta con una laguna de estabilización para el tratamiento de aguas residuales, pero debido a la colmatación de las aguas negras, el tiempo de permanencia en las pozas de tratamiento y las condiciones climáticas el tratamiento resulta ineficiente, a ello se suma el vertimiento directo de aguas residuales a través de desagües clandestinos por las poblaciones ribereñas.

Diseño del muestreo.- En la bahía interior de Puno, se realizaron muestreos mensuales, entre diciembre 2010 y abril 2011, en 12 estaciones (Fig 1). Se determinaron parámetros físico-químicos del agua: transparencia, temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, alcalinidad y dureza; así mismo

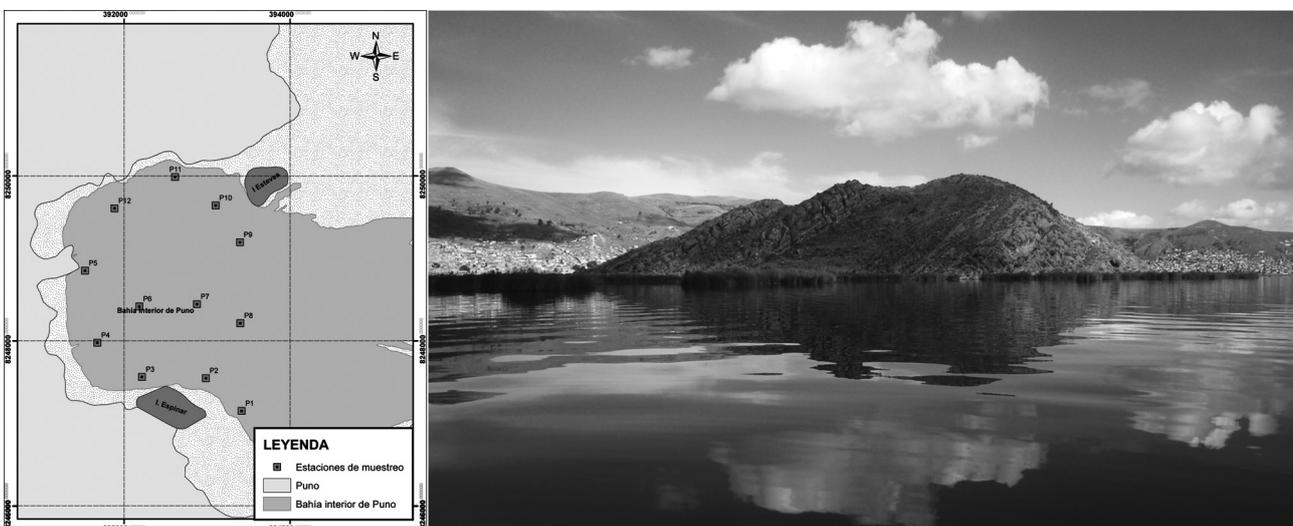


Figura 1. Derecha, ubicación de las estaciones de muestro en la Bahía Interior, Lago Titicaca. Izquierda, Isla Espinar ubicada en la Bahía Interior de Puno.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados a nivel superficial, y la ubicación geográfica de las estaciones de muestreo, Bahía Interior de Puno Lago Titicaca. T: temperatura superficial del agua

Estación de muestreo	Coordenadas		Transparencia	T	pH	Oxígeno disuelto	Conductividad eléctrica	Alcalinidad	Dureza	PO ₄	NO ₃	NO ₂	E. coli
	S	W											
1	15°51'08.2"	69°59' 43.5"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	15°50'55.3"	69°59' 57.9"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	15°50'54.7"	70°00' 23.8"	X	X	X	X	X	X	X				
4	15°50'41.1"	70°00' 41.8"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	15°50'12.6"	70°00' 46.7"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	15°50'26.9"	70°00' 24.8"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	15°50'26.0"	70°00' 01.4"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	15°50'33.6"	69°59' 43.8"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	15°50'01.7"	69°59' 43.9"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	15°49'47.1"	69°59' 53.7"	X	X	X	X	X	X	X				
11	15°49'35.8"	70°00' 10.0"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	15°49'48.0"	70°00' 34.6"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

se determinaron los niveles de PO₄, NO₃ y NO₂ y la presencia de *E. coli* (Tabla 1). La determinación de los parámetros fisicoquímicos se realizó siguiendo metodologías validadas por EPA y APHA (GW 2010, RM N° 003-2002-PE). Las muestras de agua fueron tomadas de la superficie con frascos de polietileno.

Análisis de parámetros fisicoquímicos.- Los parámetros fisicoquímicos se determinaron a 0.5 m de profundidad.

La temperatura del agua, se registró con un termómetro de mercurio protegido (0 – 50 °C, 0.1 °C). El oxígeno disuelto del agua se registró mediante el procedimiento del kit (Kit Alabama Water Quality Monitoring, LaMotte©, GW 2010). Para medir el pH del agua, se utilizó un pHmetro Waterproof pH Test 1° de Eutech-Oaktom instruments, calibrado según las especificaciones. La transparencia del agua, fue medida con un Disco Secchi. La conductividad eléctrica del agua, fue medida con el Medidor Multiparámetro SensION 156 30QD marca HACH. La dureza y Alcalinidad fueron medidas a través del Procedimiento del kit (Kit Alabama Water Quality Monitoring, LaMotte©, GW 2010). El PO₄, según el Protocolo de análisis de nutrientes (RM N° 003-2002-PE), por el método descrito por Mullin y Riley (1955) modificado por Strickland y Parsons (1972). El NO₃ y NO₂ fueron determinados con el método espectrofotométrico de Strickland y Parsons (1968) en los laboratorios del IMARPE-Puno, se consideró el protocolo para el monitoreo de efluentes y cuerpo marino receptor (RM N° 003-2002-PE).

Análisis de parámetros bacteriológicos.- Se determinó la presencia de *E. coli* por el método de primera alerta descrito en el Manual de la GW 2010 sobre la de prueba Coliscan Easygel® (Micrology Labs) para análisis bacteriológico.

Resultados y discusión

En la Tabla 2 se observan los resultados de los análisis fisicoquímicos y de *E. Coli*, durante el estudio. Por otro lado, en la Tabla 3 se aprecian los resultados en las estaciones de muestreo.

En la tabla 4 se aprecian datos de parámetros de la calidad del agua obtenidos en el presente estudio comparados con los registrados por otros autores.

En relación a la temperatura del agua se observó un ligero incremento en comparación a lo reportado por Hinojosa (1982) y Mollocondo (1985). Esto podría ocasionar que las tasas de producción y descomposición se incrementen en la parte interior de la bahía de Puno, durante la época húmeda (Northcote et al. 1991). Sin embargo estos datos pueden variar debido a la metodología utilizada o al horario de muestreo.

La transparencia superficial del agua durante el tiempo de estudio fue en promedio de 1.43 m (variando desde 0.37 hasta 2.5m). Estos valores se encuentran dentro de los registrados anteriormente (Pineda 1997, Northcote et al. 1991, Constantini et al. 2004).

La cantidad de oxígeno que el agua puede contener en solución disminuye con el aumento de la temperatura, que es, por supuesto, desventajosa para los organismos debido a que la tasa metabólica, y por lo tanto la demanda de oxígeno aumenta con aumentar la temperatura (Brönmark & Hanson 2005). En este estudio, el promedio de la concentración de oxígeno disuelto en el agua fue de 6.62 mg/L, este dato así como los reportados por Mollocondo (1985) y Pineda (1997) se encuentran dentro de los valores que Northcote et al. (1991) menciona para temperaturas de 10 y 20 °C siendo los niveles de oxígeno disuelto en aguas saturadas del lago de 7.3 y 5.8 mg/L respectivamente. Por otro lado, Constantini (2004) registró el mayor valor (9.15 mg/L), mientras que el valor mínimo (4.82 mg/L) fue reportado por Angles (2006). Las diferencias podrían ser ocasionadas por el uso de diferentes metodologías, horario de muestreo y la ubicación de las estaciones de muestreo.

Así mismo, se observó un incremento en los valores de pH en relación a los estudios realizados por Ocola (1997), Angles (2006) y Constantini (2004). Según Northcote et al. (1991) los

Tabla 2. Valores de los parámetros evaluados en las aguas de la bahía interior de Puno desde diciembre del 2010- abril del 2011. Prom: promedio; Máx: máximo; Mín: mínimo; D.E.: desviación estándar. Tran: Transparencia; Oxíg: Oxígeno Disuelto; Cond: Conductividad eléctrica; Alca: Alcalinidad.

Mes		Tran (m)	T (°C)	pH	Oxíg (mg/L)	Cond (uS/cm)	Alca (mg/L)	Dureza (mg/L)	PO4 (mg/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	E. coli (UFC/100ml)
Diciembre	Prom.	0.71	16.38	9.64	5.17	1713.08	113.75	323.33	0.862	0.057	0.047	105
	Máx.	0.8	18	9.75	6.7	1788	135	350	1,033	0.093	0.09	1033.33
	Mín.	0.37	15	9.34	3.7	1683	100	280	0.675	0.04	0.038	0
	D.E.	0.12	0.88	0.11	1.15	28.43	11.89	24.25	0.09	0.016	0.015	326.23
Enero	Prom.	1.52	15	9.48	6.17	1690.25	200.42	321.67				
	Máx.	1.8	19	9.69	7.8	1708	235	410				
	Mín.	1.1	13	9.06	4	1675	155	240				
	D.E.	0.25	1.65	0.2	1.19	10.36	22.1	50.96				
Febrero	Prom.	1.52	14.67	9.02	6.11	1661.67	186.25	275.83	1,136	0.233	0.086	548.33
	Máx.	1.9	16	9.18	9.2	1713	230	320	1,391	0.36	0.131	4716.67
	Mín.	0.8	13.5	8.35	3.9	1639	150	250	0.843	0.099	0.029	0
	D.E.	0.34	0.78	0.23	1.64	21.84	23.17	21.51	0.196	0.091	0.036	1472.79
Marzo	Prom.	1.4	16.5	9.59	8.17	1626.75	149.17	279.17				
	Máx.	1.7	18	9.75	11.4	1641	210	330				
	Mín.	1.15	16	9.35	5.2	1617	125	250				
	D.E.	0.22	0.64	0.13	1.97	7.62	24.11	25.39				
Abril	Prom.	2	15.83	9.42	7.5	1643	121.67	302.5	1,095	0.106	0.07	712.5
	Máx.	2.5	17	9.6	10.2	1689	185	350	1,432	0.131	0.128	8533.33
	Mín.	0.8	15	8.95	3.4	1613	90	260	0.566	0.041	0.04	0
	D.E.	0.48	0.72	0.18	2.21	20.7	25.17	31.66	0.296	0.026	0.027	2462.93
Total	Prom.	1.43	15.68	9.43	6.62	1666.95	154.25	300.5	1,035	0.131	0.068	471.35
	Máx.	2.5	19	9.75	11.4	1788	235	410	1,432	0.36	0.131	8533.33
	Mín.	0.37	13	8.35	3.4	1613	90	240	0.566	0.04	0.029	0
	D.E.	0.51	1.22	0.28	1.95	36.67	40.5	37.44	0.243	0.09	0.031	1697.3

Tabla 3. Valores promedio de los parámetros del agua evaluados en la bahía interior de Puno en los diferentes lugares de muestreo. Prom: promedio; Máx: máximo; Mín: mínimo; D.E.: desviación estándar. Tran: Transparencia; Oxíg: Oxígeno Disuelto; Cond: Conductividad eléctrica; Alca: Alcalinidad.

Estación de Muestreo	Tran (m)	T (°C)	pH	Oxíg (mg/L)	Cond (uS/cm)	Alca (mg/L)	Dureza (mg/L)	PO4 (mg/L)	NO3 (mg/L)	NO2 (mg/L)	E. coli (UFC/100ml)
1	1.05	14.6	9.23	4.56	1680.8	163	304	1.02	0.15	0.08	2872.22
2	1.11	15	9.37	4.61	1663.4	144	314	1.04	0.15	0.08	1916.67
3	1.34	15.1	9.3	5.58	1685.8	157	308	1.18	0.11	0.07	
4	1.33	15.6	9.39	5.34	1652.4	175	294	1.18	0.15	0.07	172.22
5	1.59	15.7	9.4	6.19	1668.8	147	284	1.13	0.17	0.07	5.56
6	1.66	15.2	9.52	6.82	1670.8	152	280	1.18	0.14	0.09	27.78
7	1.5	15.6	9.39	7.82	1674.0	155	292	1.16	0.09	0.06	5.56
8	1.71	15.7	9.51	7.04	1662.6	160	298	1.04	0.1	0.05	5.56
9	1.25	15.3	9.5	7.19	1667.2	151	290	1.04	0.09	0.04	0
10	1.52	16.2	9.53	7.53	1665.8	147	314	0.67	0.04	0.13	
11	1.57	16.7	9.48	8.38	1651.6	157	308	0.79	0.13	0.06	5.56
12	1.51	17.4	9.53	8.4	1660.2	143	320	0.84	0.18	0.07	16.67
Prom.	1.43	15.68	9.43	6.62	1666.95	154.25	300.5	1.02	0.12	0.07	502.78
Máx.	1.71	17.4	9.53	8.4	1685.8	175	320	1.18	0.18	0.13	2872.22
Mín.	1.05	14.6	9.23	4.56	1651.6	143	280	0.67	0.04	0.04	0
D.E.	0.21	0.78	0.1	1.36	10.18	9.09	12.77	0.17	0.04	0.02	1023.41

Tabla 4: parámetros estudiados comparados con información de otros autores.

Parámetro	Hinojosa (1982)	Sarmiento (1984)	Mollocondo (1985)	Pineda (1997)	Ocola (1997)	Donaires et al. (2003)	Constantini et al. (2004)	Angles (2006)	Presente estudio
Temperatura (°C)	13.1	—	13.14	13.2	—	—	11	15.25	15.7
Transparencia (m)	—	—	—	0.95	—	—	0.58	1.3	1.4
Oxígeno disuelto (mg/L)	—	—	7.45	7.2	—	—	9.15	4.82	6.62
pH	—	—	—	—	8.55	—	8.65	8.4	9.43
Alcalinidad (mg/L)	—	—	—	—	—	99	—	—	154.25
Dureza (mg/L)	—	—	—	—	—	233.75	—	—	300.5
Fosfatos (mg/L)	—	0.25	—	—	—	—	—	1.01	1.04
Nitratos (mg/L)	—	0.43	—	—	—	—	—	58.52	0.13

* Se han considerado valores promedio de investigación de cada autor, pudiendo haber diferido en la temporada de muestreo y/o en la metodología utilizada.

altos valores de pH en la Bahía Interior pueden ser el resultado de la elevada actividad fotosintética en la zona.

El promedio de los valores de dureza reportados en este estudio fue de 300.5 mg/L, el cual se encuentra dentro de los datos que manifiesta Northcote et al. (1991), señalando que la dureza varía estacionalmente alrededor de 300 y 400 mg/L, alcanzándose los valores más altos entre finales de enero y mediados de marzo de 1983. A excepción de los valores registrados a finales de diciembre de 1982 y a mediados de enero de 1983. Estas condiciones favorecen la precipitación de carbonato de calcio en el agua lo que podría ocurrir en las aguas de la bahía interior de Puno donde el pH muestra valores altos el 80% del tiempo y las concentraciones de Ca son a menudo favorables.

El promedio de los valores de fosfatos registrado fue de 1.04 mg/L; Angles (2006) registró un valor promedio de 1.01 mg/L, mientras que Sarmiento (1984) reportó 0.25 mg/L. Los fosfatos pueden entrar en los ambientes acuáticos de la erosión natural de los minerales en la cuenca de drenaje, de la descomposición biológica, y la escorrentía de las actividades humanas en las zonas urbanas y agrícolas (UNEPGEMS 2008).

En lagos oligotróficos y arroyos las concentraciones de nitratos son generalmente menores a 0.4 mg/L (NRC 1978; Nordin & Pommen 1986), en la bahía interior de Puno se han registrado concentraciones de nitratos de 0.43 mg/L (Sarmiento 1984) y de 58.53 mg/L (Angles 2006), en el presente estudio se registró 0.13 mg/L. Los niveles por encima de 4 mg/L en aguas dulces son a menudo asociados a condiciones eutróficas (NRK 1978, USGS 1999). Sin embargo los datos comparados con el presente estudio son muy puntuales, la variación podría estar influenciada por las distintas metodologías de muestreo, o por la diferencia de los horarios durante la toma de muestras.

Metcalf y Eddy (1998), menciona que la presencia de nitritos en el agua es indicativo de contaminación de carácter fecal reciente. En aguas superficiales, bien oxigenadas, el nivel del nitrito no suele superar 0.1 mg/L. Sin embargo en el presente estudio se encontraron valores por encima de este en algunos sectores, principalmente hacia el sector de la isla Esteves que se encuentra influenciado por la actividad hotelera. Se conoce que el consumo de concentraciones de nitritos tiene efectos sobre la salud humana, según Cabrera et al. (2003) los nitritos pueden producir compuestos cancerígenos y metahemoglobinemia, esta

última también se ha registrado en la sangre de algunos peces (Martínez & Souza 2002).

Los análisis realizados entre julio de 1981 y julio de 1983 en un punto de muestreo localizado frente de la orilla occidental de la bahía, a 400 m al sur del muelle, a 2 m de profundidad, muestran elevadas concentraciones de fósforo (4.63 mg/L), nitratos (18.86 mg/L) y amonio (44.14 mg/L). Concluyendo que la zona del puerto de la bahía interior de Puno, presenta altas concentraciones de nutrientes y muestra muchos síntomas químicos de una eutrofización extrema (Northcote et al. 1991). Lo cual, según los registros obtenidos puede ratificarse, aunque no se observaron cambios altamente significativos, los valores más altos se encontraron hacia el sur del área de estudio (isla Espinar) evidenciado que esta zona es la más afectada.

Respecto a la presencia de *E. coli*, se registraron los mayores valores en la zona cercana a la laguna de estabilización de la isla Espinar; ello evidencia el ingreso de aguas residuales estarían sin un adecuado tratamiento, debido a que el sistema de tratamiento de la laguna de estabilización es deficiente, y esta sobresaturado con alto contenido de lodos que en conjunto generan olores desagradables (ALT 2004).

Agradecimientos

A la Reserva Nacional del Titicaca por el apoyo brindado para la presente investigación. A David Aranibar, Arturo Chayña y Javier Bojórquez, por el apoyo en la logística y la interpretación de resultados.

Literatura citada

- ALT (Autoridad Binacional del Lago Titicaca). 2014. Diagnóstico y Categorización de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en el anillo Circunlacustre del Lago Titicaca. Programa SIGAR Sistema Integral de Gestión de Aguas Residuales.
- Angles J. 2007. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos de la bahía interior de Puno para determinar el nivel de contaminación. Tesis, Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Brönmark C. & L.A Hanson. 2005. The biology of lakes and ponds. 2nd edition. Oxford University Press Inc., New York. United States: 285 pp.
- Cabrera E., L. Hernández, H. Gómez & M.P. Cañizares. 2003. Determinación de nitratos y nitritos en agua. Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. Journal of the Mexican Chemical Society 47(1): 88-92.

- Collot D. 1980. - Les macrophytes de quelques lacs andins (lac Titicaca, lac Poopo, lacs des vallées d'Hichu Kkota et d'Ovejhujo). ORSTOM, La Paz: 115 pp.
- Constantini M.L., L. Savetta, G. Mancinelli & L. Rossi. 2004. Spatial variability of the decomposition rate of *Schoenoplectus tatora* in a polluted area of lake Titicaca. *Journal of Tropical Ecology* 20:325-335. <http://dx.doi.org/10.1017/S0266467403001214>
- Cornejo E. & H.A. Aramayo. 1989. Effects of eutrophication on periphyton and macrophytes. In: *Pollution in Lake Titicaca, Peru*. Northcote, Morales, Levy, Greaven eds., Westwater Research Centre, University of British Columbia; Vancouver: 73-79 pp.
- Cruz M.A. 2005. Determinación de la biomasa de *Lemna* spp. "Lenteja de Agua" en el malecón eco turístico "Bahía de los Incas" de la ciudad de Puno. Tesis, Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas Universidad Nacional del Altiplano Puno. Perú.
- Donaires T., W. Zamalloa & M. Salas del Pino. 2003. El Lago Titicaca: Síntesis del conocimiento actual. Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Altiplano - Puno. - Facultad de Ingeniería Química. Universidad Nacional del Cusco. Perú.
- Fuentes F. & A. Massol-Deyá 2002. (en línea) Manual de Laboratorios: Ecología de Microorganismos. <<http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual>> (acceso 15/02/2012)
- Gilson H.C. 1939. Description of the expedition. In: *The Percy Sladen Trust Expedition to Lake Titicaca in 1937*. Transactions of the Linnean Society of London. 3, 1: 1-20.
- Gilson H.C. 1964. Lake Titicaca. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*. 15: 112-127.
- GW (Global Water Watch). 2010. Monitoreo Comunitario del Agua: monitoreo físico-químico y bacteriológico. Centro Internacional de Acuicultura y Ambientes Acuáticos Universidad de Auburn, Alabama, EEUU. Auburn, AL.
- Hinojosa A. 1982. Demanda bioquímica de oxígeno en el lago Titicaca bahía interior de Puno y Lago grande. Tesis, Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Biológicas Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2007. Censos. <<http://desa.inei.gob.pe/Censos2007/tabulados/k>>. (Acceso 27/01/2012).
- Martinez C.B.R. & M.M. Souza. 2002. Acute effects of nitrite on ion regulation in two neotropical fish species. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A* 133 : 151-160. [http://dx.doi.org/10.1016/S1095-6433\(02\)00144-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1095-6433(02)00144-7)
- Metcalf & Eddy. 1998. *Ingeniería de Aguas Residuales*, Tercera Edición, Editorial McGraw-Hill.
- Mollocondo H. 1995. Determinación de nutrientes; nitrógeno y fósforos relacionados con los parámetros abióticos en la bahía interior de Puno. Tesis, Licenciado en Biología. Facultad Ciencias Biológicas Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Mullin, J.B., y J.P. Riley. 1955. The Colorimetric Determination of Silicate with Special Reference to Sea and Natural Waters. *Analytica Chimica Acta* 12: 162-76. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)87825-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670(00)87825-3).
- Nordin R.N. & L.W. Pommen. 1986. Water quality criteria for nitrogen (nitrate, nitrite, and ammonia): Technical appendix. *Water Quality Criteria*. Water Management Branch, British Columbia Ministry of Environment and Parks. Victoria, BC. 83 pp.
- Northcote T., P. Morales, D. Levy, et al. 1989. *Pollution in lake Titicaca, Peru: training research and management*. Westwater research centre, University British Columbia, Vancouver. Canada.
- Northcote T., P. Morales, D. Levy, et al. 1991. Contaminación en el Lago Titicaca, Perú: Capacitación, investigación y manejo. Westwater research centre, University of British Columbia, Vancouver. Canada.
- NRC (National Research Council). 1978. *Nitrates: An Environmental Assessment*. Scientific and Technical Assessments of Environmental Pollutants. National Academy of Sciences. Washington, D.C. 723 pp.
- Ocola S.J. & C.J. Torres. 1997. Informe de Evaluación de la eutrofización sobre el comportamiento de la flora acuática en la bahía interior de Puno.
- Pineda D. 1997. Influencia de la eutrofización en la distribución espacial de ictiofauna en la bahía interior de Puno. Tesis, Licenciado en Biología. Facultad Ciencias Biológicas Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Prat N., A. Munné, M. Rieradevall, et al. 1999. La qualitat ecològica del Llobregat, el Besòs, el Foix i la Tordera. Informe 1997. *Estudis de la qualitat ecològica dels rius*. Àrea de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. 154 pp.
- RM N°. 003-2002-PE. 2002. Protocolo para el monitoreo de efluentes y cuerpo marino receptor. Ministerio de Pesquería. 13 de enero de 2002. El Peruano Normas Legales: 215564-215582.
- Richerson P.J., C. Widmer, T. Kritel & et al. 1975. A survey of the physical and chemical limnology of Lake Titicaca. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*. 19: 1498-1503.
- Sarmiento A. 1984. Determinación de nutrientes: Nitrógeno y fosforo en la bahía interior de Puno. Tesis, Licenciado en Biología. Facultad Ciencias Biológicas Universidad Nacional del Altiplano Puno.
- Strickland J.D. & T.R. Parsons. 1968. *A manual of seawater analysis*. Research Board of Canada. Bull N° 125.
- Strickland J.D. & T.R. Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Bulletin of Fishery Research. Bd. Canada. 310 pp.
- UNEPGEMS (United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System). 2008. *Water Quality for Ecosystem and Human Health*, 2nd Edition.
- USGS (U.S. Geological Survey). 1999. *The quality of our nation's waters: Nutrients and pesticides*. Report No. 1225. U.S. Geological Survey. Reston, VA. pp. 1-82.
- Wetzel R. 1981. *Limnología*. Editorial Omega S. A. España. 679 pp.