

MEJORA DE LA COMPETITIVIDAD DE LA MEDIANA Y PEQUEÑA ACUICULTURA

ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN ACUÁTICA EN EL LAGO TITICACA Y PRINCIPALES AFLUENTES



Puno, Abril del 2009

ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN ACUÁTICA EN EL LAGO TITICACA Y PRINCIPALES AFLUENTES

RESUMEN

De acuerdo al rol de actividades determinadas por el Laboratorio Regional de Puno (LRP), durante el año 2008 se realizaron evaluaciones referidas al análisis de parámetros fisicoquímicos y biológicos para el estudio de la calidad acuática en la cuenca del Lago Titicaca. En este sentido, se desarrolló un plan de muestreos mensuales, en los cauces de los principales ríos y en zonas del lago identificadas como áreas de pesca, desove y de desarrollo acuícola. La Bahía Interior de Puno registró los valores más elevados de temperatura con 19,7 °C., de turbidez y coliformes fecales; así como los valores más bajos de concentración de oxígeno disuelto. Asimismo, los sedimentos colectados en los cauces de los ríos Ananea (zona de explotación minera), Coata, Azángaro y Ramis registraron valores de concentración de trazas de arsénico muy por encima de los límites permisibles (LGA).

1. INTRODUCCIÓN

Estudios realizados por el LRP durante el 2008, son parte de las componentes consideradas en el convenio interinstitucional IMARPE – FONCHIP.

La contaminación en el Lago Titicaca está circunscrita principalmente a zonas focalizadas, siendo la Bahía de Puno, identificada como la más contaminada. Los indicios percibidos son temperatura alta, transparencia baja y presencia de grandes volúmenes de plantas flotantes, lo cual indica alta concentración de nutrientes y material orgánico, provenientes de los desagües urbanos.

Según el análisis de la información recopilada, se infiere que la contaminación en el Lago Titicaca se debería principalmente a dos causas:

- Por los desechos urbanos e industriales que se vierten al Lago, sin ningún tratamiento ni control. La cobertura de servicio de alcantarillado en la ciudad de Puno es aún deficiente, al igual que la laguna de bio-estabilización, lo cual condiciona que los desechos orgánicos de las áreas no cubiertas por el servicio de alcantarillado y los residuos sólidos no dispuestos adecuadamente sean arrastrados por las lluvias a la Bahía de Puno, incrementado su eutrofización y poniendo en riesgo la salud humana.
- Por la actividad minera: la presencia de un gran número de minas que se encuentran en las partes altas de la cuenca del Titicaca, que utilizan elementos tóxicos como el mercurio para la amalgamación de minerales auríferos, argentíferos y otros metales. También hay la presencia de arsénico por efecto de la remoción de la tierra y rocas; además de presencia de plomo y cadmio por la propia acción antrópica; tal es el caso de las minas Rinconada, Lunar de Oro, Ananea, Oriental, Huajchani, San Rafael y otras que se encuentran ubicadas en la cuenca del río Ramis; Kumuni y Suches (lado peruano y boliviano) en la cuenca del río Suches; Santa Lucía, Palca, Pomasi, Limón Verde en la cuenca del río Coata; Chihuani y Punta Hermosa en la cuenca del río Ilave; asimismo el tratamiento de minerales auríferos que se realiza en la provincia de San Antonio de Putina en la cuenca del río Huancané.

Esta situación, así como su impacto negativo en la biodiversidad, determinan que las actividades pesqueras que se realizan en el Lago Titicaca estén expuestas a una serie de problemas, que pueden impedir su desarrollo sostenido. En el presente informe se dan a conocer los resultados de las evaluaciones efectuados por el Laboratorio Regional de IMARPE en Puno, referidas a los estudios de "Contaminación Acuática en el Lago Titicaca y Principales Afluentes", desarrollados en el marco proyecto PROPESCA y el convenio específico IMARPE – FONCHIP 2008.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio comprendió 14 puntos, ubicados en la cuenca del Lago Titicaca, donde se realizaron muestreos periódicos (abril, julio, agosto, noviembre y diciembre) de agua y sedimentos, midiéndose *in situ*, temperatura y pH. Estos puntos de muestreo correspondieron a lugares donde el Laboratorio Regional de Puno ha venido realizando investigaciones de calidad ambiental desde el año 2006.

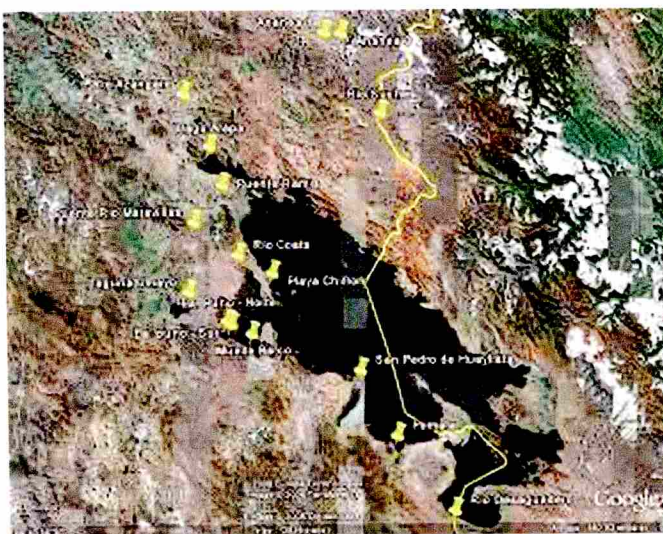
Se colectó muestras de agua para análisis de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grasas, sulfuros de hidrogeno, coliformes totales y fecales.

En el mes de diciembre se tomaron muestras de sedimentos y tejidos de peces para determinar trazas de metales.

La determinación de los parámetros fisicoquímicos, en agua y sedimentos, se realizaron siguiendo las metodologías siguientes:

- Temperatura: mediante un termómetro de inmersión.
- Oxígeno disuelto: metodología de Carrit y Carpenter (1966).
- pH: lectura de potenciómetro.
- SST: método gravimétrico de la United States Environmental Protection Agency (USEPA) 1986
- Aceites y grasas: método gravimétrico de Environment Water Resources Service 1976.
- Sulfuros de hidrógeno: método colorimétrico de Fonselius.
- Trazas de metales pesados: Espectrofotómetro de Absorción Atómica, para metales como arsénico (As), mercurio (Hg), cobre (Cu), plomo (Pb), hierro (Fe), cadmio (Cd) y zinc (Zn).
- Granulometría y geoquímica del sedimento del lago: se realizaron los análisis de materia orgánica total mediante el método de ignición según Dean (1974).
- Se determinó trazas de mercurio (Hg) en tejidos de peces, por espectroscopía de Absorción Atómica de vapor Frio (CVAAS), análisis que fueron realizados en el laboratorio de Envirolab-Perú SAC (Lima).
- Para la cuantificación de Coliformes Totales y Coliformes Fecales se empleó el método de filtración de membrana (UFC/100ml) descrito en Standard Methods for Examination of Water and Waste Water (APHA, 1993). Se tomó 100 ml de muestras de agua en frascos estériles en 15 puntos de monitoreo en toda la cuenca del Lago Titicaca. En la determinación de coliformes se emplearon los reactivos M-ENDO y M-FC, filtro de membrana, placas Petri, almohadillas absorbentes, autoclave, balanza analítica, agua destilada, frascos para reactivos herméticos, pinzas e incubador.

LUGAR	LATITUD	LONGITUD (W)
Lago Arapa	15° 07' 48.8"	70° 04' 43.5"
Rio Azangaro	14° 55' 00.6"	70° 11' 18.0"
Ananea 1	14° 39' 57.0"	69° 32' 16.2"
Ananea 0	14° 40' 18.0"	69° 32' 11.2"
Rio Suches	14° 59' 00.3"	69° 22' 16.0"
Rio Ramis	15° 15' 16.4"	69° 52' 22.6"
Capachica/ Playa Chifron	15° 38' 07.0"	69° 48' 45.0"
Rio Coata	15° 33' 56.1"	69° 57' 17.3"
Bahia de Puno (Norte)	15° 49' 51.1"	69° 59' 53.0"
Bahia de Puno (Sur)	15° 50' 35.0"	69° 58' 55.4"
Muelle Barco - Chucuito	15° 52' 49.0"	69° 53' 39.4"
Desaguadero	16° 34' 35.0"	69° 02' 08.0"
Ilave - San Pedro de Huayllata	16° 01' 04.0"	69° 26' 27.0"
Pomata	16° 16' 42.0"	69° 16' 57.5"



3. RESULTADOS

3.1 Análisis Cuantitativo y Cualitativo de Bentos

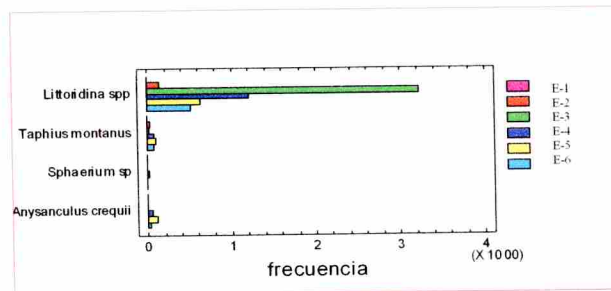
a) Bahía Interior de Puno

En las muestras de sedimentos en 6 estaciones de la Bahía Interior; no se encontró especies bentónicas vivas, solamente restos (conchuelas) de algunos moluscos, (Tabla 1). Esta ausencia de organismos vivos bentónicos está relacionada con el alto grado de eutrofización de esta bahía y la presencia de zonas anóxicas (ausencia de oxígeno) en el fondo.

Tabla 1. Registro de restos de conchuelas por especie en la Bahía Interior de Puno; Octubre del 2008

Estación	<i>Littoridina spp.</i>		<i>Taphius montanus</i>		<i>Sphaerium</i>		<i>Anysanculus crequii</i>		Residuos (g)	Peso total (g)
	N°	Peso (g)	N°	Peso (g)	N°	Peso (g)	N°	Peso (g)		
E-1	1	0,0035	2	0,0180	--		--			0,0215
E-2	126	2,0000	21	2,6000	--		--		0,7000	5,3000
E-3	3214	9,4000	11	0,0500	2	0,0131	--		1,0650	10,5281
E-4	1192	3,7245	70	0,1632	10	0,0415	40	0,0175	2,5970	6,5437
E-5	628	2,6027	90	0,7216	3	0,0267	102	0,0485	1,5682	4,9677
E-6	505	2,6500	69	0,9900	--		28	0,0235	0,6000	4,2635

De acuerdo a los resultados obtenidos, se constató la existencia de restos de organismos bentónicos (moluscos), con predominio de la especie *Littoridina spp.* En general, debido al proceso acelerado de eutrofización que ha modificado las condiciones fisicoquímicas del fondo, la Bahía Interior, se está convirtiendo en una zona no apta para la vida acuática.



b) Macroinvertebrados bentónicos en zonas de cultivo de trucha

En agosto 2008 se evaluó la biodiversidad de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos debajo de las jaulas flotantes del cultivo de trucha, de las zonas de Chucuito, Pomata, Chucasuyo y en Lagunillas-Santa Lucía. Se registró un total de 12 morfoespecies, la mayoría de las cuales corresponden a Mollusca (42%), Annelida (25%), Arthropoda (17%), Insecta (8%) y Platyhelminthes (8%).

Los resultados indican un estado crítico respecto a la calidad del agua considerando a las comunidades de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de perturbaciones ambientales.

3.2 Análisis de coliformes totales y fecales

a) Bahía Interior de Puno

- En superficie

Los resultados de abundancia de *coliformes totales* y *fecales*, indica que a nivel de superficie los valores no sobrepasaron los límites permisibles, según la Ley General de Aguas (LGA). La estación 4 (cerca de la Ciudad Universitaria) registró los valores más elevados (Tabla 2), por lo cual debe ser monitoreada con mayor regularidad.

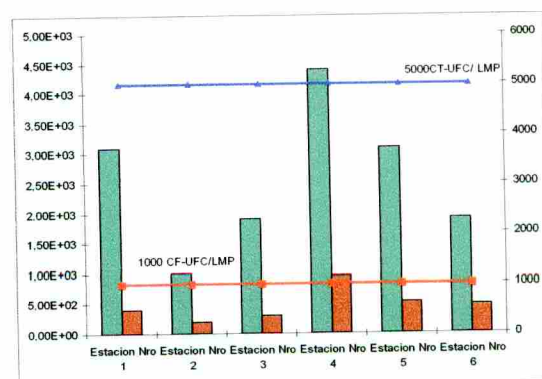


Tabla 2. Coliformes totales y fecales en superficie. Diciembre del 2008

BAHÍA INTERIOR – SUPERFICIE						
Nº Estación	Longitud (W)	Latitud (S)	Coliformes Totales UFC/100ML	Coliformes Fecales UFC/100ML		
E-1	70° 00' 51"	15° 49' 54"	3,10E+03	4,00E+02		
E-2	69° 53' 56"	15° 50' 05"	1,00E+03	2,00E+02		
E-3	69° 59' 53"	15° 50' 25"	1,90E+03	3,00E+02		
E-4	69° 52' 43"	15° 48' 28"	4,40E+03	9,50E+02		
E-5	69° 58' 46"	15° 50' 46"	3,10E+03	5,20E+02		
E-6	69° 59' 14"	15° 51' 26"	1,90E+03	4,70E+02		

• En profundidad

De las 06 estaciones evaluadas, a nivel del fondo, la estación 4 sobrepasó los límites permisibles en coliformes totales y fecales (Tabla 3). En menor grado, estuvieron las estaciones 1, 5 y 6. Los valores de coliformes totales y fecales fueron más elevados en profundidad que en superficie.

La contaminación presente en estas zonas se debe al pobre tratamiento de las aguas residuales ya que la laguna de bio estabilización de Espinar no es suficiente.

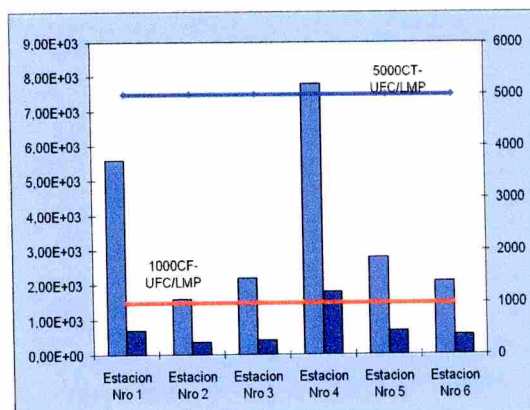


Tabla 3: Resultados de coliformes totales y fecales en profundidad. Diciembre del 2008

BAHÍA INTERIOR - PROFUNDIDAD						
Nº Estación	Longitud (W)	Latitud (S)	Profundidad de Columna de Agua	Profundidad de Muestra	Coliformes Totales UFC/100ML	Coliformes Fecales UFC/100ML
E-1	70° 00' 51"	15° 49' 54"	2,0 m	1,0 m	5,60E+03	7,00E+02
E-2	69° 53' 56"	15° 50' 5"	2,0 m	1,0 m	1,60E+03	3,70E+02
E-3	69° 59' 53"	15° 50' 25"	5,3 m	3,0 m	2,20E+03	4,20E+02
E-4	69° 52' 43"	15° 48' 28"	3,5 m	2,5 m	7,80E+03	1,80E+03
E-5	69° 58' 46"	15° 50' 46"	2,3 m	1,0 m	2,80E+03	6,90E+02
E-6	69° 59' 14"	15° 51' 26"	3,0 m	2,0 m	2,10E+03	5,70E+02

b) Cuenca del Titicaca

Las evaluaciones microbiológicas (coliformes totales y fecales) de agua en las estaciones Ananéa 1, Ananéa 2, Laguna de Arapa, playa Chifrón, San Pedro de Huayllata, Muelle Barco (Chucuító), indicaron bajos niveles de contaminación, que oscilan de 1 680 a 4 160 UFC/100ml de Coliformes Totales y de 100 a 220 UFC/100ml de Coliformes Fecales. No sobrepasaron los LMP para el tipo de aguas III (Ley General de Aguas). Cabe señalar que en Ananea 1 y 2 (puntos de muestreo de máxima altura) las temperaturas son muy bajas, lo que inhibe el crecimiento exponencial de los coliformes.

Del otro lado, las aguas de Pomata y el Río Suches arrojaron niveles variados de contaminación con concentraciones que estuvieron en el rango de 4 520 a 7 800 en UFC/100ml para Coliformes Totales sobrepasando los LMP. Para el caso de los coliformes fecales, los valores se encontraron dentro de los LMP (760 a 900 en UFC/100ml) para el tipo de agua III.

En los puntos de muestreo ubicados en los ríos Desaguadero, Azángaro, Coata y Ramis (Puente), además de la Laguna de Umayo, los niveles de contaminación, son críticos, con concentraciones que variaron de 5 600 a 13 600 UFC/100 ml (coliformes totales) y de 1,300 a 3, 400 UFC/100 ml (coliformes fecales), sobrepasando

los LMP para el tipo de agua III (LGA). Se precisa que estos ríos encauzan deshechos orgánicos provenientes de la actividad antropogénica (aguas residuales, ganadería, agricultura, minería, etc.).

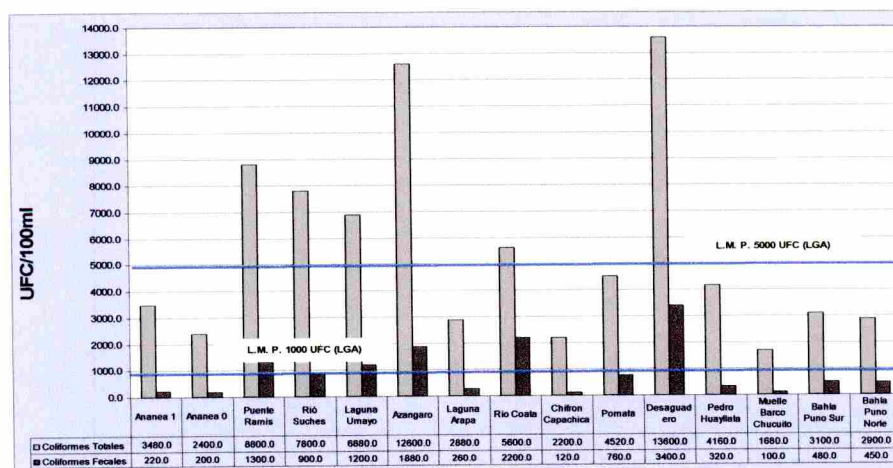
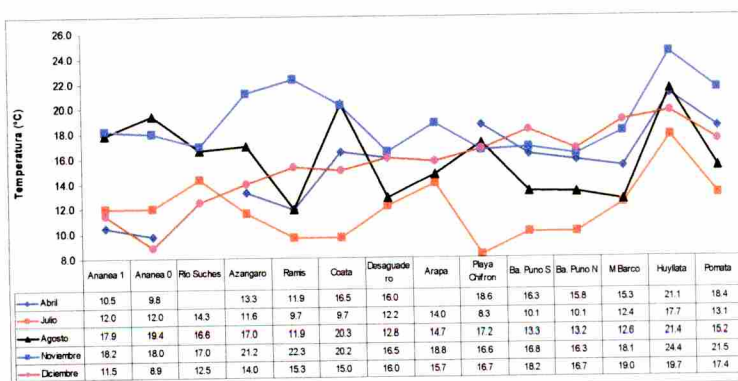


Tabla 04. Coliformes Totales y Fecales, en lugares seleccionados de la cuenca del Lago Titicaca. 2008.

Nº	Estación de muestreo	Latitud (S)	Longitud (W)	Coliformes Totales UFC/100ML	Coliformes Fecales UFC/100ML
1	Ananea 1	14° 39' 56"	69° 36' 27"	3,480	220
2	Ananea 2	14° 39' 58"	69° 32' 21"	2,400	200
3	Puente Ramis	15° 17' 05"	70° 01' 30"	8,800	1,300
4	Río Suches	14° 59' 03"	69° 22' 16"	7,800	900
5	Laguna Umayo			6,880	1,200
6	Río Azángaro	14° 55' 01"	70° 11' 19"	12,600	1,880
7	Laguna Arapa	15° 07' 48"	70° 04' 43"	2,880	260
8	Río Coata	15° 33' 56"	69° 57' 17"	5,600	2,200
9	Chifrón Capachica	15° 38' 07"	69° 48' 45.0"	2,200	120
10	Pomata	16° 16' 42"	69° 16' 57"	4,520	760
11	Desaguadero	16° 34' 35"	69° 02' 08"	13,600	3,400
12	Pedro Huayllata	16° 01' 04"	69° 26' 27"	4,160	320
13	Muelle Barco Chucuito	15° 52' 04"	69° 53' 39"	1,680	100
14	Bahía Puno Sur	15° 50' 35"	69° 58' 55"	3,100	480
15	Bahía Puno Norte	15° 49' 51"	69° 59' 53"	2,900	450

3.3 Parámetros Físicoquímicos

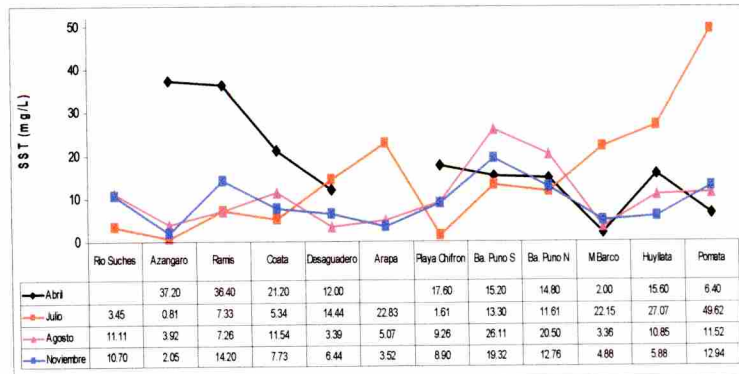
a) Temperatura superficial: En los puntos de muestreo, fluctuó entre de 24,4° C (Pomata, en el mes de noviembre) y 8,3°C (Chifrón, en el mes de julio). En general, noviembre fue el mes que se registraron los mayores valores de temperatura y el mes de julio registró las temperaturas más bajas. En los meses de abril y diciembre las zonas de río Suches, Ananea, registraron valores bajos, que coincidió con la época de heladas en el altiplano.



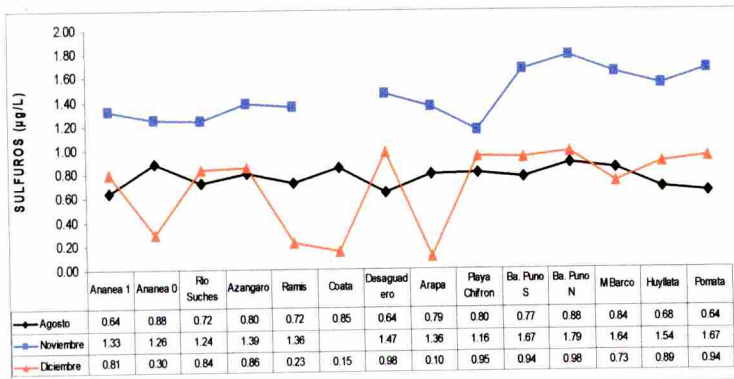
b) pH: Los valores se mantuvieron en la mayor parte del año con tendencia básica, apreciándose marcadas diferencias entre los puntos de muestreo. En abril, los valores de pH en Ananéa 1 y 2, estuvieron altos (8,95 y 9,20 respectivamente), coincidiendo con un periodo de paralización de actividades mineras. En julio, se registró una caída considerable (5,52 y 5,85 respectivamente), debido al reinicio de las actividades mineras.

c) Sólidos Suspendidos Totales (SST):

Los valores de SST encontrados presentaron una marcada variación. Las muestras tomados en el río Suches registraron los valores más bajos y estables, con un promedio de 8,42 mg/L, estando dentro del límite máximo permisible. En Ananéa se presentaron valores máximos de 1 353,19 y 938,00 mg/L (Agosto). Los niveles elevados de SST son producto de la actividad minera que se desarrolla en esta zona y que liberan al río las aguas residuales.



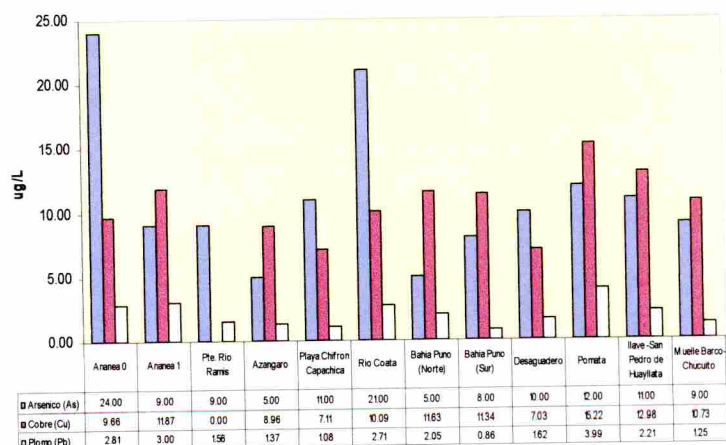
d) Sulfuros: En todas las estaciones, los mayores valores de sulfuros se registraron en el mes de noviembre, en todas las estaciones (mes con poca carga de agua en los ríos). Resaltó los registros obtenidos en las estaciones de la Bahía Interior de Puno zonas norte y sur, con 1,67 y 1,79 mg/L respectivamente, debido lo eutrofización del área. En diciembre se registró los valores más bajos; la laguna Arapa registró los valores más bajos de toda la evaluación (0,10 mg/L), *Figura 83.*



e) Aceites y Grasas: La Bahía Interior de Puno (zona norte) registró el valor más elevado (1,62 mg/L), seguido del río Suches (1,50 mg/L) y el río Coata (1,41 mg/L).

3.4 Trazas de Metales Pesados

Dado que la actividad minera formal e informal, está asentada en las partes altas de la cuenca del Titicaca, además que las diferentes actividades agro-industriales se desarrollan a lo largo de las cuencas de los ríos que desembocan en el Lago Titicaca, por tal razón es necesario monitorear alrededor de estas zonas.



a) En agua

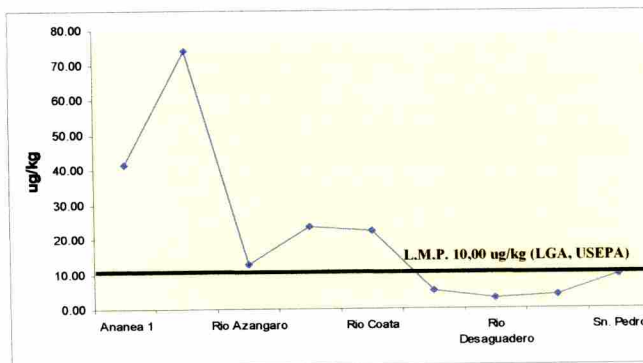
En general, los valores mostraron concentraciones por debajo de los límites permisibles de la LGA y USEPA. El arsénico registró los valores más altos cerca de la mina Ananea y el río Coata con 24 y 21 µg/L, respectivamente.

El cobre alcanzó valores altos en Pomata, San Pedro de Huayata y la Bahía de Puno. En tanto el plomo en Pomata, Ananea, y río Coata.

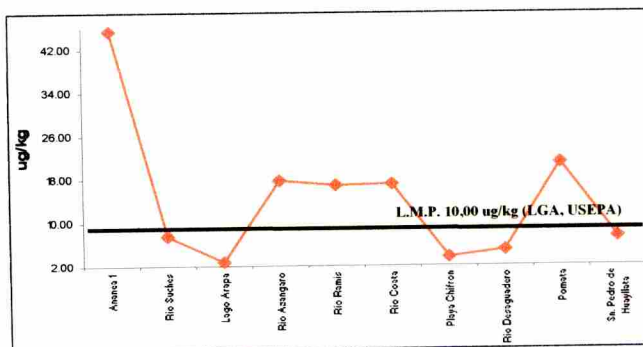
b) En sedimentos

Los valores de Hg, Cd, Pb, Cu, Mn, Zn y Fe se encontraron por debajo de los límites permisibles determinados por LGA y USEPA.

Con relación al arsénico, en el muestreo del mes de abril, en la zona norte de la cuenca del Titicaca, los valores superaron el LMP (10,00 µg/kg).



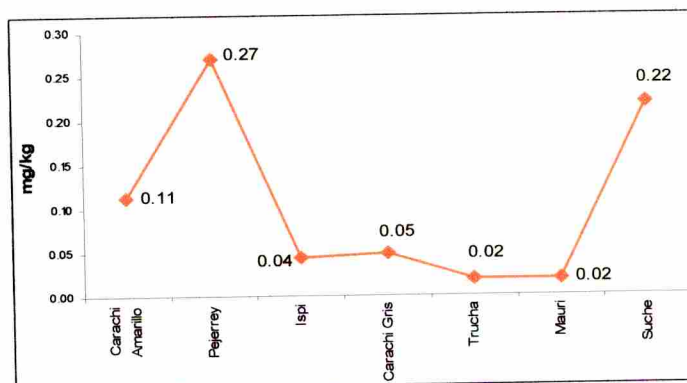
En diciembre se muestrearon otros puntos adicionales a los del mes de abril. Lo saltante fue que en la Laguna de Arapa la concentración de arsénico es baja, también en el río Suches. En tanto en Pomata supero el LMP, al igual que las estaciones de la zona norte de la cuenca.



Del mismo modo se registró presencia de trazas de Hg próximos a su LMP en Ananea 2 y el río Coata.

c) Mercurio en tejido de peces

En las especies evaluadas, se encontró por debajo del LMP. Sin embargo, en el pejerrey y suche de talla comercial, se presentaron contenidos significativos de trazas de Hg (0,271 mg/kg y 0,219 mg/kg, respectivamente).



4. DISCUSIÓN

La Bahía de Puno, se mantiene como un área con valores elevados de nutrientes, en comparación al Lago Mayor, por lo que sus riberas se constituyen en zonas de reproducción y desove de las especies ícticas en determinadas estaciones del año. En el litoral sur de la Bahía, zona con intensa actividad de cultivo de truchas, el oxígeno disuelto no superó los 4,97 ml/L (ó 7,12 mg/L).

La evaluación del bentos en la Bahía Interior indica que la composición de la comunidad bentónica tuvo predominancia de una sola especie (*Littoridina spp.*); cabe mencionar que las muestras presentaron restos de moluscos (conchuelas), no encontrándose organismos vivos, ocasionado por los bajos niveles o ausencia de oxígeno y acumulación de materia orgánica en las aguas más profundas (fondos fangosos). Las concentraciones de nitratos y nitritos de la Bahía Interior de Puno fueron superiores a las de la Bahía Exterior, sobrepasando los 21,00 ug-at/L, valor que señala una fuerte eutrofización. De la misma manera, los contenidos de fosfatos fueron superiores a 0,20 ug-at/L.

Las mayores concentraciones de coliformes totales y fecales se presentaron en la estación cercana a la laguna de oxidación (Espinar) con $7,8 \times 10^3/100$ ml. En 1989, un estudio (*Rivera et al*) encontró grandes cantidades de coliformes totales y fecales $1 \times 10^5/100$ ml. y en 1997 valores de $22,4 \times 10^4/100$ ml (*Ocola y Torres*). Se puede decir que desde el año 1989 a la actualidad los niveles de coliformes totales y fecales fueron disminuyendo.

La transparencia del agua en la Bahía Interior de Puno (mayo a diciembre) sólo alcanzó en promedio los 0,75 metros, lo cual se debe a que la Bahía interior de Puno es virtualmente, un sistema natural cerrado con un tiempo de retención de sus aguas, estimado en 18 a 64 años (*JICA – INADE, 2000*), teniendo un mínimo intercambio de agua con la Bahía Exterior a través de los dos canales de navegación (Uros e interconexión). Todos los materiales y sustancias que ingresan a la bahía Interior tienden a permanecer y acumularse ahí. Desde el punto de vista positivo, esta barrera (de sedimentos) previene la difusión de la contaminación hacia la Bahía Exterior donde el agua es más limpia. Hay que considerar, asimismo, la influencia de poblamientos algales densos y la presencia temporal de fuertes cargas sólidas sedimentarias por efecto de las lluvias; más baja durante la época húmeda (estaciones con lluvias) y más alta en época seca (estaciones sin lluvias).

Uno de los principales agentes contaminantes de los lagos es la minería, desarrollada en las zonas altas de la cuenca del Titicaca (Ananea, Rinconada, San Antonio de Putina), debido a que utilizan los afluentes de los principales ríos para el procesamiento de los minerales. Asimismo, en su trayectoria, arrastran residuos minerales en la parte media y baja de la cuenca, donde se desarrollan actividades económicas como la agropecuaria y la pesca, impactándola en diferente medida.

Cabe señalar que estas actividades mineras determinan pasivos ambientales que vienen degradando la calidad del medio acuático del lago y sus recursos. Observándose, por ejemplo, elevados registros de SST en Ananea y la Laguna Arapa; sulfuros, aceites y grasas en la Bahía Interior de Puno, Coliformes Totales en zonas adyacentes a los centros poblados y trazas de metales como el mercurio, que en el caso del pejerrey y el mauri tiene concentraciones próximos a los LMP que son una potencial preocupación y riesgo para la salud pública. El hecho de que las especies ícticas de la cuenca del Lago Titicaca presentan niveles inferiores de mercurio con respecto al valor límite determinado por LGA y USEPA (0.5 µg/g y 0,5 mg/kg) de peso húmedo establecido para peces de consumo humano, no debe significar que su consumo es totalmente inocuo a la salud de los habitantes que utilizan estas especies como fuente de proteína en la dieta. Ha sido demostrado que aún a bajas concentraciones, el mercurio puede conducir a la neurotoxicidad (*Lebel et al., 1998; Auger et al., 2005*). El problema aparece entonces en la fuente de alimentos para los pescadores y población de la cuenca, quienes están en riesgo de intoxicación mercurial, por la posición de los peces en lo más alto de la cadena trófica.

Las evaluaciones en número de Coliformes Totales y Fecales, indican elevados valores de presencia de estos organismos en todos los puntos muestreados, siendo más significativos en los puntos próximos a los centros poblados (Ramis, Coata, Azángaro y Desaguadero). Dado que la presencia de estos microorganismos patógenos son indicadores de contaminación del agua, ello evidencia malos manejos de los recursos hídricos, por lo que es menester que los Gobiernos Locales, entre otros, establezcan sistemas de tratamiento óptimos de las aguas. Es preciso destacar que en la mayoría de las localidades de la Región Puno, el agua para consumo humano es captada de los ríos, los cuales presentan diferentes grados de contaminación. Luego, asimismo, las aguas residuales, sin tratamiento adecuado, son vertidas al lago contribuyendo a la contaminación.