

"ASPECTOS DE CONTAMINACION DEL LAGO POPOO

CON METALES PESADOS"

por: M. Beveridge, Universidad de Stirling, Escocia.
R. R. Coutts, Misión Británica en Bolivia

1983

Jorge Quintanilla Huirre

ANTECEDENTES

El Altiplano está drenado por tres sistemas (Dib.1): el extenso sistema Titicaca-Poopo que drena la parte norte y central; y los sistemas Coipasa y Uyuni que drenan partes del sur y suroeste del país.

El Lago Titicaca tiene un largo tiempo de residencia, por encima de los 60 años, y más del 50% del agua entrante proviene de las precipitaciones. Casi el 90% de las pérdidas de agua del lago se deben a la evaporación, y sólo un 10% se pierde por la única salida en el extremo sur del lago, el Río Desaguadero (Carmouze *et al.*, 1976). El Río Desaguadero fluye hacia el sur unos 350 km. y por fin desemboca en el Lago Poopo.

Con el tiempo, el Río Desaguadero ha cambiado frecuentemente de curso. En 1961, un cambio de curso inundó el campo alrededor del extremo norte del lago, formando un lago grande, el Lago Uru-Uru, justo al sur de Oruro. Durante la estación de lluvias (noviembre-febrero), el Lago Uru Uru suele inundar el campo cercano, formando un lago de poca profundidad, de 250 km² en extensión. Sin embargo, fracasaron los esfuerzos de mantener y preservar el lago, que en 1962-63 se había poblado con Pejerrey (*Basilichthys bonariensis*), y que para los pescadores locales resultaba una excelente zona de pesca (Zuna e Imaki, 1981, Zuna, 1982). Debido a la alta tasa de sedimentación, calculada en 2.58 a 3.01 cm yr⁻¹ sobre 200 Km ó 50 cm sobre 10.33 - 12.04 Km² yr⁻¹ (observaciones no publicadas de los autores) el lago se llenó cerca de la entrada y en 1980 el Desaguadero se desvió, 20 km al norte de Toledo. El nuevo brazo del río, que llevaba aproximadamente el 75% del volumen, dió un rodeo al Lago Uru Uru y desembocó en el Lago Poopo seis km al oeste de Toledo. Desde entonces, la pesca en el lago ha decaído, y el Lago Uru Uru se ha secado paulatinamente. Por eso, aunque lo había solicitado, no pude investigar la contaminación del lago.

El Lago Poopo es un lago endorreico, que drena un área de 55,000 km² (Dib. 2) (Boulangue *et al.*, 1978). Mide 90 km de largo, y 53 km de ancho, y tiene un área superficial media de 2,600 km² (Gilson, 1938), aunque durante la temporada de lluvias el agua inunda una zona enorme del campo circundante, duplicando su extensión. Un mapa batimétrico del lago fue producido en 1977 por O.R.S.T.O.M. (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer) (Carmouze *et al.*, 1977) y se descubrió que la profundidad media era 2.5 m, y se calculó que su volumen era 1215 x 10⁶ m³.

El Lago Poopo tiene numerosas entradas, unas estacionales, otras permanentes, que desembocan en el lago en las orillas del norte, este y sur. Muchos de estos ríos no llegan al lago durante la temporada de sequía, sino que se quedan a cierta distancia del límite del lago y el agua se filtra en el campo circundante. Sin embargo, estas zonas se inundan durante la temporada de lluvias.

Al contrario del Lago Titicaca, las entradas del Lago Poopo contribuyen, más del 80% del agua entrante (Carmouze *et al.*, *ibid.*). El lago tiene también un tiempo de residencia mucho más corto, y una alta tasa de evaporación a la que se deben casi el 95% de las pérdidas de agua del sistema. El lago es, por tanto, altamente salino (Gilson, 1938; Carmouze *et al.*, 1978; Servant-Vildary, 1978).

Se ha trabajado poco sobre los aspectos físicos, químicos o biológicos del Lago Poopo. Las temperaturas varían entre 0 y 5°C en invierno, y 12-14°C en verano (Boulangé *et al.*, 1978). La salinidad varía según las estaciones, y aumenta hacia el sur (Carmouze *et al.*, 1978) y se afirma que varía entre 20 y 40 g/l (Servant-Vildary, 1978). Las salinidades altas se deben principalmente a NaCl y NaSO₄.

Sólo la fauna diatomea de los sedimentos superficiales se ha estudiado con cierto detalle (Servant-Vildary, *ibid.*). Parece que sólo existen tres especies de peces en el Lago Poopo, Trichomycterus rivulatum, Orestias sp. y Pejerrey, (Basilichthys bonariensis) aunque raras veces se encuentra una trucha (Salmo gairdneri).

El pejerrey, una especie indígena de Argentina, se trajo a Bolivia en los 1940, y se introdujo en el lago en 1962 desde el Lago Angostura, Cochabamba en 1962, y parece que ha dado un resultado excelente. Desde mediados de los 1960, el lago ha mantenido una buena industria pesquera, principalmente a base del pejerrey. En 1980, la captura anual de los 439 pescadores que trabajan en el lago era 687 toneladas (Zuna e Imaki, 1981; Zuna, 1982). También se han publicado estudios de aspectos de la captura y comercialización de los peces, realizados por Coutts y Zuna (1981). Sin embargo, no se ha publicado nada sobre la biología y ecología de las poblaciones de peces del lago.

Durante varios años los pescadores locales se han quejado de que las entradas contaminadas del lado occidental del lago resultaban en bajas capturas en esas zonas y de que como consecuencia la pesca era mejor en las partes sur y oeste del lago. Muchos de los ríos drenan cerros y montañas ricos en yacimientos de estaño y plata y con estos minerales se asocian otros, tales como tungsteno y zinc (Campbell, 1942; Turneure, 1960).

METODOLOGIA

El muestreo se realizó al final de temporada de sequía, entre el 2 y el 6 de noviembre de 1982. Se tomaron muestras de agua para análisis químicos y análisis para metales pesados de cada entrada que no se había secado y de los tres sitios en el lago (Dib. 2). Estos últimos estaban entre 1 km. y 1.5 km. de la orilla. Las fechas del muestreo y las referencias cartográficas de estos sitios se dan en los Cuadros 1 y 2. En cada sitio se midieron inmediatamente el pH, temperatura y conductividad. Las muestras para análisis químicos fueron transportadas en botellas de plástico de 1 litro lavados en ácido, y, dentro de un plazo de cuatro horas, analizadas para un rango de parámetros utilizando un laboratorio portátil Hach para análisis de aguas. En algunos casos fue preciso diluir las muestras con agua desionizada, ya que la concentración del ion sobrepasaba la escala del método utilizado. Se calculó la salinidad con un hidrómetro. Se llenaron de agua botellas de plástico de 160 ml y se guardaron para análisis para metales pesados a la vuelta a Stirling. Se añadió 10 ml de HNO_3 concentrado a cada muestra para evitar la absorción de metales a las botellas de plástico (Allen, 1974).

Se tomaron muestras de sedimento con un tubo de plexiglás de 3.5 cm. de diámetro con el que se penetró el substrato. Cada muestra medía entre 10 y 12 cm. de largo. Las muestras se sacaron del tubo y se dividieron en dos sub-muestras - una de los 4 cm. de arriba y otra de los 6-8 cm. de abajo, las que fueron secadas al aire durante 96 horas en platos petri de plástico esterilizados antes de trasladarse a bolsos de plástico para facilitar su transporte a Escocia.

Se cogieron a mano muestras de plantas que luego fueron secadas al aire durante 96 horas y después encerradas en bolsos de plástico.

Dos especies de peces, *Orestias* y *Pejerrey*, fueron cogidas por pescadores en tres sitios cerca de Katawini y Kari en el extremo norte del lago (véase Dib. 2 para localizaciones aproximadas). Dentro de un plazo de cuatro horas después de su captura, los peces fueron medidos, pesados, y se tomaron muestras de las escamas. Cinco peces (tres pequeños, uno mediano y uno grande) de cada especie se retuvieron para análisis para metales pesados y se guardaron en bolsos que contenían 5% formol.

Al regreso a Stirling todas las muestras fueron preparadas para análisis. Las muestras de agua fueron filtradas por papel filtro de fibra de vidrio (Watmanns GF/C) para separar fracciones disueltas y particuladas. El líquido filtrado se guardó en botellas de polietileno para análisis, y el residuo y los filtros fueron secados hasta peso constante a 35°C, pesados y luego digeridos. Fueron

digeridos y analizados también papeles filtro sin usar para comprobar una posible fuente de contaminación.

Se secaron las muestras de tierra a 60°C hasta peso constante, luego se pulverizaron con maja y almirez de vidrio hasta homogeneizarse, y se cogieron dos réplicas por muestra de cada sitio para digestión.

Las muestras de plantas fueron pesadas por un tamiz de nilón hasta homogeneizarse y se digirieron dos réplicas por muestra de cada sitio.

Dos pequeños peces enteros de cada sitio fueron secados hasta un peso constante a 60°C, y pulverizados con maja y almirez de vidrio hasta homogeneizarse y se digirieron dos réplicas por muestra.

Se analizó el formol utilizado para preservar los peces como posible fuente de contaminación. Reactivos blancos fueron procesados para cada juego de muestras. Todos los recipientes de vidrio y botellas de polietileno fueron remojados durante 24 horas en ácido acético diluido y enjuagados cuidadosamente en agua desionizado antes de utilizarse. Se emplearon guantes de polietileno desechables siempre cuando fue necesario manejar las muestras.

Debido a la volatilidad de muchos de los elementos que se medían, se empleó un procedimiento de digestión húmeda, para así evitar las altas temperaturas que se encuentran con una malla y reducir la volatilización de los elementos (Katz *et al.*, 1981). No se empleó ácido perclórico como agente oxidante, ya que los compuestos de antimonio son altamente explosivos (Hesse, 1971).

Se añadieron diez ml de HNO_3 (Analar) a cada 2 gm de cada muestra y se dejó digerirse en frío a temperatura ambiental durante 48 horas. Después de digestión, las muestras se calentaron a 120°C hasta que dejaron de aparecer humos marrones de NO_2 (aproximadamente 5 horas). Después de enfriarse, se añadió 5 ml de 30% H_2O_2 (Spectrosol), y las muestras fueron calentadas durante otros 30 minutos. Una vez frías, las muestras fueron filtradas por papeles filtro de fibra de vidrio (Watmanns GF/C), y al filtrado se añadió agua desionizada hasta hacer 25 ml y luego se guardó en botellas de polietileno.

Utilizando un Spectrofotómetro de Absorción Atómica Perking Elmer 373, se realizó un análisis para 13 metales (Pb, Cu, Ag, Cd, Co, Ni, Cr, Sb, Fe, Mn, Zn, Sn, W).

RESULTADOS

Los resultados del análisis químico de las entradas del Lago Poopo se dan en el Cuadro 3. Muchos de los ríos eran altamente turbios, de un color rojo/marrón oscuro con material en suspensión, sobre todo el Río Márquez de flujo rápido en el sur, y el Río Desaguadero en el norte. Sin embargo, se registraron las cifras más altas en el Río San Juan Sora Sora, de flujo lento, lo que indica que no hay una relación obvia entre tasa de flujo y el transporte de sedimento.

La mayoría de los ríos, con excepción del Río San Juan Sora Sora y la cuenca alta del Río Antequera eran alcalinos (pH 7.2 - 10.4), y llevaban niveles altos de nutrientes disueltos. Valores altos de conductividad, que indican iones disueltos, parecían correlacionarse principalmente con niveles altos de Cl disueltos. El Río Thajarita y el Río Poopo ambos tenían valores de conductividad altísimos, por encima de los 14,000 mhos cm^{-1} , y altos niveles correspondientes de Cl ($10,000 \text{ mg}^{-1}$ y $4,950 \text{ mg}^{-1}$, respectivamente).

Muchos de los ríos, sobre todo en el norte, tenían valores altos de dureza total, lo que indica la presencia de grandes cantidades de sales de Ca y Mg disueltos.

Asimismo, se registraron altísimos niveles de $\text{PO}_4\text{-P}$ y SO_4 en todos los sitios, sobre todo en el Río San Juan Sora Sora, el Río Thajarita y el Río Desaguadero en el norte. Los niveles de $\text{NH}_4\text{-N}$ y $\text{NO}_3\text{-N}$ eran también muy altos, sobre todo en las mismas entradas del norte. Los niveles de $\text{NO}_2\text{-N}$ eran bajos y no mostraron ninguna tendencia especial.

En el Lago Poopo (Cuadro 2), el agua estaba más turbia en Phuyopata. Todos los tres sitios eran alcalinos, y tenían altos niveles de nutrientes disueltos. La salinidad, medida por peso específico, y la conductividad eran más altas en los dos sitios del norte, aunque había poca diferencia en la dureza total entre los sitios. Los niveles de Cl bajaban de sur a norte en conjunción con la disminución de salinidad. Sin embargo, los niveles de SO_4 , $\text{PO}_4\text{-P}$ y SiO_2 eran más altos en el sitio céntrico en Phuyopata. Los niveles de $\text{NH}_4\text{-N}$ y $\text{NO}_3\text{-N}$, que eran excepcionalmente altos, eran más bajos en la muestra del norte.

Desgraciadamente, debido al bajo nivel de W en todas las muestras y la gran inexactitud del método (sensibilidad 11 ppm), el análisis de réplicas dió resultados muy diversos. No se han dado valores aquí, sólo se puede decir que todos eran bajísimos ($> 0.05 \text{ ppm}$, $< 11 \text{ ppm}$). Los niveles de los otros metales para los que se hizo un análisis, se dan en los Cuadros 4 - 8.

En general, los niveles de todos los metales disueltos eran altos, sobre todo en los ríos del nor este, el Río Poopo, el Río San Juan Sora Sora y el Río Thajarita (Cuadro 4). Las cinco entradas del sur tenían los niveles más bajos de metales disueltos, con excepción del Río Márquez, que tenía altos niveles de Fe y Mn. Ambos brazos del Río Desaguadero en el norte también tenían bajos niveles de metales disueltos. El río con el mayor nivel de metal disuelto, salvo Ag, era el Río San Juan Sora Sora, que con frecuencia tenía niveles de una magnitud mayor que los otros ríos. De los 12 metales analizados, los niveles de Ag y Cr eran los más bajos, y los de Fe, Mn y Pb eran los más altos.

Con excepción de Pb y Fe, los niveles de metal en la materia particulada en las entradas eran mucho más bajos que los de metal disuelto (Cuadro 5). Los niveles de Ag, Sn, Co y Cr eran especialmente bajos, mientras los de Fe, Pb y Zn eran altos en comparación. Los niveles de todos los metales en materia particulada eran más altos en el Río San Juan Sora Sora.

Los niveles de metal disuelto en el Lago Poopo acusaron un aumento de norte a sur, registrándose los niveles más altos, salvo para Fe, en Challa Vinto (Cuadro 4). Los niveles de todos los metales, sobre todo Sn, eran altos. Por contraste, los niveles de metal en la materia particulada en el lago eran mucho más bajos, y no había una clara tendencia norte-sur (Cuadro 5).

En general, los niveles de metal en muestras de sedimento replicadas mostraron una buena correlación entre sí (Cuadro 6). De las tres entradas examinadas, los niveles de metal más altos se registraron en los depósitos del Río Antequera, y los más bajos en los sedimentos del Río Márquez. Los niveles de Fe y Mn eran especialmente altos en todas las muestras, y los niveles de Zn, Pb y Cu eran también altos en las muestras del Río Antequera.

Los niveles de metal en todos los sedimentos del lago eran bastante más altos que los que se encontraron en el Río Márquez o en el Río Desaguadero, aunque no eran tan altos como la mayoría de los que se registraron en los depósitos del Río Antequera. Los niveles de Sn en el Lago Poopo eran más altos que en todas las tres entradas. Los niveles de Fe, Mn, Zn, Pb, y Cu eran también excepcionalmente altos en todas las muestras. Los niveles de Ag y Cd eran relativamente bajos.

En general, había poca diferencia entre los tres sitios del Lago Poopo en cuanto a las concentraciones de metal medidas en los depósitos. En Challa Vinto y José Pimpata, los niveles de la mayoría de los metales eran más altos en las muestras de la superficie, mientras que en Phuyopata era todo lo contrario.

Los resultados del análisis de muestras replicadas de plantas coincidieron bien entre sí (Cuadro 7). En general, los niveles de Fe, Mn y Zn eran relativamente altos, y los niveles de Sn y Cd eran bajos. Las concentraciones de Pb, Ag, Fe y Zn eran más altos en las muestras de macrofita del Río Juan Jahuira Khana, mientras que las de Ni, Sb, Mn, As y Cr eran más altas en el Río Jachusuma. Las muestras del Río Thajarita mostraron importantes diferencias entre las concentraciones de metales medidas en las muestras de macrofita y algas. Los niveles de Sn, Mn, Fe, Zn y Cr eran mucho más altos en las algas.

El formol utilizado para fijar los peces contenía pequeñas cantidades de Cd y Sn, y niveles de traza de Co, Fe y Sn (0.02 ppm) (Cuadro 8c). Es posible que las concentraciones de Cd en el fijador puedan haber influenciado hasta cierto punto los niveles de Cd en los análisis de peces enteros, que resultaron relativamente bajos (Cuadro 8a, b). Los niveles de los otros metales que contaminaban la formalina eran insignificantes en comparación con las concentraciones encontradas en los cuerpos de los peces.

Las muestras replicadas de peces mostraron entre sí una correlación bastante aproximada (Cuadro 8a, b). Para el Pejerrey y Orestias, los niveles de Fe, Zn, Mn y Sb eran mucho más altos que los de otros metales, mientras que las concentraciones de Co, Ag y Cr eran relativamente bajas. Los niveles de todos los metales eran más altos en Orestias que en el Pejerrey y estas diferencias eran más señaladas en las concentraciones de Sn.

DISCUSION

Los resultados del análisis químico y espectrofotométrico de muestras de agua, plantas, sedimentos y peces de la cuenca del Poopo representan valores de un período de tiempo específico, el final de la temporada de sequía. El caudal de agua que llega al lago por las entradas aumenta bruscamente durante la temporada de lluvias, y las concentraciones de sales y metales en los ríos y en el Lago Poopo cambiarán forzosamente. Tampoco fue posible filtrar las muestras antes del análisis químico y por tanto es posible que las cifras obtenidas durante este estudio nos permitan sacar varias conclusiones.

La mayoría de las entradas del Lago Poopo eran alcalinas, con niveles altos de sales disueltas (Cuadro 1 y 2). En general, los ríos al norte de Pasma tenían los niveles más altos de nutrientes disueltos, de los que las máximas concentraciones se registraron en el Río San Juan Sora Sora. Varios ríos llevaban además grandes cantidades de material en suspensión, a pesar de que las muestras se tomaron al final de la temporada de sequía cuando había poco caudal. Las entradas se caracterizaron por altos niveles de todos los nutrientes más importantes (SiO_2 , Cl, SO_4 , dureza total) en comparación con otras masas de agua dulce en el mundo (Cuadro 9). El Río Thajarita que tenía altos valores de dureza total, SO_4 , Cl y SiO_2 , estaba estancada, y las muestras se tomaron de charcas donde se evidenciaban pérdidas por evaporación. Por tanto, las cifras obtenidas no eran típicas de condiciones de flujo.

Las concentraciones de N y P eran excepcionalmente altas en comparación con el rango de valores citado en Goldman y Horne (1983) (Cuadro 9). Aunque los altos niveles de NH_4 puedan indicar contaminación orgánica, estas cifras fueron exacerbadas, sin duda alguna, por el flujo reducido.

Todos los metales en las entradas, salvo Fe y Pb, fueron encontrados principalmente en forma disuelta (Cuadros 4 y 5). Sin embargo, no se realizó la filtración de las muestras para separar las fracciones disueltas y particuladas hasta que llegaron a Escocia, y por tanto es posible que algunos de los metales se hayan disuelto durante este tiempo. No obstante, los niveles de metales en las entradas eran altos.

El Cuadro 10, se comparan los niveles de metales disueltos en la cuenca del Poopo con niveles típicos de Forstner y Wittmann (1981). Todos los metales disueltos estaban presentes en concentraciones por encima de la media. Las concentraciones más altas se registraron generalmente en las entradas del noroeste (Río Antequera-Río Thajarita), que estaban también contaminadas con la mayoría de los metales

analizados. El Río San Juan Sora Sora tenía concentraciones excepcionalmente altas de casi todos los metales disueltos.

Se encontró que el Lago Poopo era altamente salino, sobretodo en el sur, donde las salinidades sobrepasaban el 70%. Estos valores son más altos que los que se registraron en Lake Moon, California, uno de los lagos salinos mejor documentados (Mason, 1967). Sin embargo, las cifras representan valores de cerca de la orilla, y por tanto, puede esperarse que las salinidades estén más bajas lago adentro.

Se notó un descenso norte-sur para la mayoría de los nutritivos más importantes, con las concentraciones más altas en el sur. Parecía que las altas salinidades se debían a sales de Cl, probablemente Na y Ca.

Se evidenciaron también descensos parecidos en los niveles de metales disueltos, se registraron altos niveles de Pb, Co, Ni, Sb y Sn, y los niveles de Sb y Sn eran mucho más altos que los de las entradas. Los niveles de Sn eran excepcionalmente altos en todas las tres estaciones del lago. Los niveles de Fe, Mn y Zn en el Lago Poopo eran generalmente más bajos que los niveles en las entradas, lo que indica la posibilidad de pérdidas por sedimentación.

Los niveles de metales en los sedimentos del Lago Poopo y de las tres entradas muestreadas eran típicos de sitios contaminados por afluentes de minas o industrias. Por ejemplo, según Banat *et al* (1972), los niveles de Zn en el Río Rin eran 1,240 ppm en comparación con los del Río Antequera de 15,184 ppm. Los niveles de metales en materia de plantas analizadas eran también parecidos a los de plantas acuáticas encontradas en ríos contaminados. Por ejemplo, el rango de concentraciones de Pb encontradas en 4 especies de macrofitas acuáticas en el altamente contaminado Ruhr, Alemania occidental estaban entre 20 y 2,500 ppm (Dietz, 1972). Por tanto, los niveles de 25 ppm encontrados en el Río Juan Jahuira Khana se encontraban en el mismo rango.

Los rangos de niveles de metales en Pejerrey y Orestias se dan en el Cuadro 11. Los resultados se han agrupado por especies, ya que era poco probable que hubiera diferencia entre los sitios. La muestra de más al norte (Kari) se tomó a sólo 6 km de la muestra de más al sur (Katawini Sur).

En comparación con los niveles de metales en un rango de peces canadienses de lagos y ríos sin contaminación y moderadamente contaminados, los niveles en Pejerrey y Orestias eran mucho más altos, a menudo por un factor de 5-10 veces (Cuadro 11). Los niveles de Zn y Cd, por ejemplo, eran típicos de los que encontró Murphy *et al* (1978) para nueve especies de peces de un pequeño

lago norteamericano, al que aflúan descargas de una fundición industrial (Zn = 80-477 ppm; Cd = 0.06-6.74 ppm). Las concentraciones de todos los metales en Orestias eran aproximadamente el doble de las que se encuentran en Pejerrey.

La evidencia de todas las muestras de agua, plantas, lodo y peces indica que hay concentraciones extraordinariamente altas de todos los metales en la Cuenca del Poopo, por lo menos al final temporada de sequía cuando se tomaron las muestras. Los ríos en el sur, sobre todo el Río Cortadera y el Río Sevaruyo tienen los niveles más bajos, mientras que los del noroeste, sobre todo el Río San Juan Sora Sora llevan concentraciones altísimas de metales, especialmente en forma disuelta. Como consecuencia, el Lago Poopo también tiene altos niveles disueltos de la mayoría de los metales. En particular, los niveles de Sn y Sb son mucho más altos en el lago que en las entradas, mientras que es posible que se pierdan otros, tal como Fe, en los sedimentos. Aunque los altos niveles de metales ocurren naturalmente donde hay erosión de minerales ricos en minerales, las concentraciones en el agua de la cuenca del Poopo sobrepasan ampliamente los niveles naturales que se dan en la literatura. Por ejemplo, Uthe y Bligh (1971) afirman que los altos niveles de Sn y Mn que se producían naturalmente en Moose Lake resultaban en altos niveles de estos metales en la comunidad de peces. Sin embargo, estos niveles eran más bajos que los registrados en el Lago Poopo.

Aunque un factor contribuyente podría ser el efecto de las precipitaciones sobre tierras ricas en minerales (Forstner y Wittman, 1981), es probable que las actividades mineras alrededor de la zona al este de Poopo sean responsables de los altísimos niveles en la cuenca del poopo. Muchos de los yacimientos más importantes de Bolivia central se encuentran en la cuenca del Poopo e.g. Poopo, Monserrat, Aviaiya, Huanuni están todos a menos de 20 km del lago (Turneure, 1960). Los depósitos de Sn existen aquí principalmente en forma de Casiterita (SnO_2) o minerales de Sn tales como estannato, teallita y cilindrita, que se encuentran en granito y cuarzo (Mantell, 1970). Relacionados con estos minerales hay una serie de otros metales, tales como Zn, Mn, Pb y Ag (Turneure, 1971). Estos metales podrían llegar al lago y sus entradas (i) directamente, por descargas en los ríos de aguas empleadas en la extracción o procesamiento o (ii) indirectamente, por la erosión o disolución de los escombros de las minas. La evidencia más fuerte de contaminación proviene del Río San Juan Sora Sora, en el que un pH bajo y altísimas concentraciones de un amplio rango de metales indican contaminación por afluentes de minas. (véase Forstner y Wittmann, 1981).

Se sabe que los niveles de muchos de los metales son tóxicos para peces, eg. el 96 hra - LC₅₀ de Ag a la trucha arco iris (*Salmo gairdneri*) es 0.013 ppm en agua dura (Davies et al, 1978). Se registraron niveles por encima de este en el Lago Poopo (0.10 ppm). Sin embargo, es posible que la salinidad alta y las fuertes concentraciones de otros metales tengan un efecto modificador sobre la toxicidad. Es difícil evaluar el efecto tóxico de otros metales sobre los peces, por una parte por la misma razón y por otra parte porque se sabe poco o nada sobre los efectos que pudieran tener. En particular, sobre Sb no se ha estudiado nada.

Resulta difícil determinar si el agua de la cuenca del Poopo pueda beberse sin peligro, ya que sobre metales como Sb y Sn hay pocas normas establecidas. Una comparación de las concentraciones máximas recomendadas en agua potable publicada por una serie de organizaciones mundiales indica que gran parte del agua de la cuenca del Poopo es potable (Forstner y Wittmann, 1981). Las excepciones son el Río San Juan Sora Sora (Exceso de Pb, Cu, Cd, Cr y Zn), el Río Thajarita (exceso de Pb, Ag), el Río Antequera (exceso de Cu, Cd y Sn) y el Río Urmiri (exceso de Cu, Cd y Zn). Por supuesto, gran parte de esta agua es demasiado salina para beber.

La toxicidad en cuanto a seres humanos de las altas concentraciones de metales en los tejidos de peces se complica debido al efecto modificador/cumulativo de ingerir una combinación de metales. Por lo tanto es difícil evaluar completamente el peligro sin una considerable inversión de investigación y trabajos de control. No se comprende del todo la toxicidad de muchos de los metales (véase Underwood, 1977). No obstante, los altos niveles de los elementos más tóxicos, tal como el plomo, dan lugar a preocupación. La Organización Mundial de la Salud recomienda como consumo semanal máximo sin peligro de Pb para adultos sólo 3 mg (Underwood, *ibid*). (Para niños es mucho menos). Los análisis preliminares indican que los niveles de plomo en el músculo de Orestías son 1.5 ppm (materia seca). Suponiendo un contenido de humedad de 75%, un consumo semanal de 8 kg de filetes de pescado podría resultar en envenenamiento de plomo. Sin embargo, en muchos lugares de alrededor del Lago Poopo, se comen los peces enteros. Los niveles de Pb en Orestías entero como media son 6.5 ppm (Cuadro 5), y por tanto un consumo semanal de sólo 2 kg de pescado resultaría en una ingestión de Pb por encima del límite seguro.

Debe realizarse cuanto antes un análisis de los niveles de metales en la sangre de la gente de la región, sobre todo de los niños; para poder determinar si hay motivo de preocupación. Entretanto, se recomienda que donde resulte posible deben reducirse los niveles de metales en las entradas del Lago Poopo a fuerza de incitar a las compañías mineras a deshacerse de sus residuos con mayor cuidado.

CUADRO 1. Descripción breve de

Nº	Río	Sitio de muestreo
1.0	Río Marquez	67°02' W:
2.0	Río Sevaruyo(Blanco)	66°55' W:
3.0	Río Jaru Jahuira Khaua	66°48' W:
4.0	Río Cortadera	66°47' W:
5.0	Río Tacagua	66°48' W:
6.0	Río Jachusuma	66°51' W:
7.0	Río Antequera(Pasna)	66°55' W:
7.5	Río Antequera	66°54' W:
7.6	Río Urmiri	66°54' W:
8.0	Río Poopo	66°57' W:
9.0	Río San Juan Sora Sora	67°02' W:
9.5	Río San Juan Sora Sora	66°55' W:
10.0	Río Thajarita	67°09' W:
11.0	Río Desaguadero	67°17' W:
12.0	Río Desaguadero (Puente Aroma)	67°26' W:

sitios, ubicaciones y fechas de muestreo. Los números corresponden al mapa (Dib. 2)

	Fecha de muestreo	Descripción
19°13'S	2/11/82	Anchura 50m, profundidad 15cm. Flujo rápido, con sedimento rojo/marrón.
19°13'S	2/11/82	Flujo lento, poca profundidad, fondo lodoso.
19°08'S	2/11/82	Casi sin agua. Charcas estancadas
19°07'S	2/11/82	Anchura 6m, poca profundidad, profundidad 15cm.
18°57'S	2/11/82	Anchura 20m, profundidad 45cm, flujo lento.
18°47'S	2/11/82	Anchura 15m, profundidad 10cm, flujo lento.
18°36'S	2/11/82	Anchura 5m, profundidad 10cm. Flujo lento con sedimento amarillento
18°35'S	5/11/82	Anchura 5m, profundidad 10cm, flujo rápido con sedimento amarillento
18°35'S	5/11/82	Anchura 3m, profundidad 15cm, flujo muy bajo, agua limpia con muchas plantas
18°23'S	3/11/82	Anchura 8m, profundidad 10cm, poco flujo, cerca de mina de roza abierta
18°09'S	3/11/82	Lodoso, poca profundidad, poco flujo, cerca de una fundición de estación de estano y un arenal.
18°08'S	3/11/82	Lodoso, poca profundidad, poco flujo, cerca de arenal
18°02'S	3/11/82	Estancado, poca profundidad, con plantas
18°06'S	3/11/82	Anchura 30m, profundidad 80cm, flujo 0.5 m sec^{-1} con sedimento rojo
18°12'S	6/11/82	Anchura 55m, profundidad 100cm, flujo 0.8 m sec^{-1} con sedimento rojo

CUADRO 2. Características químicas de tres sitios de muestreo en el Lago Poopo visitados el 4/11/82.
 Cifras en mg l^{-1} salvo otra indicación. Los números corresponden al mapa en el Dib. 2.

No. Sitio de muestreo	Posición	T ^o c	pH	Conduc-tividad	Dureza total	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	PO ₄ -P	SO ₄	SiO ₂	Cl	O ₂	Color	Turbie dad	Densidad (100)
13 Challa Vinto	66°52'W; 19°01'S	13	8.6	20000	2650	7.6	20.0	0.003	27.0	570.0	95.0	52.0	4.0	20	10	88
14 Phuyopata	67°00'W; 18°45'S	22	8.5	20000	2350	4.4	16.0	0.003	47.5	625.0	124.0	54.0	8.5	250	60	71
15 Jose Pimpata	67°07'W; 18°33'S	20	9.9	9500	2750	0.2	15.0	0.005	20.30	590.0	95.0	28.0	10.0	80	20	9

CUADRO 3. Características químicas de las entradas del Lago Poopo. Cifras en mg l^{-1} salvo otra indicación.

Río	T°C	pH	Conducti- vidad (mhos)	Dureza total	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	SO_4	SiO_2	Cl	Color (unids.)	Turbiedad (unids.)
Río Marquez	28°	8.7	1200	132	0.30	0.40	0.004	2.5	21	15.5	110	3750	600
Río Sevaruyo (Blanco)	25	8.8	760	86	0.35	0.80	0.008	3.1	37	25.3	175	20	8
Río Jaru Jahuira Khaua	20	9.5	5800	193	0.40	0.50	0.006	3.3	55	7.2	68	1500	600
Río Cortadera	20	9.1	2600	135	0.41	0.80	0.005	3.4	58	24.6	590	50	12
Río Tacagua	20	10.4	1100	97	0.30	0.50	0.003	2.6	82	9.6	215	35	6
Río Jachusuma	19	9.4	1800	440	0.45	0.50	0.002	3.5	14	22.5	170	20	6
Río Antequera (Pasña)	17	7.2	1800	805	0.95	0.60	0.005	3.4	300	37.5	137	80	30
Río Antequera	15	4.7	1850	950	0.50	1.80	0.003	3.1	310	37.8	130	80	22
Río Urmiri	13	8.5	1880	420	1.50	0.50	0.004	1.1	200	28.5	385	60	15
Río Poopo	25	8.8	14200	1200	0.35	1.80	0	45	325	11.3	4950	0	5
Río San Juan Sora Sora	26	3.6	2600	1400	4.90	2.50	0.020	85	2250	60.0	250	25000	2500
Río San Juan Sora Sora	24	3.3	2600	1500	5.50	3.75	0.010	95	2600	70.0	200	2500	2400
Río Thajurita	24	9.1	50000	5250	0	1.80	0.004	96	2500	50.0	10000	40	20
Río Desaguadero	17	8.3	2500	1900	0.52	0.04	0	120	2000	15.0	420	3000	750
Río Desaguadero (Puente Aroma)	14	8.9	1920	1750	0.80	0	0.001	12.5	480	12.4	380	550	160

CUADRO 4. Niveles de metales disueltos en muestras de en el Lago Poopo.

	Pb	Cu	Ag	Cd
Rio Marquez	0.03	0.03	0.01	0.00
Rio Sevaruyo(Blanco)	0.00	0.00	0.01	0.00
Rio Jaru Jahujra Khaua	0.01	0.01	0.00	0.00
Rio Cortadera	0.00	0.00	0.00	0.00
Rio Tacagua	0.00	0.01	0.00	0.15
Rio Jachusuma	0.00	0.01	0.00	0.00
Rio Antequera (Pasna)	0.02	0.13	0.00	0.15
Rio Antequera	0.00	0.00	0.00	0.15
Rio Urmiri	0.00	0.21	0.00	0.29
Rio Poopo	0.05	0.01	0.02	0.01
Rio San Juan Sora Sora	4.72	3.24	0.03	1.04
Rio San Juan Sora Sora	2.45	2.67	0.04	1.41
Rio Thajarita	0.29	0.06	0.06	0.02
Rio Desaguadero	0.00	0.02	0.00	0.00
Rio Desaguadero (Puente Aroma)	0.01	0.02	0.00	0.05
Challa Vinto, Poopo	0.71	0.10	0.11	0.07
Phuyopata, Poopo	0.56	0.07	0.08	0.05
Jose Pimpata, Poopo	0.06	0.00	0.00	0.00

agua tomadas de entradas y tres sitios

Co	Ni	Cr	Sb	Fe	Mn	Zn	Sn
0.01	0.05	0.01	0.10	13.50	0.57	0.26	0.30
0.00	0.06	0.00	0.05	0.08	0.01	0.10	0.0
0.00	0.08	0.01	0.10	8.80	0.36	0.07	0.0
0.00	0.05	0.00	0.10	0.09	0.01	0.05	0.0
0.00	0.01	0.00	0.10	0.07	0.01	0.06	0.0
0.00	0.01	0.00	0.10	0.07	0.01	0.05	0.4
0.12	0.10	0.00	0.07	1.15	6.50	41.50	0.1
0.01	0.02	0.00	0.06	0.67	0.10	0.16	0.1
0.12	0.15	0.00	0.19	2.59	7.50	46.00	0.7
0.03	0.06	0.00	0.60	0.26	0.09	0.17	1.6
0.38	0.54	0.15	0.80	391.00	18.00	65.00	3.4
0.49	0.65	0.07	0.50	360.00	22.00	74.00	1.0
0.19	0.28	0.04	1.55	0.17	0.05	0.10	7.1
0.04	0.04	0.00	0.20	1.56	0.07	0.07	0.0
0.03	0.06	0.00	0.10	1.57	0.10	0.05	0.0
0.45	0.59	0.11	2.90	0.55	0.10	0.10	17.0
0.39	0.47	0.08	2.80	1.46	0.11	0.11	14.6
0.06	0.03	0.00	0.50	0.11	0.03	0.07	0.7

CUADRO 5. Niveles de metales (ppm) de materia particulada en muestras de agua tomadas de entradas y tres sitios en el Lago Poopo.

	Pb	Cu	Ag	Cd	Co	Ni	Cr	Sb	Fe	Mn	Zn	Sn
Rio Marquez	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02	0.04	0.02	0.08	28.13	0.15	0.36	0.0
Rio Sevaruyo(Blanco)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00	0.18	0.0
Rio Jaru Jahuira Khaura	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	7.73	0.03	0.05	0.0
Rio Cortadera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	0.00	0.05	0.0
Rio Tacagua	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.05	0.0
Rio Jachusuma	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.03	0.00	0.04	0.0
Rio Antequera(Pasna)	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.48	0.08	0.64	0.0
Rio Antequera	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.03	0.49	0.00	0.17	0.0
Rio Urmiri	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.52	0.09	0.55	0.0
Rio Poopo	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.03	0.18	0.00	0.13	0.0
Rio San Juan Sora Sora	5.08	0.91	0.03	0.05	0.06	0.12	0.08	0.15	379.69	1.25	5.94	0.5
Rio San Juan Sora Sora	1.69	0.34	0.04	0.04	0.04	0.07	0.04	0.08	196.88	1.25	3.91	0.2
Rio Thajarita	0.01	0.00	0.00	0.13	0.01	0.01	0.00	0.08	0.07	0.00	0.07	0.0
Rio Desaguadero	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	4.02	0.02	0.00	0.0
Rio Desaguadero (Puente Aroma)	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	4.52	0.02	0.00	0.0
Challa Vinto, Poopo	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.08	0.11	0.00	0.02	0.2
Phuyopata, Poopo	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.05	0.63	0.00	0.02	0.1
Jose Pimpata, Poopo	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.07	0.00	0.06	0.0

CUADRO 6. Niveles de metales (ppm) en muestras replicadas de secciones superficiales (0 - 4cm) y profundas (4 - 12cm) muestras de sedimento tomadas de entradas y tres sitios en el Lago Poopo.
 Nótese que sólo se analizaron las secciones superficiales de las entradas.

	Pb	Cu	Ag	Cd	Co	Ni	Cr	Sb	Fe	Mn	Zn	Sn
Rio Marquez (superficie)	6.19	3.28	0.24	0.36	3.04	3.16	2.31	7.29	5561.22	169.99	24.28	6.07
" " "	6.44	3.16	0.39	2.76	2.37	2.23	2.23	6.57	5902.92	184.06	26.29	0.0
Rio Antequera (Pasna) (superficie)	75.01	549.80	1.96	24.09	12.04	17.28	6.81	13.09	30762.38	497.43	15184.84	20.94
" " " "	70.04	477.25	1.42	25.28	10.58	15.35	6.19	9.03	24120.32	438.55	11608.71	0.0
Rio Desaguadero (superficie)	9.10	6.50	0.00	0.26	3.77	4.03	4.94	2.60	6890.99	104.05	13.00	0.0
" " "	8.90	6.49	0.13	0.25	3.69	4.83	5.09	3.81	15386.57	114.45	25.43	0.0
Challa Vinto (Profundal)	15.91	19.32	0.76	0.63	7.07	8.33	3.91	29.04	10227.27	378.79	63.13	83.3
" " "	14.36	17.57	0.77	0.51	6.41	7.44	3.72	26.92	10385.15	358.99	64.11	70.5
Challa Vinto (superficie)	33.26	28.54	1.02	2.80	7.64	10.70	4.46	30.58	8919.02	344.02	229.35	94.3
" " "	34.60	28.51	1.04	2.72	8.68	11.27	5.05	32.40	12311.44	349.90	220.31	103.7
Phuyopata (Profundal)	34.66	35.68	0.89	0.63	9.61	13.79	9.74	24.04	11386.06	544.00	63.26	31.0
" " "	36.61	37.76	0.77	0.64	9.89	14.39	10.28	20.55	19267.33	565.17	77.07	86.1
Phuyopata (superficie)	27.33	23.66	1.01	0.89	8.73	12.91	6.71	37.96	14172.91	366.98	37.96	36.7
" " "	27.71	22.50	1.02	1.27	9.92	13.09	6.99	39.41	12204.42	355.96	38.14	142.4
Jose Pimpata (Profundal)	18.04	16.88	0.77	1.29	7.73	9.67	5.28	29.65	10440.30	567.13	25.78	135.3
" " "	16.60	16.88	0.75	1.13	6.66	9.31	4.90	27.04	9934.61	565.90	25.15	124.5
Jose Pimpata (superficie)	34.11	23.84	0.76	3.54	7.48	9.26	4.82	21.55	9001.93	925.55	126.79	98.9
" " "	34.42	21.40	0.75	2.38	7.64	9.51	4.63	22.53	10014.02	938.81	137.69	97.6

CUADRO 7: Niveles de metales determinados por espectrofotometría en muestras de plantas (macrofitas y algas) de tres ríos que desembocan en el Lago Poopo, Bolivia.
M = macrofitas; A = algas.

		Pb	Cu	Ag	Cd	Co	Ni	Cr	Sb	Fe	Mn	Zn	Sn
Río Jaru Jahuirá Khaua	M	24.98	9.86	0.66	3.12	3.62	3.62	3.78	12.32	7319.56	630.71	265.56	37.80
" " "	"	25.22	10.47	0.69	2.75	4.12	4.29	3.95	13.73	7607.41	623.84	242.61	34.31
Río Jachusama	M	8.94	31.14	0.46	0.46	3.69	14.80	1.85	25.44	1946.26	1183.33	31.14	61.22
" "	"	9.92	7.63	0.57	0.38	3.63	10.69	1.91	25.76	2042.97	1137.13	38.55	41.98
Río Thajarita	M	7.03	25.60	0.17	4.02	1.84	4.02	1.51	19.24	1504.18	422.52	67.60	23.43
" "	"	7.59	27.24	0.17	4.31	2.07	4.66	1.72	21.55	1741.38	487.59	87.07	24.14
Río Thajarita	A	1.28	30.51	0.54	1.87	8.43	14.18	12.44	15.39	15946.80	851.40	148.66	54.86
" "	"	1.56	28.66	0.50	1.75	7.64	13.39	12.14	18.15	14942.92	847.02	139.06	63.84

CUADRO 8: Los resultados de un análisis de niveles de metales en cuerpos enteros de peces del Lago Poopo. Cifras expresadas en ppm. Nótese que salvo en el caso de * hay un análisis replicado para cada muestra replicada. Los niveles de metales disueltos en el fijador se dan en C.

(a) Pejerrey

		Pb	Cu	Ag	Cd	Co	Ni	Cr	Sb	Fe	Mn	Zn	Sn
Katawini sur	1*	4.21	1.98	0.50	0.25	0.87	2.72	0.87	14.85	32.18	4.08	50.00	49.50
"	2	3.08	2.06	0.39	0.13	0.90	1.80	0.39	13.49	40.74	3.98	51.92	33.41
"	2	4.01	3.51	0.38	0.13	0.63	1.13	0.63	14.40	39.73	4.38	63.25	33.82
Katawini norte	1	5.93	2.90	0.50	0.38	1.14	1.39	0.76	19.55	56.88	9.84	101.92	71.90
	1	4.31	1.65	0.38	0.13	0.89	1.52	0.38	6.92	34.41	11.43	64.12	41.90
	2	3.77	1.76	0.38	0.13	0.75	1.26	0.38	10.76	31.31	16.09	63.50	42.75
	2	3.80	1.65	0.38	0.13	0.51	0.38	0.38	10.76	30.02	13.68	63.97	57.93
Kari	1	4.29	3.51	0.39	0.26	1.04	0.65	0.65	8.44	44.41	14.80	65.58	58.44
	1	4.94	3.47	0.53	0.40	1.47	1.20	0.93	10.01	44.19	15.09	80.90	56.07
	2	4.55	1.90	0.38	0.25	0.88	1.26	0.63	12.01	27.55	2.78	76.89	34.12
	2	4.62	1.93	0.39	0.26	1.03	1.80	0.64	12.20	26.05	2.95	77.82	42.38

(b) Orestias

		Pb	Cu	Ag	Cd	Co	Ni	Cr	Sb	Fe	Mn	Zn	Sn
Katawini sur	1	7.94	4.16	0.76	0.50	2.52	3.03	2.14	19.54	127.32	18.28	140.06	126.06
	1	7.53	4.25	0.85	0.36	2.19	2.92	2.06	21.26	134.94	18.46	134.94	131.10
	2	6.97	9.58	0.75	0.50	2.11	3.23	1.74	21.15	213.57	20.40	113.07	95.76
	2	6.97	8.84	0.75	0.50	1.99	2.86	1.99	15.57	188.68	21.55	113.21	113.33
Katawini norte	1	6.61	8.73	0.87	0.37	1.99	3.24	1.87	18.69	40.26	15.08	113.31	103.47
	1	5.53	6.54	0.63	0.50	1.63	2.89	1.38	16.98	165.10	24.77	152.40	79.22
	2	6.53	7.91	0.75	0.38	2.14	2.64	1.63	16.95	45.09	14.44	101.48	86.66
	2	6.53	7.28	0.63	0.63	1.63	2.26	1.57	14.43	107.41	23.97	107.41	94.13
Kari	1	7.27	7.27	0.66	0.53	2.12	3.04	1.72	15.87	213.65	22.48	146.89	92.55
	1	6.93	6.93	0.63	0.63	1.64	2.90	1.57	14.49	178.18	20.79	139.99	79.35
	2	6.82	7.79	0.73	1.09	2.80	2.68	1.70	12.17	307.18	33.33	159.73	83.94
	2	6.17	6.30	0.66	1.05	1.71	2.50	1.58	13.78	305.08	30.20	172.44	59.10

(c)

Formol

Pb	Cu	Ag	Cd	Co	Ni	Cr	Sb	Fe	Mn	Zn	Sn
0.00	0.00	0.00	0.65	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.70

CUADRO 9. El rango de concentraciones de nutritivos disueltos en la cuenca del Poopo, y las de una serie de masas de agua dulce por el mundo (Goldman y Horne, 1983). Cifras en mg l^{-1} .

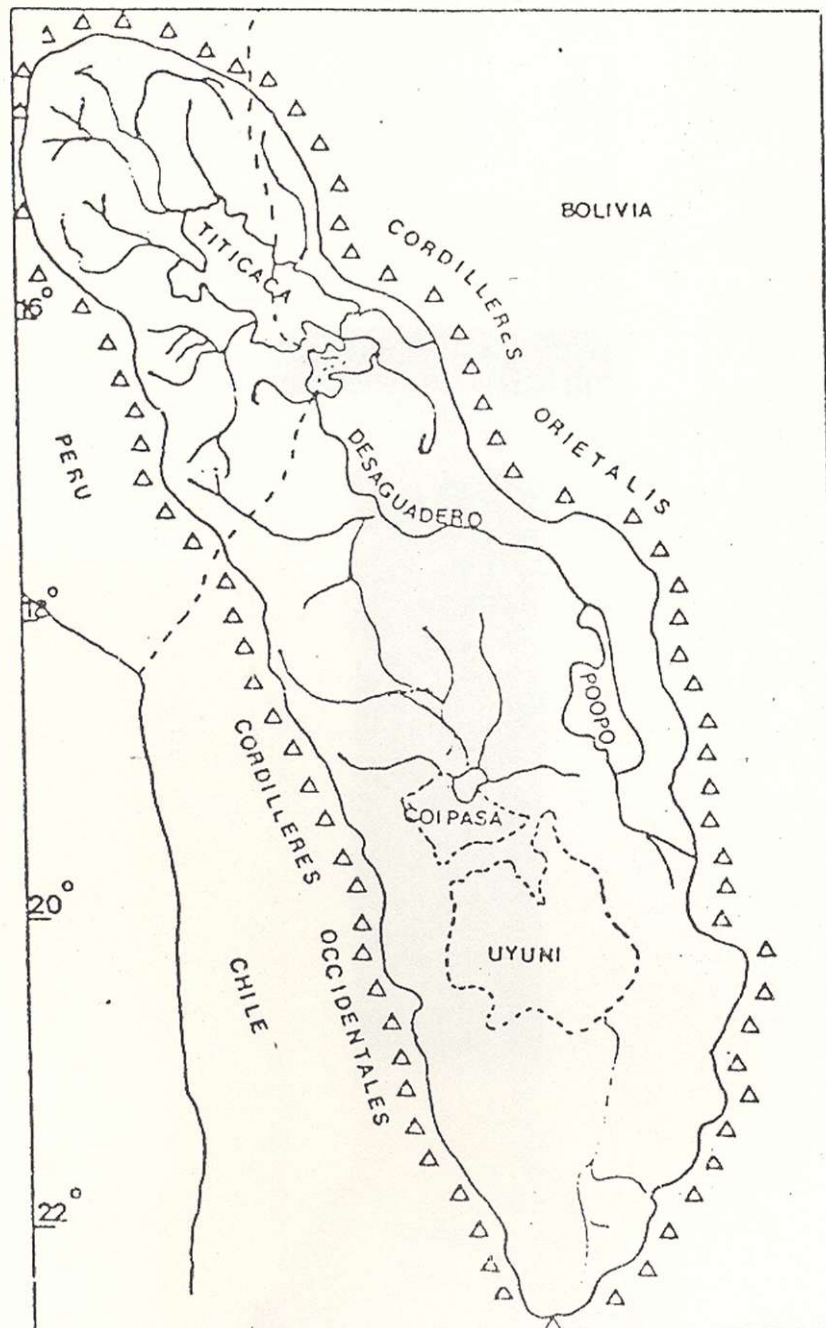
a) <u>Nutritivos principales</u>			
	<u>Entradas Poopo</u>	<u>Lago Poopo</u>	<u>Rango global</u>
Dureza total	86 - 5250	2350 - 2750	2.5 - 100
SiO ₂	7.2 - 7.0	95.0 - 124.0	0.3 - 26
SO ₄	14 - 2600	570.0 - 625.0	0.2 - 9000
Cl	68 - 4950	28.0 - 54.0	0.1 - 17500
b) <u>Niveles de N & P</u>			
	<u>Entradas Poopo</u>	<u>Lago Poopo</u>	<u>Rango global</u>
NH ₄	0 - 5.50	0.2 - 7.6	0.0 - 2.5
NO ₃	0.04 - 3.75	15.0 - 20.00	0 - 2.50
PO ₄	1.1 - 120.0	20.3 - 47.5	0 - 0.23

CUADRO 10. El rango de concentraciones de metales disueltos (ppm) en la cuenca del Poopo y valores generales típicos de Forstner y Wittmann (1981).

<u>Elemento</u>	<u>Poopo entradas</u>	<u>Lago Poopo</u>	<u>Niveles generales típicos</u>
Pb	0 - 4.72	0.06 - 0.71	0.0002
Cu	0 - 3.24	0 - 0.10	0.0018
Ag	0 - 0.06	0 - 0.11	0.0003
Cd	0 - 1.41	0 - 0.07	0.0007
Co	0 - 0.49	0.06 - 0.45	0.0005
Ni	0 - 0.65	0.03 - 0.59	0.0003
Cr	0 - 0.15	0 - 0.11	0.0005
Sb	0 - 1.55	0.50 - 2.90	0.0001
Fe	0.07 - 391.00	0.11 - 1.46	0.030
Mn	0.07 - 22.00	0.03 - 0.11	0.005
Zn	0.05 - 74.00	0.07 - 0.11	0.0005
Sn	0 - 3.4	0.7 - 17.0	0.0003

CUADRO 11. Los niveles de metales del análisis de cuerpo entero de peces de la cuenca del Poopo, y los de un rango de lagos canadienses (datos de Uthe y Bligh, 1971). Cifras de niveles de Co sacadas de Mathis y Cummings (1973).

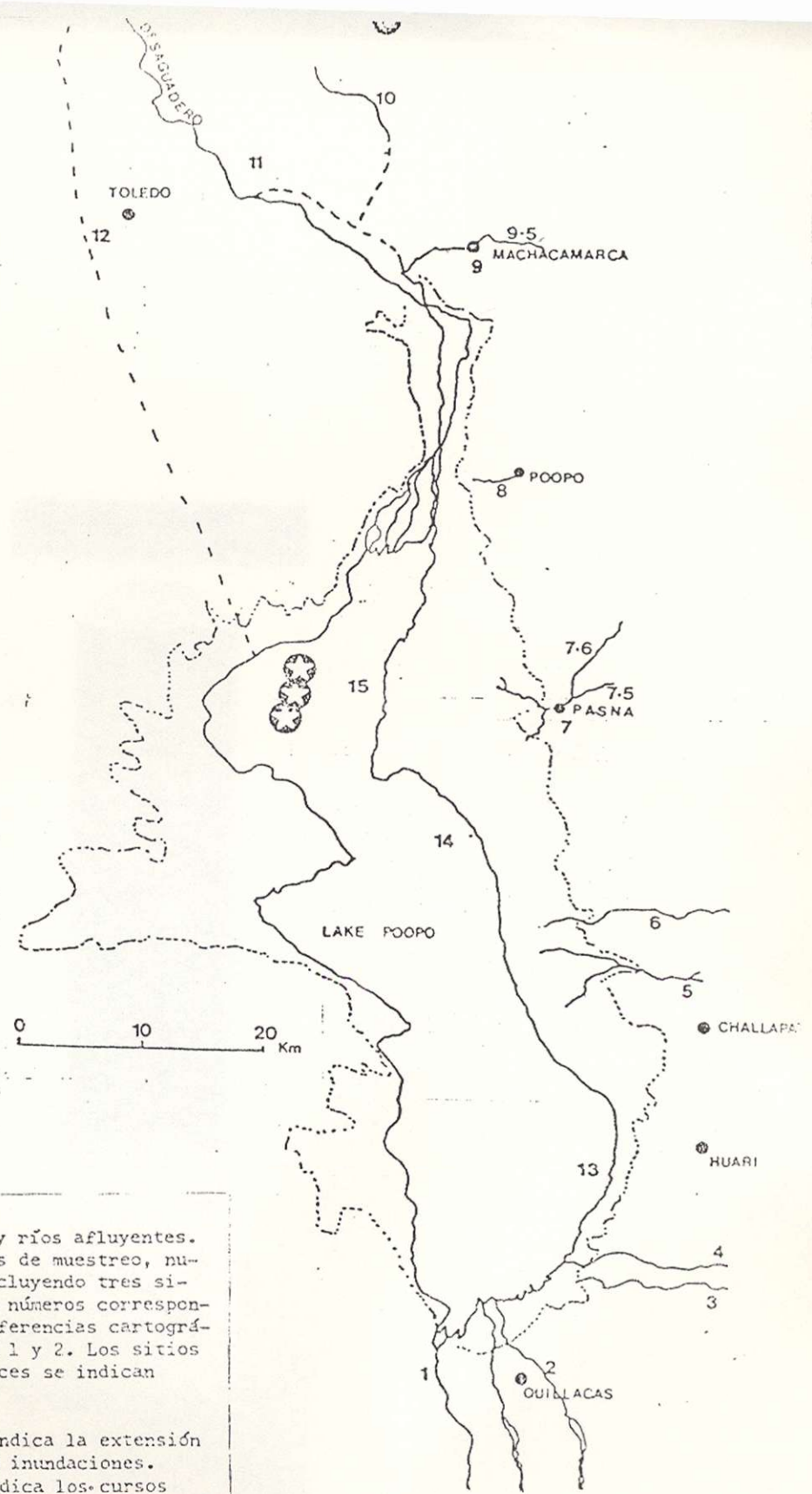
	Pejerrey	Orestias	Peces norteamericanos
Pb	3.08 - 5.93	5.53 - 7.94	0.5
Cu	1.65 - 3.81	4.16 - 8.73	0.70 - 1.28
Ag	0.38 - 0.50	0.63 - 0.87	-
Cd	0.13 - 0.53	0.36 - 1.09	0.05
Co	0.57 - 1.14	1.63 - 2.80	0.03 - 0.45
Ni	0.65 - 2.72	2.50 - 3.24	0.2
Cr	0.38 - 0.93	1.38 - 2.14	0.017 - 0.065
Sb	6.92 - 19.55	12.17 - 21.26	0.0022 - 0.0043
Fe	26.05 - 56.88	40.26 - 307.18	-
Mn	2.78 - 16.09	14.44 - 33.33	0.02 - 3.16
Zn	50.00 - 101.92	101.48 - 152.40	.12 - 20
Sn	33.41 - 71.90	59.10 - 131.18	0.54 - 3.57




0 50 100 150 200 Km

Dibujo 1. Mapa del Altiplano que indica los tres principales sistemas de drenaje; el sistema Titicaca-Poopo, y los sistemas Coipasa y Uyuni.

Copiado de Carmouze *et al* (1977)



DIBUJO 2

Mapa del Lago Poopo y ríos afluyentes. Se indican los sitios de muestreo, numerados del 1-15, incluyendo tres sitios en el lago. Los números corresponden a topónimos y referencias cartográficas en los Cuadros 1 y 2. Los sitios donde se cogieron peces se indican así .

La línea de puntos indica la extensión máxima de la zona de inundaciones. La líneas de rayas indica los cursos nuevos y hasta ahora no en el mapa, del Río Desaguadero.

Copiado de Zuna (1982).

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, S.E. (1974). Chemical Analysis of Ecological Material. Blackwells Ltd., Oxford. 565p.
- BANAT, K., FORSTNER, U., and MULLER, G. (1972). Schwermetalle in den sedimenten des Rheins. Umsch. Wiss. Tech., 72, 192-193.
- ✓ BOULANGE, B., RODRIGO, L.A., and VARGAS, C. (1978). Morphologie, formation et aspects sedimentologiques du Lac Poopo (Bolivie). Cah. ORSTOM., ser Geol., 10, 69-78.
- ✓ CAMPBELL, D.F. (1942). The Oruro silver-tin district, Bolivia. Econ. Geol., 37, 87-115.
- ✓ CARMOUZE, J.P., ARCE, C. and QUINTANILLA, J. (1977). La regulacion hidrique des lacs Titicaca et Poopo. Cah. ORSTOM, ser Hydrobiol., 11, 269-283.
- ✓ CARMOUZE, J.P., ARCE, C. and QUINTANILLA, J. (1978). Circulacion de materia (agua-sales disueltas) atraves del sistema fluvio-lacustre del Altiplano: La regulacion hidrica e' hidroquimica de los lagos Titicaca y Poopo. Cah. ORSTOM., ser. Geol., 10, 49-68.
- COUTTS, R. and ZUNA, F. (1981). Estados actual de tecnologias pesqueras en Bolivia. Department Nacional de Desarrollo Pesquero, La Paz. 49p.
- DAVIES, P.H., GOETTL, J.P. and SINLEY, J.R. (1978). Toxicity of silver to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Water Research, 12, 113-117.
- DIETZ, F. (1972). Die anreicherung von Schwermetallen in submersen wasserpflanzen. GWf-Wasser/Abwasser, 113, 269-273.
- FORSTNER, U. and WITTMANN, G.T.W. (1981). Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer-Verlag, Berlin. 486 p.
- ✓ GILSON, H.C. (1938). The Percy Sladen Expedition to Lake Titicaca, 1937. Geogr. J., 91, 590-905.
- GOLDMAN, C.R. and HORNE, A.J. (1983). Limnology. McGraw-Hill, New York. 464p.
- HESSE, P.R. (1971). A textbook of soil chemical analysis. John Murray, London. 320p.
- KATZ, S.A., JENNISS, S.W. and MOUNT, T. (1981). Comparison of sample preparation methods for the determination of metals in sewage sludges by flame atomic absorption spectrometry. Intern. J. Environ. Anal. Chem. 9, 209-220.
- MANTELL, C.L. (1970). Tin: Its mining, production, technology and applications. John Wiley & Son, New York. 2nd Edit.
- MASON, D.T. (1967). Limnology of Mono Lake, California. Univ. Calif. Berkeley Publ. Zool., 83, 110p.
- MATHIS, B.J. and CUMMINGS, T.F. (1973). Selected metals in sediments, water and biota in the Illinois River. J.W.P.C.F., 45, 1573-583.

MURPHY, B.R., ATCHISON, G.J. and McINTOSH, A.W. (1978). Cadmium and zinc content of fish from an industrially contaminated lake. J. Fish Biol., 13, 327-335.

✓SERVANT-VILDARY, S. (1978). Les diatomées des sédiments superficiels d'un lac sale chlorure, sulfate sodique de l'Altiplano Bolivien, Le Lac Poopo. Cah ORSTOM., ser. Geol., 10, 79-90.

✓TURNEAURE, F.S. (1960). A comparative study of major ore deposits of central Bolivia. Econ. Geol., 55, 217-254.

TURNEAURE, F.S. (1971). The Bolivian tin-silver province. Econ. Geol., 66, 215-226.

UNDERWOOD, E.J. (1977). Trace elements in human and animal nutrition. Academic Press, London. 545p.

UTHE, J.F. and BLIGH, E.G. (1971). Preliminary survey of heavy metal contamination of Canadian Freshwater fish. J. Fish Res. Bd. Can., 28, 786-788.

✓ZUNA, F. (1982). Estudio sobre aspectos de contaminación en los Lagos Poopo y Uru Uru. 1. Informe de prospección primaria y antecedentes generales. Departamento Nacional de Desarrollo Pesquero, La Paz. 11p.

✓ZUNA, F. and IMAKI, A. (1981). Evaluación pesquera de los Lagos Poopo y Uru Uru. (1). Aspectos de mercadeo y organización pesquera. Departamento Nacional de Desarrollo Pesquero, La Paz. 18p.