



CONVENIOS ALA / 86 / 03 Y ALA / 87 / 23 - PERU Y BOLIVIA

**PLAN DIRECTOR GLOBAL BINACIONAL DE PROTECCION - PREVENCION DE  
INUNDACIONES Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS DEL LAGO  
TITICACA, RIO DESAGUADERO, LAGO POOPO Y LAGO SALAR DE COIPASA  
(SISTEMA T.D.P.S.)**

## **ESTUDIO DE HIDROQUIMICA Y CONTAMINACION**

Julio 1993



CONVENIOS ALA / 86 / 03 Y ALA / 87 / 23 - PERU Y BOLIVIA

**PLAN DIRECTOR GLOBAL BINACIONAL DE PROTECCION - PREVENCION DE  
INUNDACIONES Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS DEL LAGO  
TITICACA, RIO DESAGUADERO, LAGO POOPO Y LAGO SALAR DE COIPASA  
(SISTEMA T.D.P.S.)**

**ESTUDIO DE HIDROQUIMICA Y  
CONTAMINACION**

Julio 1993

---

## ESTUDIO DE HIDROQUIMICA Y CONTAMINACION

	Pag.
1. <u>INTRODUCCION</u>	1-1
1.1          LA REGION DEL PROYECTO	1-1
1.2          OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO	1-3
2. <u>RESUMEN</u>	2-1
3. <u>METODOLOGIA</u>	3-1
3.1          AGUAS SUPERFICIALES	3-1
3.1.1. <u>Selección de lugares de muestreo</u>	3-1
3.1.2. <u>Metodología del muestreo</u>	3-3
3.1.3. <u>Metodología del análisis químico</u>	3-5
3.2.          LODOS (SEDIMENTOS)	3-5
3.2.1. <u>Selección de lugares de muestreo</u>	3-5
3.2.2. <u>Metodología del muestreo y del análisis</u>	3-5
3.3.          AGUAS SUBTERRANEAS	3-6
3.4.          DATOS DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	3-7
4. <u>EVALUACION</u>	4-1
4.1.          FUENTES DE POSIBLE CONTAMINACION	4-1
4.2.          TIPOS DE CONTAMINACION	4-1
4.3.          RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL AGUA SUPERFICIAL	4-5
4.4          RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE LODOS	4-15
4.5          RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE AGUA SUBTERRANEA (Pozos)	4-22

	Pag.	
4.6.	EVALUACION DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	4-24
4.6.1.	<u>Evolución en el tiempo</u>	4-24
4.6.2.	<u>Evolución de las diferentes clases de conductividad eléctrica</u>	4-25
5.	<u>LEGISLACION EXISTENTE</u>	5-1
6.	<u>DIAGNOSTICO HIDROQUIMICO</u>	6-1
7.	<u>RECOMENDACIONES</u>	7-1
8.	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	8-1

ANEXO A : Metodologías empleadas para los análisis químicos

ANEXO B : Contaminantes específicos

ANEXO C : Normatividad para uso de las aguas

1. **INTRODUCCION**

1.1 **LA REGION DEL PROYECTO**

La región del Proyecto (Figura 1.1.) está representada por el sistema formado por las cuencas hidrográficas del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Lago Salar de Coipasa, lo que se ha denominado Sistema T.D.P.S..

El sistema T.D.P.S. (figura 1.2) es una cuenca endorreica, sin salida al mar, cuya área se encuentra ubicada entre Perú, Bolivia y Chile, y está delimitada geográficamente (en forma aproximada) entre las coordenadas 14° 03', y 20° 00' de latitud Sur y entre 66° 21' y 71° 07' de longitud Oeste.

La superficie del Sistema T.D.P.S. es de 143.900 km<sup>2</sup>, y comprende la parte altiplánica de la sub-región de Puno (en el Perú) y de los departamentos de La Paz y Oruro (en Bolivia). Las características geográficas de las cuencas que forman el sistema son las siguientes:

- Lago Titicaca:
  - . cuenca vertiente 56.270 Km<sup>2</sup>
  - . superficie media (del lago) 8.400 Km<sup>2</sup>
  - . nivel medio del lago 3.810 m.s.n.m.
  
- Río Desaguadero:
  - . cuenca vertiente 29.843 Km<sup>2</sup>
  - . longitud del cauce 398 Km
  - . pendiente media 0,45 ‰

A lo largo del río Desaguadero se identifican los siguientes trechos:

- . Del Km 0 al Km 63: Llanuras anchas (del Puente Internacional a Nazacara);
- . Del Km 63 al Km 226: Zona montañosa (de Nazacara a Chilahuala);
- . Del Km 226 al Km 398: Llanuras de inundación (de Chilahuala al lago Poopó).

FIGURA 1.1. UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

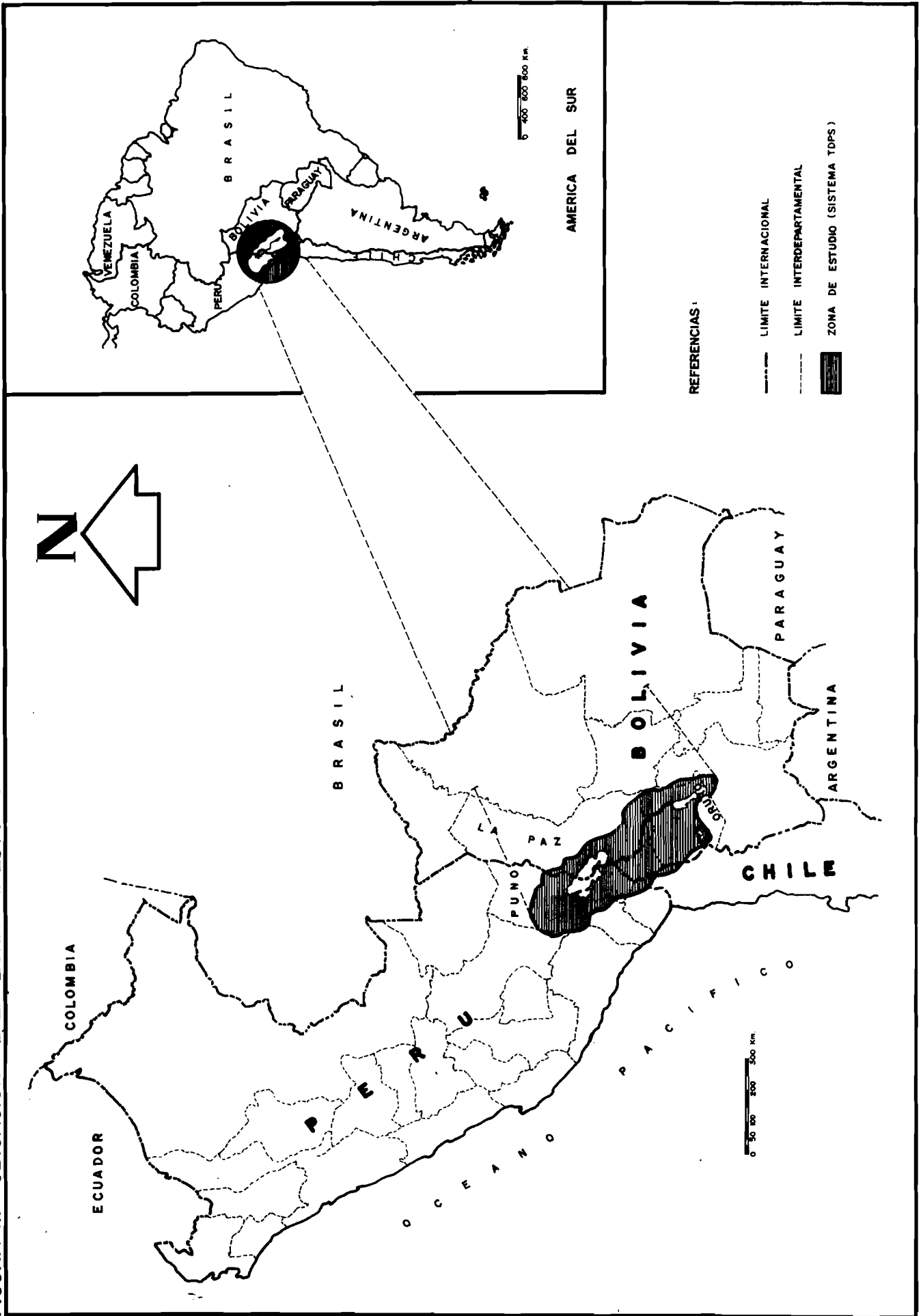
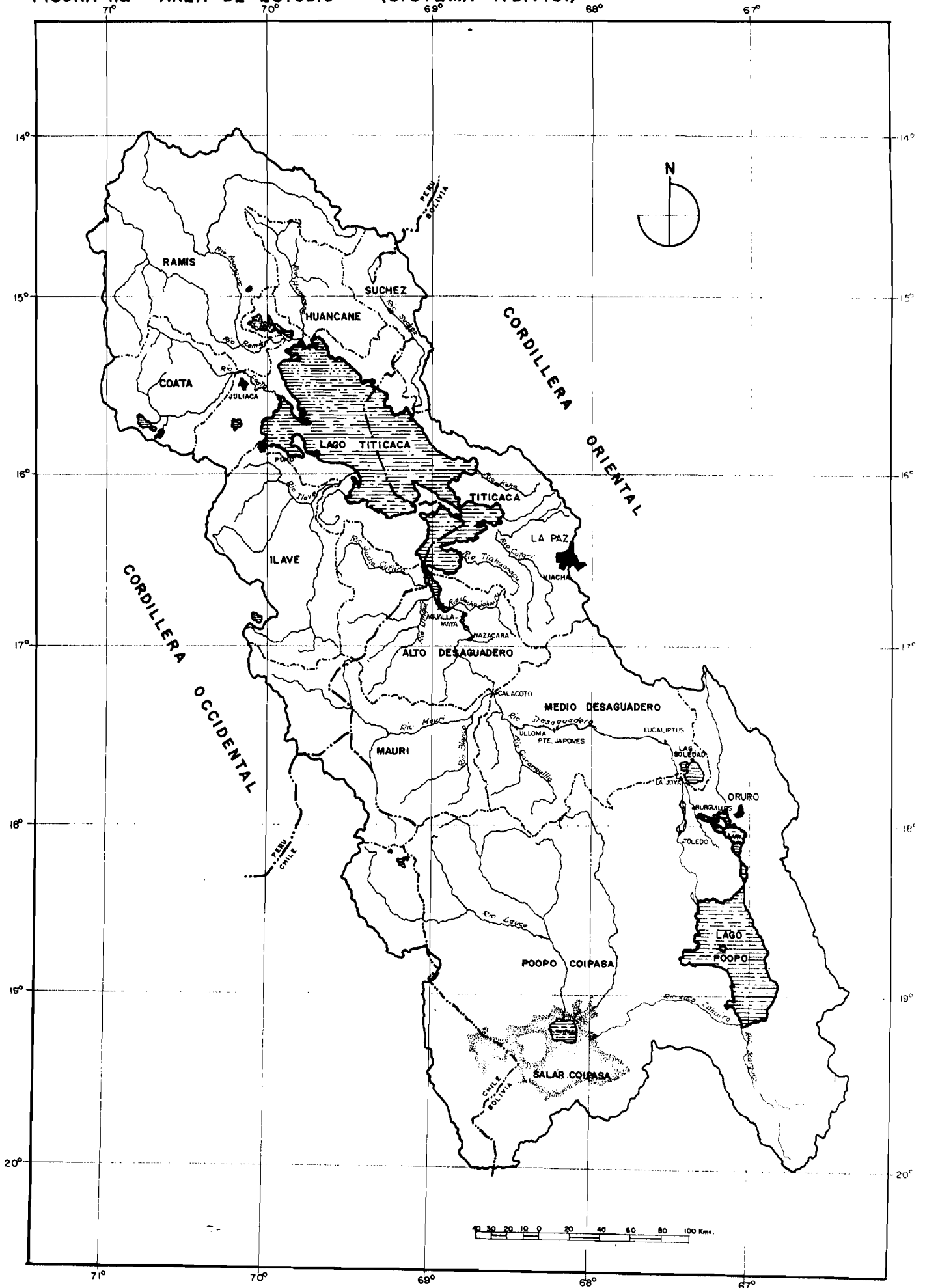


FIGURA 1.2 AREA DE ESTUDIO (SISTEMA T.D.P.S.)



- Lago Poopó:
  - . cuenca vertiente 24.829 Km<sup>2</sup>
  - . superficie media (lago Uru Uru -Poopó) 3.191 Km<sup>2</sup>
  - . nivel medio del lago 3.686 m.s.n.m.
  
- Río Laca Jahuirá, que conecta el Lago Poopó con el Salar de Coipasa:
  - . longitud de cauce 130 Km
  - . pendiente media 0,2 ‰
  
- Salar de Coipasa:
  - . cuenca vertiente (intermedia) 32.958 Km<sup>2</sup>
  - . superficie media (del lago) 2.225 Km<sup>2</sup>, y
  - . nivel medio del lago 3.657 m.s.n.m.

Por medio de la quebrada Negrojahuirá, de alrededor de 20 Km de largo, el Salar de Coipasa se conecta al Salar de Uyuni, el cual tiene una cuenca vertiente (intermedia) de 60.000 Km<sup>2</sup> y una superficie media de 12.000 Km<sup>2</sup>. El nivel medio del Salar de Uyuni es de 3.653 m.s.n.m..

La pluviometría media anual de la zona varía de 800 mm/año en el Lago Titicaca a menos de 300 mm/año en el Salar de Coipasa.

La densidad de la población rural en la parte norte de la región del Proyecto, es relativamente alta, sobre todo a orillas del Lago Titicaca (llegando hasta 120 hab/km<sup>2</sup>) y también en el eje norte-sur, constituido por el río Desaguadero, en las cercanías del curso de agua.

En las zonas cercanas a las orillas del Lago Titicaca y del Desaguadero, la población vive principalmente de la agricultura, mientras que en las zonas más alejadas se dedica a la ganadería por falta de tierras apropiadas para el cultivo, y como forma de poder compensar los mayores riesgos inherentes a la agricultura.

Las condiciones climáticas irregulares, unidas a la gran altitud en que se encuentra la región (entre 3.700 m.s.n.m. y 3.900 m.s.n.m.), determinan que los resultados productivos del sector sean muy inestables, lo que vuelve extremadamente difíciles las condiciones de vida de la población.



## 1.2

### OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO

El presente informe forma parte de un estudio integral que tiene como meta final la elaboración de un Plan Director Global Binacional de Protección - Prevención de Inundaciones y Aprovechamiento de los recursos del Sistema T.D.P.S. (Lago Titicaca, río Desaguadero, Lago Poopó y Salares).

Los objetivos principales del estudio hidroquímico y de contaminación son:

- Evaluación hidroquímica de las aguas superficiales (fluviales y lacustres: lagos Uru-Uru y Poopó) del sistema TDPS, con especial atención de las zonas críticas de contaminación, para sugerir pautas de uso;
- Evaluación preliminar (a nivel de reconocimiento) de la contaminación de sedimentos (lodos) por metales pesados, principalmente en las zonas críticas del sistema;
- Evaluación de la salinidad de las aguas superficiales; y
- Evaluación preliminar de la calidad del agua de las fuentes subterráneas (pozos) en áreas seleccionadas del Sistema TDPS.

2.

## RESUMEN

El estudio de hidroquímica y contaminación se desarrolló en toda la cuenca del Sistema TDPS con el objetivo de evaluar las características químicas de las aguas superficiales y subterráneas, y establecer el grado de contaminación de la cuenca, a través del análisis de aguas y lodos, con especial atención en las zonas críticas de contaminación.

De acuerdo a los Términos de Referencia, se eligieron 12 locales donde se realizaron muestreos en 3 campañas. En cada campaña se realizaron 12 muestreos, con 40 parámetros por punto, totalizando 1440 análisis fisicoquímicos de aguas superficiales en las tres campañas. También durante el estudio se efectuaron 2 campañas de muestreos de lodos con un total de 24 muestras, y además se efectuó una campaña de muestreo en 37 pozos seleccionados (aguas subterráneas).

A través de la interpretación de los diferentes tipos de análisis, se puede concluir que los problemas generales más graves que se han identificado en el sistema TDPS, son:

- Salinización natural, de la cuenca (principalmente con cloruros y sodio), y que es creciente gradualmente desde Calacoto hacia el sur, haciéndose más grave en los lagos Uru-Uru y Poopó, en los que el proceso natural de transformarse en salares se acelera cuando ocurren años secos.
- Contaminación natural con ciertos elementos, también particularmente hacia el sur de la cuenca. En especial se ha identificado: boro, cuyos valores altos se presentan en el río Mauri y en el río Desaguadero (aguas abajo del Mauri) y arsénico, cuyos valores altos se detectaron desde Eucaliptus hacia el sur de la cuenca, debido probablemente a la salinización del medio; aunque también se han identificado sílice y estaño.
- Contaminación antrópica, sobre todo en el área urbana: Puno, Viacha, El Alto y Oruro, debida a problemas de contaminación bacteriológica resultante de los desechos domésticos (basuras y aguas servidas), y defectos en sus redes de alcantarillado (a veces inexistentes); esto debido a una falta de planificación e implementación de un programa de saneamiento ambiental y el incumpli-

miento de las reglamentaciones sobre lanzamiento de desechos líquidos y sólidos en cuerpos de agua, que ocasionan además contaminación inorgánica.

Asimismo en varias áreas urbanas de las ciudades citadas existe contaminación industrial, especialmente al sur de la cuenca, por efluentes mineros que desembocan (ó desembocaron) en los lagos Uru-Uru y Poopó. Como no existe una adecuada disposición final de los inertes y desmontes, que por efectos de lluvias y lixiviación contaminan el medio ambiente, el resultado negativo se vé en el deterioro y extinción de la fauna piscícola.

- Las aguas subterráneas muestran, en la cuenca del río Desaguadero, características físico-químicas mejores que las de las aguas superficiales.

### 3. **METODOLOGIA**

La metodología utilizada en el estudio ha comprendido las siguientes fases:

- Recopilación de datos relativos a campañas de muestreo y análisis anteriores;
- Selección de los lugares de muestreo de las aguas superficiales, de lodos y de aguas subterráneas;
- Definición de los parámetros a analizar;
- Muestreo y análisis de laboratorio;
- Interpretación de los datos existentes y de laboratorio; y
- Construcción de mapas de conductividad eléctrica.

Los análisis hidroquímicos han sido realizados por IBTEN (Bolivia).

A continuación se describe la metodología específica aplicada para la investigación de las aguas superficiales, subterráneas y lodos respectivamente.

#### 3.1 **AGUAS SUPERFICIALES**

##### 3.1.1. **Selección de lugares de muestreo**

Los lugares de muestreo fueron seleccionados con base en tres criterios: uno, tratar de tener una serie de puntos, denominados de **base**, distribuidos sobre toda el área con el objetivo de establecer de un modo global las características de las aguas considerando sus usos potenciales; el segundo, establecer una serie de puntos, denominados de **impacto**, ubicados en la parte baja del área para poder establecer la evolución de las características de calidad del agua como consecuencia de los diferentes aportes, y el tercero, complementar la información proveniente de muestreos anteriores.

Los locales de las dos series son:

- Estaciones de base: ríos Ramis, Coata e Ilave, Puente Internacional, río Mauri y Puente Japonés.
- Estaciones de impacto: Calacoto, Chuquiña, Puente Español, lago Uru Uru y lago Poopó.

Se trató que las muestras fueran lo más representativas posibles, tomando en cuenta su accesibilidad, distancia del laboratorio (considerando la necesidad de preparación de las muestras para su transporte) y su seguridad. Además, se evitaron los límites agua-tierra, por ejemplo, riberas u orillas para el muestreo de aguas.

Para la ubicación de estos puntos de muestreo se tomaron en cuenta, además, las facilidades de captación, tales como puentes (Puentes Internacional, Español, Japonés), botes (lago Poopó, Calacoto, Chuquiña) y vadeo (río Mauri y afluentes del Titicaca y del Uru-Uru).

La elección de los puntos se efectuó siguiendo la metodología GEMS (Sistema Mundial del Ambiente-Agua), del CEPIS, OPS, OMS. Los puntos, cuya ubicación se presenta en la figura 3.1, fueron:

- M - 01 = río Ramis (Perú)
- M - 02 = río Coata (Perú)
- M - 03 = río Ilave (Perú)
- M - 04 = Puente Internacional-río Desaguadero (Perú - Bolivia)
- M - 05 = Estación Calacoto (río Desaguadero-Bolivia)
- M - 06 = río Mauri
- M - 07 = Puente Japonés (río Desaguadero)
- M - 08 = Chuquiña (río Desaguadero)
- M - 09 = Puente Español (río Desaguadero)
- M - 10 = lago Uru-Uru
- M - 11 = lago Poopó-Pazña
- M - 12 = lago Poopó-Huari

Además, se recopilaron los datos disponibles de muestreos realizados anteriormente, en los puntos seleccionados, en campañas realizadas en 1985 y entre 1990 y 1991.

### 3.1.2 Metodología del muestreo

Se efectuaron tres (3) campañas de campo, con una duración de aproximadamente 6-7 días cada una, habiéndose obtenido un total de 36 muestras:

Primera campaña : 12-17 de marzo de 1992 (fin de la época de lluvias);  
Segunda campaña : 9-14 de julio de 1992 (estiaje); y  
Tercera campaña : 3-8 de diciembre de 1992 (inicio de la época de lluvias).

Es importante anotar que en los muestreo se tuvo que considerar tres tipos de parámetros:

- Conservativos, que no cambian con el tiempo;
- No conservativos, que cambian con el tiempo, pero pueden ser estabilizados; y
- No conservativos, que varían rápidamente con el tiempo y que no pueden ser estabilizados.

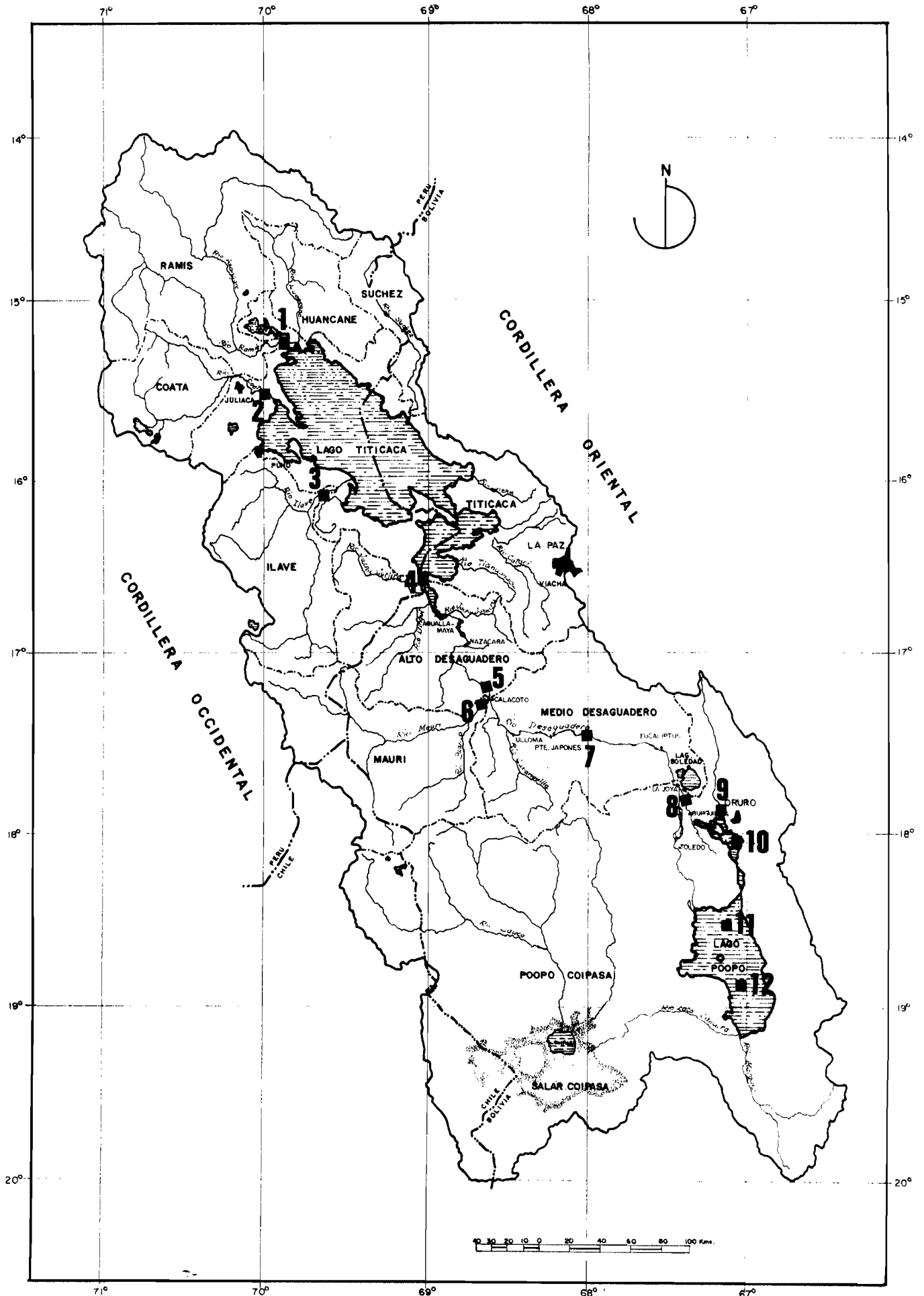
Los dos primeros tipos se midieron tomando muestras representativas del agua para el análisis de laboratorio (por ejemplo: calcio, magnesio, cloruros, sulfatos). El tercer grupo incluye: temperatura, pH, oxígeno disuelto, cianuros, fosfatos, nitratos y nitritos, que se cuantificaron "in situ". Se midieron también conductividad, turbidez y otros.

La muestra para análisis de elementos disueltos y de sílice se filtró "in situ", mediante una membrana de 0,46 micras de tamaño de poro, con el fin de eliminar todos los microorganismos que pudieran interferir en el análisis posterior.

Las muestras se tomaron en botellas de muestreo tipo NANSEN-NISKIN, especiales para el muestreo que se realiza a diferentes profundidades, de 1,7 litros de capacidad. Para el transporte se utilizaron botellas de plástico (metodología GEMS de CEPIS-OPS-OMS).

Dado que, una vez que se ha tomado la muestra, comienzan los cambios en la concentración de parámetros, un factor esencial en la planificación del esquema de muestreo es la organización del transporte de las muestras, de la

FIG. 3.1 UBICACION DE PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS SUPERFICIALES



estación de muestreo al laboratorio. Las reacciones que inciden en la concentración de parámetros durante el almacenamiento pueden ser:

- **Biológicas:** la actividad metabólica de los microorganismos puede afectar un gran número de parámetros.
- **Químicas:**
  - . parámetros que pueden ser oxidados o, más escasamente, reducidos;
  - . cambios en el contenido de dióxido de carbono que pueden ser resultado de cambios en el pH y en el régimen de alcalinidad del agua; y
  - . Materiales poliméricos que pueden depolimerarse y viceversa.
- **Físicas:**
  - . Sorción de sustancias coloidales o disueltas en la superficie de los recipientes o materiales suspendidos; y
  - . Floculación de material coloidal y adsorción sobre el sedimento.

Por lo indicado, se han utilizado los siguientes métodos de preservación de las muestras, según el caso:

- **Refrigeración**

Almacenaje de las muestras a una temperatura de 4°C, preferiblemente en la oscuridad, lo que retarda sustancialmente la actividad biológica y reduce la tasa de acción física y química. Este método tiene la ventaja de no interferir en las determinaciones analíticas subsiguientes.

- **Preservación química**

Mediante la adición de ácido nítrico, hasta un pH=2, que preserva los metales disueltos por un período de varias semanas y que también inhibe la actividad biológica. Con este fin, se utilizó un frasco distinto al que se usa en las determinaciones clásicas, debido a que la adición de un preservativo químico provoca que la muestra resulte inadecuada para diferentes determinaciones.



### 3.1.3 Metodología del análisis químico

Los métodos empleados para el análisis químico de las aguas, son descritos en el anexo A.

## 3.2 **LODOS (SEDIMENTOS)**

### 3.2.1 Selección de lugares de muestreo

Para los análisis de lodos se eligieron 12 puntos (Figura 3.2):

- 1 Río Ramis, cerca del puente de la carretera Juliaca-Huancané
- 2 Río Coata;
  - 2a. al noreste de Juliaca
  - 2b. cerca de la comunidad de Coata
- 3 Río Ilave, al suroeste de la Carretera Desaguadero-Puno
- 4 Río Desaguadero, a 500 m aguas abajo del puente Internacional
- 5 Río Desaguadero, a la altura de Calacoto
- 6 Río Mauri, cerca de la confluencia con el Desaguadero
- 7 Río Desaguadero, cerca del puente Japonés
- 8 Río Desaguadero, a la altura de Chuquiña
- 9 Lago Poopó
  - 9a. a la altura de Huari
  - 9b. a la altura de Wilañeque
- 10 Lago Poopó, a la altura de Pazña
- 11 Lago Uru-Uru
  - 11a. lado oeste
  - 11b. lado este
- 12 Río Desaguadero, a la altura de la carretera Oruro-Toledo
  - 12a. puente Español
  - 12b. brazo central
  - 12c. brazo derecho

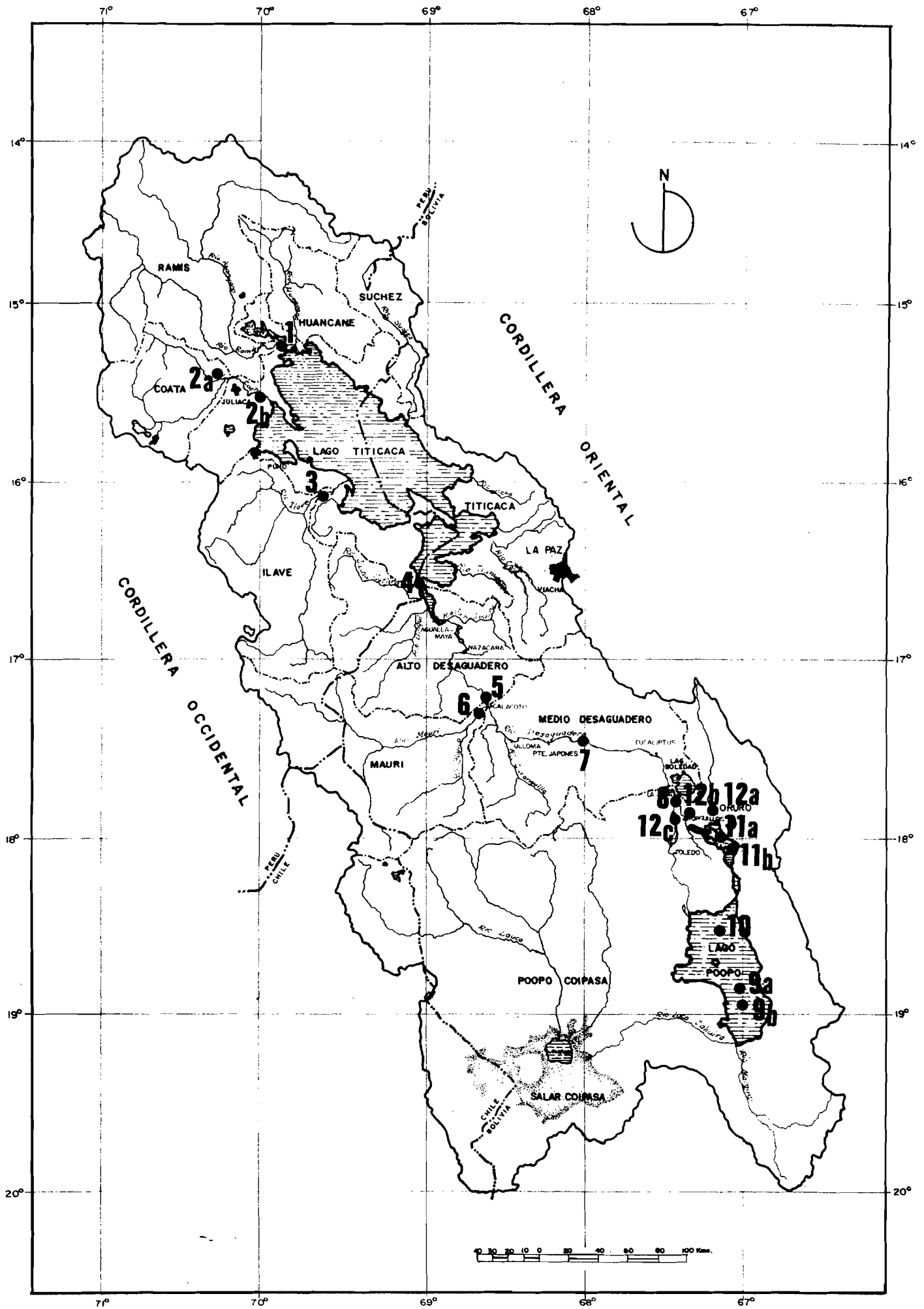
Los puntos de muestreo seleccionados coinciden, en la mayoría de los casos, las de las aguas superficiales.

### 3.2.2 Metodología del muestreo y del análisis

Se efectuaron dos campañas de campo, con un total de 24 muestras:

- la. campaña : Agosto de 1992 (época de estiaje - aguas bajas).

FIG. 3.2 UBICACION DE PUNTOS DE MUESTREO DE LODOS (SEDIMENTOS)



- 2a. campaña : Diciembre de 1992 (inicio de la temporada de lluvias).

A pesar de que a principios de diciembre de 1992, las precipitaciones en el altiplano norte fueron considerables, la región de Oruro permaneció muy seca, hasta el punto que dentro del lago Poopó, fue necesario caminar varios kilómetros para encontrar aguas abiertas.

En cada punto de muestreo se tomaron cinco sub-muestras de lodo del lecho del río o lago, considerando una capa de aproximadamente 10 cm de espesor. Estas muestras parciales fueron mezcladas con el fin de obtener una muestra representativa de cada punto.

Después de dejar escurrir el agua adherida a las muestras, se procedió al secado a temperatura de medio ambiente, hasta tener un peso constante de la misma. Sólo para las determinaciones de cianuros se realizaron en muestras húmedas, debido a la inestabilidad de estos componentes.

En ese caso, para la extracción de cianuros, se trataron 5 gramos de muestra con 50 ml de hidróxido de sodio 0.1N durante 30 minutos; luego se procedió con el método colorimétrico utilizado en la determinación de cianuros en agua (kit de campo).

Los metales pesados fueron determinados en un extracto ácido, para lo cual se disgregaron 5 gramos de muestra seca con 50 ml de ácido nítrico 2N, en baño maría hirviente durante dos horas.

Todos los metales fueron cuantificados en las soluciones, utilizando espectroscopía de absorción atómica, excepto el wolfram, para el que se utilizó el método fotocolorimétrico.

### **3.3. AGUAS SUBTERRANEAS**

Se tomaron muestras de agua en 39 pozos seleccionados en Perú y Bolivia (Fig. 3.3). Las aguas de los pozos se analizaron con la misma metodología utilizada en el análisis de las aguas superficiales. Se efectuó un único muestreo, entre diciembre de 1992 y enero de 1993.

### 3.4

#### DATOS DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

La conductividad eléctrica es indicadora del nivel de salinidad en el agua.

En la evaluación de la conductividad eléctrica se han utilizado un total de 1000 mediciones obtenidas de la información existente, que cubre de 1976 a 1992, (previa depuración de datos poco confiables), y también los datos recolectados durante la elaboración del presente estudio.

Con estas informaciones se han elaborado 5 mapas (EHC 001/005) que representan los siguientes rangos de variación de la conductividad eléctrica (1  $\mu\text{hos/cm}$ =1  $\mu\text{S/cm}$ ):

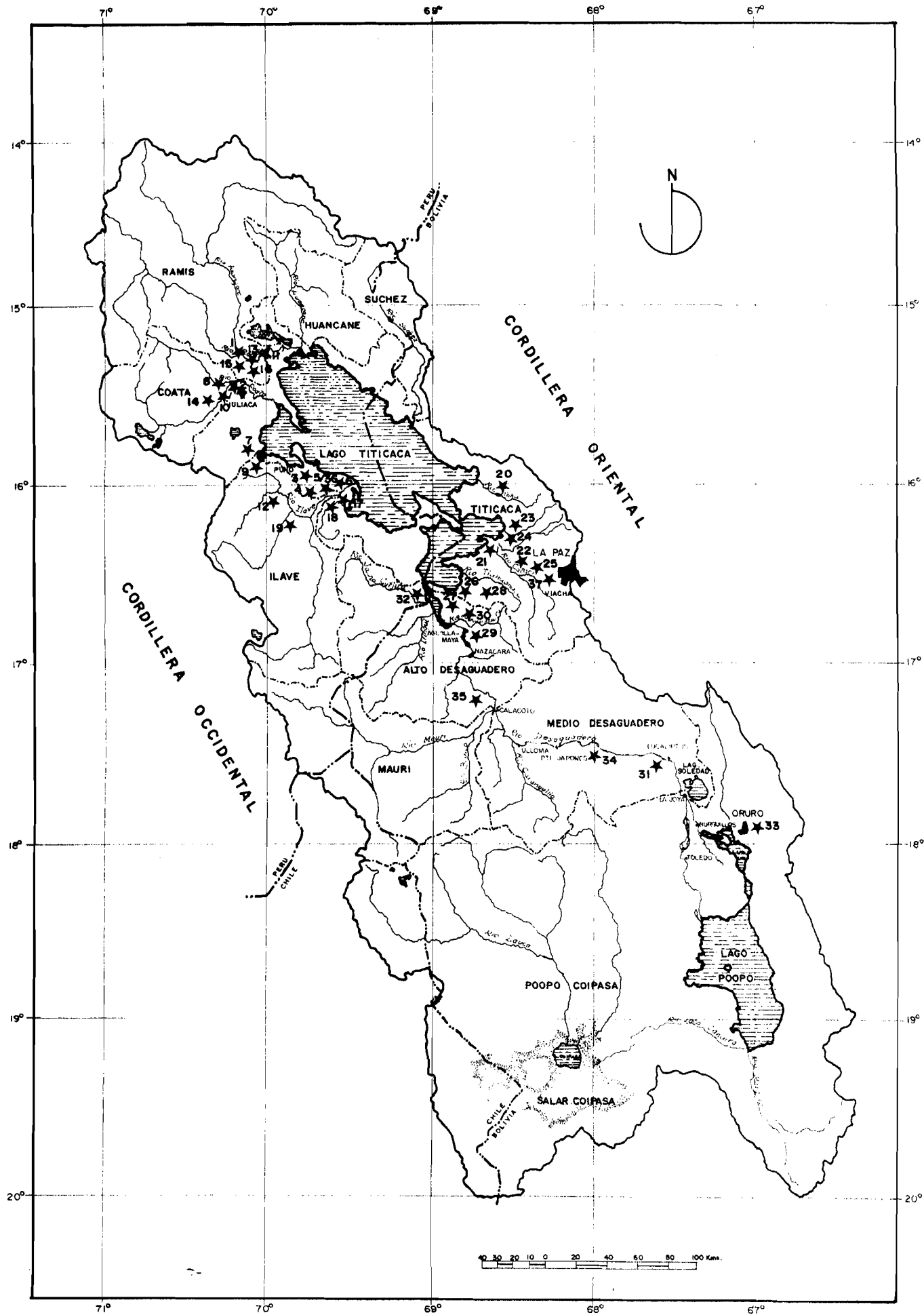
0-500	$\mu\text{hos/cm}$
500-1000	$\mu\text{hos/cm}$
1000-2000	$\mu\text{hos/cm}$
2000-3000	$\mu\text{hos/cm}$
>3000	$\mu\text{hos/cm}$

Los datos utilizados se refieren tanto a aguas superficiales como subterráneas (pozos) y abarcan afluentes del lago Titicaca y del Desaguadero, el Desaguadero mismo, los lagos Uru-Uru y Poopó, los afluentes de éstos y el río Lacka Jahuira efluente del Poopó, además de la información del altiplano adyacente a estos cuerpos de agua donde se perforaron pozos.

Los años de los análisis y la localización de los puntos de muestreo resultan en el listado que sigue:

- (1983) Río Marquez - Río Sebaruyo - Río Jaru Jahuira Khana - Río Cortadera - R. Tacagua - R. Juchusuma - R. Antequera (Pazña) - R. Poopó - R. San Juan de Sora Sora - R. Desaguadero - R. Desaguadero (Pte. Aroma) - Lago Poopó (Challa Vinto - Phuyopata - José Pimpata).
- (1987) Lago Titicaca: Lago Mayor Promedio  
Lago Menor Promedio
- (1985) Río Ilave - R. Coata - R. Ramis - Río Huancané

FIG. 3.3 UBICACION DE PUNTOS DE MUESTREO DE POZOS (AGUAS SUBTERRANEAS)



- (1984-1985) Lago Titicaca (Lago Mayor)
- (1990) Río Lauca
- (1987-1988) Río Huaycho - R. Suhez - R. Keka - Lago Titicaca (Tiquina) - R. Pallina - R. Catari - Tiwanacu - L. Titicaca (Guaqui) - R. Jacha Jahuira - Río Tuni - Río Sehuenca - Río Suriquiña - R. Kankani - R. Hualaque (Mina Matilde) - R. Huancané - R. Milluni bajo 1 - R. Milluni bajo 2 - Río Seco - R. Colorado - R. Desaguadero - R. Lucuchata - R. Jilakata - R. Desaguadero (Aguallamaya) - Río Jacha Jahuira - R. Jacha Uta - Río Desaguadero (Nazacara) - R. Yanapiri - R. Killhuiri - Río Desaguadero (Calacoto) - R. Lekhe Lekheni - R. Caquingora - R. Cañuma - R. Desaguadero (Ulloma) - R. Caranguilla - R. Desaguadero (Puente Japonés) - R. Desaguadero (Eucaliptus) - R. Desaguadero (Pte. Español) - Río Desaguadero (Pte. Desaguadero) - R. Desaguadero (Pte. Aroma) - Río Challa Jahuira - Río Kheto (Patacamaya) - Laguna Soledad - Río Mauri (Avaroa) - Río Molle Puncu (Sicasica) - Río Khora Jahuira (Viscachani) - Río Khara Khollo (Caracollo) - Río Desaguadero (Poopó) - Río Antequera (Pazña) - Río Khariri (Huancané) - Río Juchusuma - Río Tacagua (Pte. Challapata) - Río Azanaques (Huari) - Río Cortadera (Vado) - Río Sevaruyo (Quillacas) - R. Sevaruyo (Sevaruyo) - Río Márques (Quillacas) - Río Márques (Río Mulato) - Lago Poopó (Huari) - Río Corque (Piste) - Río Challa Jahuira (Piste) - Río Coquiza (Piste) - Río Laca Jahuira (Khala Khala) - Río Lauca (Ascara - Huachacalla) - Río Mascoma (Laxava) - Río Lauca (Sacabaya) - Río Kollpa Jahuira (Piste) - Río Barras (Piste).
- (1987) Lago Poopó (Parte Central)
- (1991) YUNTA (33 Pozos) Provincia AROMA del Dpto. de La Paz - Patacamaya/Cañaviri/Chijmuni/UMALA.

- (1991) Misión Británica = Lago Poopó: Huari - Pazña Puñaca-Río Desaguadero
- (1991) YUNTA (15 pozos) Provincia Villarroel en las cercanías del Río Desaguadero
- (1976-1979) R. Ramis - R. Coata - R. Ilave - R. Huancané - R. Suhez - R. Zapatilla - R. Challa Jahuira - R. Chilla - R. Pallina - R. Tiwanacu - Río Catari - R. Batallas Chicas - R. Keka - Río Huaycho.
- (1991) Río Tiwanacu y su cuenca
- (1990-1991) Datos promedios de la Cuenca del río Desaguadero generados por el Proyecto Altiplano Hydrological System (UMSA-U LAVAL/Canadá).
- (1992) 1ª y 2ª campaña del área de Hidroquímica en el marco de trabajo de INTECSA-CNR-AIC Progetti
- (1992) Campaña de Campo de Hidrología (Febrero) en el marco de trabajo de INTECSA-CNR-AIC Progetti
- (1992) Campaña de SENAMHI (Diciembre) en el marco de trabajo de INTECSA-CNR-AIC Progetti
- (1992) Campaña de Hidrogeología e Hidroquímica para muestreos de pozos en la cuenca TDPS (37 muestras)
- (1992) Estudio Hidrogeológico - Inventariación Fuentes de Agua Subterránea INTECSA-CNR-AIC Progetti
- (1993) 3ª Campaña del área de Hidroquímica en el marco de trabajo de INTECSA-CNR-AIC Progetti

## **4. EVALUACION**

### **4.1 FUENTES DE POSIBLE CONTAMINACION**

La contaminación hídrica, se puede definir como la introducción de sustancias, materiales o energía en el medio acuático alterando el equilibrio del mismo, produciendo condiciones adversas en los sistemas ecológicos, estéticos, humanos y biológicos en general.

La contaminación puede ser natural o antrópica. La primera se produce en forma natural, sin la intervención humana, es decir, es un producto de procesos naturales que incorporan al medio elementos que alteran la composición del agua y también, como una consecuencia, el suelo en contacto con ella. Por la forma en que ocurre, en muy pocos casos se puede actuar para controlarla.

La segunda se produce por intervención del hombre que, con sus diversas actividades, altera el estado natural del recurso hídrico y por ende de los suelos. Las principales fuentes antrópicas de contaminación son: la actividad minera, industrial, doméstica, agrícola, energética, entre otras.

Así, en la bahía de Puno existe contaminación antrópica con material orgánico resultante de los efluentes domésticos de la ciudad, lo que ha producido, fuerte contaminación bacteriana y eutrofización de las aguas. En la cuenca del Coata existe puntualmente contaminación minera; y en la parte norte del río Desaguadero (Puente Internacional), existe contaminación doméstica (desechos sólidos, basura, desechos sanitarios). En la zona de Aguallamaya, Nazacara, Calacoto, Mauri, Ulloma y Puente Japonés, hay poca actividad humana y predomina la contaminación por salinización natural, con escasa contaminación antrópica.

A partir de Eucaliptus, Chuquiña y los lagos Uru-Uru y Poopó, predomina la contaminación por actividad minera, seguida de contaminación doméstica e industrial.

### **4.2 TIPOS DE CONTAMINACION**

A continuación se describen varios tipos de contaminación que se ha identificado ocurren en el área de estudio y en modo particular en las zonas mineras.



A pesar de que la explotación minera ha disminuido en gran parte, la contaminación ocasionada por ella se mantiene, ya que es acumulativa en el tiempo. Así se tienen minas estatales tales como: San José, Itos, Huanuni (Siglo XX, Catavi), Santa Fe, Machacamarcá, Poopó; privadas como Estalza e industrias como Vinto-ENAF, SAMCO (fábrica de ácido sulfúrico) y otras que amplían y complican el espectro de contaminación inorgánica, orgánica y bacteriológica.

Según su tipo, los contaminantes que llegan a los ríos y lagos, cercanos a los yacimientos mineros, se clasifican como sigue:

- Físicos,
- Químicos,
- Biológicos y bacteriológicos,
- Tóxicos,
- Hidrocarburos, y
- Atmosféricos.

Complementariamente, en el anexo B se presenta una descripción de los procesos específicos de contaminación de los principales elementos que se han identificado en el sistema T.D.P.S. .

### **Contaminación física**

Este tipo de contaminación puede actuar de diferentes formas: alterando la materia sólida y/o produciendo cambios en la temperatura y el pH.

La materia sólida es la que provoca turbidez en el agua y dá origen a un aspecto antiestético; ésta turbidez causada por el material sólido altera los mecanismos fotosintetizadores. La materia sólida puede estar soluble y sedimentable en suspensión.

La temperatura es uno de los factores limitantes de mayor importancia, ya que acelera, por un lado, las reacciones metabólicas de los organismos y las reacciones químicas en el medio acuífero y, por otro, afecta la solubilidad del oxígeno en el agua.

Así por ejemplo, la temperatura de descarga de las aguas de los ingenios varía de 3°C a 20°C. En las plantas pirometalúrgicas, con refrigeración por medio de camisas de agua y granulación de escorias, la temperatura puede ir de 25 a 60°C; este caso se presenta en la planta volatización La Palca.

El pH aceptable en los cuerpos receptores oscila entre 6,5 y 8,5. Las aguas con valores muy ácidos o básicos son tóxicas para los peces y otros organismos.

### **Contaminación química**

El contenido químico de las aguas dulces presenta una gran variedad de acuerdo a la región, al clima, y al hecho de que se trate de aguas quietas o en movimiento. En general, las aguas pueden contener diversas sustancias orgánicas e inorgánicas; de ellas, algunas provenientes de las contaminaciones mineras.

Entre los principales constituyentes minerales encontrados en las aguas se pueden mencionar: calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, aluminio, zinc, cobre, plomo, cadmio, cromo, mercurio, molibdeno, cobalto, carbono, fósforo, estaño, plata, bismuto, antimonio, sulfuros, carbonatos, fosfatos, sulfatos, nitratos, yodo, sílice, etc.

En su mayoría, estos constituyentes se encuentran usualmente presentes en forma iónica, o en moléculas orgánicas e inorgánicas complejas.

Entre los gases disueltos tenemos: óxido y dióxido de carbono, nitrógeno, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y metano.

Por último, en términos de materia orgánica soluble: azúcares, ácidos grasos, ácidos húmicos, vitaminas, aminoácidos, péptidos, proteínas, pigmentos de plantas, úrea y muchos compuestos bioquímicos.

Entre los metales pesados más peligrosos, por su baja o mala biodegradación y su alta capacidad de fijación en los tejidos, se pueden mencionar el cobre, el plomo, el zinc, el cadmio, el cromo y el mercurio.

El efecto de los elementos o sustancias tóxicas puede ser de dos tipos: inmediato o a largo plazo, según su concentración de descarga. Sin embargo, pequeñas cantidades se incorporan a los organismos a través de la cadena trófica y por esta vía llegan al hombre.

Los animales que acumulan metales pesados y que pueden transmitirlos al hombre, a través de la mencionada cadena trófica, son los peces, las aves y los animales domésticos, ya que algunas bacterias aeróbicas de los sedimentos son capaces de transformar, mediante un

proceso bioquímico, los metales pesados en sus metiles correspondientes, que son acumulables en los tejidos y que presentan un largo período de eliminación. La dosis letal para el hombre es de aproximadamente 100 mg. Sin embargo, el envenenamiento por consumo de animales contaminados por estos metales es prácticamente imposible, debido a la selectividad del paladar, que sólo acepta concentraciones de 5 y 7 ppm.

### **Contaminación biológica y bacteriológica**

Este tipo de contaminación proviene de las descargas de aguas negras, de los campamentos mineros y de las poblaciones cercanas, que van hacia los ríos, sin tratamiento, provocando contaminación a través de bacterias patógenas, causando enfermedades infecciosas y tóxicas en las personas y animales que consumen dichas aguas río abajo.

Estos contaminantes son biodegradables y se descomponen rápidamente, de forma natural, dada la gran capacidad de autodepuración de las aguas.

### **Contaminación por hidrocarburos**

Los hidrocarburos se encuentran en las descargas mineras pues son utilizadas en grandes cantidades en el mantenimiento de las maquinarias y equipos necesarios en las operaciones de extracción.

Los residuos de los hidrocarburos producen enturbiamiento y películas superficiales en las aguas naturales, disminuyendo la penetración lumínica y, por lo tanto, la productividad primaria expresada en términos de fotosíntesis. Después de ingerida el agua por seres vivos, los hidrocarburos se acumulan en los músculos, impregnándolos, lo que incide en el sabor de la carne de peces y otros animales.

### **Contaminación atmosférica**

La contaminación atmosférica se puede producir por dos tipos de causas:

- Por expulsión de gases tóxicos, y/o
- Por expulsión de partículas sólidas.

El primer caso se presenta en las fundiciones y plantas de volatilización. La naturaleza de los procesos pirometalúrgicos y los contenidos de un cierto porcentaje

de minerales sulfurados, al tener temperaturas elevadas de trabajo, provocan reacciones químicas con desprendimiento de gases, especialmente anhídridos sulfurosos que, con la humedad o las lluvias, forman ácidos que caen a la tierra provocando quemaduras en la vegetación y un aumento de acidez en los ríos y lagos. A la luz de los resultados de los análisis, éste problema no parece importante en el sistema T.D.P.S.

El segundo caso se manifiesta en las zonas de explotación a cielo abierto con sistema de trituración de minerales, de tráfico vehicular y en fundiciones y plantas de volatilización, por escapes de partículas sólidas por arrastre mecánico. Estas partículas finísimas son, generalmente, materiales sílico-aluminosos o sílico libre y constituyen un peligro latente para la población de campamentos, especialmente para niños, para los trabajadores de superficie, etc., ya que pueden provocar silicosis. Sin embargo, en Bolivia, COMIBOL todavía no ha empezado a emitir normas para minimizar o evitar este tipo de contaminación.

#### 4.3

#### RESULTADOS DE LOS ANALISIS DEL AGUA SUPERFICIAL

Los resultados de los análisis de cada campaña realizada se reportan en los cuadros 4.1, 4.2 y 4.3 respectivamente. En estos cuadros, los valores presentados pueden ser comparados con los valores permisibles (para consumo humano, para consumo animal y para riego, los que se presentan en el cuadro C-1 del anexo C). Adicionalmente, en el cuadro 4.4 se muestran los resultados promedios de los análisis realizados en el período 90-91.

En las figuras 4.1/4.30 se presentan los valores obtenidos de cada parámetro en los diferentes puntos de muestreo. Estos valores de los análisis realizados sobre las muestras de las tres campañas y los valores promedio de los análisis efectuados en ocho de los puntos durante el período 90-91 (en el marco del proyecto Sistema Hidrológico del altiplano, realizado por la UMSA y la Universidad de Laval - Quebec, Canadá), pueden ser comparados con los límites admisibles para consumo humano, para consumo animal, y para riego que se presentan en los mismos gráficos, y que han sido obtenidos de las bibliografías pertinentes.

Los cuadros 4.5, 4.6, y 4.7 presentan la evaluación de la calidad del agua con fines de riego de las muestras de las tres campañas realizadas y en el cuadro 4.8 de los promedios de los muestreos realizados entre 1990 y 1991.

Los valores de concentración de metales pesados obtenidos por ONERN en 1985 para los tributarios del lago Titicaca son similares a los obtenidos en los muestreos del presente estudio.

Los números indicados en la abscisa se refieren a los puntos siguientes:

- 1 Río Ramis
- 2 Río Coata
- 3 Río Ilave
- 4 Puente Internacional
- 5 Calacoto
- 6 Río Mauri
- 7 Puente Japonés
- 8 Chuquiña
- 9 Puente Español
- 10 Lago Uru-Uru
- 11 Lago Poopó Pazña
- 12 Lago Poopó Huari

En cada punto se tomaron tres muestras, en tres períodos diferentes:

Primera campaña	12-17/3/92
Segunda campaña	9-14/7/92
Tercera campaña	3-8/12/92

A continuación se comentan los resultados para cada parámetro, considerándose las muestras de ríos (puntos 1 a 8) y de lagos (punto 9 a 12).

#### **Conductividad eléctrica (Fig. 4.1)**

En general, se nota un aumento de los valores, a partir del centro y, sobre todo, hacia el sur de la cuenca, donde los valores se incrementan acentuadamente (lago Poopó).

Para consumo humano: Los valores en los ríos Ramis, Coata, e Ilave están por debajo de los límites permisibles (con excepción de la muestra de agosto en el río Coata: 1,4 mS/cm). En el río Mauri los valores exceden los límites pero están muy cerca de ellos (entre 1,05 y 1,24 mS/cm). En cambio, en el río Desaguadero (en Puente Internacional, Calacoto, Puente Japonés, y Chuquiña), los valores exceden dichos límites, oscilando entre 1,64 a 2,9 mS/cm.

En los lagos Uru-Uru y Poopó los valores están entre 60,8 a 214 mS/cm, muy por encima de los límites permisibles para consumo humano.

Para consumo animal y riego: Todos los valores de las muestras de ríos (Ramis, Coata, Ilave, Mauri, y Desaguadero) se encuentran por debajo de los límites permisibles para estos usos, aunque para riego se tendría un grado de restricción de uso moderado en el caso de las muestras del río Desaguadero. En cambio, las muestras de los lagos Uru-Uru y Poopó exceden significativamente estos límites.

#### **Total de sólidos disueltos o iones en solución**

(Fig. 4.2)

Se observan concentraciones bajas de sólidos disueltos en los afluentes del lago Titicaca (ríos Ramis, Coata, e Ilave), Puente Internacional, y río Mauri (0,31 a 0,933 g/l). Hay un incremento progresivo de sólidos disueltos hacia el sur de la cuenca, desde Calacoto (llegando a 1,83 g/l) hasta el lago Poopó (107 g/l).

En general, se nota una tendencia de incremento semejante a la de la conductividad.

#### **pH (Fig. 4.3)**

En general, se nota un incremento de los valores de pH hacia el sur de la cuenca y durante el período invierno y primavera.

Los valores de pH correspondientes al río Ramis, Puente Español y lago Poopó se hallan dentro del rango normal de 6,5 a 8,5 para consumo humano.

En los ríos Ilave y Coata (en las dos primeras campañas), río Mauri, y río Desaguadero (en Calacoto, Puente Japonés y Chuquiña) los valores están entre 8,12 y 9,08, mientras que las muestras de los ríos Coata e Ilave (en la tercera campaña-enero), Puente Internacional, y lago Uru-Uru (en la primera campaña) los valores se sitúan entre 9,29 y 10,02.

#### **Color aparente**

Las muestras tomadas en el río Ilave, Puente Internacional, río Mauri y lago Poopó (Huari) evidencian valores bajos; y las de los ríos Ramis, Coata, Puente Español,

presentan valores medios. En Calacoto, Puente Japonés, Chuquiña, y lagos Uru-Uru y Poopó (Pazña) se observan valores altos que confirman que, en esta región (sobre todo entre Puente Japonés y Chuquiña) existe un arrastre mayor de sedimentos en suspensión, lo que dá el color al agua.

En general, su comportamiento sigue el régimen climático, con una disminución regular en toda la cuenca durante la época de estiaje y un incremento cuando se inicia la época de lluvias (es decir, cuando comienza el arrastre de sedimentos).

### **Turbidez**

Los ríos Ilave y Desaguadero, en Puente Internacional presentan valores normales. Los ríos Ramis, Coata, Mauri, Lago Poopó, y río Desaguadero en La Joya presentan valores medios. En cambio, el río Desaguadero en Calacoto, Puente Japonés, Chuquiña y lago Uru-Uru presentan valores elevados con máximos entre Puente Japonés y Chuquiña.

En general, se nota un comportamiento igual al caso del color aparente.

### **Dureza (Fig. 4.4)**

Sólo el río Ilave presenta agua blanda; los ríos Ramis, Coata y Mauri presentan aguas semi-duras; el río Desaguadero, a lo largo de su curso hasta el lago Poopó presenta aguas duras y en La Joya y Lago Uru-Uru muy duras.

En general, se observa un aumento relativo en toda la cuenca, especialmente al sur de la misma y durante el período invierno - primavera.

### **Material en suspensión (M.E.S.) (Fig. 4.5)**

En los ríos Ramis, Coata, Ilave, Puente Internacional y Puente Español los valores resultan inferiores a la norma límite (para consumo humano). En los otros puntos son elevados, especialmente desde el Puente Japonés hacia Chuquiña (el valor más elevado), al igual que en el lago Poopó (Pazña), donde el valor alcanza 249 mg/l. Esto confirma lo señalado anteriormente, es decir, que los materiales en suspensión son arrastrados en mayor cantidad desde el Puente Japonés, Chuquiña, desembocando en los lagos Uru-Uru y Poopó por el Puente Español, Desaguadero y Toledo.

En general, este parámetro sigue la misma evolución del color aparente.

#### **Oxígeno disuelto** (Fig. 4.6)

Todos los valores de concentración, desde los afluentes del lago Titicaca hasta el Puente Español al sur de Oruro, están dentro del rango normal, con porcentajes de saturación de 80 a 106%.

En cambio, en los lagos Uru-Uru y Poopó, la concentración es muy baja, con porcentajes de saturación que van del 25 al 55% (poco saturados).

En general, en otoño-invierno se observa un ligero aumento de concentración, debido posiblemente a la acción de los vientos sobre estos cuerpos de agua, para, posteriormente, disminuir un poco hacia comienzos del verano.

#### **Alcalinidad total** (Fig. 4.7)

La concentración de este parámetro está por debajo del límite para consumo humano en todos los puntos de muestreo, excepto en los lagos Uru-Uru y Poopó, cuyas concentraciones debidas a  $\text{CO}_3\text{H}$  y  $\text{CO}_3=$  resultan muy elevadas con respecto a los límites para cualquier uso.

#### **Dióxido de carbono libre** (Fig. 4.8)

Las concentraciones en los ríos Coata, Ilave y Desaguadero hasta el lago Uru-Uru están por debajo del límite tolerable para agua natural en equilibrio con el aire (0,4 mg/l), es decir, tienen déficit de  $\text{CO}_2$ .

En el río Ramis y lago Poopó tienen valores superiores al del equilibrio con la atmósfera (exceso de este elemento).

Se observa una variación irregular en toda la cuenca, con una tendencia a aumentar hacia el sur.

#### **Fosfatos** (Fig. 4.9)

En general, las concentraciones de este nutriente son muy bajas; sus valores más elevados se hallan en río Mauri (1,02 mg/l), Puente Japonés (0,75 mg/l) y lago Poopó en Pazña (2,3 mg/l).



Actualmente (1993) se nota un déficit en los contenidos de fosfatos de toda el área. En general, se nota un ligero incremento en toda la cuenca a principios de la época de lluvias.

#### **Nitratos y nitritos** (Fig. 4.10a y 4.10b)

Todos los valores de estos nutrientes están por debajo de los límites permisibles (para consumo humano y animal y para riego), por lo tanto, no existe el peligro de toxicidad a causa de los mismos. Es más, se nota un gran déficit de estos componentes en las aguas de la zona en estudio. Se observa un ligero incremento al inicio de la época de lluvias, que constituyen la principal fuente de aporte de nitratos y nitritos al agua.

#### **Cloruros** (Fig. 4.11)

En los ríos Ramis, Coata, Ilave y Mauri la concentración de cloruros presenta órdenes inferiores al del límite permisible para consumo humano y animal y para riego.

Sin embargo, en el río Desaguadero los valores se incrementan aguas abajo de Puente Internacional. Aunque el ingreso del río Mauri reduce un poco estos valores, sus magnitudes son relativamente altas, pero como se trata de pastos y de cultivos anuales, que según las referencias no son sensibles a los cloruros, por lo tanto no se deberán tener problemas de toxicidad con el riego con estas aguas.

En general, se nota un pequeño aumento en las concentraciones de norte a sur de la cuenca y a lo largo del Desaguadero, con valores máximos en el lago Poopó.

#### **Sulfatos** (Fig. 4.12)

Las concentraciones de sulfatos en los puntos correspondientes a los tres afluentes del Titicaca considerados, Puente Internacional, río Mauri, Puente Japonés, Chuquiña y Puente Español presentan valores dentro de las normas, con excepción de Calacoto en la última campaña.

En cambio, en los lagos Uru-Uru y Poopó se hallan elevadas concentraciones.

En general, hay un ligero aumento de norte a sur de la cuenca, que se acentúa en los lagos Uru-Uru y Poopó, donde el contenido de sulfatos es agresivo al concreto (hormigón, por contener más de 3000 mg/l).

### **Sílice disuelta** (Fig. 4.13)

En los ríos Ramis, Coata, y Desaguadero en Puente Internacional, y Calacoto y en los lagos Uru-Uru y Poopó se observan valores bajos. En las muestras de los ríos Ilave y Mauri se notan concentraciones permanentes mayores, que llegan a alcanzar valores de 81 mg/l en el Mauri. Este río es el principal aportador de sílice disuelta de toda la cuenca, lo cual se explica por la presencia de series eruptivas en la cabecera de su cuenca. Como resultado se observan también valores elevados en el río Desaguadero en Puente Japonés, Chuquiña y Puente Español, que son afectados por el aporte del Mauri.

En general, se nota un incremento progresivo de sílice disuelta en la zona comprendida entre río Mauri y Puente Español sobre el Desaguadero.

### **Calcio y Magnesio** (Figs. 4.16a y 4.16b)

Los valores encontrados en los afluentes del Titicaca, río Mauri, y en el río Desaguadero en Puente Internacional, Calacoto, Puente Japonés, Chuquiña y Puente Español son inferiores a los límites permisibles. Valores elevados se observan en los lagos Uru-Uru y Poopó.

En general, se nota un aumento de la concentración que se acentúa en la parte sur de la cuenca, debido posiblemente a una disminución del régimen de lluvias.

### **Sodio** (Fig. 4.15)

En los afluentes del Titicaca (ríos Ramis, Coata e Ilave), en el río Mauri y el río Desaguadero en Puente Internacional se registraron valores inferiores o alrededor de los límites de las normas usuales para consumo humano.

En cambio en el río Desaguadero en Calacoto, Puente Japonés, Chuquiña, y Puente Español y en los lagos Uru-Uru y Poopó las aguas muestran valores elevados de sodio que sobrepasan los límites para consumo humano, como consecuencia de las diferentes fuentes puntuales que se tienen entre Calacoto y Chilahuala particularmente.

Para fines de riego, las aguas del río Desaguadero tendrían un grado de restricción entre ligero a moderado, por lo que para el riego con estas aguas se deben seleccionar cultivos de tolerantes a medianamente tolerantes a la salinidad (como cebada, quinua, trigo, avena, y trébol loto común entre otros - ver Estudios FAO: Riego y Drenaje 29, rev1), lo que requiere complementarse con un manejo apropiado de agua y suelo, de forma que los rendimientos no sean afectados por toxicidad con el sodio.

En general hay un aumento en la concentración en toda la cuenca, que se acentúa en los lagos Uru-Uru y Poopó.

#### **Potasio** (Fig. 4.14)

En todos los puntos de muestreo de los afluentes del Titicaca, de la cuenca del Desaguadero y del lago Uru-Uru, las concentraciones están en los límites inferiores a los permisibles. Sólo en las aguas del Poopó se observan valores muy elevados.

En general, en el área del Desaguadero, este parámetro es estable, con excepción de los afluentes del Titicaca, que han sufrido una ligera disminución en sus concentraciones, y en el lago Poopó, que han aumentado sensiblemente sus valores de concentración.

#### **Boratos** (Fig. 4.17)

Las concentraciones de este elemento muestran que en los ríos Ramis, Coata, Ilave, y Desaguadero en Puente Internacional y Calacoto no hay peligro de toxicidad debida a este elemento (11 mg/l es el límite permisible para consumo humano). En cambio, en el río Mauri, y Desaguadero en Puente Japonés, Chuquiña, Puente Español y, sobre todo, en los lagos Uru-Uru y Poopó se observan valores elevados.

Para fines de riego, las concentraciones de las muestras de los ríos afluentes al lago Titicaca no muestran problemas potenciales. En cambio, en el río Mauri y en el río Desaguadero, aguas abajo de la confluencia del Mauri, se registraron valores altos que requerirían consideraciones especiales en los cultivos a seleccionarse y en el manejo del agua y suelo para lo cual se requerirían realizarse experiencias de lixiviación en áreas piloto de los proyectos, conforme estos se implementen.

#### **Cianuros** (Fig. 4.18)

Los valores máximos permisibles para consumo humano, consumo animal y para riego son de 0,1 mg/l, y se observa en todos los puntos muestreados de la cuenca que las concentraciones son muy inferiores a este límite, por lo que no existe peligro de contaminación por éste elemento.

#### **Hierro** (Fig. 4.19)

En la cuenca las concentraciones son inferiores a los límites permisibles tanto para consumo humano como para consumo animal y para riego.

#### **Manganeso** (Fig. 4.20)

Los valores de las concentraciones son inferiores a 0,1 mg/l e inferiores a los límites permisibles para consumo humano, consumo animal, y riego, excepto en el lago Poopó (Pazña y Huari), cuyos valores son superiores pero tan sólo para consumo humano. En general, se nota un incremento hacia el sur de la cuenca.

#### **Cromo** (Fig. 4.21)

Las concentraciones de cromo hexavalente (+6) se sitúan alrededor de 0,01 mg/l en los ríos Ramis, Coata, e Ilave así como en el río Desaguadero desde Puente Internacional hasta Chuquiña. No se registran concentraciones en el Puente Español. Solamente en los lagos Uru-Uru y Poopó se observan concentraciones mayores, que van de 0,01 a 0,13 mg/l, pero que tan sólo en el caso de una muestra (en Pazña) supera los límites para consumo humano y para riego, no así para el consumo animal.

#### **Wolfram o Tungsteno** (Fig. 4.22)

En todos los puntos muestreados se registraron valores superiores al del límite permisible por las normas para consumo humano, (0,05 mg/l). Los valores van de 0,3 a 7,2 mg/l, y aparentemente su presencia se considera natural en el sistema T.D.P.S..

#### **Zinc** (Fig. 4.30)

Las concentraciones halladas en todos los puntos de muestreo indican valores por debajo del límite para consumo humano, consumo animal y para riego.

## **Cobre**

Los valores observados en la cuenca son inferiores al de los límites permisibles para consumo humano, consumo animal y para riego por las normas.

## **Estaño** (Fig. 4.23)

Todos los valores mg/l, observados entre 0,1 y 0,8 son superiores al del límite permisible para consumo humano, único uso para el cual se tienen límites. Para riego y consumo animal no se tienen de tolerancias específicas.

En general, se nota un ligero incremento en la concentración hacia el sur de la cuenca.

## **Plomo** (Fig. 4.24)

Los valores en los ríos Ramis, Coata, e Ilave, y en el río Desaguadero en Puente Internacional, Calacoto, Puente Japonés, Chuquiña y Puente Japonés, al sur de la ciudad de Oruro, y en el río Mauri son inferiores a los límites permisibles para consumo humano, consumo animal y para riego. En cambio, en las muestras de las aguas de los lagos Uru-Uru y Poopó se registraron valores superiores a los límites para consumo humano y animal.

## **Antimonio** (Fig. 4.25)

Las concentraciones en el norte de la cuenca, desde los afluentes del Titicaca, Puente Internacional, río Mauri, río Desaguadero en Calacoto, Puente Japonés, Chuquiña, y Puente Español y en el lago Uru-Uru son inferiores al límite permisible para consumo humano. Sólo en el lago Poopó los valores superan ligeramente los límites para el consumo humano.

## **Arsénico** (Fig. 4.26)

Las concentraciones de los muestreos hacia el norte de la cuenca: en los afluentes del Titicaca, en el río Mauri, y río Desaguadero en Calacoto, Puente Japonés y Chuquiña son inferiores a los límites permisibles para consumo humano, consumo animal y riego. Sin embargo, en los lagos Uru-Uru y Poopó los valores se incrementan significativamente, superando los límites para consumo humano y animal, posiblemente como resultado de la salinización que allí ocurre.

## **Plata**

Las concentraciones en toda la cuenca son inferiores a los límites permisibles para consumo humano y para riego. No se tienen límites para el consumo animal.

## **Cadmio** (Fig. 4.27)

En las muestras de la parte norte de la cuenca, desde los afluentes del Titicaca hasta Chuquiña (incluido el río Mauri), no se registraron concentraciones de este elemento superiores a 0,009 mg/l y, por lo tanto, no existe contaminación por cadmio.

Pero, a partir del Puente Español y en los lagos Uru-Uru y Poopó, las concentraciones son bastante elevadas, llegando a alcanzar el orden de 0,20 mg/l, superando los límites para consumo humano y animal y para riego.

## **Cobalto** (Fig. 4.28)

Las concentraciones en los ríos Ramis, Coata, e Ilave, en el río Mauri y en el río Desaguadero en Calacoto, Puente Japonés y Chuquiña están por debajo, aunque muy cerca, de los límites permisibles para consumo humano y animal y para riego .

En cambio, las concentraciones en los lagos Uru-Uru y Poopó son muy elevadas, llegando a concentraciones de 0,30 a 0,50 mg/l. Se observa un incremento desde el Puente Español hasta los lagos Uru-Uru y Poopó.

## **Níquel** (Fig. 4.29)

Las concentraciones observadas al norte de la cuenca, desde los afluentes del Titicaca, Puente Internacional y en todo el río Desaguadero hasta el Puente Español, al sur de Oruro, indican que no hay contaminación debida a este elemento. En cambio, en los lagos Uru-Uru y Poopó los valores superan sólo los límites para consumo humano.

## **4.4**

### **RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE LODOS**

Los resultados de los análisis pueden ser comparados con los límites admisibles, con el fin de determinar el grado de contaminación de los lodos. Estos valores límites son:

Valores indicativos de contaminación de sedimentos (mg/Kg)

Parámetro	Sb	As	Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Ag	Pb	Zn
AGENCIA DEL AGUA DE LYON FRANCIA (GRESSARD 1991)			2.1	26	22	15100	341	0.26		50	94
FAO/WHO y otros (NORAS et. al. 1992)	5	30	3.0	100			1500		2	100	300

Para el estudio de la contaminación de lodos en el Sistema TDPS, se han analizado 16 diferentes parámetros: cianuro, antimonio, arsénico (segundo muestreo), cadmio, cobre, cromo, cobalto, estaño, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plata, plomo, wolfram y zinc.

En los cuadros 4.9 y 4.10 se presentan los resultados de los análisis correspondientes a cada muestreo. A continuación se comentan los diferentes elementos contaminantes:

### **Cianuros**

El cianuro es un ion químicamente muy reactivo, por esta razón, no se le encuentra en forma abundante en la naturaleza. A su reactividad se debe su carácter tóxico. Se usa en el proceso metalúrgico de la cianuración para la lixiviación de oro y plata, procedimiento que es utilizado por la empresa minera Inti Raymi, que explota los yacimientos de la región de La Joya - Chuquiña.

De las doce muestras analizadas en el primer muestreo, solamente la de Chuquiña presentó un contenido significativo de cianuro (0,10 ppm), siendo el límite de detección de 0,02 ppm. Cabe hacer notar que en el momento del muestreo se sintió un fuerte olor a ácido cianhídrico en el lugar de San Andrés (al norte de Chuquiña), donde se encuentra una de las dos plataformas de lixiviación del oro con cianuro; además, en los análisis de agua también se detectó cianuro en la muestra correspondiente.

En el segundo muestreo se ha centrado la toma de muestras (para la determinación de cianuros) en la región de Chuquiña. En los cinco puntos considerados, se han encontrado las siguientes concentraciones (límite de detección: 0,01 mg/Kg):

En el segundo muestreo se ha centrado la toma de muestras (para la determinación de cianuros) en la región de Chuquiña. En los cinco puntos considerados, se han encontrado las siguientes concentraciones (límite de detección: 0,01 mg/Kg):

Contenido de Cianuros en sedimentos del río Desaguadero  
en la región de Chuquiña

Muestra Nº	Lugar	Cianuro (ppm)
a	A la altura del Puente	< 0.01
b	División del Desaguadero, al Este del Puente	0.02
c	Brazo izquierdo, a la altura de la pista	< 0.01
d	Brazo derecho, a la altura de San Andrés	0.01
e	Brazo Derecho, a la altura de Chuquiña	0.01

Como se puede observar, las concentraciones de cianuro son muy bajas, cerca al límite de detección. Esto, aparentemente, se debería a que la empresa Inti Raymi está cambiando actualmente el sistema de lixiviación de las plataformas abiertas, a tanques cerrados, con efectos positivos para la preservación del medio ambiente, en especial en lo que se refiere a la contaminación con cianuro.

#### **Antimonio**

La abundancia de antimonio en la corteza terrestre es del orden de los 0,1 a 0,2 ppm. El límite admisible según la FAO/WHO es de 5 ppm para suelos superficiales. No se ha encontrado la presencia de antimonio en ninguna de las muestras analizadas, siendo el límite de detección de 2 ppm.

#### **Arsénico**

Este parámetro fue encontrado en el orden de 0,5 ppm en muestras de agua provenientes del lago Poopó, y por esta razón, en el segundo muestreo de lodos se incluyó el análisis de este parámetro.



En la mayoría de las muestras no se pudo detectar este elemento (límite de detección 0,1 ppm). Solamente en el sedimento de Chuquiña y relacionado con las actividades mineras de aquella región, se determinó un contenido de 0,8 ppm, valor muy por debajo del límite propuesto por la FAO/WHO de 30 ppm para suelos superficiales.

### **Cadmio**

Las principales fuentes de contaminación del cadmio son carbón, minería del zinc, humo de tabaco, conducciones y tuberías de agua. Debido a su natural asociación con el zinc, una elevada concentración de uno de estos elementos implica una relativa presencia importante del otro. Es así que en todas las muestras contaminadas con zinc, también lo son con cadmio. Los contenidos más elevados de cadmio en lodos se han encontrado en el río Coata (aunque en las muestras de aguas superficiales no se le detectó en éste río) y en el lago Poopó (Huari), puntos en los cuales exceden el límite admisible de 0,8 ppm.

### **Cobalto**

El contenido de cobalto en los suelos se encuentra frecuentemente entre 1 y 10 ppm. Los datos analíticos de los sedimentos del primer muestreo varían entre 1,2 y 8,5, por lo tanto están por debajo de los límites. El límite admisible según la Norma Suiza es de 25 ppm.

Tomando en cuenta los bajos contenidos de este elemento, no se realizó su análisis en los sedimentos del segundo muestreo.

### **Cobre**

Tiene una abundancia natural en la corteza terrestre del orden de 10-40 ppm. Aunque las muestras obtenidas en el río Coata, cerca a Juliaca presentó un contenido de 56 ppm en ambos muestreos, superior a los límites admisibles de Suiza para suelos superficiales (50 ppm) y de la Agencia del Agua de Lyon, Francia, para sedimentos (26 ppm), éste elemento no fué detectado en las muestras de aguas superficiales.

Se ha podido detectar una ligera tendencia a contaminación en el lago Poopó en Wilañeque, lago Uru Uru y Desaguadero en Puente Español.

### **Cromo**

Las concentraciones de cromo son bajas, ya que fluctúan entre 0,3 y 11,8 ppm en el primer muestreo, y entre 0,9 y 8,5 ppm en las muestras obtenidas en diciembre, lo que corresponde a contenidos normales. El valor referencial de contaminación de sedimentos por cromo, según la Agencia del Agua de Lyon, es de 22 ppm.

La presencia de cromo como contaminante normalmente se debe a la actividad industrial y específicamente a su utilización en la curtiembre. Esta actividad produce efluentes líquidos que contienen este elemento, que es retenido parcialmente en los sedimentos. Los anteriores datos muestran que ni en el río Coata ni en el lago Uru Uru, como principales receptores de aguas industriales de Juliaca y Oruro, respectivamente, se observan indicios de contaminación por cromo.

### **Estaño**

Este elemento no pertenece a los contaminantes clásicos, pero ha sido incluido en los análisis por su importancia en Bolivia.

Las cantidades encontradas en los lodos o sedimentos varían de menos de 1 ppm a 18 ppm (primer muestreo) y 15 ppm (segundo muestreo), respectivamente. El contenido promedio en la corteza terrestre es de unos 2 ppm, sin embargo, en la Cordillera Real debe ser considerablemente más elevado debido a su presencia natural. Las mayores concentraciones se tienen en los lagos Uru Uru y Poopó.

### **Hierro**

El hierro es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, con un 5,6% como promedio, la agencia del agua de Lyon dá un valor de 15100 ppm (1,51%) como límite admisible para sedimentos. En las muestras analizadas, el contenido de hierro varía entre 0,4% (río Desaguadero) hasta 2,6% (lago Uru Uru). Este último valor indicaría una ligera contaminación de hierro en el lago Uru Uru.

### **Manganeso**

Otro de los elementos abundantes (950 ppm en la corteza terrestre) es el manganeso, que no es considerado por todos los autores como metal contaminante, sin embargo, generalmente se incluye su determinación en una evaluación ambiental.

El manganeso, al igual que el zinc y el cobre, es un micronutriente, es decir, un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, encontrándose en concentraciones demasiado elevadas es perjudicial, y en niveles altos en el agua potable le dan un sabor desagradable.

En las muestras analizadas, los contenidos varían entre 59 ppm (Desaguadero) y 751 ppm (río Coata) para el primer muestreo, mientras que los valores extremos del segundo muestreo son 124 ppm y 878 ppm, correspondientes a los mismos puntos; los lagos Uru Uru y Poopó contienen aproximadamente 400 ppm.

De acuerdo al límite de 341 ppm de la Agencia de Agua de Lyon, existirían indicios de una ligera contaminación en los ríos Coata, Ramis, Ilave y Desaguadero (Calacoto, Puente Español), así como en los lagos Poopó y Uru Uru.

### **Mercurio**

Este elemento es considerado uno de los contaminantes más peligrosos. Su liberación en el ambiente debe ser cuidadosamente controlada, por sus efectos nocivos en la salud humana.

En el sistema T.D.P.S. la principal fuente de contaminación de este elemento sería la minería.

El contenido promedio de mercurio en el suelo según referencias bibliográficas es de 0,1 ppm, pero éste valor puede variar considerablemente. En las muestras analizadas, se presentan contenidos medios por un lado muy bajos (alrededor de 0,01 ppm en la región del río Desaguadero), pero por otro lado se observaron concentraciones altas en el lago Uru Uru, río Ilave y sobre todo en el Coata a la altura de Juliaca, donde se midieron 0,52 ppm en la muestra del primer muestreo, valor que está por encima del valor referencial de 0,26 ppm.

Todos los análisis realizados en las muestras, mostraron concentraciones relativamente bajas de mercurio.

### **Níquel**

El níquel fue detectado en cantidades de aproximadamente 2 a 13 ppm y por lo tanto se encuentra muy por debajo de los límites admisibles que, según la fuente, varían entre 45 ppm GREENPEACE y 50 ppm (Norma Suiza para suelos superficiales).

## **Plata**

Este elemento no se encuentra en cantidades detectables en las muestras analizadas, siendo el límite de detección de 0,1 ppm. El límite admisible según la FAO/WHO para suelos superficiales es de 2 ppm.

## **Plomo**

Otro de los metales pesados fuertemente tóxicos es el plomo, que es de uso común. La fuente principal de contaminación atmosférica en la combustión de los aditivos antidetonantes en la gasolina, conformados por alquilos de plomo.

Los diferentes productos de la combustión de los alquilos de plomo, mezclas de cloruros, bromuros, óxidos, hidróxidos y carbonatos de plomo, son expulsados a la atmósfera y luego parcialmente depositados en el terreno, de donde pueden llegar con las lluvias a los cursos de agua.

Si bien el contenido en la mayoría de las muestras no excede los 20 ppm, se han detectado dos lugares contaminados: el río Coata con 102 ppm (primer muestreo) y 95/81 ppm (segundo muestreo), así como el lago Uru Uru con 77 ppm (primer muestreo) y 44 ppm (segundo muestreo), en ambos lugares, que exceden el límite admisible que es de 50 ppm (Agencia del Agua).

## **Wolfram**

El wolfram se encuentra en todas las muestras analizadas en concentraciones inferiores a 10 ppm. No se conocen límites admisibles para este elemento sumamente raro en la corteza terrestre.

## **Zinc**

En la cordillera Real existen varios yacimientos de zinc y el contenido original de este elemento en el suelo parece estar cerca a 100 ppm, algo superior al promedio de la corteza terrestre que es de 70 ppm. Una concentración mayor a 94 ppm es considerada indicadora de contaminación.

En los lodos y sedimentos analizados, se han determinado contenidos de 16 a 87 ppm para el primer muestreo, y de 12 a 383 ppm para el segundo muestreo. Todos los valores del primer muestreo y la mayoría de los resultados del segundo muestreo se encuentran por debajo del límite permisible. Sólo en el río Coata se encontró contaminación por éste elemento.

#### **4.5 RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE AGUA SUBTERRANEA (Pozos)**

En el curso del estudio se analizaron 39 muestras de agua de perforaciones (pozos), a fin de conocer y evaluar su calidad físicoquímica actual.

Esta cantidad de muestras, si bien no son muy significativa, son representativas del área escogida, por lo que comparándolas con los más de 1000 datos concernientes a la conductividad, han permitido elaborar algunas consideraciones sobre la calidad de las aguas subterráneas.

Los resultados de los análisis se presentan en el cuadro 4.11 y la ubicación de los pozos muestreados se indican en la Figura 3.3.

##### **Conductividad y Total de Sólidos Disueltos**

De los 37 puntos muestreados sólo en los puntos N° 10 (Coata), Nos. 7 y 9 (Illpa) en la región peruana y en el punto N° 31 (San Miguel de Llanga) en el área boliviana, se observan valores elevados de ambos parámetros que los hacen inaptos para cualquier uso.

##### **pH**

Los valores observados en todos los pozos están dentro del rango de 6,58 a 8,56, es decir en los valores normales para todo uso.

##### **Dureza**

La mayoría de las aguas muestreadas son generalmente blandas y semiduras ó duras, con valores inferiores a 30°d. También se hallaron aguas muy duras (>30°d) en la región del Perú: cuenca del río Coata, con el mayor valor (91,5°d) y cuenca del Ilpa.

### **Alcalinidad total**

Se considera el valor límite máximo para todo uso (especialmente para consumo) de 610 mg/l. La mayoría de los puntos de muestreo están por debajo (inferiores) del mismo, solo en las cuencas de: Coata, Illpa, superan este límite.

### **Sulfatos**

En toda la cuenca solamente en dos pozos se encontraron valores superiores al límite para consumo humano (400 mg/l) y son: uno en la región de Illpa y otro en la cuenca del Coata.

### **Cloruros**

De toda el área muestreada se ha encontrado: cuatro pozos de agua con valores superiores a 250 mg/l, límite permisible para agua potable (uno en la cuenca del Illpa) y los otros tres, cuyos valores son superiores al límite para riego (400 mg/l), están en Illpa, Coata y San Miguel de Llanga, Desaguadero.

### **Boratos**

Sólo 5 pozos de los 39 superan el límite para consumo humano (11 mg/l); tres están en la cuenca del Ramis; uno en el Desaguadero, en San Miguel de Llanga y otro en la cuenca del Coata.

### **Calcio**

De todas las muestras de aguas subterráneas analizadas, solo una tiene concentración superior al límite para consumo humano (200 mg/l), en la cuenca del Coata.

### **Magnesio**

De los 39 pozos examinados sólo uno en la cuenca del Coata presenta valores superiores al límite tanto para consumo como para riego (200 mg/l).

### **Sodio**

De los 39 análisis solamente en cinco muestras se encontraron valores superiores a la norma de consumo humano (120 mg/l); área de Illpa dos pozos, uno en el Coata, San Miguel de Llanga y en Oruro.

De éstas, dos muestras están por encima de la norma para riego (300 mg/l), Coata y San Miguel de Llanga.

### **Potasio**

Los valores del potasio están siempre por debajo de los valores límite para consumo humano (1000 mg/l), con un déficit general evidente de este elemento.

### **Hierro**

En cuatro de los 39 pozos examinados, los valores de éste elemento se encuentran por encima de la norma de agua potable (0,3 mg/l): en la zona de Ilave, Illpa, Achacachi y en Tiwanacu. De éstas, dos tienen valores elevados: pozos N° 9 (1,4 mg/l) y N° 24 (2,2 mg/l).

## **4.6 EVALUACION DE LA CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**

Con el fin de obtener una información general sobre la conductividad eléctrica de la cuenca del TDPS, se utilizaron los datos de aproximadamente, 1000 puntos, obtenidos durante el período 1976-1992 (Ver párrafo 3.4).

Todos los datos se plasman en los mapas anexos (del 01 al 05), subdivididos en cinco clases de conductividad, expresada en  $\mu\text{mhos/cm}$  a 25°C. Las clases son 0-500, 500-1000, 1000-2000, 2000-3000,  $\geq 3000$ .

### **4.6.1. Evolución en el tiempo**

Examinando los mapas, se puede observar que en el caso de aguas superficiales se distinguen tres épocas diferentes: el período 1976-1979, con concentraciones altas de la conductividad; el período 1983-1986, lluvioso con inundaciones y con una disminución de las concentraciones por dilución; y el período 1990-1992, con un aumento en los valores de la conductividad debido a la época de sequía y al consiguiente fenómeno de concentración por evaporación, problema que se acentúa sobre todo al sur de la cuenca del TDPS.

Para aguas subterráneas, solo se obtuvo información de la conductividad eléctrica para el período 1990-1992, notándose que sigue el mismo comportamiento que el de las aguas superficiales, pero tienen un rango de variación mayor ya que además de estar influenciados por el clima,

lo están también por la geología del lugar donde se encuentran confinadas, lo que las hace más susceptibles a variaciones por lixiviación de sales solubles existentes en las diferentes napas freáticas (aumentan su concentración de norte a sur de la cuenca).

#### 4.6.2. Evolución de las diferentes clases de conductividad eléctrica

Se han dividido los valores, tanto los históricos como los producidos por el presente estudio, en cinco clases, con el fin de lograr una mayor comprensión de la distribución de los mismos:

##### a<sub>1</sub>) Clase 0-500, aguas superficiales

La mayoría de los afluentes del lago Titicaca, desde 1976-1992, se encuentran en esta zona (80%). Hay pocas fuentes de agua en la zona central que no están sobre el Desaguadero. Al sur sólo hay lugares muy puntuales tales como el río Azanaques en Huari o el río Sevaruyo.

##### b<sub>1</sub>) Clase 0-500, aguas subterráneas

La gran mayoría de los pozos muestreados durante 1992 pertenece a esta categoría, sobre todo al norte de la cuenca TDPS. Igualmente, varios de los pozos que se encuentran en la región central del Desaguadero, en las cercanías de Patacamaya. Al sur de la cuenca existen sólo dos pozos con estas características.

##### b<sub>1</sub>) Clase 500-1000, aguas superficiales

En el norte de la cuenca, los afluentes peruanos del Titicaca han evolucionado, de 1990 a 1992, a esta categoría. Al centro de la cuenca, desde Puente Internacional hasta Puente Español, hay todavía algunos afluentes del lago Menor o Huiñaymarca y comienzan a aparecer algunos afluentes del río Desaguadero (Killhuiri, Mauri, Callacama en Perú) y, finalmente, al sur de la cuenca, hay algunos afluentes del lago Poopó (Juchusuma, Tacagua, Márquez).

##### b<sub>2</sub>) Clase 500-1000, aguas subterráneas

Pocos pozos (3) al norte de la cuenca presentan estos valores (cerca de los ríos Ramis e Illpa, en Perú). Hay un buen número de pozos en la región cercana al lago Menor y en la margen izquierda del Desaguadero, hasta el río Mauri; esto con referencia a los muestreados en 1992.



De los pozos analizados en 1991, que se encuentran al centro de la cuenca, es decir al sur de Patacamaya y La Joya, algunos tienen estos valores. No hay ninguno en la zona de los lagos Uru-Uru y Poopó.

**c<sub>1</sub>) Clase 1000-2000, aguas superficiales**

Al norte de la cuenca solo existen algunos puntos con estos valores, por ejemplo, Coata y Zapatilla (en Perú), en el lago Titicaca (lago Menor), en la mayoría de los afluentes del Desaguadero y en el mismo Desaguadero hasta los puentes Español, Aroma y Toledo. Al sur de la cuenca, los afluentes del lago Poopó (Márquez, Antequera, Juchusuma, Tacagua), algunos de los cuales han evolucionado a este valor desde 1988-1992.

**c<sub>2</sub>) Clase 1000-2000, aguas subterráneas**

En el área de los ríos Coata y Ramis existen algunos pocos pozos que presentan estos valores; otros, igualmente pocos, en el centro de la cuenca y varios de los pozos de 1991, hacia la región de Oruro (desde Eucaliptus); al sur de ésta sólo hay 3 pozos y otro cerca de Pazña.

**d<sub>1</sub>) Clase 2000-3000, aguas superficiales**

Hay pocos puntos, situados en los alrededores de la Isla del Sol, en el Titicaca, en la bahía de Achacachi y a la salida del estrecho de Tiquina; en la cuenca del Desaguadero se nota una evolución hacia valores más elevados, por ejemplo, en el río Jacha Jahuira, en Calacoto y en Ulloma sobre el río Desaguadero. La misma evolución se encuentra desde Chuquiña hasta el delta que forma el río Desaguadero, al sur de Oruro, es decir, en los puentes Español, Aroma y Toledo.

En el sur de la cuenca hay muy pocas fuentes de agua superficial con estos valores y son: río Huanuni, río Cortadera y río Mulato (todos afluentes del lago Poopó).

**d<sub>2</sub>) Clase 2000-3000, aguas subterráneas**

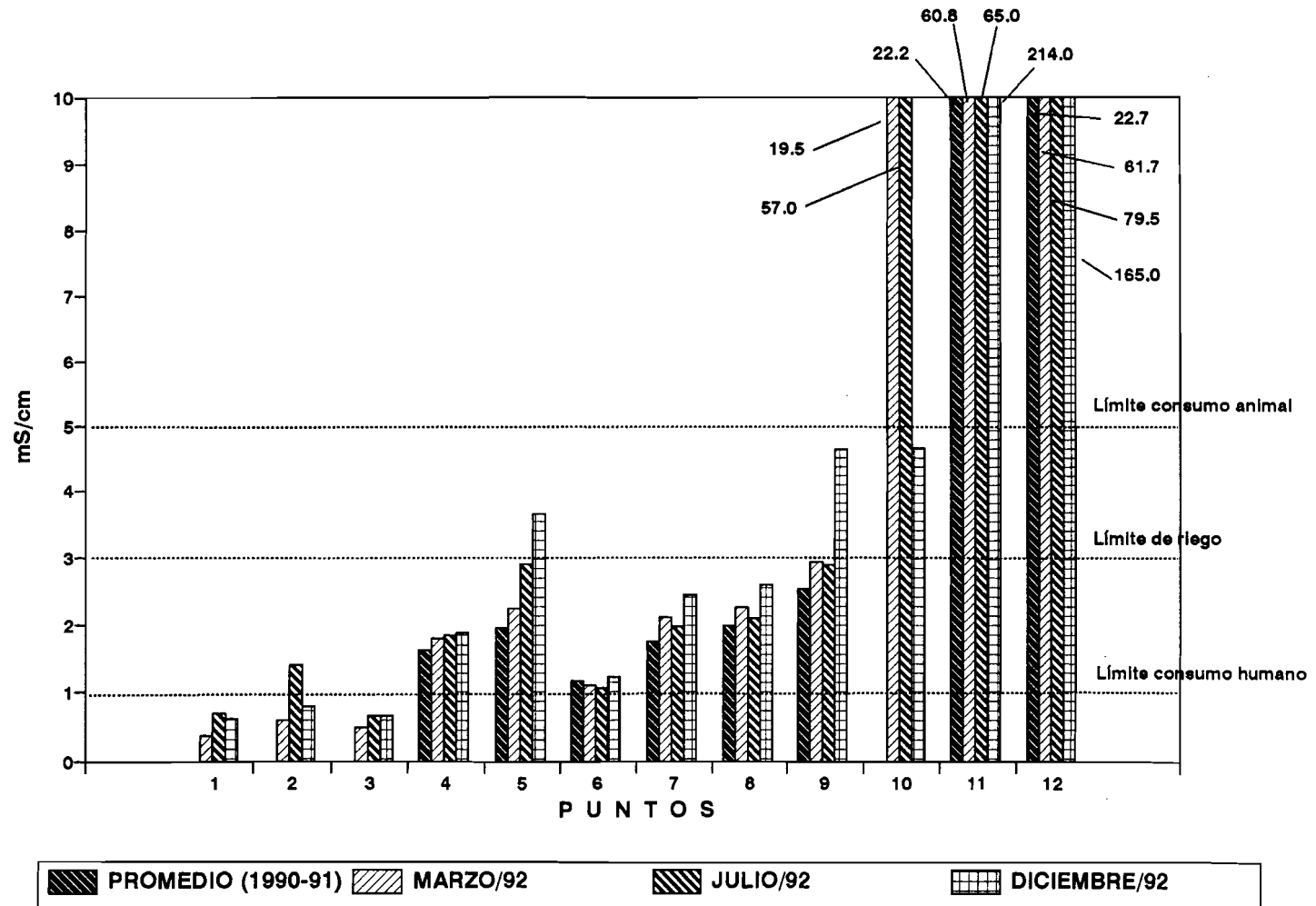
Sólo un área, al norte de la cuenca, presenta valores elevados: la cuenca del río Illpa. Al norte del Desaguadero, entre Aguallamaya y el río Jacha Jahuira, existen 3 pozos. Entre el Puente Japonés, sobre el Desaguadero, y hasta Chuquiña, se encuentran algunos pozos que tienen estos valores. En el sur de la cuenca no existen pozos con estos valores.

e<sub>1</sub>) Clase >3000, aguas superficiales

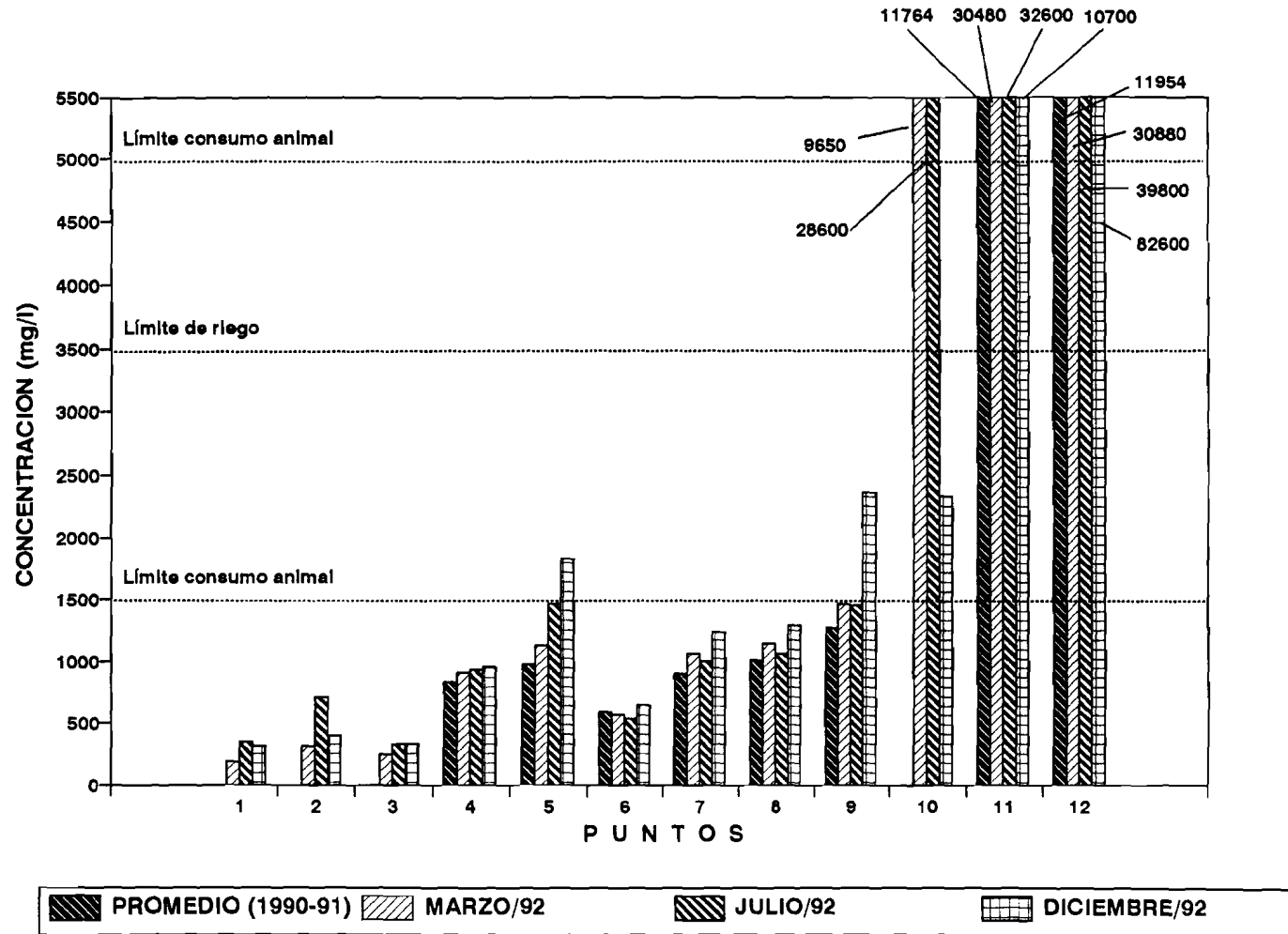
En el norte de la cuenca no hay puntos de esta clase, hasta Aguallamaya, sobre el Desaguadero, donde se nota un incremento de las concentraciones en algunos puntos: Aguallamaya, Nazacara, Calacoto (río Cañuma, Caquingora, afluentes del Desaguadero), desde 1990 hasta la fecha, 1993.

La mayoría de los puntos se concentran en el sur de la cuenca, desde Soledad hasta el lago Uru-Uru y, sobre todo, en el lago Poopó, (en su efluente; el río Laca Jahuira, Kollpa, Jahuira y el Salar de Coipasa.

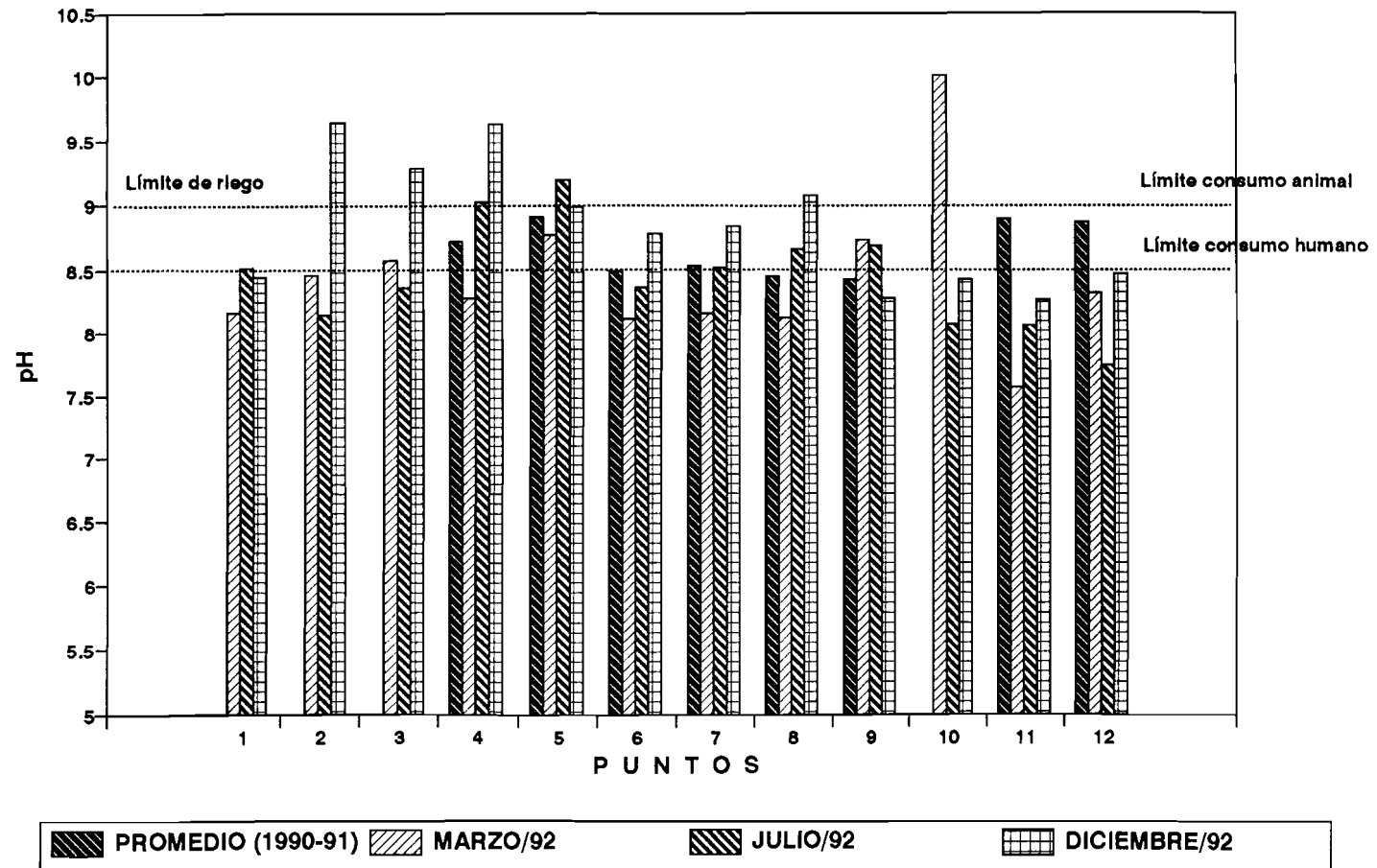
**Fig. 4.1: VARIACION DE LA CONDUCTIVIDAD  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



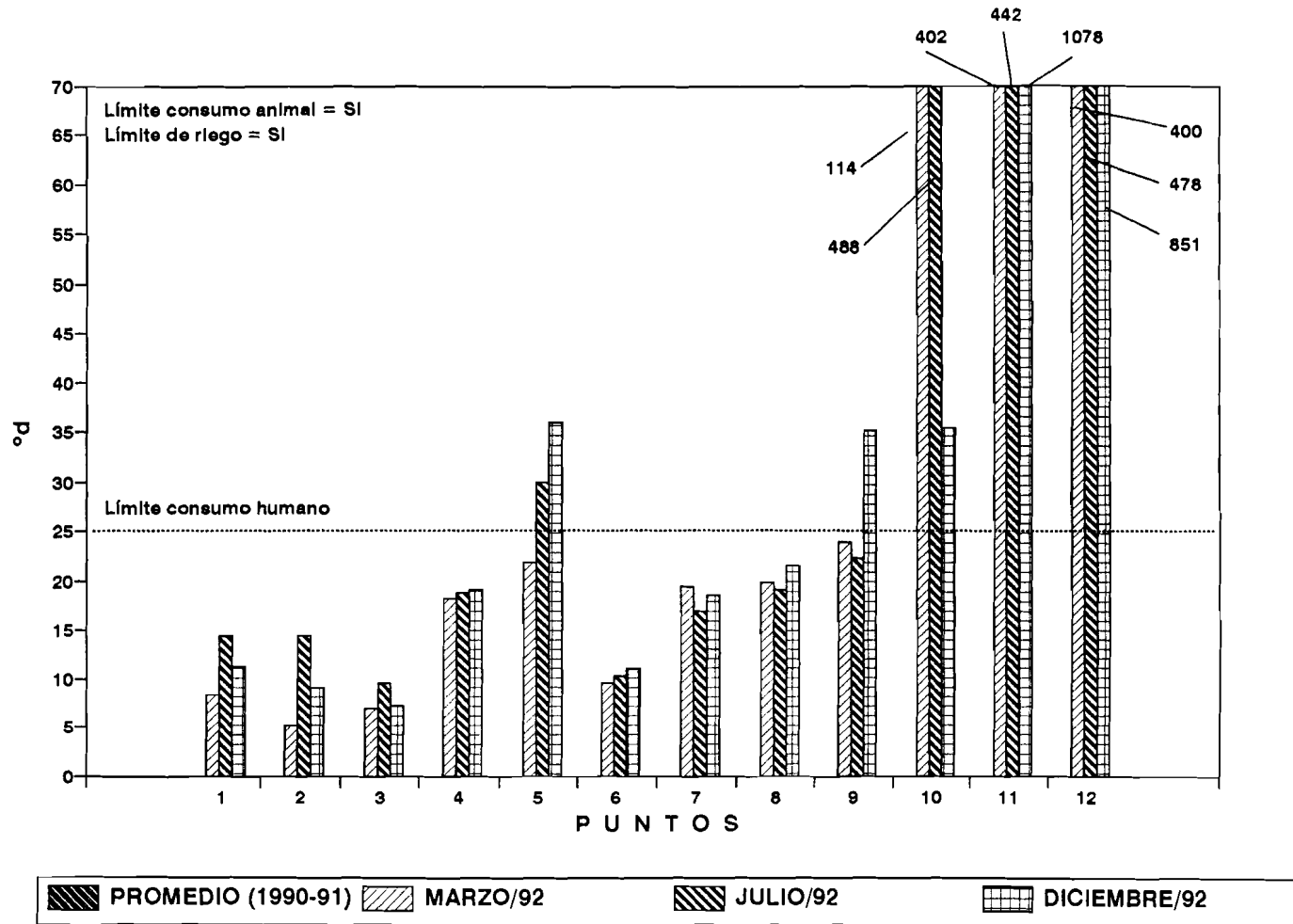
**Fig. 4.2: SOLIDOS TOTALES DISUELTOS  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



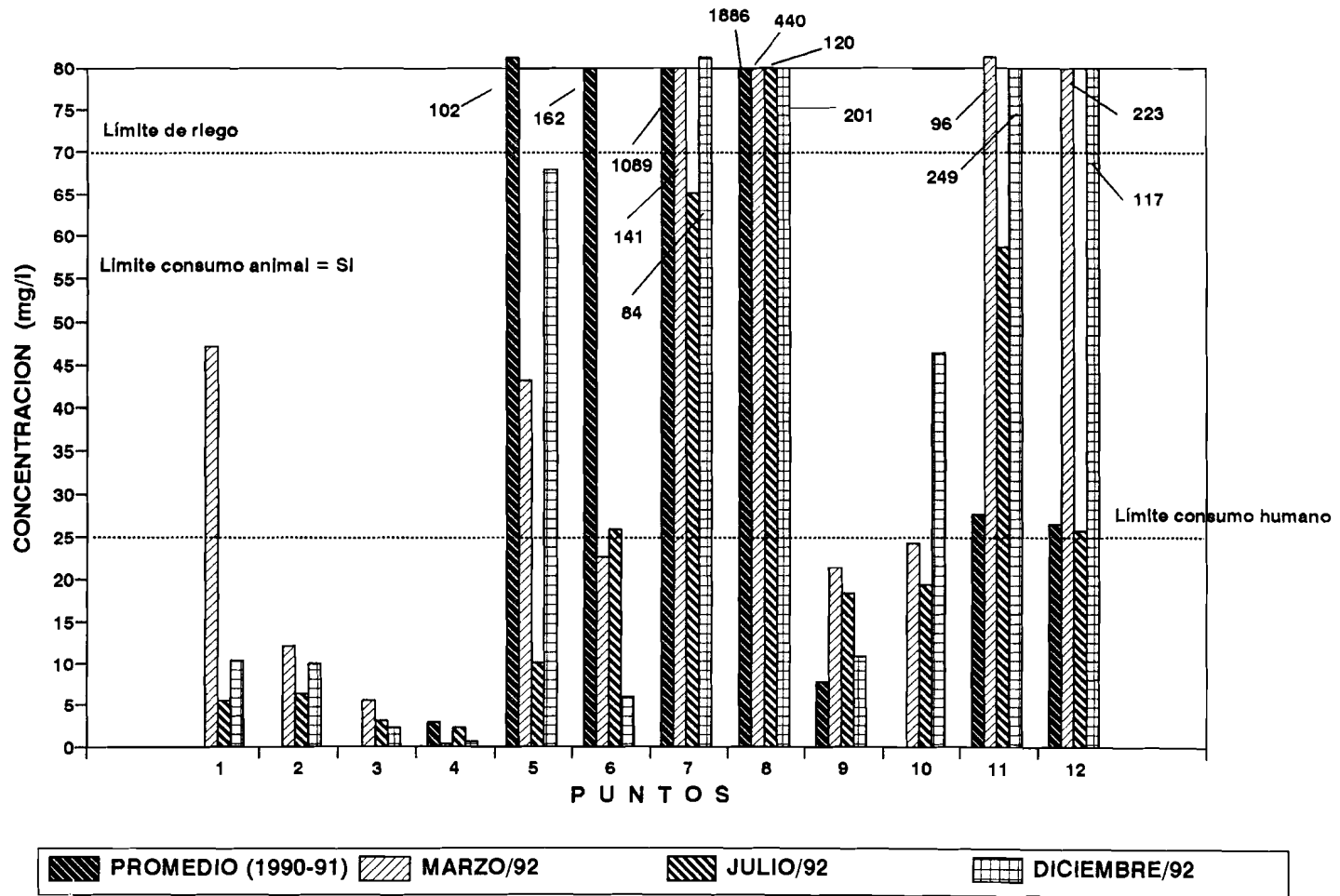
**Fig. 4.3: VARIACION DE pH  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



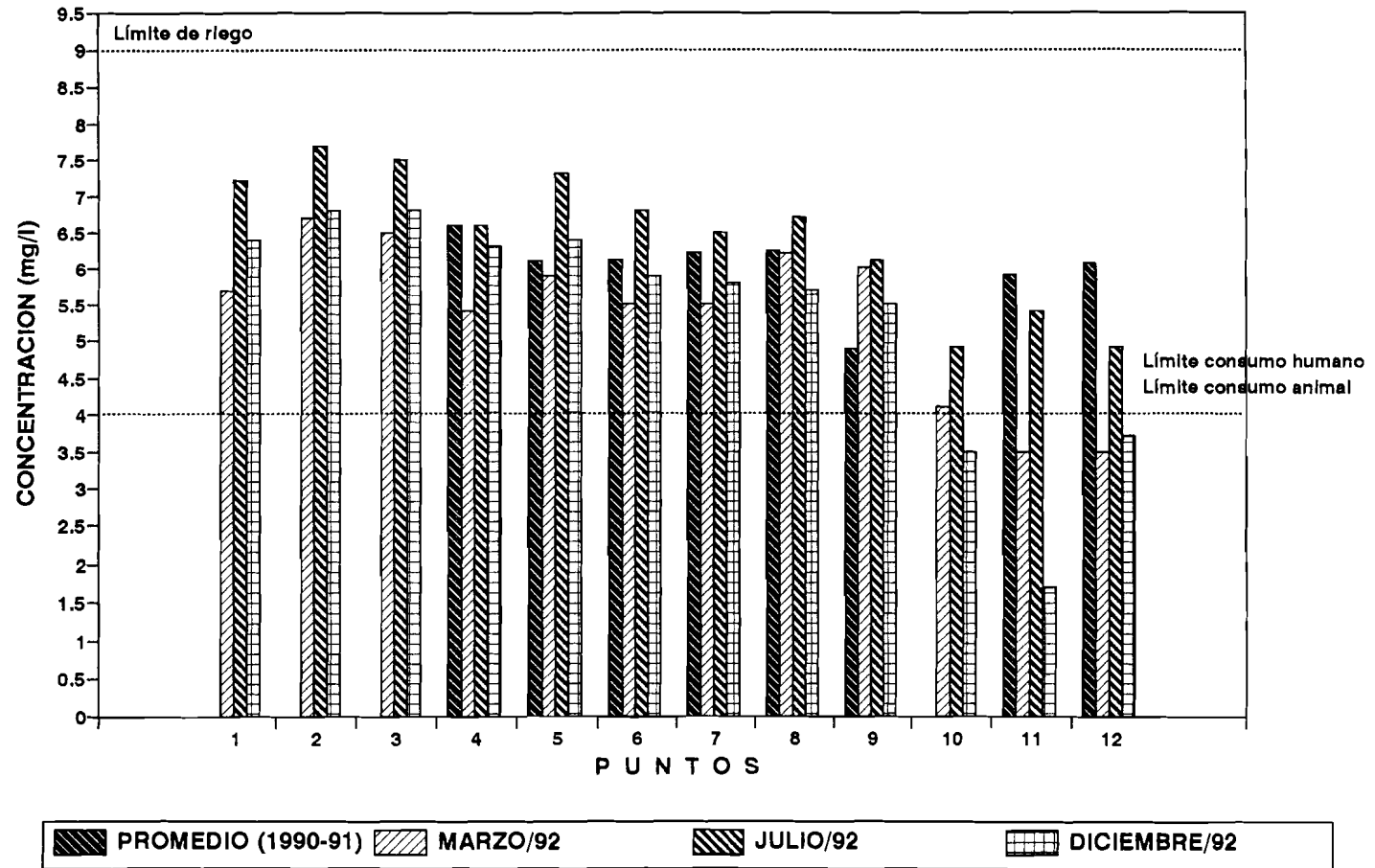
**Fig. 4.4: VARIACION DE LA DUREZA  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



**Fig. 4.5: MATERIA EN SUSPENSION  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**

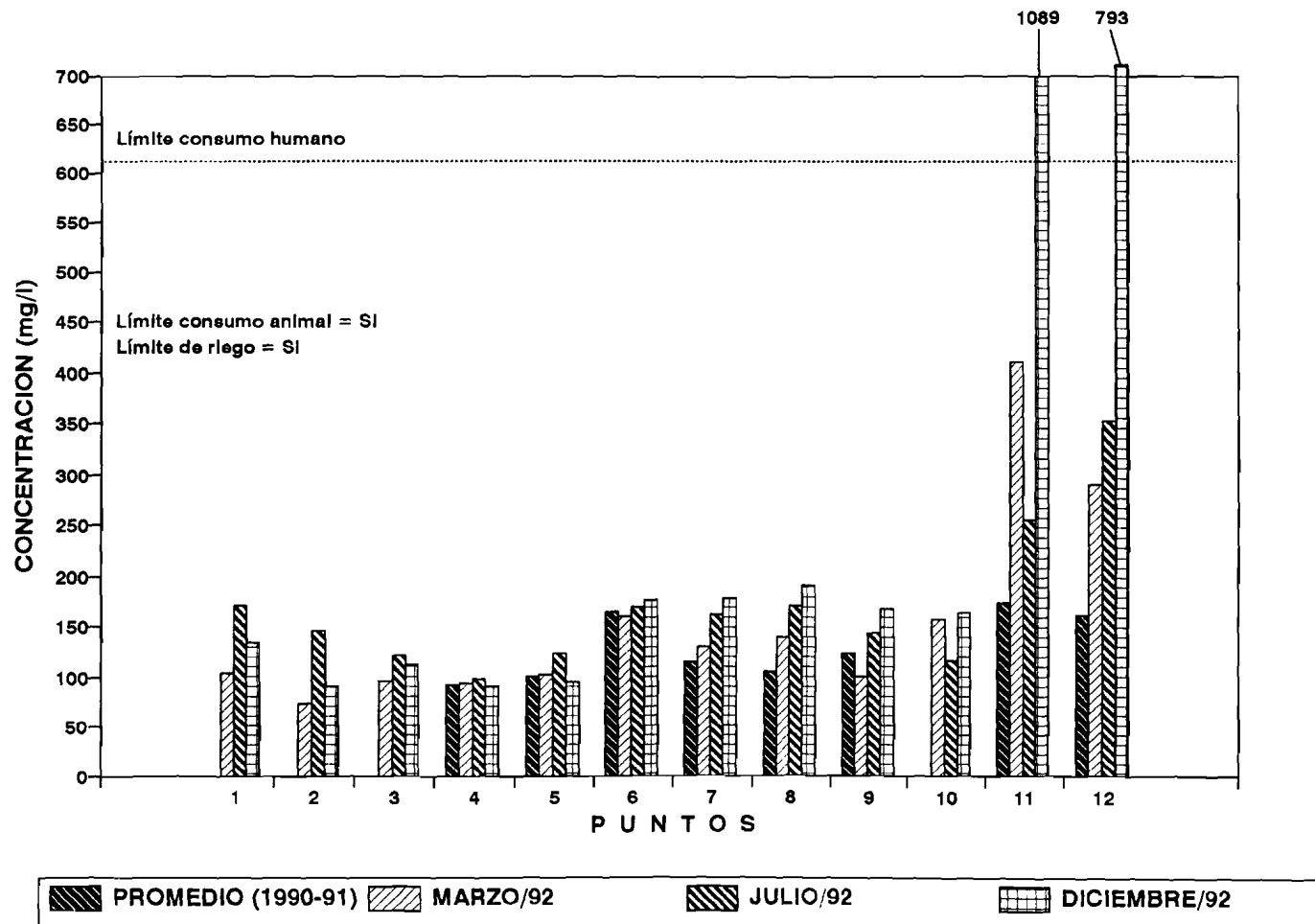


**Fig. 4.6: VARIACION DE OXIGENO DISUELTO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**

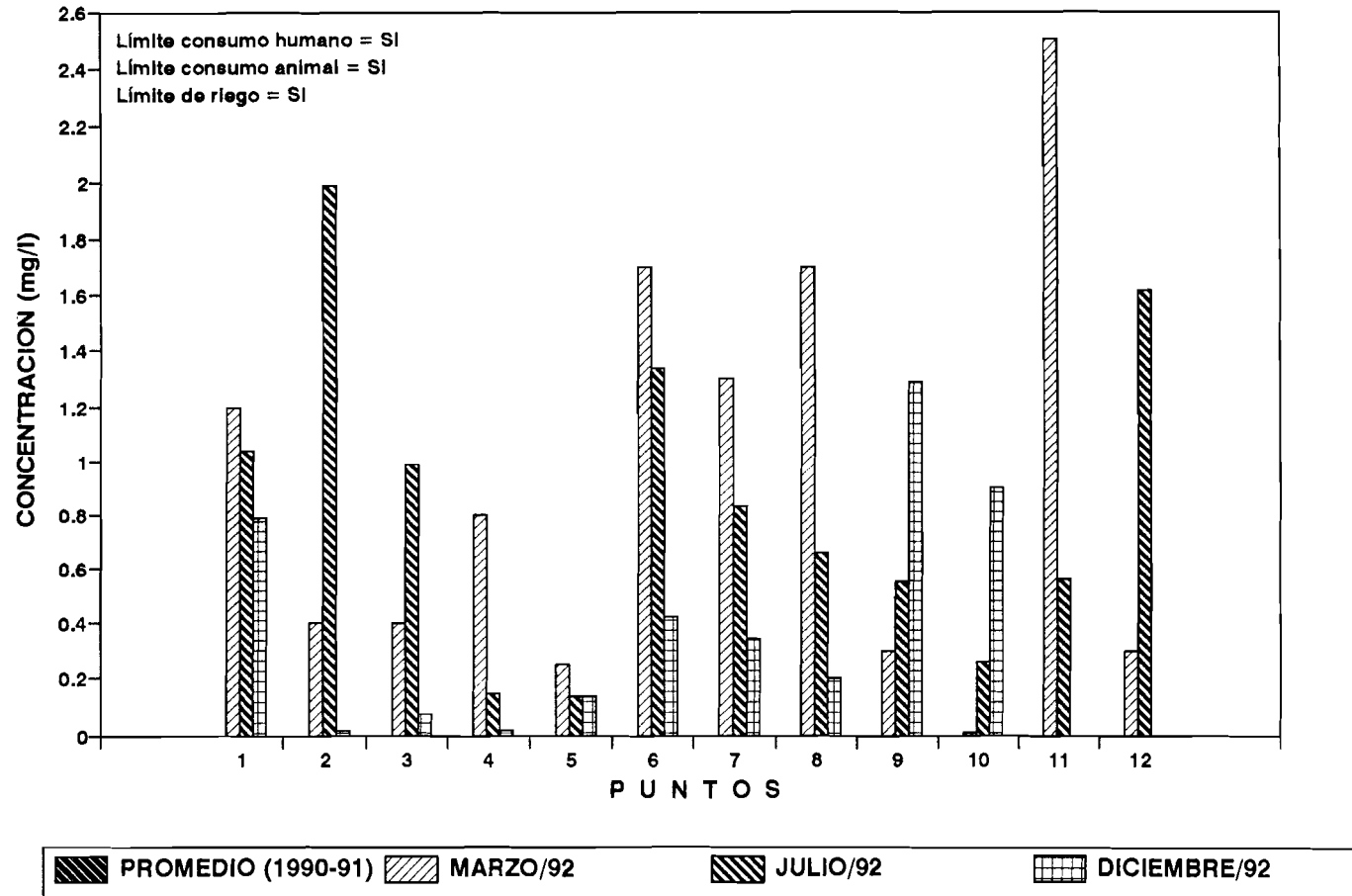




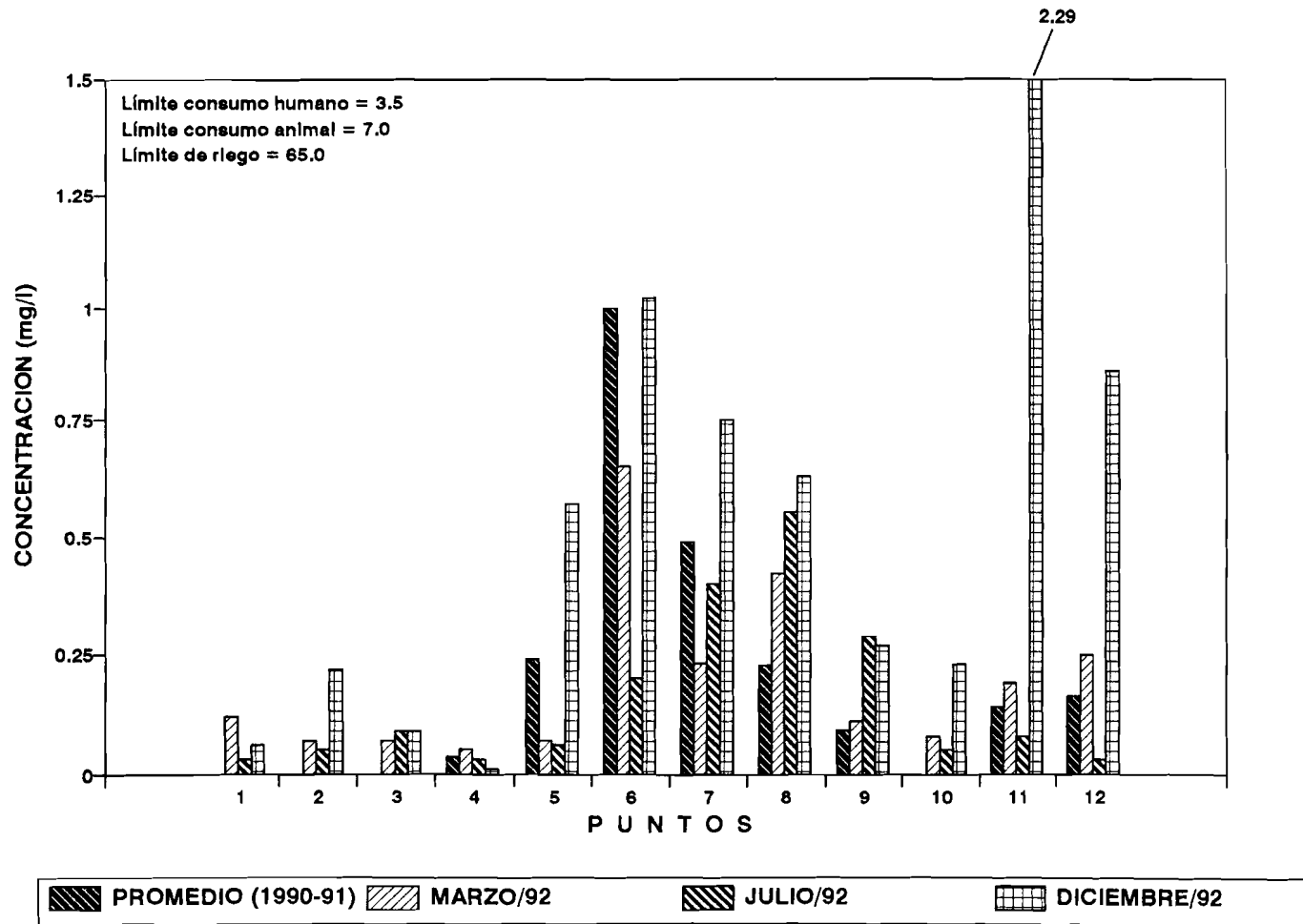
**Fig.4.7: VARIACION DE ALCALINIDAD TOTAL  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POPO**



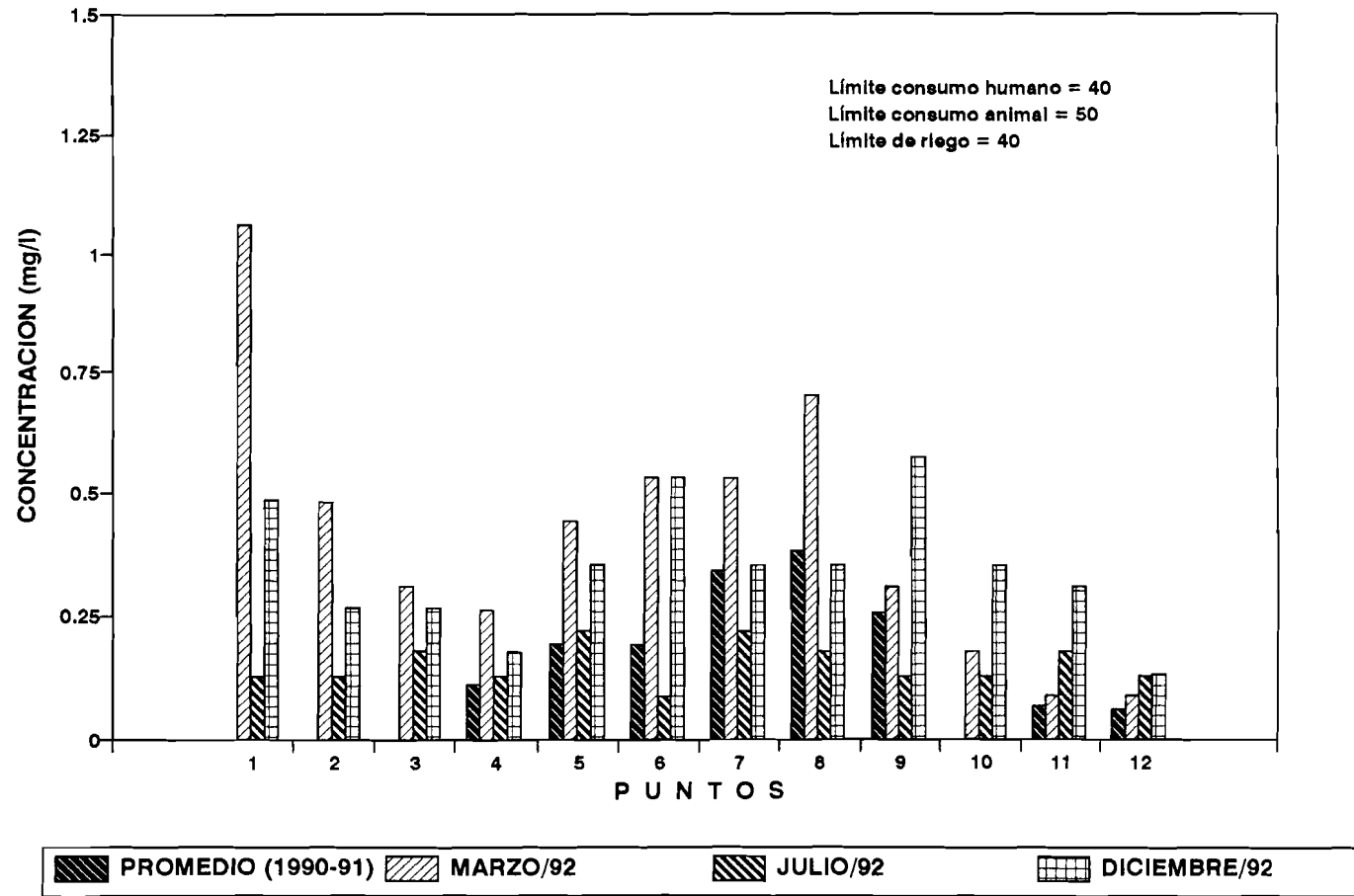
**Fig. 4.8: DIOXIDO DE CARBONO LIBRE (CO<sub>2</sub>)  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



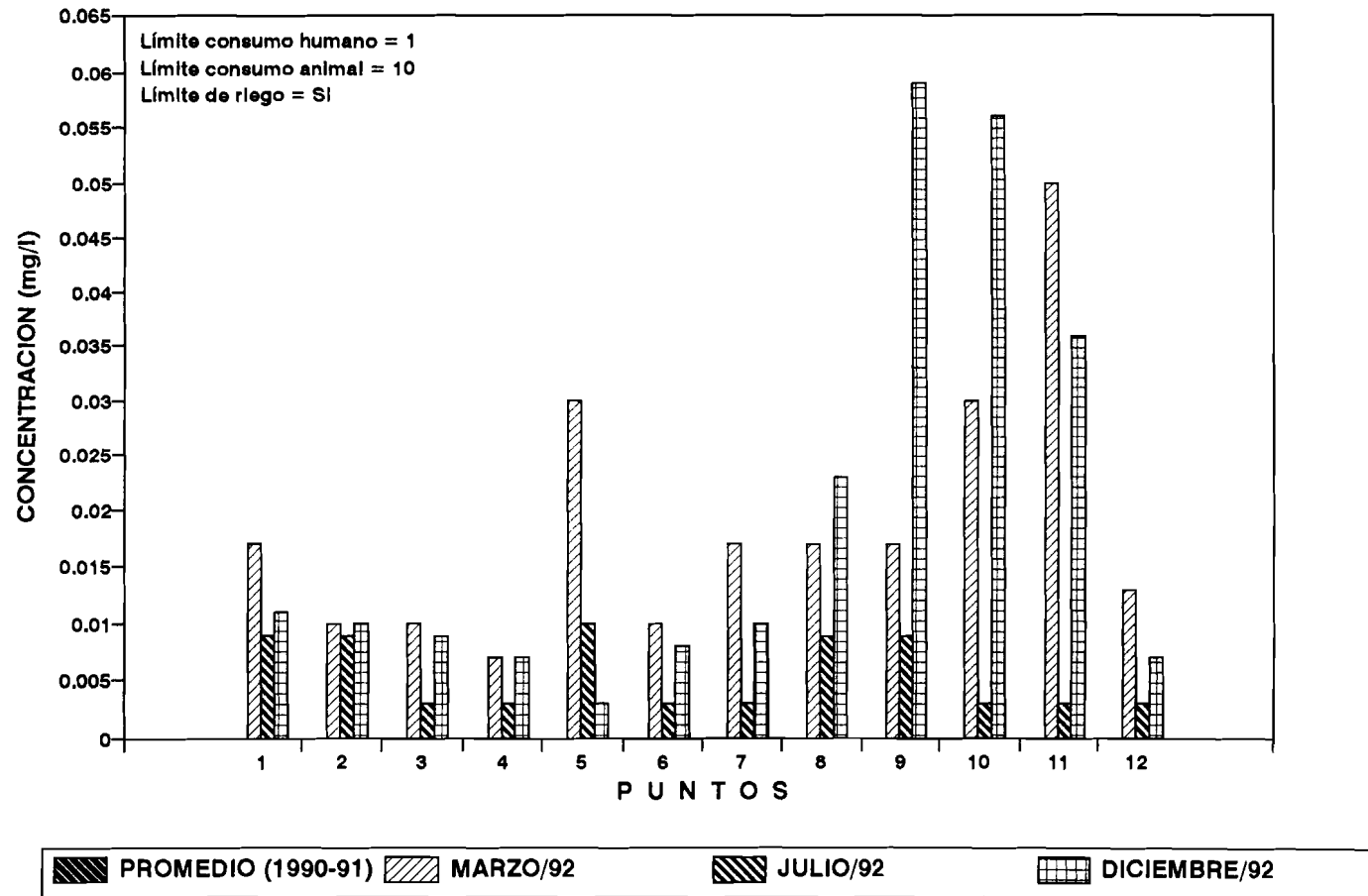
**Fig. 4.9: VARIACION DE FOSFATOS  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



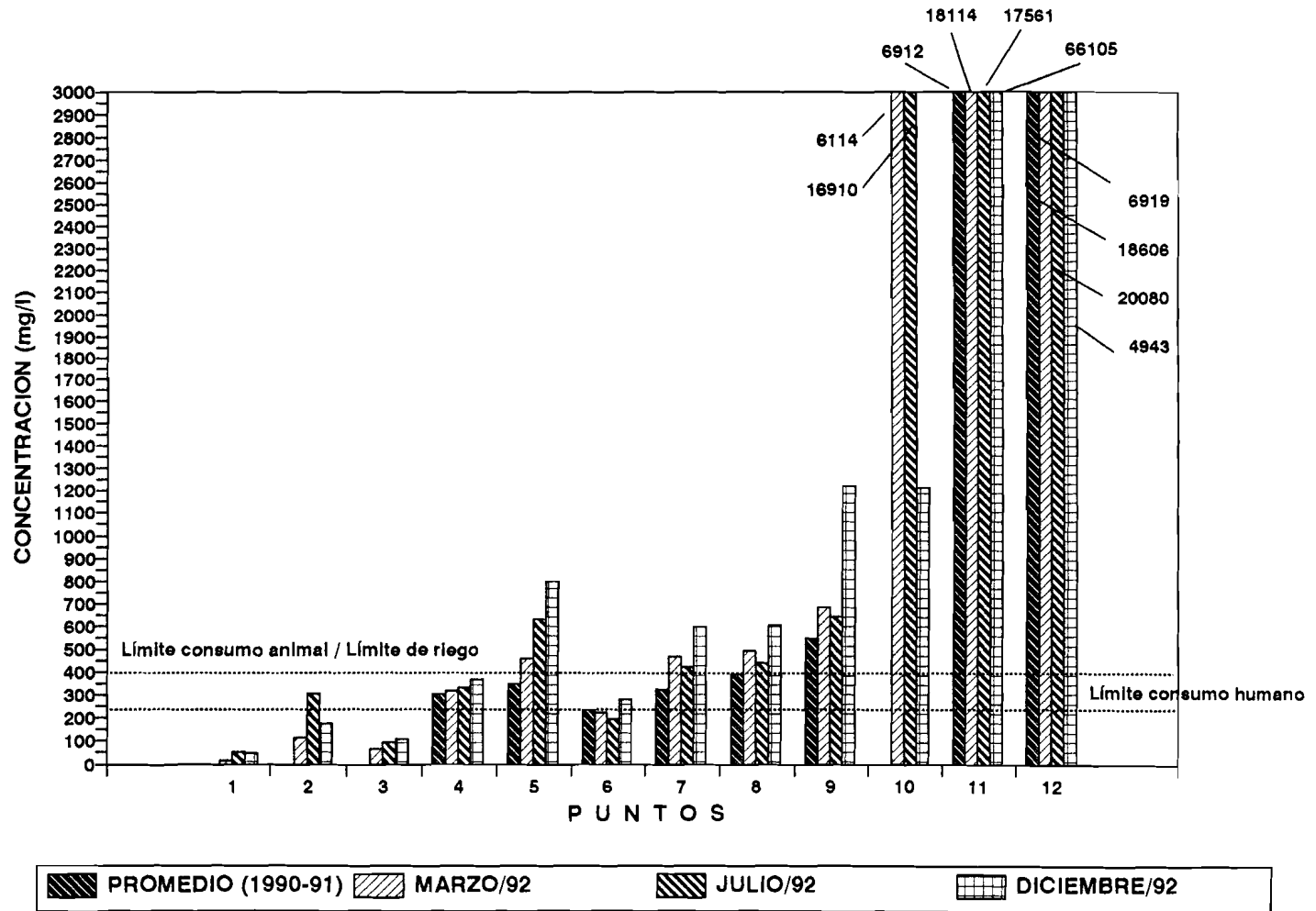
**Fig. 4.10a: VARIACION DE NITRATOS  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



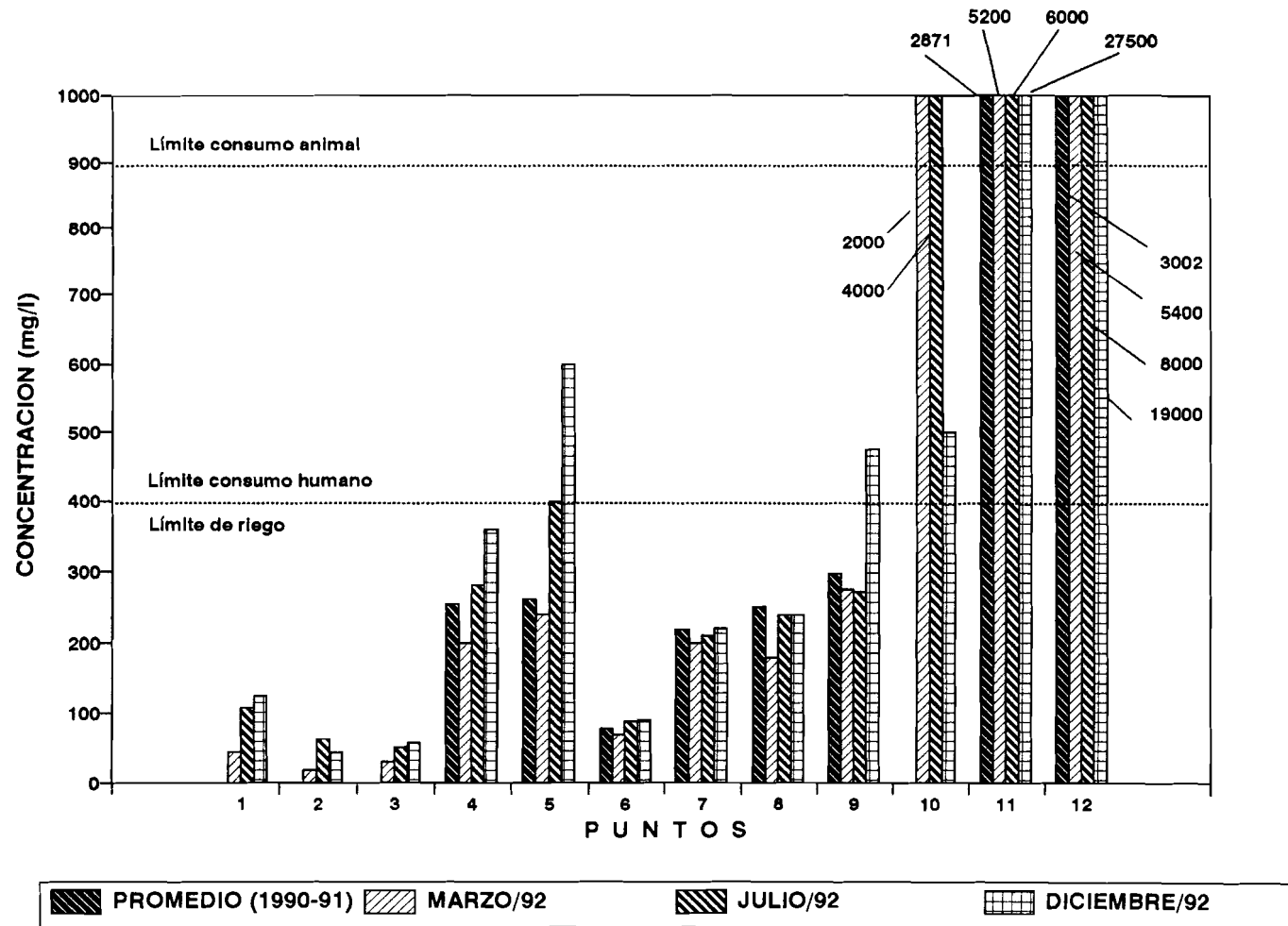
**Fig. 4.10b: VARIACION DE NITRITOS  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



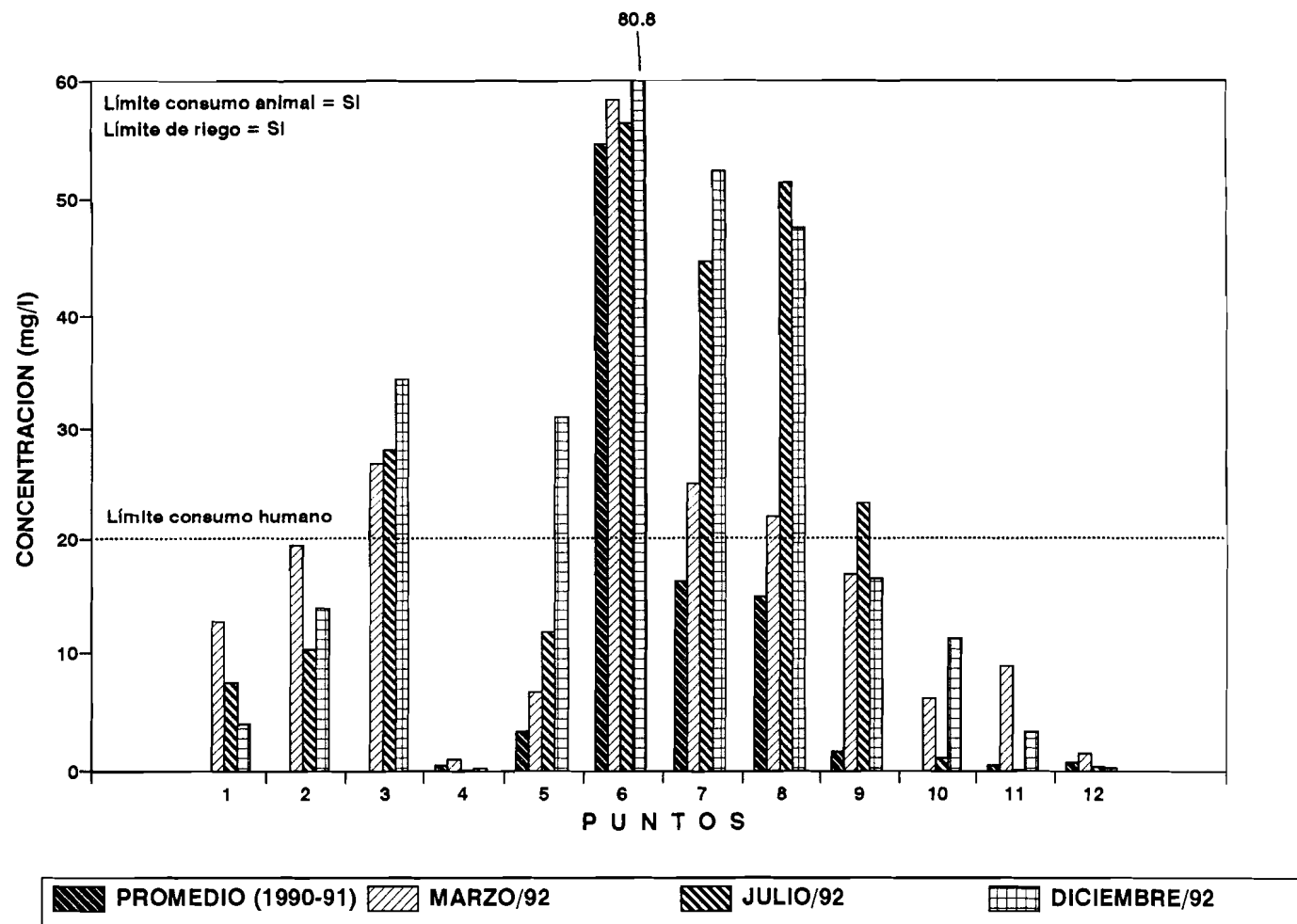
**Fig. 4.11: VARIACION DE CLORUROS  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



**Fig. 4.12: VARIACION DE SULFATOS  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**

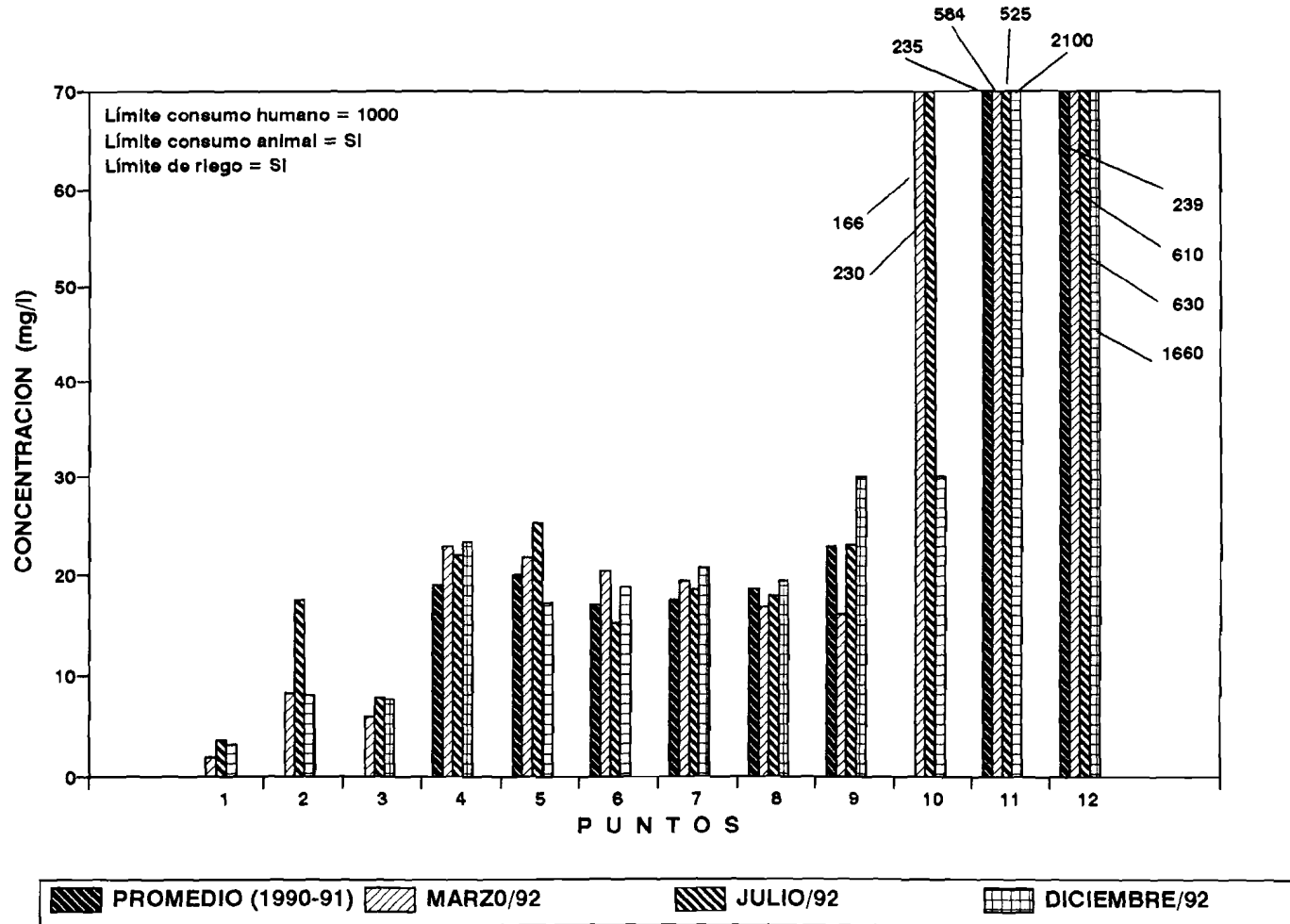


**Fig. 4.13: VARIACION DE SILICE DISUELTA  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**





**Fig. 4.14: VARIACION DE POTASIO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



**Fig. 4.15: VARIACION DE SODIO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**

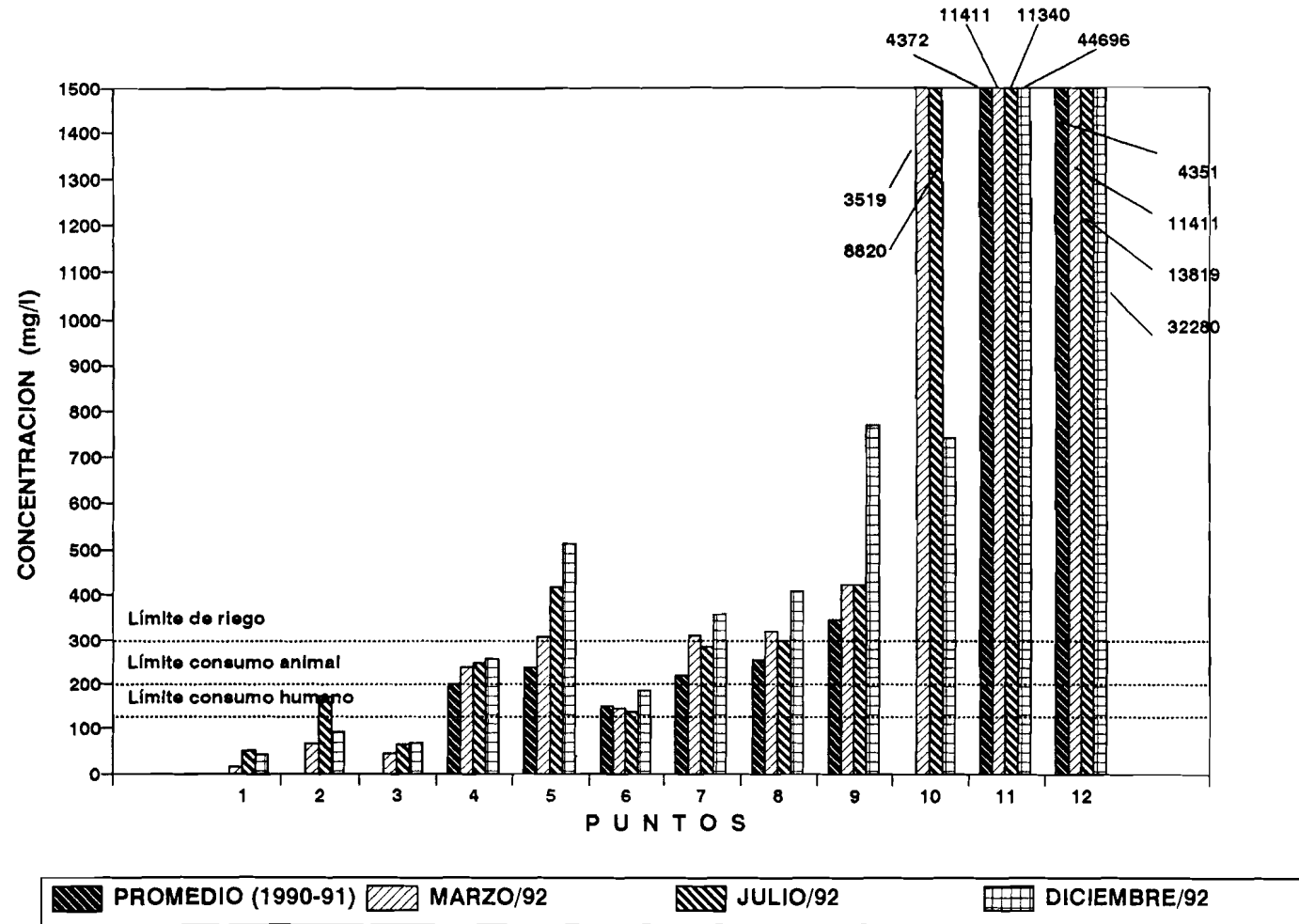
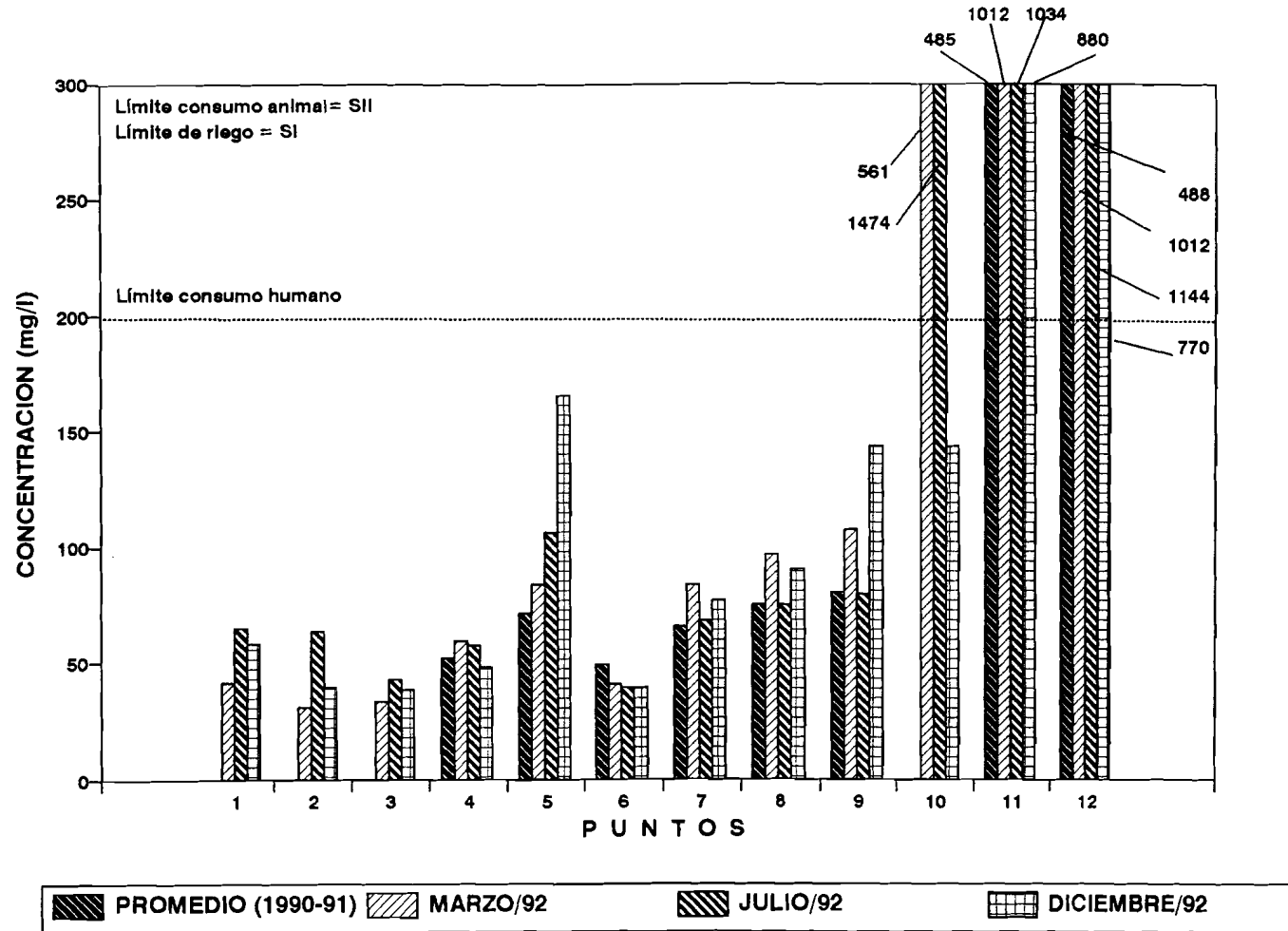
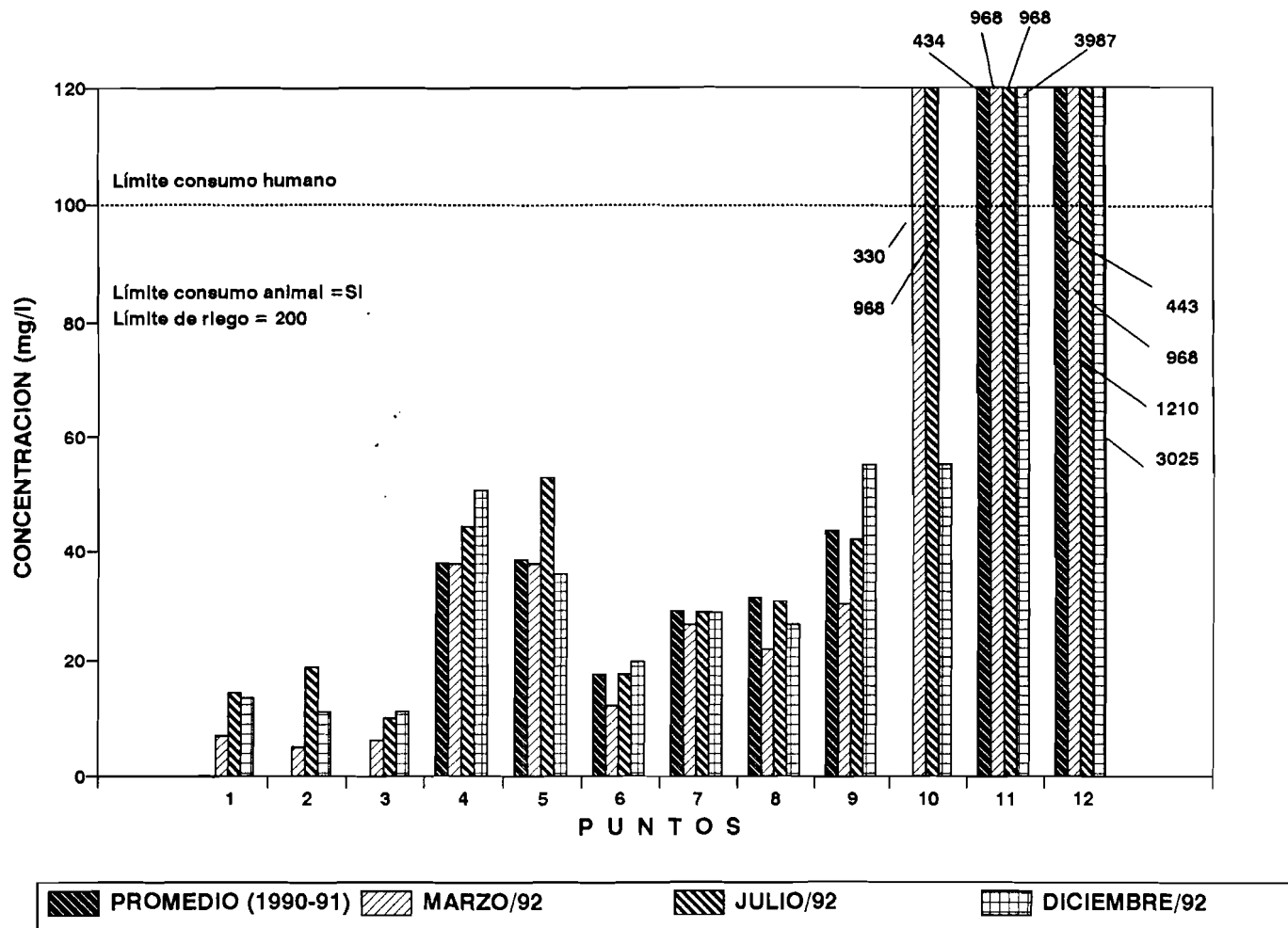


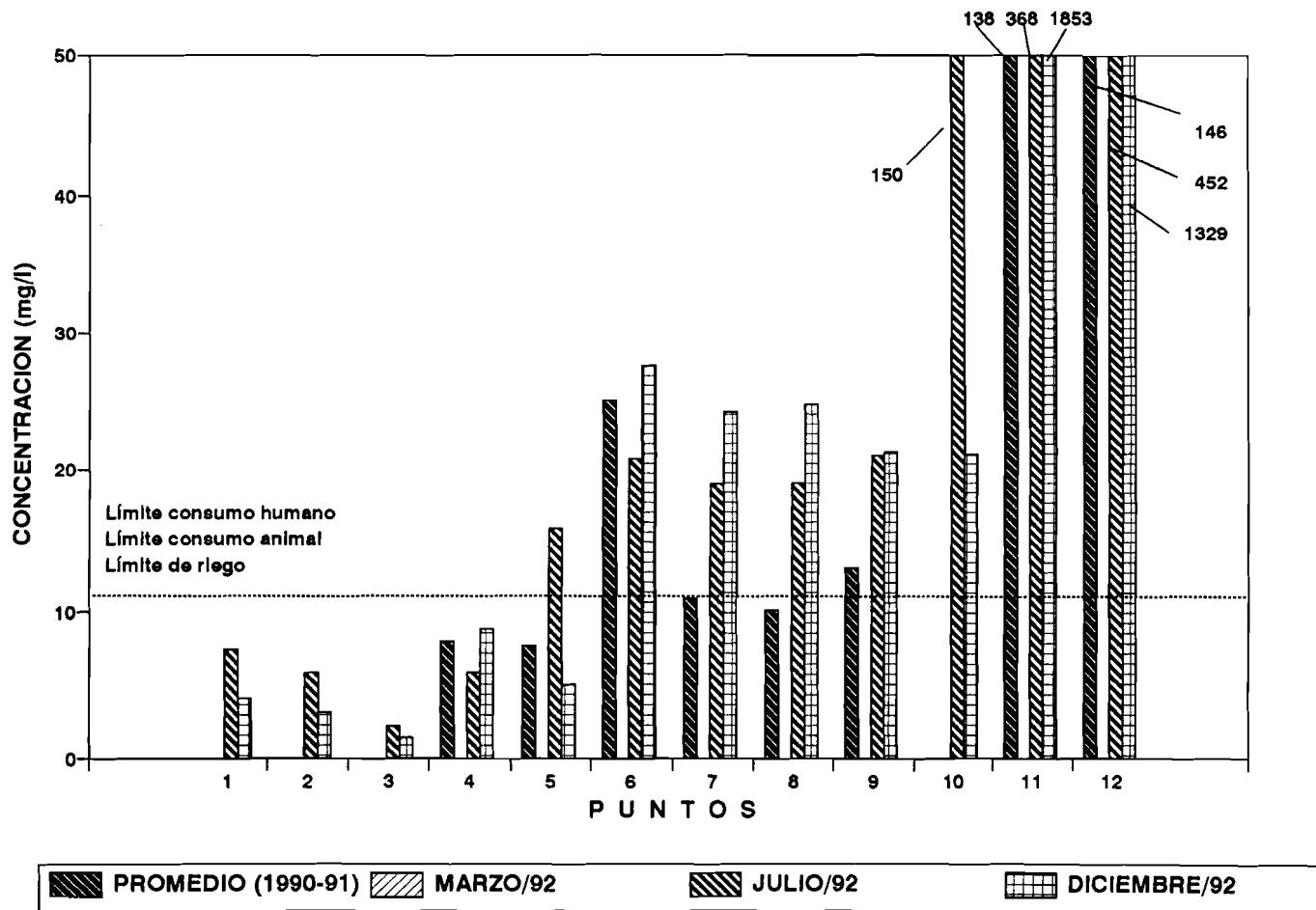
Fig. 4.16a: VARIACION DE CALCIO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO



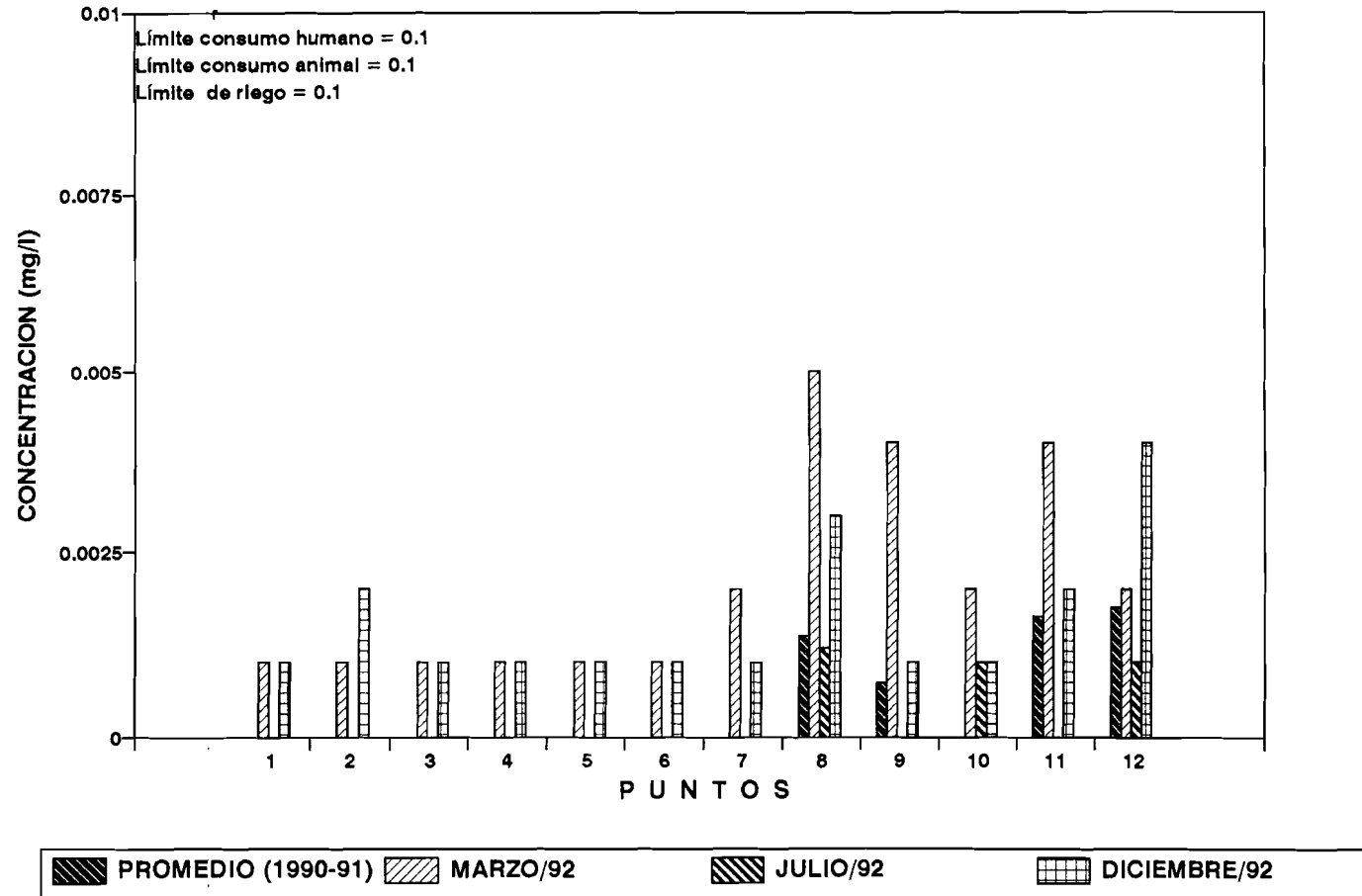
**Fig. 4.16b: VARIACION DE MAGNESIO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



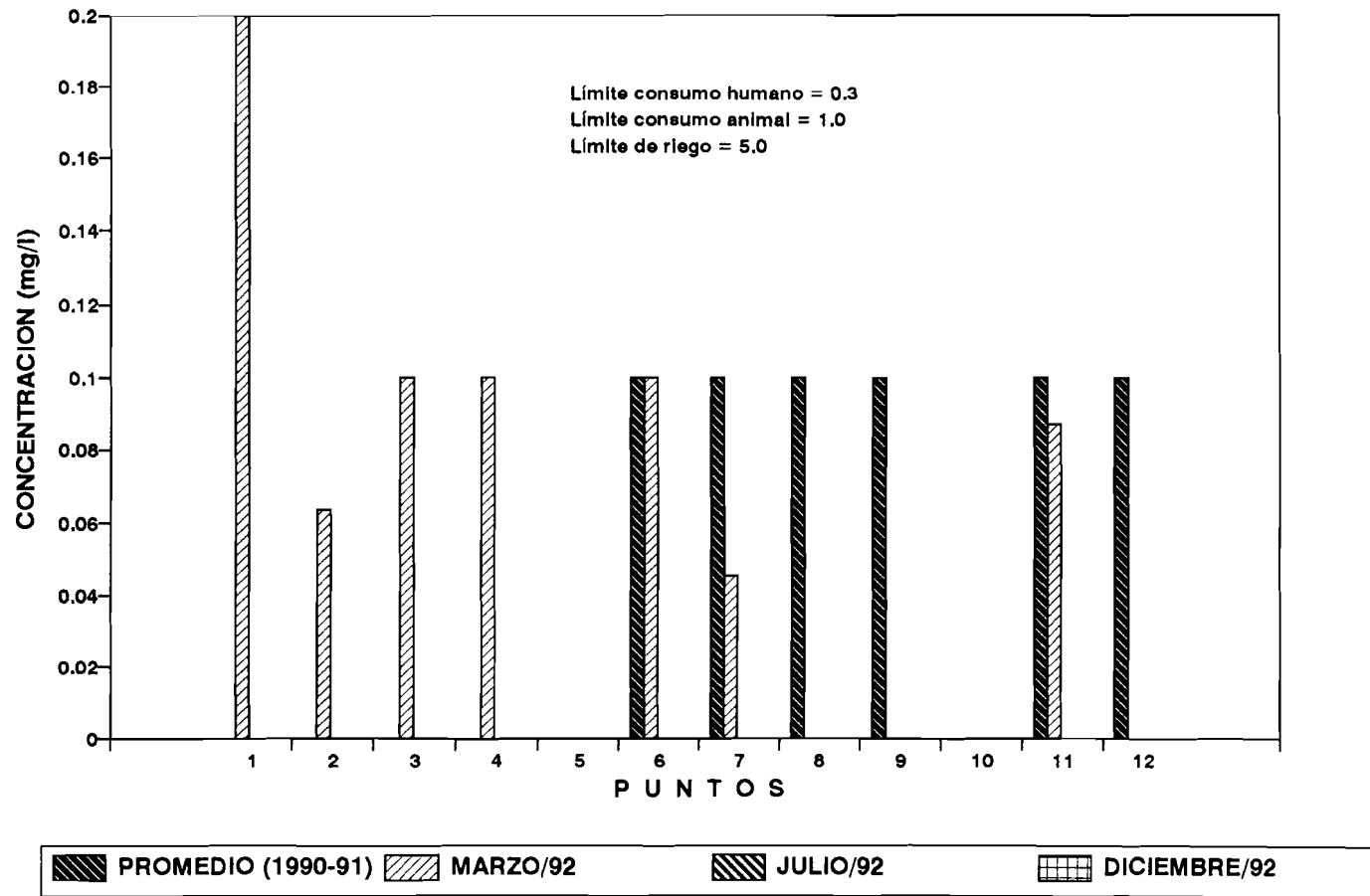
**Fig. 4.17: VARIACION DE BORATOS  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



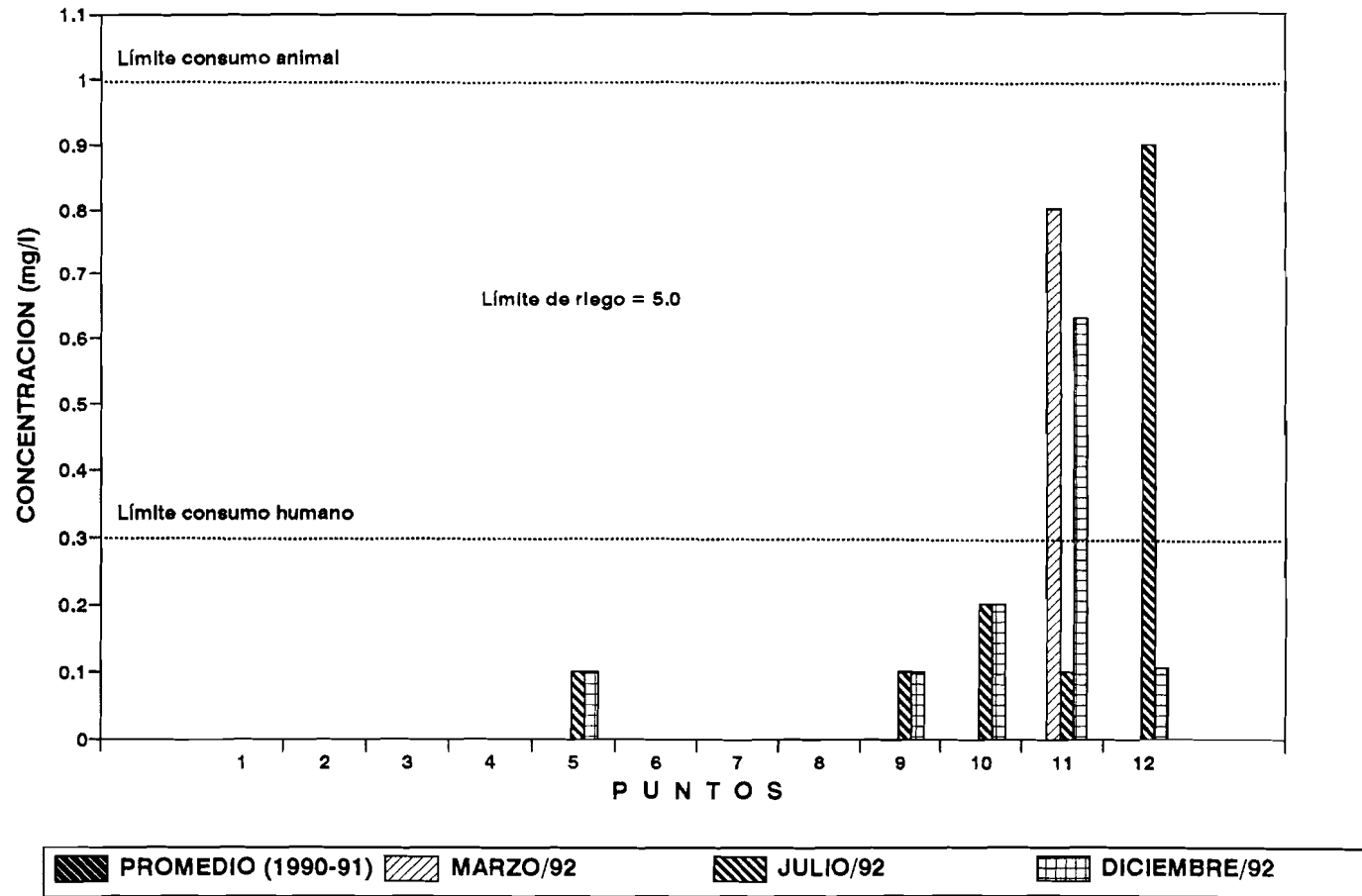
**Fig. 4.18: VARIACION DE CIANUROS  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



**Fig. 4.19: VARIACION DE HIERRO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**

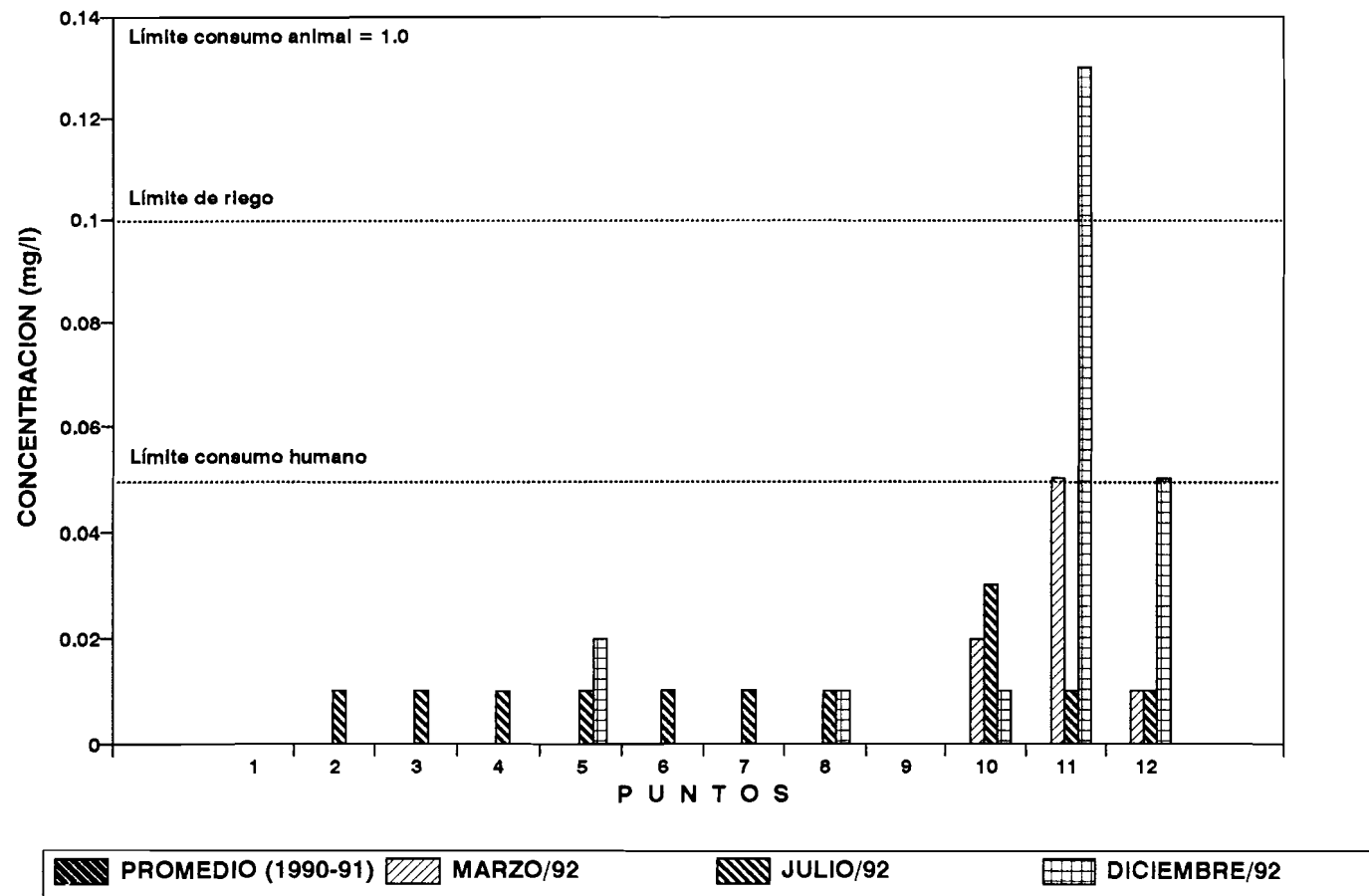


**Fig. 4.20: VARIACION DE MANGANESO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**

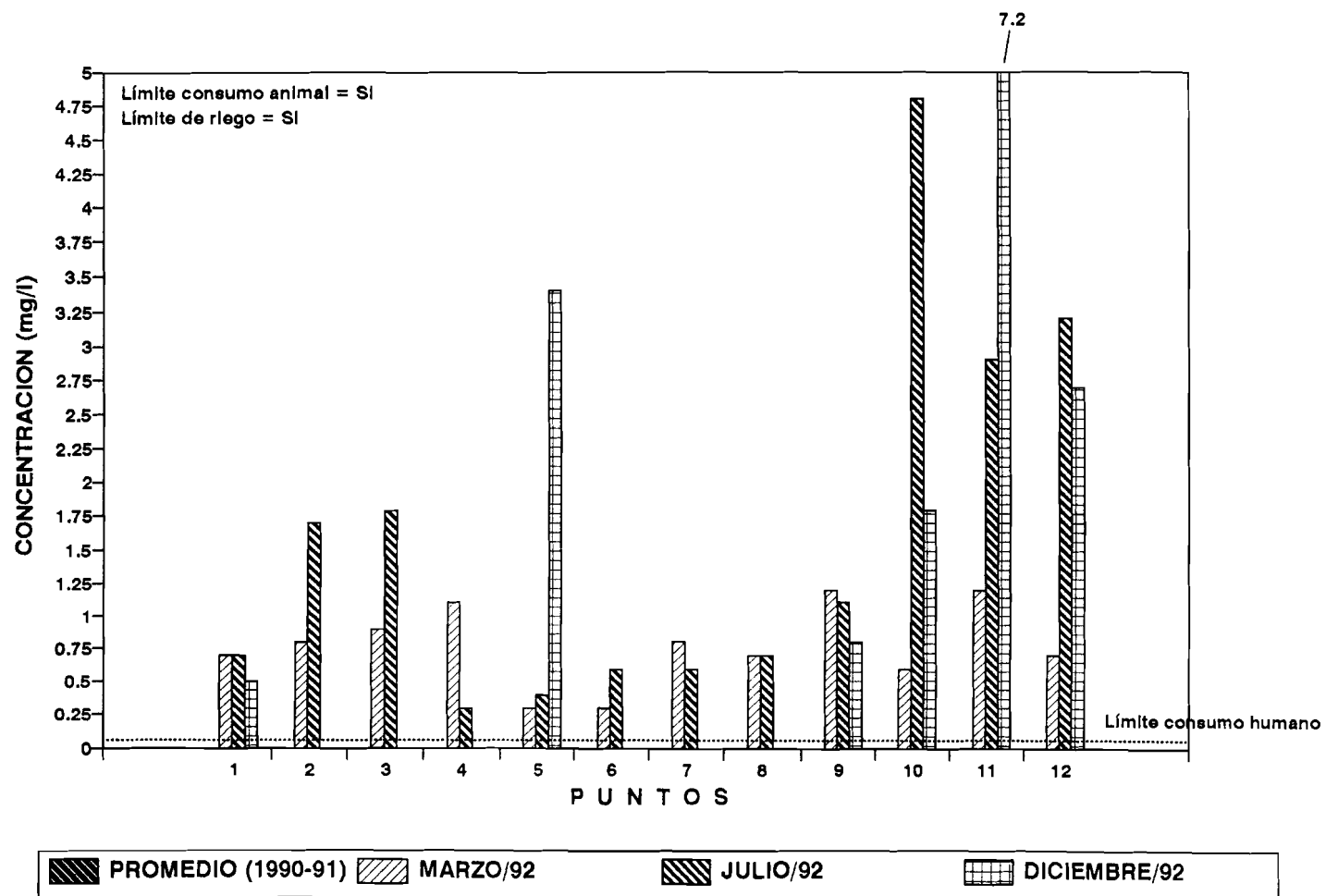




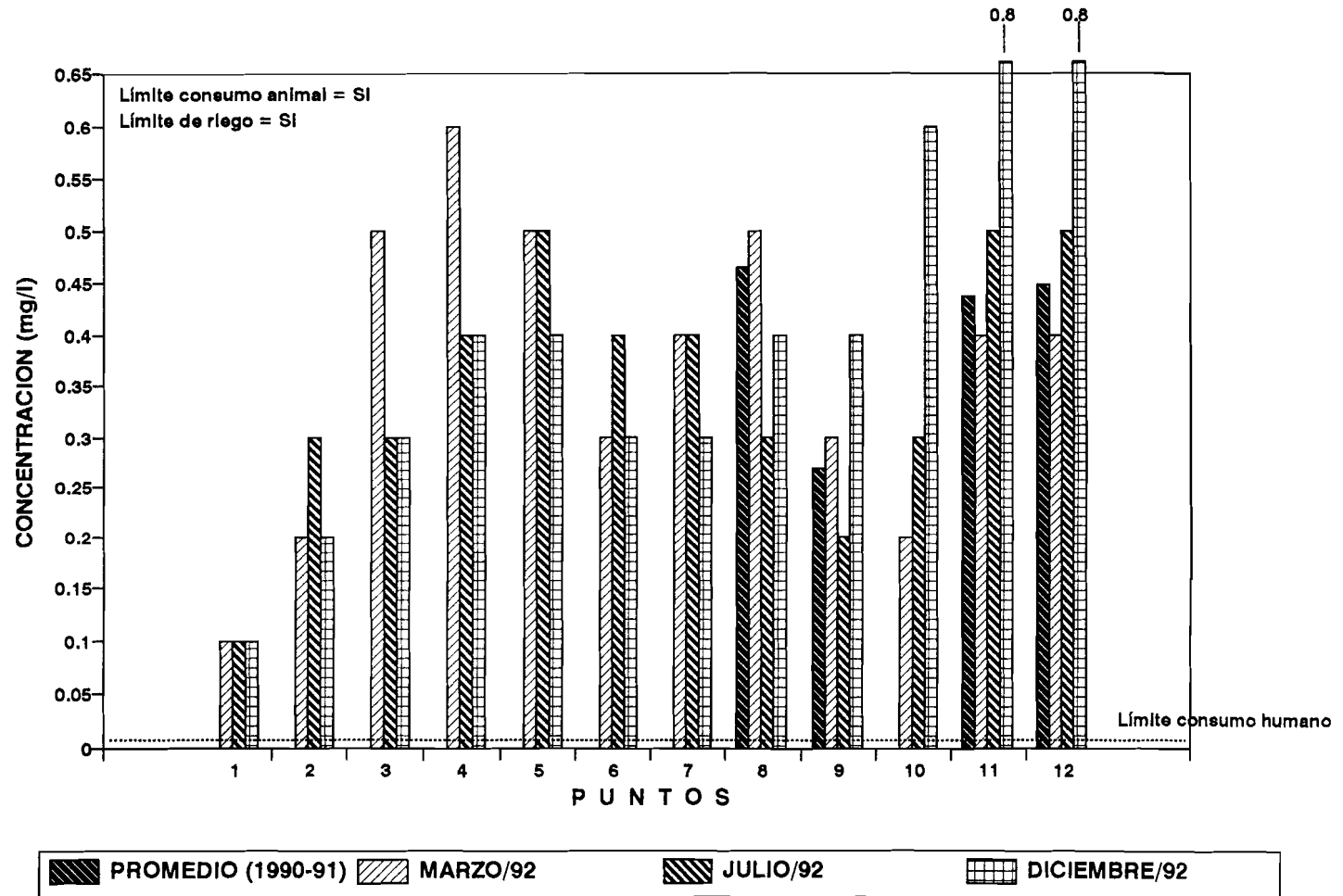
**Fig. 4.21: VARIACION DE CROMO (+6)  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



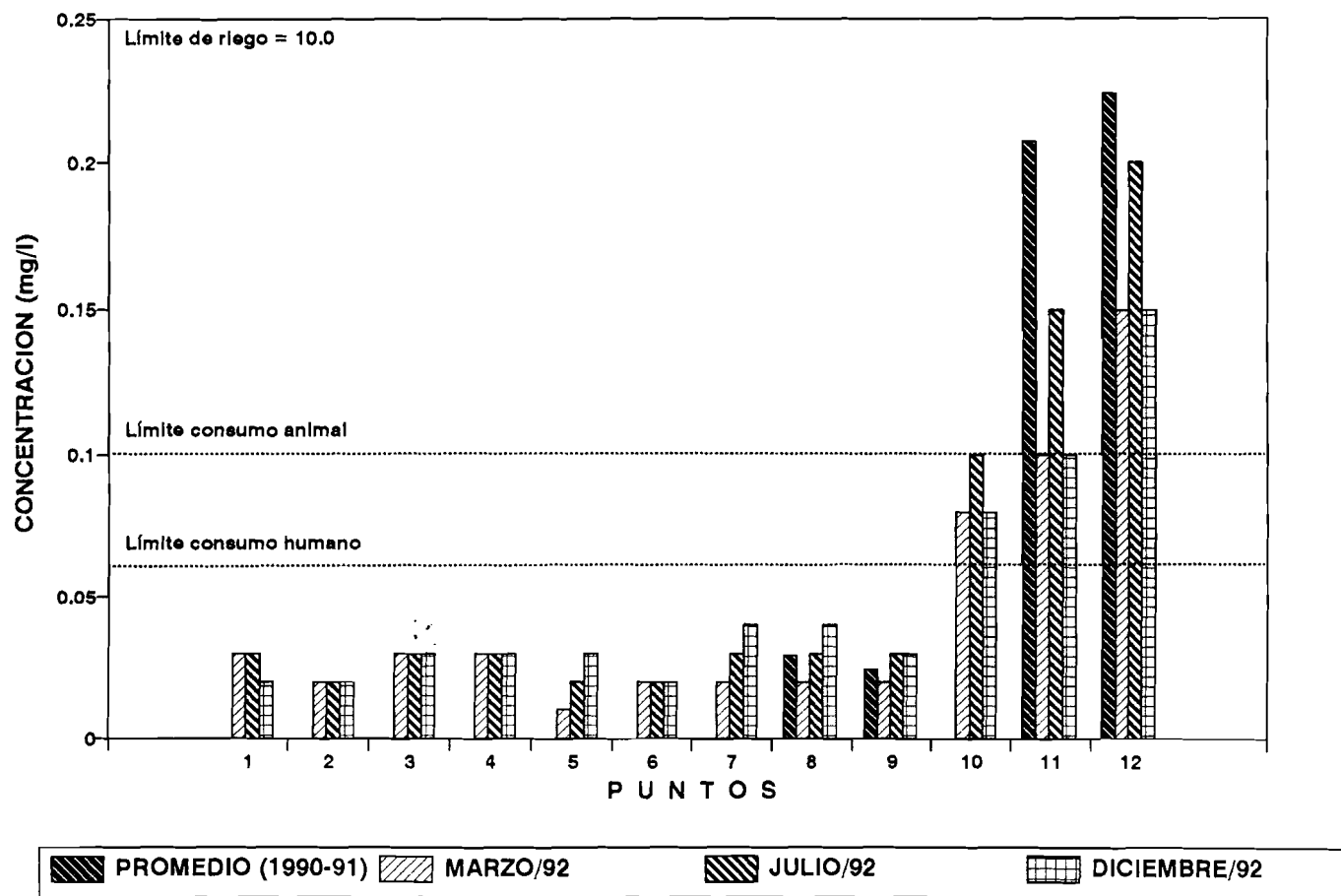
**Fig. 4.22: VARIACION DE WOLFRAM  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



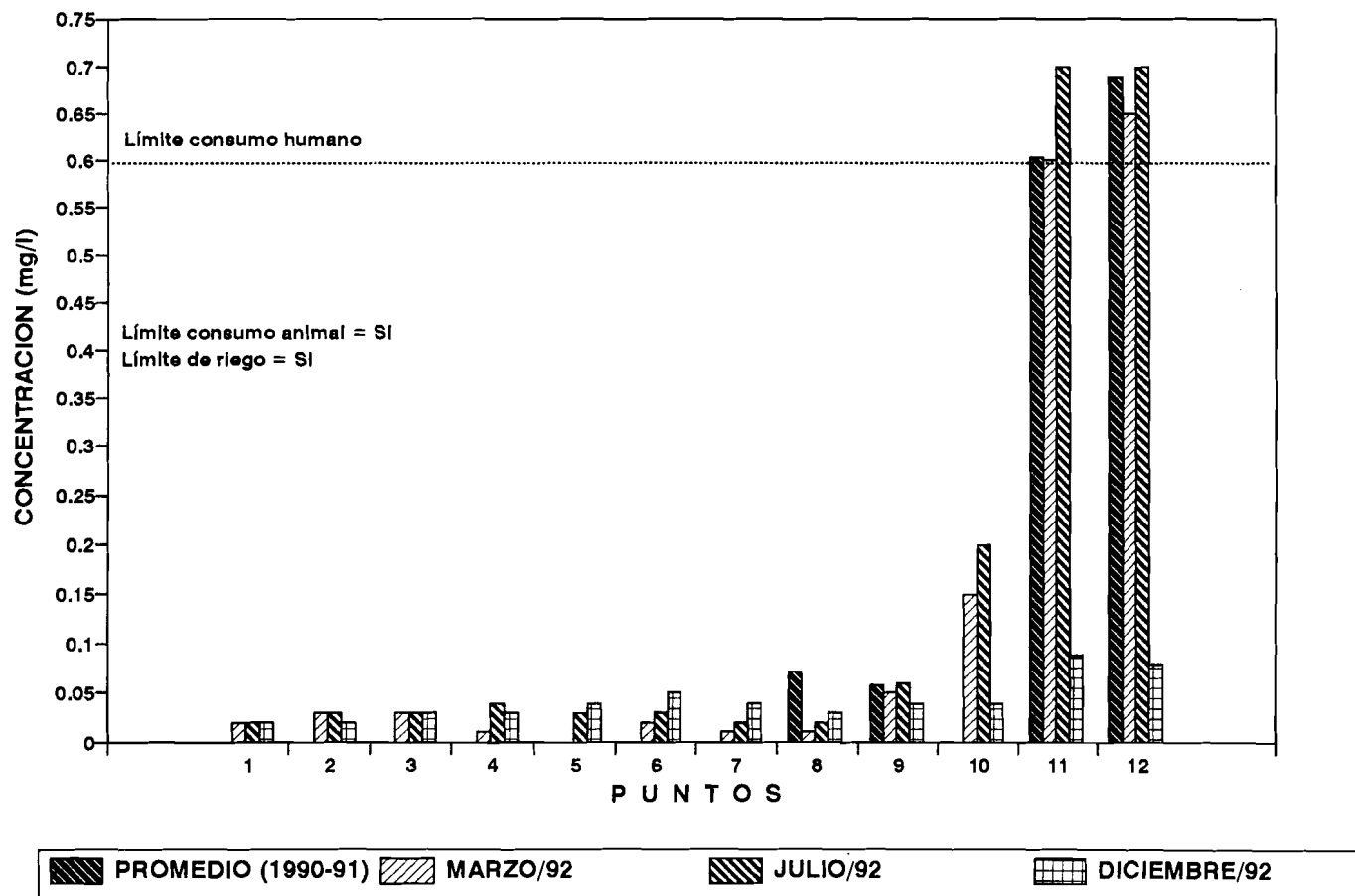
**Fig. 4.23: VARIACION DE ESTAÑO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



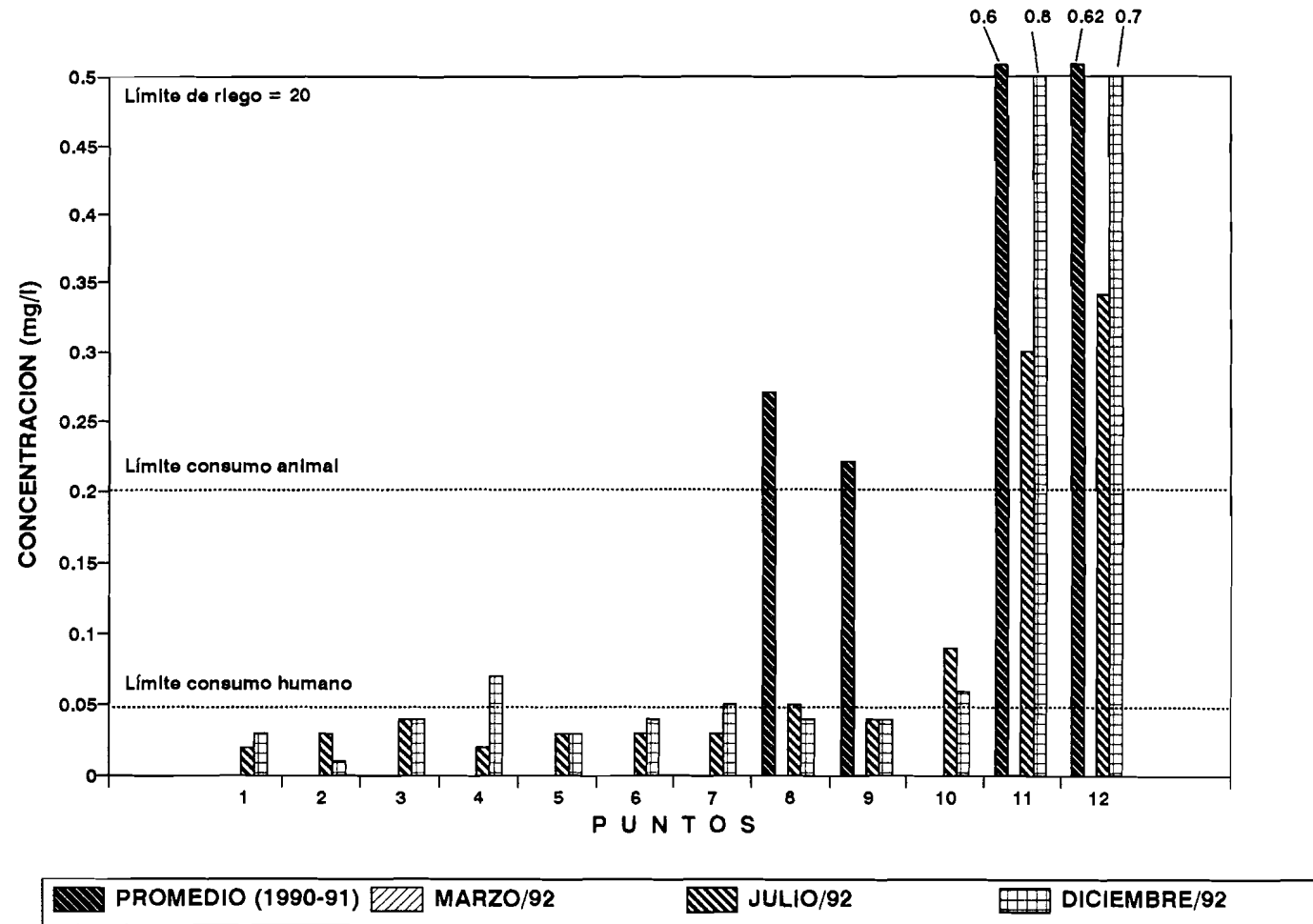
**Fig. 4.24: VARIACION DE PLOMO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



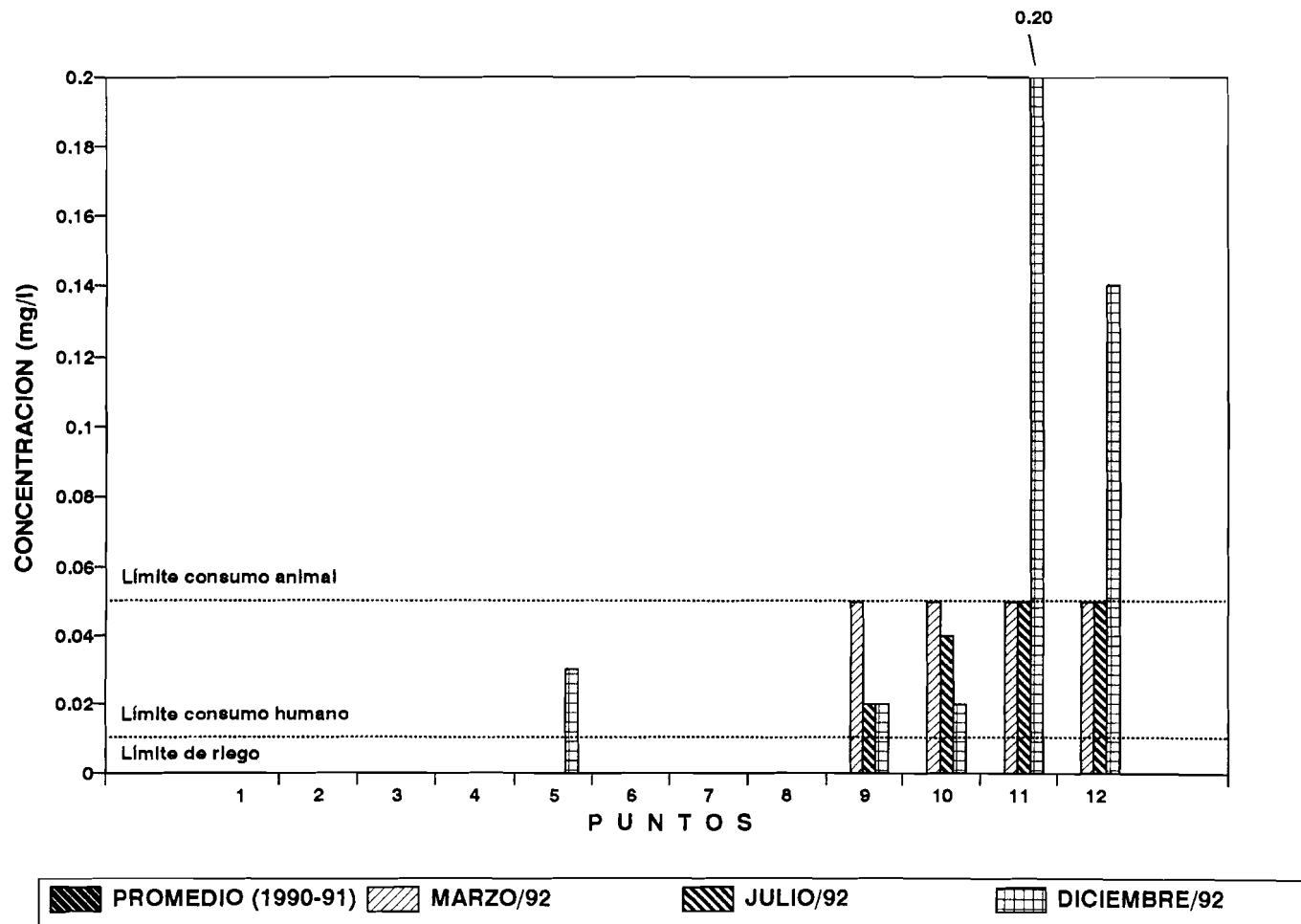
**Fig. 4.25: VARIACION DE ANTIMONIO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



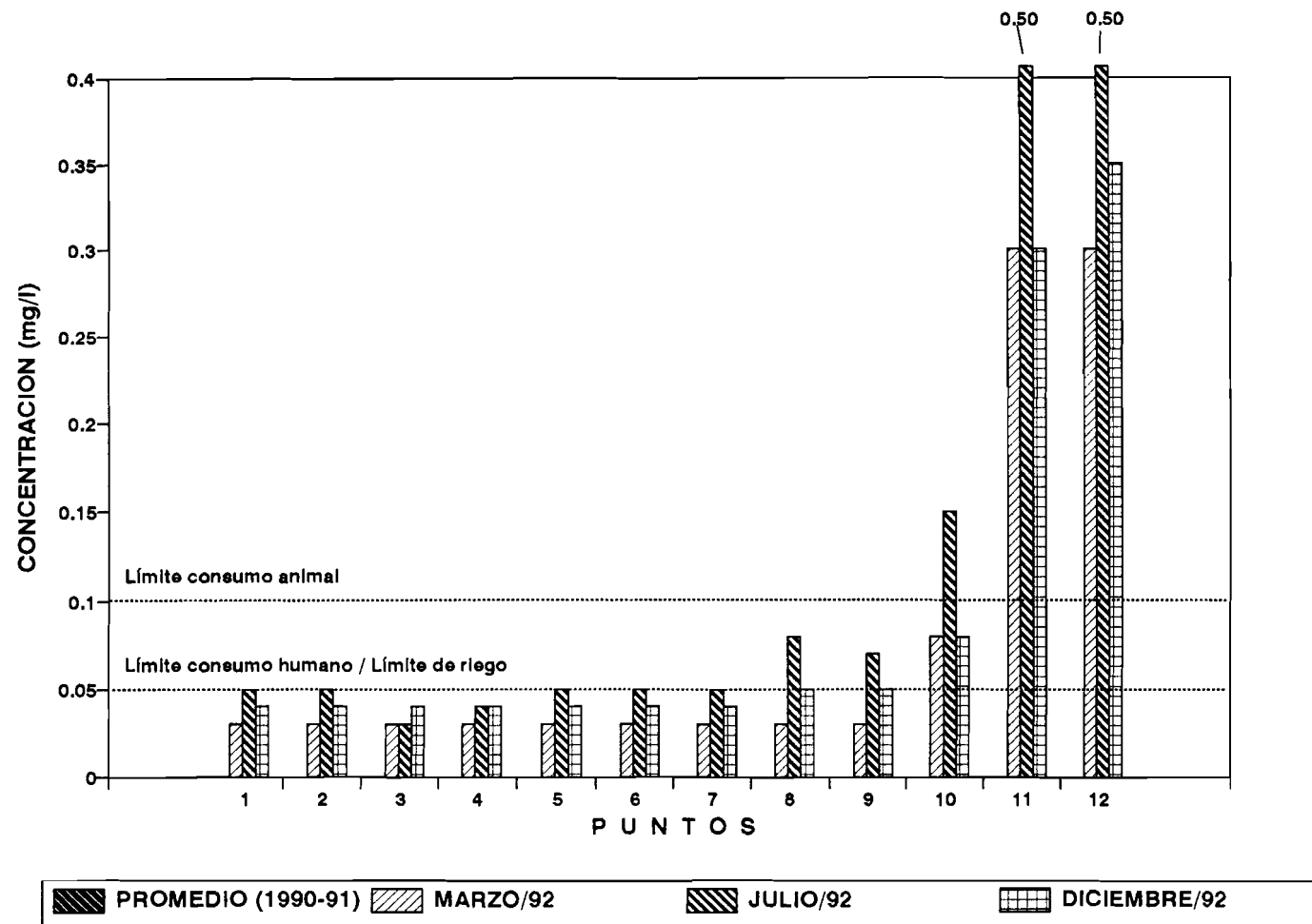
**Fig. 4.26: VARIACION DE ARSENICO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



**Fig. 4.27: VARIACION DE CADMIO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**

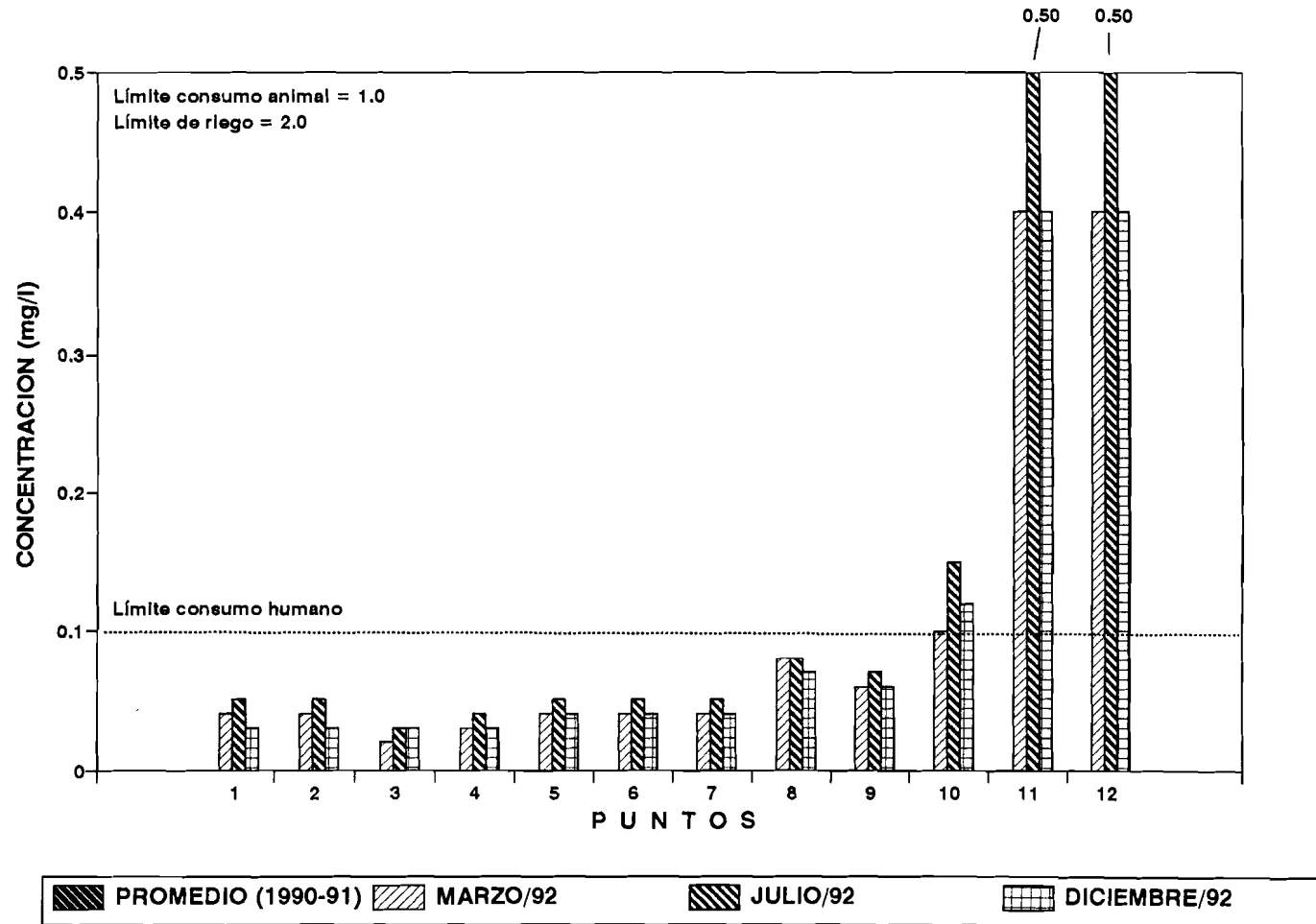


**Fig. 4.28: VARIACION DE COBALTO  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**

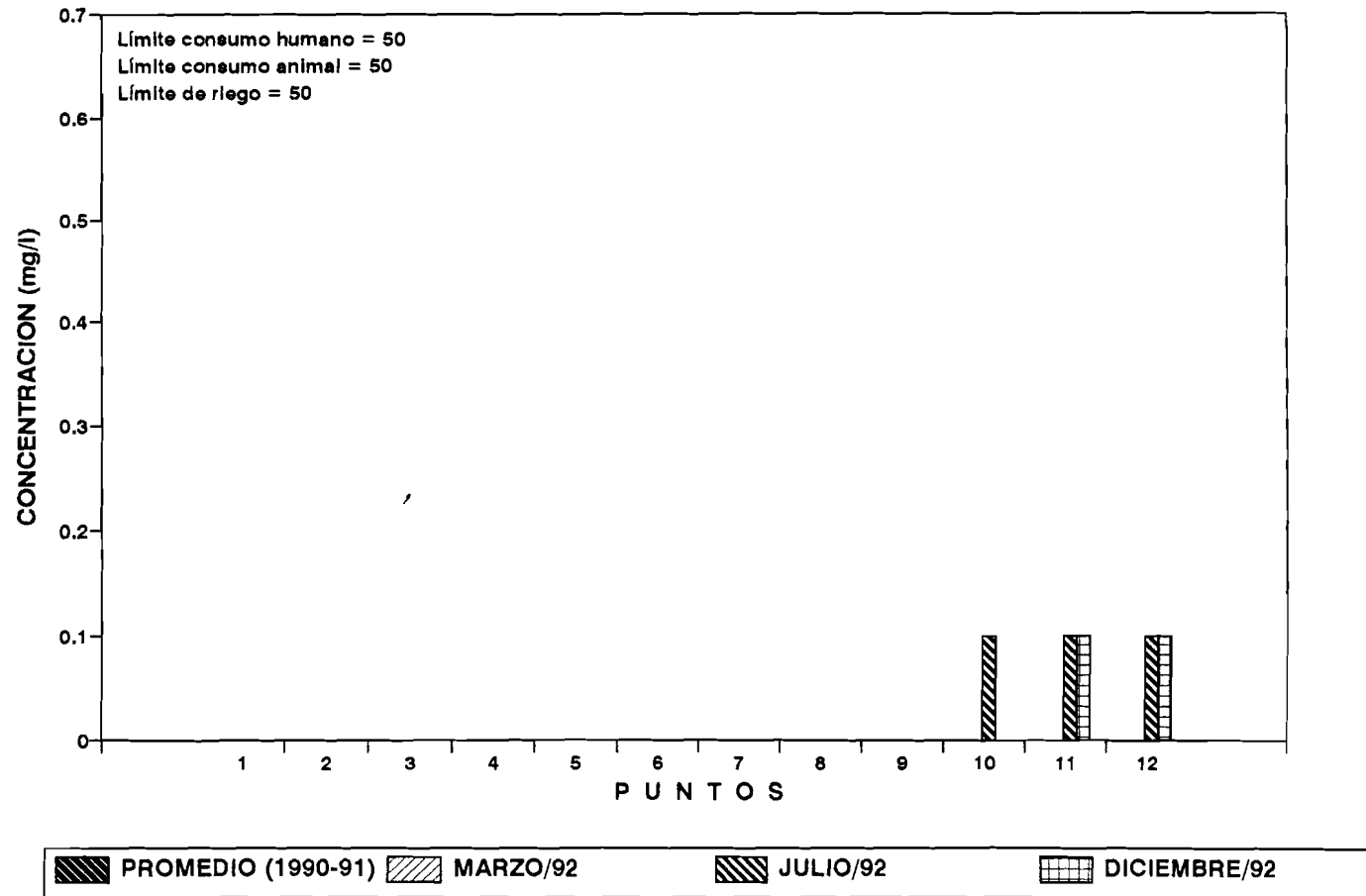




**Fig. 4.29: VARIACION DE NIQUEL  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



**Fig. 4.30 VARIACION DE ZINC  
LAGO TITICACA-RIO DESAGUADERO-L. POOPO**



CUADRO 4.1 A

PROYECTO : T.D.P.S.- HIDROQUIMICA

PRIMERA CAMPAÑA

15-04-92

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Temperat. C	Cond-cam mS/cm	T.D.S mg/l	pH-campo	Color-a Pt/Co	Turbidez FTU	Dureza d	Mat. susp. mg/l	O.D. mg/l	Satur. %
				H:9-15 A:SI R:SI	H:0.1-1.0 A:5 R:3	H:500-1500 A:5000 R:500-3500	H:6.5-8.5 A:6.5-9.0 R:5.5-9.0	H:5-50 A:SI R:SI	H:5 A:SI R:20	H:25 A:SI R:SI	H:25 A:SI R:70	H>4.0 A>4.0 R:3.0-9.0	H:SI A:SI R:SI
R	1- R. RAMIS	13-03-92	3830.0	14.8	0.37	190.0	8.17	306.0 *	55.0 * ■	8.3	47.1 *	5.7	86.0
I	2- R. COATA	13-03-92	3820.0	15.1 *	0.60	310.0	8.47	54.0 *	6.0 * ■	5.1	12.2	6.7	102.0
O	3- R. ILAVE	13-03-92	3850.0	17.2 *	0.48	250.0	8.58 *	25.0	3.0	6.9	5.6	6.5	101.0
S	4- R.DES-P.INT.	14-03-92	3810.0	13.5	1.82 *	910.0	8.28	3.0	0.0	18.2	0.3	5.4	80.0
L	5- R.DES-CAL.	14-03-92	3790.0	14.7	2.24 *	1130.0	8.78 *	183.0 *	27.0 * ■	21.8	43.2 *	5.9	89.0
A	6- R. MAURI	14-03-92	3792.0	25.4 *	1.11 *	560.0	8.12	80.0 *	15.0 *	9.5	22.6	5.5	81.0
G	7- R.DES-P.JAP.	14-03-92	3735.0	21.7 *	2.12 *	1070.0	8.16	> 500.0 *	110.0 * ■	19.3	141.6 * ■	5.5	83.0
O	8- R.DES-CHUQ.	15-03-92	3710.0	11.8	2.27 *	1140.0	8.13	> 500.0 *	220.0 * ■	19.8	440.3 * ■	6.2	89.0
L	9- R.DES-P.ESP.	15-03-92	3700.0	13.7	2.92 *	1460.0	8.74 *	60.0 *	13.0 *	23.8	21.4	6.0	86.0
A	10- L. URU-URU	15-03-92	3893.0	24.2 *	19.50 * + ■	9650.0 * + ■	10.02 * + ■	101.0 *	18.0 *	114.2 *	24.3	4.1	80.0
G	11- L. POOPO-PAZ.	16-03-92	3686.0	16.5 *	80.88 * + ■	30480.0 * + ■	7.58	415.0 *	73.0 * ■	402.0 *	86.0 * ■	3.5 * +	53.0
O	12- L. POOPO-HUA.	16-03-92	3686.0	15.4 *	81.72 * + ■	30880.0 * + ■	6.33	389.0 *	63.0 * ■	400.0 *	223.0 * ■	3.5 * +	52.0

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Alc.Total mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	CO2 mg/l	PO4 mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	SO4 mg/l	SIO2 mg/l	CN mg/l
				H:610 A:SI R:SI	H:SI A:SI R:280	H:si Ph>8.4 A:SI R:75	H:SI A:SI R:SI	H:3.5 A:7.0 R:65.0	H:40.0 A:50.0 R:40.0	H:1.0 A:10.0 R:SI	H:400 A:800 R:400	H:20 A:SI R:SI	H:0.1 A:0.1 R:0.1
R	1- R. RAMIS	13-03-92	3830.0	103.1	103.1	0.0	1.20	0.12	1.06	0.017	44.0	12.7	0.001
I	2- R. COATA	13-03-92	3820.0	72.7	65.1	7.6	0.40	0.07	0.48	0.010	18.0	19.3	0.001
O	3- R. ILAVE	13-03-92	3850.0	96.0	74.9	21.6	0.40	0.07	0.31	0.010	31.0	26.8 *	0.001
S	4- R.DES-P.INT.	14-03-92	3810.0	93.4	93.4	0.0	0.60	0.05	0.26	0.007	200.0	0.9	0.001
L	5- R.DES-CAL.	14-03-92	3790.0	102.2	87.4	14.8	0.25	0.07	0.44	0.030	240.0	6.7	0.001
A	6- R. MAURI	14-03-92	3792.0	180.4	160.4	0.0	1.70	0.65	0.53	0.010	70.0	58.3 *	0.001
G	7- R.DES-P.JAP.	14-03-92	3735.0	129.7	129.7	0.0	1.30	0.23	0.53	0.017	200.0	24.9 *	0.002
O	8- R.DES-CHUQ.	15-03-92	3710.0	139.9	139.9	0.0	1.70	0.42	0.70	0.017	180.0	21.9 *	0.005
L	9- R.DES-P.ESP.	15-03-92	3700.0	101.3	59.5	41.8	0.30	0.11	0.31	0.017	275.0	16.8	0.004
A	10- L. URU-URU	15-03-92	3893.0	156.8	33.0	123.8 ■	0.01	0.08	0.16	0.030	2000.0 * + ■	6.2	0.002
G	11- L. POOPO-PAZ.	16-03-92	3686.0	410.8	416.0 ■	0.0	2.50	0.19	0.09	0.050	5200.0 * + ■	8.9	0.004
O	12- L. POOPO-HUA.	16-03-92	3686.0	290.8	189.8	121.0 ■	0.30	0.25	0.09	0.013	5400.0 * + ■	1.4	0.002

Nota: \* = No satisface limite de consumo: Humano (H).  
 + = No satisface limite de consumo: Animal (A).  
 ■ = No satisface limite de consumo: Para riego (R)

CUADRO 4.1 B

PROYECTO : T.D.P.S.- HIDROQUIMICA

PRIMERA CAMPAÑA

15-04-92

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Cl mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	BO3	Fe mg/l	Mn mg/l	Cr mg/l	W mg/l
				H:250 A:400 R:400	H:200 A:SI R:SI	H:100 A:SI R:200	H:120 A:200 R:300	H:1000 A:SI R:SI	H:11 A:11 R:11	H:0.3 A:1.0 R:5.0	H:0.3 A:1.0 R:5.0	H:0.05 A:1.0 R:0.1	H:0.05 A:SI R:SI
R	1- R. RAMIS	13-03-92	3830.0	13.6	41.6	6.9	14.0	1.8	-	0.2	0.0	0.00	0.7 *
I	2- R. COATA	13-03-92	3820.0	117.6	30.8	4.9	67.7	8.2	-	0.1	0.0	0.00	0.8 *
O	3- R. ILAVE	13-03-92	3850.0	62.2	33.5	6.0	45.2	5.8	-	0.1	0.0	0.00	0.9 *
S	4- R.DES-P.INT.	14-03-92	3810.0	318.2 *	59.4	37.4	237.1 * +	22.8	-	0.1	0.0	0.00	1.1 *
L	5- R.DES-CAL.	14-03-92	3790.0	460.0 * +	83.6	37.4	304.8 * +	21.6	-	0.0	0.0	0.00	0.3 *
A	6- R. MAURI	14-03-92	3792.0	228.4	40.7	12.1	145.6 *	20.4	-	0.1	0.0	0.00	0.3 *
G	7- R.DES-P.JAP.	14-03-92	3735.0	470.9 * +	83.6	28.4	308.2 * +	19.4	-	0.0	0.0	0.00	0.8 *
O	8- R.DES-CHUQ.	15-03-92	3710.0	496.4 * +	96.8	22.0	319.2 * +	16.8	-	0.0	0.0	0.00	0.7 *
L	9- R.DES-P.ESP.	15-03-92	3700.0	686.9 * +	107.2	30.2	420.0 * +	16.0	-	0.0	0.0	0.00	1.2 *
A	10- L. URU-URU	15-03-92	3693.0	6114.9 * +	561.0 *	330.0 *	3518.9 * +	166.4	-	0.0	0.0	0.02	0.6 *
G	11- L. POOPO-PAZ.	16-03-92	3686.0	18114.7 * +	1012.0 *	968.0 *	11411.3 * +	584.5	-	0.1	0.8 *	0.05	1.2 *
O	12- L. POOPO-HUA.	16-03-92	3686.0	18606.5 * +	1012.0 *	968.0 *	11411.3 * +	610.6	-	0.0	0.0	0.01	0.7 *

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Zn mg/l	Cu mg/l	Sn mg/l	Pb mg/l	Sb mg/l	As mg/l	Ag mg/l	Cd mg/l	Co mg/l	Ni mg/l
				H:5.0 A:5.0 R:5.0	H:1.0 A:0.5 R:0.2	H:0.002 A:SI R:SI	H:0.05 A:0.1 R:10.0	H:0.6 A:SI R:SI	H:0.05 A:0.2 R:2.0	H:0.1 A:SI R:0.2	H:0.01 A:0.05 R:0.01	H:0.05 A:0.10 R:0.05	H:0.1 A:1.0 R:2.0
R	1- R. RAMIS	13-03-92	3830.0	-	0.0	0.1 *	0.03	0.02	-	0.00	0.00	< 0.05	0.04
I	2- R. COATA	13-03-92	3820.0	-	0.0	0.2 *	0.02	0.03	-	0.00	0.00	< 0.05	0.04
O	3- R. ILAVE	13-03-92	3850.0	-	0.0	0.5 *	0.03	0.03	-	0.00	0.00	< 0.05	0.02
S	4- R.DES-P.INT.	14-03-92	3810.0	-	0.0	0.6 *	0.03	0.01	-	0.00	0.00	< 0.05	0.03
L	5- R.DES-CAL.	14-03-92	3790.0	-	0.0	0.5 *	0.01	0.00	-	0.00	0.00	< 0.05	0.04
A	6- R. MAURI	14-03-92	3792.0	-	0.0	0.3 *	0.02	0.02	-	0.00	0.00	< 0.05	0.04
G	7- R.DES-P.JAP.	14-03-92	3735.0	-	0.0	0.4 *	0.02	0.01	-	0.00	0.00	< 0.05	0.04
O	8- R.DES-CHUQ.	15-03-92	3710.0	-	0.0	0.5 *	0.02	0.01	-	< 0.01	0.00	< 0.05	0.08
L	9- R.DES-P.ESP.	15-03-92	3700.0	-	0.0	0.3 *	0.02	0.05	-	0.00	0.05 *	< 0.05	0.06
A	10- L. URU-URU	15-03-92	3693.0	-	0.0	0.2 *	0.08 *	0.15	-	< 0.01	0.05 *	0.08 *	0.10
G	11- L. POOPO-PAZ.	16-03-92	3686.0	-	0.0	0.4 *	0.10 *	0.80 *	-	0.03	0.05 *	0.30 * +	0.40 *
O	12- L. POOPO-HUA.	16-03-92	3686.0	-	0.0	0.4 *	0.15 * +	0.65 *	-	0.02	0.05 *	0.30 * +	0.40 *

Nota: \* = No satisface límite de consumo: Humano (H).  
 + = No satisface límite de consumo: Animal (A).  
 - = No satisface límite de consumo: Para riesgo (R)

CUADRO 4.2 A

PROYECTO : T.D.P.S.- HIDROQUIMICA

SEGUNDA CAMPAÑA

15-08-92

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Temperat. C	Cond-cem mS/cm	T.D.S mg/l	pH-campo	Color-a Pt/Co	Turbidez FTU	Dureza d	Mat. susp mg/l	O.D. mg/l	Satur. %
				H:9-15 A:SI R:SI	H:0.1-1.0 A:5 R:3	H:500-1500 A:5000 R:500-3500	H:6.5-8.5 A:8.5-9.0 R:5.5-9.0	H:5-50 A:SI R:SI	H:5 A:SI R:20	H:25 A:SI R:SI	H:25 A:SI R:70	H>4.0 A>4.0 R:3.0-9.0	H:SI A:SI R:SI
R	1- R. RAMIS	10-07-92	3830.0	7.1	0.888	346.0	8.52 *	6.0	12.0 *	14.4	5.6	7.2	96.0
I	2- R. COATA	10-07-92	3820.0	8.7	1.418 *	712.0	8.15	2.0	2.0	14.4	6.3	7.7	106.0
O	3- R. ILAVE	10-07-92	3850.0	9.4	0.642	323.0	8.37	2.0	2.0	9.5	3.1	7.5	105.0
S	4- R.DES-P.INT.	10-07-92	3810.0	9.6	1.860 *	933.0	9.03 * +	2.0	2.0	18.7	2.3	6.8	92.0
	5- R.DES-CAL.	11-07-92	3790.0	6.4	2.900 *	1460.0	9.20 * +	102.0 *	18.0 *	30.0 *	10.2	7.3	92.0
	6- R. MAURI	11-07-92	3792.0	9.5	1.058 *	532.0	8.37	60.0 *	8.0 *	10.2	25.9 *	6.8	94.0
	7- R.DES-P.JAP.	11-07-92	3735.0	12.2	1.986 *	995.0	8.52 *	> 500.0 *	108.0 *	16.9	65.2 *	6.5	94.0
	8- R.DES-CHUQ.	11-07-92	3710.0	8.6	2.100 *	1060.0	8.67 *	> 500.0 *	174.0 *	19.0	119.6 * +	6.7	91.0
L	9- R.DES-P.ESP.	13-07-92	3700.0	5.9	2.890 *	1450.0	8.69 *	42.0	12.0 *	22.3	18.4	6.1	78.0
A	10- L. URU-URU	13-07-92	3693.0	7.3	57.000 * +	28600.0 * +	8.08	6.0	3.0	487.7 *	19.5	4.9	64.0
G	11- L. POOPO-PAZ.	12-07-92	3686.0	9.8	65.000 * +	32600.0 * +	8.07	155.0 *	78.0 *	442.6 *	58.7 *	5.4	75.0
O	12- L. POOPO-HUA.	12-07-92	3686.0	11.1	79.500 * +	39800.0 * +	7.75	42.0	9.0 *	478.7 *	25.8 *	4.9	69.0

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Alc.Total mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	CO2 mg/l	PO4 mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	SO4 mg/l	SiO2 mg/l	CN mg/l
				H:810 A:SI R:SI	H:SI A:SI R:280	H:al Ph>8.4 A:SI R:75	H:SI A:SI R:SI	H:3.5 A:7.0 R:85.0	H:40.0 A:50.0 R:40.0	H:1.0 A:10.0 R:SI	H:400 A:800 R:400	H:20 A:SI R:SI	H:0.1 A:0.1 R:0.1
R	1- R. RAMIS	10-07-92	3830.0	170.2	152.8	17.4	1.04	0.03	0.13	0.009	109.0	7.4	0.000
I	2- R. COATA	10-07-92	3820.0	146.2	132.5	13.7	1.99	0.05	0.13	0.009	63.0	10.2	0.000
O	3- R. ILAVE	10-07-92	3850.0	121.3	81.9	39.4	0.99	0.09	0.18	0.003	51.0	28.0 *	0.000
S	4- R.DES-P.INT.	10-07-92	3810.0	97.3	64.0	13.3	0.15	0.03	0.13	0.003	280.0	0.1	0.000
	5- R.DES-CAL.	11-07-92	3790.0	123.8	97.0	26.8	0.14	0.06	0.22	0.010	400.0	11.7	0.000
	6- R. MAURI	11-07-92	3792.0	169.0	162.9	8.1	1.34	0.20	0.09	0.003	87.0	56.3 *	0.000
	7- R.DES-P.JAP.	11-07-92	3735.0	161.9	149.2	12.7	0.83	0.40	0.22	0.003	210.0	44.7 *	0.000
	8- R.DES-CHUQ.	11-07-92	3710.0	189.7	180.5	9.2	0.66	0.55	0.18	0.009	240.0	51.4 *	0.001
L	9- R.DES-P.ESP.	13-07-92	3700.0	143.7	118.5	27.2	0.55	0.29	0.13	0.009	270.0	23.2 *	0.000
A	10- L. URU-URU	13-07-92	3693.0	118.1	75.5	40.6	0.28	0.05	0.13	0.003	4000.0 * +	1.1	0.001
G	11- L. POOPO-PAZ.	12-07-92	3686.0	255.1	144.8	110.3	0.56	0.08	0.18	0.003	8000.0 * +	0.1	0.000
O	12- L. POOPO-HUA.	12-07-92	3686.0	352.9	294.5	58.4	1.82	0.03	0.13	0.003	8000.0 * +	0.3	0.001

Nota : \* = No satisface limite de consumo: Humano (H).  
 + = No satisface limite de consumo: Animal (A).  
 - = No satisface limite de consumo: Para riego (R)

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Cl mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	BO3 mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Cr mg/l	W mg/l
				H:250 A:400 R:400	H:200 A:SI R:SI	H:100 A:SI R:200	H:120 A:200 R:300	H:1000 A:SI R:SI	H:11 A:11 R:11	H:0.3 A:1.0 R:5.0	H:0.3 A:1.0 R:5.0	H:0.05 A:1.0 R:0.1	H:0.05 A:SI R:SI
R	1- R. RAMIS	10-07-92	3830.0	55.7	64.9	14.3	51.3	3.6	7.4	0.0	0.0	0.00	0.7 *
I	2- R. COATA	10-07-92	3820.0	308.4 *	63.8	18.7	171.1 *	17.4	5.9	0.0	0.0	0.01	1.7 *
O	3- R. ILAVE	10-07-92	3850.0	97.5	43.4	9.9	62.7	7.7	2.2	0.0	0.0	0.01	1.8 *
S	4- R.DES-P.INT.	10-07-92	3810.0	330.0 *	57.2	44.0	247.2 * +	21.9	5.8	0.0	0.0	0.01	0.3 *
	5- R.DES-CAL.	11-07-92	3790.0	630.8 * +	105.6	52.6	416.1 * +	25.1	15.8 * +	0.0	0.1	0.01	0.4 *
	6- R. MAURI	11-07-92	3792.0	195.0	39.6	17.6	138.9 *	15.1	20.9 * +	0.0	0.0	0.01	0.6 *
	7- R.DES-P.JAP.	11-07-92	3735.0	428.7 * +	68.2	28.6	284.5 * +	18.5	19.0 * +	0.0	0.0	0.01	0.6 *
	8- R.DES-CHUQ.	11-07-92	3710.0	443.3 * +	74.8	30.8	298.1 * +	17.9	19.1 * +	0.0	0.0	0.01	0.7 *
L	9- R.DES-P.ESP.	13-07-92	3700.0	844.8 * +	79.2	41.8	420.0 * +	23.0	21.1 * +	0.0	0.1	0.00	1.1 *
A	10- L. URU-URU	13-07-92	3693.0	18910.6 * +	1474.0 *	968.0 *	8820.0 * +	230.5	149.8 * +	0.0	0.2	0.03	4.8 *
G	11- L. POOPO-PAZ.	12-07-92	3686.0	17561.0 * +	1034.0 *	968.0 *	11340.0 * +	525.0	388.4 * +	0.0	0.1	0.01	2.9 *
O	12- L. POOPO-HUA.	12-07-92	3686.0	20080.0 * +	1144.0 *	1210.0 *	13819.3 * +	630.0	452.3 * +	0.0	0.9 *	0.01	3.2 *

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Zn mg/l	Cu mg/l	Sn mg/l	Pb mg/l	Sb mg/l	As mg/l	Ag mg/l	Cd mg/l	Co mg/l	Ni mg/l
				H:5.0 A:5.0 R:5.0	H:1.0 A:0.5 R:0.2	H:0.002 A:SI R:SI	H:0.05 A:0.1 R:10.0	H:0.6 A:SI R:SI	H:0.05 A:0.2 R:2.0	H:0.1 A:SI R:0.2	H:0.01 A:0.05 R:0.01	H:0.05 A:0.10 R:0.05	H:0.1 A:1.0 R:2.0
R	1- R. RAMIS	10-07-92	3830.0	0.0	0.0	0.1 *	0.03	0.02	0.02	< 0.01	0.00	0.05	0.05
I	2- R. COATA	10-07-92	3820.0	0.0	0.0	0.3 *	0.02	0.03	0.03	< 0.01	0.00	0.05	0.05
O	3- R. ILAVE	10-07-92	3850.0	0.0	0.0	0.3 *	0.03	0.03	0.04	< 0.01	0.00	0.03	0.03
S	4- R.DES-P.INT.	10-07-92	3810.0	0.0	0.0	0.4 *	0.03	0.04	0.02	< 0.01	0.00	0.04	0.04
	5- R.DES-CAL.	11-07-92	3790.0	0.0	0.0	0.5 *	0.02	0.03	0.03	< 0.01	0.00	0.05	0.05
	6- R. MAURI	11-07-92	3792.0	0.0	0.0	0.4 *	0.02	0.03	0.03	< 0.01	0.00	0.05	0.05
	7- R.DES-P.JAP.	11-07-92	3735.0	0.0	0.0	0.4 *	0.03	0.02	0.03	< 0.01	0.00	0.05	0.05
	8- R.DES-CHUQ.	11-07-92	3710.0	0.0	0.0	0.3 *	0.03	0.02	0.05	< 0.01	0.00	0.08 *	0.08
L	9- R.DES-P.ESP.	13-07-92	3700.0	0.0	0.0	0.2 *	0.03	0.06 *	0.04	< 0.01	0.02 *	0.07 *	0.07
A	10- L. URU-URU	13-07-92	3693.0	0.1	0.0	0.3 *	0.10 *	0.20	0.09 *	< 0.01	0.04 *	0.15 * +	0.15 *
G	11- L. POOPO-PAZ.	12-07-92	3686.0	0.1	0.0	0.5 *	0.15 * +	0.70 *	0.30 * +	< 0.01	0.05 *	0.50 * +	0.50 *
O	12- L. POOPO-HUA.	12-07-92	3686.0	0.1	0.0	0.5 *	0.20 * +	0.70 *	0.34 * +	< 0.01	0.05 *	0.50 * +	0.50 *

Nota: \* = No satisface limite de consumo: Humano (H).  
 + = No satisface limite de consumo: Animal (A).  
 - = No satisface limite de consumo: Para riego (R)

CUADRO 4-3 A

PROYECTO : T.D.P.S.- HIDROQUIMICA

TERCERA CAMPAÑA

15-01-93

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Temperat. C	Cond-cam mS/cm	T.D.S mg/l	pH-campo	Color-a Pt/Co	Turbidez FTU	Dureza d	Mat. susp. mg/l	O.D. mg/l	Satur. %
				H:9-15 A:SI R:SI	H:0.1-1.0 A:5 R:3	H:500-1500 A:5000 R:500-3500	H:6.5-8.5 A:6.5-9.0 R:5.5-9.0	H:5-50 A:SI R:SI	H:5 A:SI R:20	H:25 A:SI R:SI	H:25 A:SI R:70	H>4.0 A>4.0 R:3.0-9.0	H:SI A:SI R:SI
R	1- R. RAMIS	04-12-92	3830.0	14.7	0.615	310.0	8.46	83.0 *	14.0 *	11.3	10.4	6.4	97.0
I	2- R. COATA	04-12-92	3820.0	16.8 *	0.790	397.0	9.65 *	106.0 *	15.0 *	9.0	10.1	6.8	104.0
O	3- R. ILAVE	04-12-92	3850.0	19.4 *	0.648	324.0	9.29 *	29.0	5.0	7.2	2.2	6.8	106.0
S	4- R.DES-P.INT.	04-12-92	3810.0	19.4 *	1.902 *	953.0	9.84 *	32.0	3.0	19.0	0.5	6.3	97.0
	5- R.DES-CAL.	05-12-92	3790.0	16.3 *	3.650 *	1630.0 *	8.99 *	490.0 *	69.0 *	35.9 *	68.0 *	6.4	98.0
	6- R. MAURI	05-12-92	3792.0	16.6 *	1.240 *	640.0	8.79 *	56.0 *	11.0 *	11.0	6.0	5.9	91.0
	7- R.DES-P.JAP.	05-12-92	3735.0	23.2 *	2.480 *	1240.0	6.84 *	482.0 *	87.0 *	18.5	63.6 *	5.8	87.0
	8- R.DES-CHUQ.	05-12-92	3710.0	19.7 *	2.600 *	1290.0	9.08 *	> 500.0 *	183.0 *	21.5	201.3 *	5.7	87.0
L	9- R.DES-P.ESP.	07-12-92	3700.0	16.4 *	4.650 *	2360.0 *	8.29	57.0 *	10.0 *	35.2 *	11.0	5.5	83.0
A	10- L. URU-URU	07-12-92	3693.0	15.3 *	4.660 *	2340.0 *	8.43	242.0 *	10.0 *	35.5 *	46.4 *	3.5 * +	52.0
G	11- L. POOPO-PAZ.	06-12-92	3686.0	23.0 *	214.000 *	107000.0 *	8.27	183.0 *	35.0 *	1078.2 *	248.7 *	1.7 * +	25.0
O	12- L. POOPO-HUA.	06-12-92	3686.0	23.6 *	165.100 *	82600.0 *	8.48	59.0 *	12.0 *	851.5 *	117.4 *	3.7 * +	55.0

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Alc.Total mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	CO2 mg/l	PO4 mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	SO4 mg/l	SiO2 mg/l	CN mg/l
				H:610 A:SI R:SI	H:SI A:SI R:280	H:el Ph>8.4 A:SI R:75	H:SI A:SI R:SI	H:3.5 A:7.0 R:65.0	H:40.0 A:50.0 R:40.0	H:1.0 A:10.0 R:SI	H:400 A:800 R:400	H:20 A:SI R:SI	H:0.1 A:0.1 R:0.1
R	1- R. RAMIS	04-12-92	3830.0	133.6	94.6	39.0	0.78	0.06	0.48	0.011	125.0	4.0	0.001
I	2- R. COATA	04-12-92	3820.0	91.3	58.9	32.4	0.02	0.22	0.26	0.010	42.0	13.9	0.002
O	3- R. ILAVE	04-12-92	3850.0	112.7	73.5	39.2	0.08	0.09	0.28	0.009	57.0	34.4 *	0.001
S	4- R.DES-P.INT.	04-12-92	3810.0	91.3	52.8	38.5	0.02	0.01	0.18	0.007	360.0	0.2	0.001
	5- R.DES-CAL.	05-12-92	3790.0	94.3	68.0	26.3	0.14	0.57	0.35	0.003	600.0 *	31.0 *	0.001
	6- R. MAURI	05-12-92	3792.0	178.7	148.8	29.9	0.42	1.02	0.53	0.008	90.0	80.8 *	0.001
	7- R.DES-P.JAP.	05-12-92	3735.0	177.5	158.4	19.1	0.34	0.75	0.35	0.010	220.0	52.4 *	0.001
	8- R.DES-CHUQ.	05-12-92	3710.0	190.4	160.5	29.9	0.20	0.63	0.35	0.023	240.0	47.5 *	0.003
L	9- R.DES-P.ESP.	07-12-92	3700.0	166.9	134.7	32.2	1.29	0.27	0.57	0.059	475.0 *	16.5	0.001
A	10- L. URU-URU	07-12-92	3693.0	164.6	134.1	30.5	0.90	0.23	0.35	0.056	500.0 *	11.2	0.001
G	11- L. POOPO-PAZ.	06-12-92	3686.0	1089.2 *	605.6 *	483.6 *	0.00	2.29	0.31	0.036	27500.0 *	3.3	0.002
O	12- L. POOPO-HUA.	06-12-92	3686.0	793.5 *	387.4 *	406.1 *	0.00	0.86	0.13	0.007	19000.0 *	0.2	0.004

Nota: \* = No satisface limite de consumo: Humano (H).  
 + = No satisface limite de consumo: Animal (A).  
 ■ = No satisface limite de consumo: Para riego (R)

CUADRO 4-3 B

PROYECTO : T.D.P.S.- HIDROQUIMICA

TERCERA CAMPAÑA

15-01-93

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Cl mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	BO3	Fe mg/l	Mn mg/l	Cr mg/l	W mg/l
				H:250 A:400 R:400	H:200 A:SI R:SI	H:100 A:SI R:200	H:120 A:200 R:300	H:1000 A:SI R:SI	H:11 A:11 R:11	H:0.3 A:1.0 R:5.0	H:0.3 A:1.0 R:5.0	H:0.05 A:1.0 R:0.1	H:0.05 A:SI R:SI
R	1- R. RAMIS	04-12-92	3630.0	48.4	58.3	13.2	41.2	3.1	4.1	0.0	0.0	0.00	0.5 *
I	2- R. COATA	04-12-92	3820.0	175.4	39.6	11.0	90.7	8.1	3.2	0.0	0.0	0.00	0.0
O	3- R. ILAVE	04-12-92	3850.0	106.7	38.5	11.0	85.6	7.6	1.4	0.0	0.0	0.00	0.0
S	4- R.DES-P.INT.	04-12-92	3810.0	388.7 *	48.4	50.6	255.5 *	23.2	8.8	0.0	0.0	0.00	0.0
	5- R.DES-CAL.	05-12-92	3790.0	795.5 *	165.0	35.8	509.8 *	17.2	5.0	0.0	0.1	0.02	3.4 *
	6- R. MAURI	05-12-92	3792.0	284.1 *	39.6	19.8	184.0 *	18.7	27.6 *	0.0	0.0	0.00	0.0
	7- R.DES-P.JAP.	05-12-92	3735.0	600.0 *	77.0	28.6	355.4 *	20.6	24.2 *	0.0	0.0	0.00	0.0
	8- R.DES-CHUQ.	05-12-92	3710.0	604.5 *	90.2	26.4	403.8 *	19.3	24.7 *	0.0	0.0	0.01	0.0
L	9- R.DES-P.ESP.	07-12-92	3700.0	1221.6 *	143.0	55.0	789.0 *	28.9	21.3 *	0.0	0.1	0.00	0.8 *
A	10- L. URU-URU	07-12-92	3693.0	1215.9 *	143.0	55.0	739.4 *	29.9	21.2 *	0.0	0.2	0.01	1.8 *
G	11- L. POOPO-PAZ.	06-12-92	3688.0	66105.6 *	880.0 *	3987.5 *	44695.9 *	2100.0 *	1853.6 *	0.0	0.6 *	0.13 *	7.2 *
O	12- L. POOPO-HUA.	06-12-92	3688.0	49431.8 *	770.0 *	3025.0 *	32280.4 *	1650.0 *	1329.6 a	0.0	0.1	0.05	2.7 *

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Zn mg/l	Cu mg/l	Sn mg/l	Pb mg/l	Sb mg/l	As mg/l	Ag mg/l	Cd mg/l	Co mg/l	Ni mg/l
				H:5.0 A:5.0 R:5.0	H:1.0 A:0.5 R:0.2	H:0.002 A:SI R:SI	H:0.05 A:0.1 R:10.0	H:0.6 A:SI R:SI	H:0.05 A:0.2 R:2.0	H:0.1 A:SI R:0.2	H:0.01 A:0.05 R:0.01	H:0.05 A:0.10 R:0.05	H:0.1 A:1.0 R:2.0
R	1- R. RAMIS	04-12-92	3630.0	0.0	0.0	0.1 *	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.04	0.03
I	2- R. COATA	04-12-92	3820.0	0.0	0.0	0.2 *	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.04	0.03
O	3- R. ILAVE	04-12-92	3850.0	0.0	0.0	0.3 *	0.03	0.03	0.04	0.00	0.00	0.04	0.03
S	4- R.DES-P.INT.	04-12-92	3810.0	0.0	0.0	0.4 *	0.03	0.03	0.07 *	0.00	0.00	0.04	0.03
	5- R.DES-CAL.	05-12-92	3790.0	0.0	0.0	0.4 *	0.03	0.04	0.03	0.00	0.03 *	0.04	0.04
	6- R. MAURI	05-12-92	3792.0	0.0	0.0	0.3 *	0.02	0.05	0.04	0.00	0.00	0.04	0.04
	7- R.DES-P.JAP.	05-12-92	3735.0	0.0	0.0	0.3 *	0.04	0.04	0.05	0.00	0.00	0.04	0.04
	8- R.DES-CHUQ.	05-12-92	3710.0	0.0	0.0	0.4 *	0.04	0.03	0.04	0.01	0.00	0.05	0.07
L	9- R.DES-P.ESP.	07-12-92	3700.0	0.0	0.0	0.4 *	0.03	0.04	0.04	0.01	0.02 *	0.05	0.06
A	10- L. URU-URU	07-12-92	3693.0	0.0	0.0	0.6 *	0.08 *	0.04	0.06 *	0.01	0.02 *	0.08 *	0.12 *
G	11- L. POOPO-PAZ.	06-12-92	3688.0	0.1	0.0	0.8 *	0.10 *	0.09	0.80 * +	0.03	0.20 *	0.30 *	0.40 *
O	12- L. POOPO-HUA.	06-12-92	3688.0	0.1	0.0	0.8 *	0.15 * +	0.08	0.70 * +	0.03	0.14 *	0.35 *	0.40 *

Nota: [Symbol] = No satisface limite de consumo: Humano (H).  
 + = No satisface limite de consumo: Animal (A).  
 [Symbol] = No satisface limite de consumo: Para riego (R)



CUADRO 4.4 A

PROMEDIOS TOTALES DE PARAMETROS FISICO-QUIMICOS POR CAMPAÑAS Y PUNTOS (1990-1991)  
 PROYECTO: (U.M.SA.- U.LAVAL)

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Temperat. C	Cond-cam mS/cm	T.D.S mg/l	pH-campo	Color-a Pt/Co	Turbidez FTU	Dureza d	Mat. susp. mg/l	O.D. mg/l	Satur. %
				H:9-15 A:SI R:SI	H:0.1-1.0 A:5 R:3	H:500-1500 A:5000 R:500-3500	H:6.5-8.5 A:6.5-9.0 R:5.5-9.0	H:5-50 A:SI R:SI	H:5 A:SI R:20	H:25 A:SI R:SI	H:25 A:SI R:70	H>4.0 A>4.0 R:3.0-9.0	H:SI A:SI R:SI
R	1- R. RAMIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	2- R. COATA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	3- R. ILAVE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	4- R.DES-P.INT.	-	3810.0	14.0	1.641 *	823.1	8.73 *	11.5	2.4	-	2.9	6.6	101.0
L	5- R.DES-CAL.	-	3790.0	14.2	1.946 *	979.2	8.91 *	145.3 *	45.1 *	-	101.8 *	6.1	93.3
A	6- R. MAURI	-	3792.0	15.7 *	1.169 *	588.4	8.49	98.4 *	18.0 *	-	162.0 *	6.1	94.9
G	7- R.DES-P.JAP.	-	3735.0	14.8	1.777 *	892.1	8.54 *	292.5 *	91.1 *	-	1089.5 *	6.2	96.7
O	8- R.DES-CHUQ.	-	3710.0	16.0 *	2.000 *	1007.5	8.46	329.0 *	180.1 *	-	1886.5 *	6.2	97.1
L	9- R.DES-P.ESP.	-	3700.0	13.0	2.536 *	1272.0	8.43	38.9	7.1	-	7.8	4.9	72.7
A	10- L. URU-URU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	11- L. POOPO-PAZ.	-	3686.0	15.0	22.240 * +	11763.8 * +	8.90 *	64.1 *	17.2 *	-	27.7 *	5.9	91.5
O	12- L. POOPO-HUA.	-	3686.0	14.7	22.393 * +	11953.9 * +	8.98 *	42.0	19.9 *	-	26.5 *	6.1	87.8

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Alc.Total mg/l	HCO3 mg/l	CO3 mg/l	CO2 mg/l	PO4 mg/l	NO3 mg/l	NO2 mg/l	SO4 mg/l	SiO2 mg/l	CN mg/l
				H:610 A:SI R:SI	H:SI A:SI R:280	H:el Ph>8.4 A:SI R:75	H:SI A:SI R:SI	H:3.5 A:7.0 R:85.0	H:40.0 A:50.0 R:40.0	H:1.0 A:10.0 R:SI	H:400 A:800 R:400	H:20 A:SI R:SI	H:0.1 A:0.1 R:0.1
R	1- R. RAMIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	2- R. COATA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	3- R. ILAVE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	4- R.DES-P.INT.	-	3810.0	92.1	85.4	6.7	-	0.04	0.11	-	253.2	0.4	-
L	5- R.DES-CAL.	-	3790.0	101.1	91.4	9.7	-	0.24	0.19	-	280.3	3.3	-
A	6- R. MAURI	-	3792.0	164.4	180.2	4.1	-	1.00	0.19	-	76.9	54.6 *	-
G	7- R.DES-P.JAP.	-	3735.0	114.6	111.3	3.3	-	0.49	0.34	-	218.8	16.2	-
O	8- R.DES-CHUQ.	-	3710.0	105.7	100.9	4.9	-	0.23	0.38	-	248.7	14.9	0.001
L	9- R.DES-P.ESP.	-	3700.0	123.5	117.1	6.4	-	0.09	0.26	-	296.4	1.5	0.001
A	10- L. URU-URU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	11- L. POOPO-PAZ.	-	3686.0	173.0	103.8	69.2	-	0.14	0.07	-	2871.4 * +	0.5	0.002
O	12- L. POOPO-HUA.	-	3686.0	161.2	95.9	65.3	-	0.16	0.06	-	3002.4 * +	0.7	0.002

Nota: \* = No satisface límite de consumo: Humano (H).  
 + = No satisface límite de consumo: Animal (A).  
 [Barra negra] = No satisface límite de consumo: Para riego (R)

CUADRO 4.4 B

PROMEDIOS TOTALES DE PARAMETROS FISICO-QUIMICOS POR CAMPAÑAS Y PUNTOS (1990-1991)  
 PROYECTO: (U.M.SA.- U.LAVAL)

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Cl mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	BO3	Fe mg/l	Mn mg/l	Cr mg/l	W mg/l
				H:250 A:400 R:400	H:200 A:SI R:SI	H:100 A:SI R:200	H:120 A:200 R:300	H:1000 A:SI R:SI	H:11 A:11 R:11	H:0.3 A:1.0 R:5.0	H:0.3 A:1.0 R:5.0	H:0.05 A:1.0 R:0.1	H:0.05 A:SI R:SI
R	1- R. RAMIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	2- R. COATA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	3- R. ILAVE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	4- R.DES-P.INT.	-	3810.0	307.4 *	51.8	37.6	200.2 * +	19.0	8.0	0.0	-	-	-
O	5- R.DES-CAL.	-	3790.0	353.3 *	71.2	38.1	236.8 * +	19.9	7.7	0.0	-	-	-
S	6- R. MAURI	-	3792.0	240.7	49.3	17.6	151.8 *	17.0	25.0 * + -	0.1	-	-	-
S	7- R.DES-P.JAP.	-	3735.0	328.4 *	65.8	28.6	218.4 * +	17.4	10.9	0.1	-	-	-
S	8- R.DES-CHUQ.	-	3710.0	393.5 *	74.8	31.1	253.0 * +	18.6	10.1	0.1	0.0	-	-
L	9- R.DES-P.ESP.	-	3700.0	549.0 * + -	80.3	43.4	344.2 * + -	22.9	13.1 * + -	0.1	0.0	-	-
A	10- L. URU-URU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	11- L. POOPO-PAZ.	-	3686.0	6912.8 * + -	485.4 *	434.7 * -	4372.1 * + -	235.2	137.5 * + -	0.1	0.0	-	-
O	12- L. POOPO-HUA.	-	3686.0	6919.6 * + -	488.1 *	443.6 * -	4350.7 * + -	239.9	145.6 * + -	0.1	0.0	-	-

	Puntos	Fecha	Altitud m./n.s.m.	Zn mg/l	Cu mg/l	Sn mg/l	Pb mg/l	Sb mg/l	As mg/l	Ag mg/l	Cd mg/l	Co mg/l	Ni mg/l
				H:5.0 A:5.0 R:5.0	H:1.0 A:0.5 R:0.2	H:0.002 A:SI R:SI	H:0.05 A:0.1 R:10.0	H:0.6 A:SI R:SI	H:0.05 A:0.2 R:2.0	H:0.1 A:SI R:0.2	H:0.01 A:0.05 R:0.01	H:0.05 A:0.10 R:0.05	H:0.1 A:1.0 R:2.0
R	1- R. RAMIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	2- R. COATA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	3- R. ILAVE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	4- R.DES-P.INT.	-	3810.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O	5- R.DES-CAL.	-	3790.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	6- R. MAURI	-	3792.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	7- R.DES-P.JAP.	-	3735.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	8- R.DES-CHUQ.	-	3710.0	0.0	0.0	0.5 *	0.03	0.07	0.27 * +	-	-	-	-
L	9- R.DES-P.ESP.	-	3700.0	0.0	0.0	0.3 *	0.02	0.06	0.22 * +	-	-	-	-
A	10- L. URU-URU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	11- L. POOPO-PAZ.	-	3686.0	0.0	0.0	0.4 *	0.21 * +	0.60 *	0.60 * +	-	-	-	-
O	12- L. POOPO-HUA.	-	3686.0	0.0	0.0	0.4 *	0.22 * +	0.69 *	0.62 * +	-	-	-	-

Nota: \* = No satisface límite de consumo: Humano (H).  
 + = No satisface límite de consumo: Animal (A).  
 - = No satisface límite de consumo: Para riego (R)

**CUADRO 4.5**

**EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO**

**PRIMERA CAMPAÑA**

**15-04-92**

**PROYECTO : T.D.P.S.- HIDROQUIMICA**

	Puntos	Fecha	Cond-cam mS/cm	pH-campo	Ca me/l	Mg me/l	Na me/l	K me/l	Cl me/l	SO4 me/l	HCO3 me/l	Ca/Mg	Ca o	RAS	RASo
R I O S	1- R. RAMIS	13-03-92	0.37	8.17	2.08	0.57	0.61	0.05	0.38	0.92	1.69	3.66	2.28	0.53	0.51
	2- R. COATA	13-03-92	0.60	8.47	1.54	0.40	2.94	0.21	3.32	0.37	1.07	3.81	2.58	2.99	2.41
	3- R. ILAVE	13-03-92	0.48	8.58	1.67	0.49	1.97	0.15	1.75	0.65	1.23	3.39	2.46	1.89	1.62
	4- R.DES-P.INT.	14-03-92	1.82	8.28	2.96	3.08	10.31	0.58	8.97	4.16	1.53	0.96	3.38	5.93	5.74
	5- R.DES-CAL.	14-03-92	2.24	8.78	4.17	3.08	13.25	0.55	12.97	5.00	1.43	1.36	4.40	6.96	6.85
	6- R. MAURI	14-03-92	1.11	8.12	2.03	1.00	6.33	0.52	6.38	1.46	2.63	2.04	1.86	5.15	5.30
	7- R.DES-P.JAP.	14-03-92	2.12	8.16	4.17	2.17	13.40	0.50	13.28	4.16	2.13	1.92	3.47	7.52	7.98
	8- R.DES-CHUQ.	15-03-92	2.27	8.13	4.83	1.81	13.88	0.43	14.00	3.75	2.29	2.67	3.65	7.62	8.40
L A G O	9- R.DES-P.ESP.	15-03-92	2.92	8.74	5.35	2.49	18.26	0.41	19.37	5.73	0.98	2.15	6.60	9.23	8.57
	10- L. URU-URU	15-03-92	19.50	10.02	27.99	27.16	153.00	4.26	172.45	41.64	0.54	1.03	30.91	29.13	28.39
	11- L. POOPO-PAZ.	16-03-92	60.88	7.58	50.50	79.67	496.14	14.95	510.85	108.27	6.82	0.63	20.57	61.50	70.08
	12- L. POOPO-HUA.	16-03-92	61.72	8.33	50.50	79.67	496.14	15.62	524.72	112.43	2.78	0.63	26.71	61.50	68.03

**CUADRO 4.6**

**EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO**

**SEGUNDA CAMPAÑA**

**15-08-92**

**PROYECTO : T.D.P.S.- HIDROQUIMICA**

	Puntos	Fecha	Cond-cam mS/cm	pH-campo	Ca me/l	Mg me/l	Na me/l	K me/l	Cl me/l	SO4 me/l	HCO3 me/l	Ca/Mg	Ca o	RAS	RASo
R I O S	1- R. RAMIS	10-07-92	0.688	8.52	3.24	1.18	2.23	0.09	1.57	2.27	2.50	2.75	2.43	1.50	1.66
	2- R. COATA	10-07-92	1.418	8.15	3.18	1.54	7.44	0.45	8.70	1.31	2.17	2.07	2.78	4.84	5.06
	3- R. ILAVE	10-07-92	0.642	8.37	2.17	0.81	2.73	0.20	2.75	1.06	1.34	2.66	2.78	2.23	2.03
	4- R.DES-P.INT.	10-07-92	1.860	9.03	2.85	3.62	10.75	0.56	9.31	5.83	1.38	0.79	3.52	5.97	5.69
	5- R.DES-CAL.	11-07-92	2.900	9.20	5.27	4.35	18.09	0.64	17.79	8.33	1.59	1.21	4.90	8.25	8.42
	6- R. MAURI	11-07-92	1.058	8.37	1.98	1.45	6.04	0.39	5.50	1.81	2.67	1.36	1.80	4.62	4.74
	7- R.DES-P.JAP.	11-07-92	1.986	8.52	3.40	2.35	12.37	0.47	12.03	4.37	2.45	1.45	2.82	7.29	7.69
	8- R.DES-CHUQ.	11-07-92	2.100	8.67	3.73	2.53	12.96	0.46	12.50	5.00	2.63	1.47	2.88	7.32	7.88
L A G O	9- R.DES-P.ESP.	13-07-92	2.890	8.69	3.95	3.44	18.26	0.59	18.18	5.62	1.91	1.15	3.75	9.50	9.63
	10- L. URU-URU	13-07-92	57.000	8.08	73.55	79.67	383.48	5.90	476.89	83.28	1.24	0.92	41.67	43.81	49.23
	11- L. POOPO-PAZ.	12-07-92	65.000	8.07	51.60	79.67	493.04	13.43	495.23	124.92	2.37	0.65	29.13	60.86	66.85
	12- L. POOPO-HUA.	12-07-92	79.500	7.75	57.09	99.59	600.84	16.11	566.27	166.56	4.83	0.57	27.30	67.89	75.43

**CUADRO 4.7**

**EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO**

TERCERA CAMPAÑA

15-01-93

PROYECTO : T.D.P.S.- HIDROQUIMICA

	Puntos	Fecha	Cond-cam mS/cm	pH-campo	Ca me/l	Mg me/l	Na me/l	K me/l	Cl me/l	SO4 me/l	HCO3 me/l	Ca/Mg	Ca o	RAS	RASo
R	1- R. RAMIS	04-12-92	0.615	8.46	2.91	1.09	1.79	0.08	1.36	2.60	1.55	2.68	3.05	1.27	1.25
	2- R. COATA	04-12-92	0.790	9.65	1.98	0.91	3.94	0.21	4.95	0.87	0.97	2.18	3.26	3.29	2.73
I	3- R. ILAVE	04-12-92	0.646	9.29	1.92	0.91	2.85	0.19	3.01	1.19	1.20	2.12	2.76	2.40	2.11
	4- R.DES-P.INT.	04-12-92	1.902	9.64	2.42	4.16	11.11	0.59	10.34	7.50	0.87	0.58	4.22	6.12	5.43
O	5- R.DES-CAL.	05-12-92	3.650	8.99	8.23	2.94	22.17	0.44	22.43	12.49	1.11	2.80	8.07	9.38	9.44
	6- R. MAURI	05-12-92	1.240	8.79	1.98	1.63	8.00	0.48	8.01	1.87	2.41	1.21	1.95	5.96	5.98
S	7- R.DES-P.JAP.	05-12-92	2.460	8.84	3.84	2.35	15.45	0.53	16.92	4.58	2.60	1.63	3.03	8.78	9.42
	8- R.DES-CHUQ.	05-12-92	2.600	9.08	4.50	2.17	17.56	0.49	17.05	5.00	2.63	2.07	3.31	9.61	10.60
L	9- R.DES-P.ESP.	07-12-92	4.650	8.29	7.14	4.53	33.43	0.76	34.45	9.89	2.21	1.58	5.21	13.85	15.15
	10- L. URU-URU	07-12-92	4.660	8.43	7.14	4.53	32.15	0.76	34.29	10.41	2.20	1.58	5.22	13.31	14.56
G	11- L. POOPO-PAZ.	06-12-92	214.000	8.27	43.91	328.19	1943.30	53.71	1864.24	572.56	9.93	0.13	51.85	142.47	140.97
	12- L. POOPO-HUA.	06-12-92	165.100	8.48	38.42	248.97	1403.50	42.20	1394.02	395.59	6.35	0.15	42.39	117.08	116.28

**CUADRO 4.8**

**EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO**

PROMEDIOS TOTALES DE PARAMETROS FISICO-QUIMICOS POR CAMPAÑAS Y PUNTOS (1990-1991)

PROYECTO: (U.M.SA.- U.LAVAL)

	Puntos	Fecha	Cond-cam mS/cm	pH-campo	Ca me/l	Mg me/l	Na me/l	K me/l	Cl me/l	SO4 me/l	HCO3 me/l	Ca/Mg	Ca o	RAS	RASo
R	1- R. RAMIS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2- R. COATA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I	3- R. ILAVE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4- R.DES-P.INT.	-	1.641	8.73	2.58	3.09	8.70	0.48	8.67	5.27	1.40	0.84	3.24	5.17	4.89
O	5- R.DES-CAL.	-	1.946	8.91	3.55	3.14	10.29	0.51	9.96	5.42	1.50	1.13	3.84	5.63	5.51
	6- R. MAURI	-	1.169	8.49	2.46	1.45	6.60	0.44	6.79	1.60	2.63	1.70	2.09	4.72	4.96
S	7- R.DES-P.JAP.	-	1.777	8.54	3.29	2.37	9.50	0.45	9.26	4.56	1.82	1.38	3.23	5.65	5.67
	8- R.DES-CHUQ.	-	2.000	8.46	3.73	2.56	11.00	0.48	11.10	5.18	1.65	1.46	3.74	6.20	6.20
L	9- R.DES-P.ESP.	-	2.536	8.43	4.01	3.57	14.96	0.59	15.48	6.17	1.92	1.12	3.69	7.69	7.86
	10- L. URU-URU	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	11- L. POOPO-PAZ	-	22.240	8.90	24.22	35.77	190.09	6.02	194.95	59.78	1.70	0.68	16.12	34.71	37.32
	12- L. POOPO-HUA.	-	22.393	8.88	24.36	36.51	189.16	6.14	195.14	62.51	1.57	0.67	16.81	34.29	36.63

Cuadro 4,9

ANÁLISIS DE ELEMENTOS CONTAMINANTES EN Lodos DEL SISTEMA TOPS  
(Agosto de 1992)

Muestra No.	Lugar	Cianuro (ppm)	Antimonio (ppm)	Cadmio (ppm)	Cobalto (ppm)	Cobre (ppm)	Cromo (ppm)	Estaño (ppm)	Hierro (ppm)	Manganeso (ppm)	Mercurio (ppm)	Níquel (ppm)	Plata (ppm)	Plomo (ppm)	Niobio (ppm)	Zinc (ppm)
1	Río Raris	< 0.02	< 2	< 0.1	3.9	6	6.9	6	9738	327	0.028	6.6	< 0.1	8.2	< 10	46
2	Río Coata (Juliacá)	< 0.02	< 2	2.8	7.2	56	11.8	4	13519	751	0.516	11.8	< 0.1	102	< 10	87
3	Río Ilave	< 0.02	< 2	0.5	4.2	13	4.3	8	9151	474	0.116	3.9	< 0.1	15.3	< 10	51
4	Desaguadero	< 0.02	< 2	< 0.1	1.2	16	3.0	< 1	8066	59	0.007	1.7	< 0.1	< 0.5	< 10	25
5	Calacoto	< 0.02	< 2	0.1	6.8	19	11.4	< 1	11733	499	0.008	12.7	< 0.1	12.9	< 10	49
6	Río Mauri	< 0.02	< 2	< 0.1	2.2	5	4.2	10	4625	144	0.011	2.6	< 0.1	< 0.5	< 10	16
7	Puente Japonés	< 0.02	< 2	< 0.1	2.5	11	2.9	< 1	4726	214	0.006	3.9	< 0.1	5.4	< 10	28
8	Chuquiñia	0.10	< 2	0.1	2.6	8	0.9	< 1	4208	177	0.008	1.9	< 0.1	2.0	< 10	39
9	Lago Poopó (Huari)	< 0.02	< 2	2.2	2.9	14	0.3	8	10066	375	0.029	3.3	< 0.1	19.4	< 10	79
10	Lago Poopó (Pazña)	< 0.02	< 2	0.8	1.5	16	0.5	18	9509	468	0.076	4.5	< 0.1	16.5	< 10	69
11	Lago Uru Uru - Parte Oriental - Parte Occidental	< 0.02	< 2	0.5 0.5 0.5	8.1	31 33 30	9.0	13	25658	465	0.140 0.16 0.12	13.5	< 0.1	77 104 50	< 10	59
12	Río Desaguadero - Brazo Izq. (Pte Esp) - Brazo Central - Brazo Derecho	< 0.02	< 2	0.4 0.9 0.2 < 0.1	6.1	27 52 22 8	10.3	7	12494	422	0.012 0.04 < 0.01 < 0.01	10.3	< 0.1	17.3 32 11 8	< 10	47

c Cuadro 4,10

ANÁLISIS DE ELEMENTOS CONTAMINANTES EN LAGOS DEL SISTEMA TIPS  
(Diciembre de 1992)

Muestra No.	Lugar	Antimonio (ppm)	Arsénico (ppm)	Cadmio (ppm)	Cobre (ppm)	Cromo (ppm)	Estafío (ppm)	Manganeso (ppm)	Mercurio (ppm)	Plomo (ppm)	Zinc (ppm)
1	Río Ramis	< 2	< 0.1	0.1	6	4.2	5	294		11.4	37
2	Río Coata										
	- Juliaca	< 2	< 0.1	2.9	56	8.5	5	878	0.08	95	383
	- Coata	< 2	< 0.1	1.9	35	6.5	4	528		81	315
3	Río Ilave	< 2	< 0.1	0.3	10	2.6	6	254	< 0.01	13.9	36
4	Desaguadero	< 2	< 0.1	0.1	36	1.4	< 1	124		8.2	30
5	Calacoto	< 2	< 0.1	0.3	20	5.7	< 1	389		14.8	36
6	Río Mauri	< 2	< 0.1	0.1	6	3.2	7	208		3.3	14
7	Puente Japonés	< 2	< 0.1	< 0.1	12	2.1	< 1	238		7.6	16
8	Chuquiña	< 2	0.8	< 0.1	6	1.5	< 1	147		5.6	12
9a	Lago Poopó (Milañique)	< 2	< 0.1	0.2	30	5.4	15	587		24.5	101
10	Lago Poopó (Pazña)	< 2	< 0.1	0.4	13	0.9	12	527	0.04	9.9	29
11	Lago Uru Uru (promedio)	< 2	< 0.1	0.5	28	5.0	10	477	0.03	44	71
	- Parte Oriental			0.2	22				0.02	42	
	- Parte Occidental			0.9	34				0.04	46	
12	Río Desaguadero (promedio)	< 2	< 0.1	0.5	36	8.0	6	513	0.03	18	76
	- Brazo Izq. (Pte. Español)			1.0	49				0.07	29	
	- Brazo Central			0.2	29				0.02	14	
	- Brazo Derecho			0.1	29				0.02	11	

CUADRO 4.11: RESULTADO DE LOS ANALISIS FISICO - QUIMICO DE MUESTRAS DE AGUAS SUBTERRANEAS SISTEMA T.D.P.S.

CUENCA/ SECTOR	HOJA EBC. 1:250000 PAIS	No.	PUNTO	UBICACION COMUN. LOC. O POB.	FECHA	HORA MUESTREO	TEMP.	COND.-CAM.	TDS-LAB	PH-LAB.	DUR.	ALC.TOT.	ANIONES					CATIONES																				
							C	ma/cm	mg/l		d	mg/l	HCO3	CO3	SO4	Cl	BO3	Ca	Mg	Na	K	Fe																
							H:9-15 A:SI R:SI	H:0.1-1 A:5.0 R:3.0	H:500-15 A:5000 R:500-35	H:8.5-8.5 A:8.5-8.0 R:5.5-9.0	H:25 A:SI R:SI	H:810 A:SI R:SI	H:SI A:SI R:280	H:SI Ph>8.4 A:SI R:75	H:400 A:800 R:400	H:250 A:400 R:400	H:11 A:11 R:11	H:200 A:SI R:SI	H:100 A:SI R:200	H:120 A:200 R:300	H:1000 A:SI R:SI	H:0.3 A:1.0 R:5.0																
RAMIS	03 - PE	1	P-40	SUCAPAYA	04-12-92	11:30	-	0.740	371	8.48	13.6	336.7																										
RAMIS	03 - PE	11	P-14	SN.PEDRO DE COLLANA	02-12-92	12:20	14.0	1.101	588	7.52	17.8	645.5																										
RAMIS	03 - PE	13	P-20	COLLANA	02-12-92	10:50	14.8	0.822	288	8.45	14.2	220.9																										
RAMIS	03 - PE	15	P-22	SACASCO	02-12-92	9:44	13.6	1.270 *	609	8.46	21.9	380.2																										
RAMIS	03 - PE	16	P-08	CAMINACA	08-12-92	14:00	14.2	0.719	359	8.44	17.8	192.2																										
COATA	03 - PE	2	P-85	JULJACA	04-12-92	18:30	-	1.198 *	600	7.94	18.1	634.4 *																										
COATA	03 - PE	8	P-81	CORISUYO	01-12-92	12:50	13.5	0.407	198	8.45	10.0	209.3																										
COATA	03 - PE	10	P-91	COATA	01-12-92	18:10	12.5	5.900 *	2980 *	7.38	91.5 *	1185.5 *																										
COATA	03 - PE	14	P-57	RANCHO	01-12-92	11:25	14.0	0.195	83	8.29	3.2	65.1																										
ILAVE	04 - PE	3	P-24	MULLACANI	05-12-92	9:20	14.5	0.185	89	8.12	3.0	92.0																										
ILAVE	04 - PE	4	P-16	LUPACA	05-12-92	12:22	13.2	0.305	146	8.04	5.5	170.8																										
ILAVE	03 - PE	5	P-133	JAYU JAYU	19-12-92	-	14.8	0.388	182	7.45	7.8	229.3																										
ILAVE	03 - PE	8	P-183	ANGCACA	08-12-92	17:30	11.8	0.405	198	8.28	7.2	112.0																										
ILAVE	03 - PE	12	P-143	CAPALLA	03-12-92	11:00	19.5 *	0.302	150	7.94	8.1	111.3																										
ILAVE	04 - PE	17	P-12	ROSAGANI	03-12-92	18:30	13.3	0.234	114	7.87	4.3	58.7																										
ILAVE	04 - PE	16	P-21	CALLATA	03-12-92	18:40	13.0	0.104	46	7.80	1.8	18.0																										
ILAVE	03 - PE	19	P-164	CHIJIHAYA	03-12-92	12:40	18.8 *	0.298	138	8.08	5.9	88.4																										
ILAVE	03 - PE	38	P-133	JAYU JAYU	05-12-92	13:40	14.0	0.390	187	8.48	7.3	223.8																										
ILLPA	03 - PE	7	P-97	ILLPA ATUNCOLLA	01-12-92	9:30	14.5	2.630 *	1150	8.08	40.2 *	401.7																										
ILLPA	03 - PE	9	P-96	ILLPA ATUNCOLLA	01-12-92	9:45	11.0	2.130 *	1370	7.77	33.2 *	888.3 *																										
ANCORAIMES	06 - BO	38	M-1	LUIJU - CACHI ANCOR.	08-10-92	16:10	20.7 *	0.125	83	7.4	44.4	81.5																										
KEKA	06 - BO	20	P-8	PARIRI	10-12-92	18:40	15.2 *	0.132	80	7.78	1.8	48.5																										
ACHACACHI	04 - BO	23	P-5	ESTACION BELEN	13-12-92	12:05	13.8	0.618	303	7.28	10.8	148.4																										
ACHACACHI	04 - BO	24	P-8	ACHACACHI NORTE	13-12-92	11:35	13.8	0.257	119	7.07	4.2	59.5																										
CATARI	08 - BO	21	P-111	ILATA CENTRO CATARI	10-12-92	11:28	13.9	0.998	503	8.21	13.8	137.5																										
CATARI	08 - BO	22	P-138	BAN ANTONIO	10-12-92	8:30	12.1	0.388	177	7.98	8.3	98.8																										
CATARI	08 - BO	25	P-19	LACAYA	11-12-92	8:35	14.7	0.238	108	8.04	4.7	98.7																										
CATARI	08 - BO	37	P-82	TILATA	08-01-93	10:00	14.4	0.129	52	8.68	1.1	31.8																										
TIWANACU	06 - BO	28	P-30	P.C.JAHUIRA PAMPA	11-12-92	11:20	15.5 *	0.829	312	7.95	12.9	172.0																										
TIWANACU	06 - BO	27	P-31	P.C.JAHUIRA PAMPA	11-12-92	11:30	13.0	0.954	485	8.18	26.0 *	378.4																										
TIWANACU	06 - BO	28	P-37	KHABA ACHUTA	11-12-92	-	13.2	0.113	46	7.72	2.1	38.0																										
DEBAG.	08 - BO	29	P-106	ESTRODI	11-12-92	13:35	11.7	0.858	437	8.58	21.9	313.5																										
DEBAG.	08 - BO	30	P-103	JESUS DE MACHACA	11-12-92	13:35	13.0	0.714	353	8.27	19.9	172.9																										
DEBAG.	08 - BO	31	P-10	SN MIGUEL DE LLANGA	15-12-92	17:00	14.2	3.270 *	1820 *	8.71	22.8	168.3																										
DEBAG.	08 - PE	32	P-21	SANTA CRUZ DE CUMI	10-12-92	9:00	-	0.607	304	8.37	11.1	218.0																										
DEBAG.	08 - BO	34	P-328	PUERTO CHILAHUALA	15-12-92	13:35	12.3	0.748	360	7.10	11.2	231.8																										
DEBAG.	08 - BO	35	P-233	ESTANCIA UMACHUCO	15-12-92	7:10	10.0	0.562	279	8.86	10.4	204.8																										
ORURO	10 - BO	33	P-22	JATITA PAMPA	16-12-92	9:30	15.7 *	1.101 *	525	7.70	9.9	337.9																										
PARIA	08 - BO	39	P-10	CORDEOR	18-08-92	-	-	-	-	7.7	288 *	-																										

Dureza en mg/l de CaCo3. En muestra de M - 1 Lujo - Cachi (Ancoraimes) se determino nitrato 0,9 mg/l

Nota: \* = No satisface limite de consumo: Humano (H).  
+ = No satisface limite de consumo: Animal (A).  
■ = No satisface limite de consumo: Para riego (R)

CUADRO 4.12:

EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO - MUESTRAS DE AGUAS SUBTERRANEAS SISTEMA T.D.P.S.

CUENCA/SECTOR	HOJA ESC. 1:250000	No	PUNTO	UBICACION COMUN. LOC. O POB.	FECHA	HORA MUESTREO	COND-CAM. ma/cm	PH-LAB.	C A T I O N E S					A N I O N E S					Ca/Mg	Ca o	RAS	RASo
									Ca me/l	Mg me/l	Na me/l	K me/l	Fe me/l	Cl me/l	SO4 me/l	CO3 me/l	HCO3 me/l	BO3 me/l				
RAMIS	03 - PE	1	P-40	SUCAPAYA	04-12-92	11:30	0.740	8.48	2.909	1.267	2.854	0.100	0.000	1.955	0.021	0.000	5.5	0.0089	2.30	1.42	1.97	2.24
RAMIS	03 - PE	11	P-14	SN.PEDRO DE COLLANA	02-12-92	12:20	1.101	7.52	3.239	2.534	4.568	0.263	0.007	2.688	0.021	0.160	6.9	0.8823	1.28	1.22	2.89	2.83
RAMIS	03 - PE	13	P-20	COLLANA	02-12-92	10:50	0.622	8.45	2.890	1.810	0.792	0.092	0.000	0.962	0.687	0.000	3.6	0.6222	1.49	1.71	0.53	0.73
RAMIS	03 - PE	15	P-22	SACASCO	02-12-92	9:44	1.270	8.48	3.566	3.167	2.749	1.999	0.000	2.535	2.916	0.000	6.2	0.6885	1.13	1.80	1.50	1.80
RAMIS	03 - PE	16	P-08	CAMINACA	06-12-92	14:00	0.719	6.44	4.227	1.448	0.918	0.205	0.000	0.243	3.749	0.000	3.2	0.3774	2.92	2.49	0.54	0.92
COATA	03 - PE	2	P-85	JULIACA	04-12-92	16:30	1.198	7.94	5.160	2.937	3.684	0.306	0.004	2.596	0.083	0.000	10.4	0.1581	1.78	1.48	1.83	2.39
COATA	03 - PE	8	P-61	CORISUYO	01-12-92	12:50	0.407	8.45	1.901	1.287	0.335	0.215	0.000	0.211	0.208	0.120	3.4	0.0918	1.50	1.40	0.27	0.38
COATA	03 - PE	10	P-91	COATA	01-12-92	16:10	5.600	7.38	17.585	19.907	25.883	1.742	0.000	27.542	10.415	0.000	19.4	1.4994	0.88	3.01	5.98	7.19
COATA	03 - PE	14	P-87	RANCHO	01-12-92	11:25	0.195	6.29	0.584	0.452	0.409	0.069	0.000	0.103	0.292	0.180	1.0	0.0989	1.29	1.40	0.57	0.57
ILAVE	04 - PE	3	P-24	MULLACANI	05-12-92	9:20	0.165	6.12	0.574	0.452	0.409	0.168	0.015	0.141	0.021	0.000	1.5	0.0612	1.27	1.05	0.57	0.57
ILAVE	04 - PE	4	P-18	LUPACA	05-12-92	12:22	0.305	6.04	1.003	0.724	0.692	0.246	0.008	0.054	0.021	0.000	2.8	0.0408	1.39	1.03	0.74	0.81
ILAVE	03 - PE	5	P-133	JAYU JAYU	19-12-92	-	0.388	7.45	1.811	0.724	0.757	0.182	0.011	0.067	0.062	0.000	3.8	0.2091	2.50	1.26	0.67	0.81
ILAVE	03 - PE	6	P-153	ANCCACA	05-12-92	17:30	0.405	6.28	1.592	0.724	1.066	0.064	0.004	1.047	0.812	0.000	1.8	0.0818	2.20	1.83	0.99	1.15
ILAVE	03 - PE	12	P-143	CAPALLA	03-12-92	11:00	0.302	7.94	1.118	0.814	0.600	0.141	0.000	0.334	0.333	0.467	1.6	0.3213	1.37	1.58	0.81	0.71
ILAVE	04 - PE	17	P-12	ROSACANI	03-12-92	15:30	0.234	7.87	0.933	0.543	0.535	0.153	0.000	0.371	0.271	0.347	0.8	0.3927	1.72	2.19	0.82	0.70
ILAVE	04 - PE	18	P-21	CALLATA	03-12-92	16:40	0.104	7.80	0.439	0.161	0.183	0.069	0.000	0.051	0.062	0.000	0.3	0.3213	2.43	2.43	0.33	0.36
ILAVE	03 - PE	19	P-184	CHUICHAYA	03-12-92	12:40	0.288	8.06	0.988	0.905	0.361	0.127	0.000	0.222	0.804	0.260	1.3	0.1530	1.09	1.67	0.37	0.45
ILAVE	03 - PE	38	P-133	JAYU JAYU	05-12-92	13:40	0.390	8.48	1.632	0.724	0.728	0.159	0.011	0.059	0.021	0.000	3.7	0.0000	2.25	1.20	0.67	0.67
ILLPA	03 - PE	7	P-97	ILLPA ATUNCOLLA	01-12-92	9:30	2.630	8.06	7.885	5.248	9.592	0.468	0.004	8.363	9.185	0.000	8.6	0.5100	1.46	2.70	3.77	4.52
ILLPA	03 - PE	9	P-98	ILLPA ATUNCOLLA	01-12-92	9:45	2.130	7.77	8.109	6.104	11.419	0.593	0.050	11.987	0.000	0.000	14.2	0.2958	1.33	1.78	4.28	5.01
ANCORAIMES	05 - BO	38	M-1	LUJRU - CACHI ANCORAIMES	08-10-92	15:10	0.125	7.4	0.798	0.230	0.131	0.046	0.007	0.168	0.167	0.000	1.0		3.47	1.87	0.18	0.29
KEKA	06 - BO	20	P-6	PARIRI	10-12-92	15:40	0.132	7.78	0.384	0.181	0.583	0.017	0.000	0.059	0.271	0.000	0.8	0.0051	2.12	1.21	1.10	0.73
ACHACACHI	04 - BO	23	P-5	ESTACION BELEN	13-12-92	12:05	0.618	7.26	1.482	2.081	2.175	0.049	0.004	1.000	2.083	0.613	2.1	0.4539	0.71	1.66	1.63	1.80
ACHACACHI	04 - BO	24	P-6	ACHACACHI NORTE	13-12-92	11:35	0.257	7.07	0.788	0.724	0.881	0.059	0.079	0.030	1.021	0.000	1.0	0.0969	1.06	1.89	0.77	0.77
CATARI	06 - BO	21	P-111	ILATA CENTRO CATARI	10-12-92	11:25	0.998	6.21	3.403	1.178	5.068	0.070	0.000	3.613	3.541	0.000	2.3	0.0616	2.89	2.74	3.35	3.37
CATARI	06 - BO	22	P-138	SAN ANTONIO	10-12-92	6:30	0.366	7.98	1.781	0.805	0.800	0.153	0.007	0.523	0.612	1.703	1.5	0.3570	1.97	2.20	0.69	0.90
CATARI	06 - BO	25	P-19	LACAYA	11-12-92	8:35	0.236	6.04	1.096	0.362	0.426	0.082	0.000	0.085	0.271	0.000	1.6	0.1683	3.03	1.52	0.50	0.65
CATARI	06 - BO	37	P-82	TILATA	08-01-93	10:00	0.129	6.58	0.180	0.165	0.513	0.034	0.000	0.110	0.187	0.000	0.5	0.2244	1.09	0.97	1.24	0.61
TIWANACU	06 - BO	26	P-30	P.C.JAHUIRA PAMPA	11-12-92	11:20	0.629	7.95	3.703	0.805	1.640	0.050	0.004	0.297	2.395	0.073	2.8	0.2346	4.09	2.46	1.08	1.65
TIWANACU	06 - BO	27	P-31	P.C.JAHUIRA PAMPA	11-12-92	11:30	0.954	6.18	6.806	1.267	1.714	0.123	0.000	0.593	3.333	0.000	6.2	0.1020	5.37	2.26	0.85	1.66
TIWANACU	06 - BO	28	P-37	KHASA ACHUTA	11-12-92	-	0.113	7.72	0.484	0.132	0.126	0.020	0.018	0.000	0.000	0.000	0.8	0.0989	3.75	1.73	0.23	0.30
DESAG.	06 - BO	29	P-105	ESTRODI	11-12-92	13:35	0.656	6.56	3.129	4.072	2.010	0.119	0.000	0.289	4.166	0.400	4.9	0.1938	0.77	1.60	1.06	1.25
DESAG.	06 - BO	30	P-103	JESUS DE MACHACA	11-12-92	13:35	0.714	6.27	4.611	1.267	0.696	0.069	0.000	0.051	3.958	1.120	2.3	0.0785	3.84	3.22	0.41	0.76
DESAG.	09 - BO	31	P-10	SN MIGUEL DE LLANGA	15-12-92	17:00	3.270	6.71	4.800	2.484	21.728	0.437	0.000	20.437	6.249	0.000	3.1	1.0047	1.93	3.31	11.39	8.25
DESAG.	05 - PE	32	P-21	SANTA CRUZ DE CUMI	10-12-92	9:00	0.607	6.37	3.019	0.362	2.388	0.105	0.000	0.393	1.666	0.633	3.3	0.1377	8.34	1.95	1.84	2.28
DESAG.	06 - BO	34	P-328	PUERTO CHILAHUALA	15-12-92	13:35	0.748	7.10	2.894	0.724	3.528	0.163	0.000	0.784	2.083	0.000	3.8	0.4539	4.09	1.79	2.60	2.74
DESAG.	06 - BO	35	P-233	ESTANCIA UMACHUCO	15-12-92	7:10	0.582	6.68	2.799	0.724	1.784	0.188	0.000	0.924	0.854	0.000	3.4	0.1989	3.87	1.83	1.34	1.75
ORURO	10 - BO	33	P-22	JATITA PAMPA	16-12-92	9:30	1.101	7.70	1.611	1.357	6.938	0.156	0.000	2.810	1.666	0.000	5.5	0.4233	1.33	1.15	5.51	3.74
PARIA	06 - BO	39	P-10	CORDEOR	16-08-92	-	-	7.7	-	-	-	-	-	15.28	75.000	-	0.0000	-	-	-	-	-

(\*) : Dureza en mg/l de CaCo3. En muestra de M - 1 Lujro - Cachi (Ancoraimes) se determino nitratos 0,9 mg/l.



5.

### LEGISLACION EXISTENTE

Existen diversas leyes, decretos y disposiciones sobre uso de aguas y control, tratamiento y deposición de contaminantes en ambos países, Bolivia y Perú, integrantes del sistema T.D.P.S., que se citan a continuación:

#### BOLIVIA:

- Ley de 4 de Noviembre de 1874, art. único: Conducción de aguas en Beneficio de Fondos inferiores.
- Decreto de 8 de Septiembre de 1879 y Ley de Aguas del 28 de Noviembre de 1906, sobre Dominio y Aprovechamiento de Aguas.
- Oposición a la Adjudicación de Aguas, circular de 27 de Junio 1913.
- De las servidumbres derivadas (Código Civil Boliviano).
- Ley de 27 de Noviembre de 1945; sobre Aprovechamiento de Aguas sobrantes.
- Decreto Ley Nº 03464, del 2 de Agosto de 1953 y Ley de 29 de Octubre de 1956, Reforma Agraria. Del Régimen de Aguas.
- Código de Minería del 7 de Mayo de 1965, Uso y aprovechamiento de aguas.

Un proyecto de Ley de Aguas fué discutido, integrado en sus dos versiones ó propuestas en varios foros y seminarios, fué aprobado por el H. Senado Nacional, el 7 de enero de 1988, pero actualmente está detenido en la H. Cámara de Diputados sin que haya aparentemente prisa por su aprobación y promulgación.

La legislación vigente sobre la descarga de desechos industriales está constituido por:

- a) Decreto Supremo N° 17815 del 27 de Noviembre de 1980 y el "Reglamento sobre lanzamiento de Desechos Industriales en los Cuerpos de Agua", aprobado por Resolución Ministerial N° 010 del 24 de Enero de 1985.
- b) El "Reglamento General para el Manejo de Resíduos Sólidos", aprobado por Decreto Supremo N° 14368 del 14 de Febrero de 1977.

### PERU

Ley General de Aguas, del 24 de Julio de 1969, Decreto Ley N° 17752.

Norma los aspectos de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos en sus diversas formas de ocurrencia en el medio natural.

Los aspectos normativos se refieren a los aspectos evaluativos (de estudios); así como su aprovechamiento y conservación. En esencia la citada Ley específica que las aguas pertenecen al estado peruano, en cualquier forma y ocurrencia y consecuentemente, para su aprovechamiento y explotación requiere la autorización de los organismos públicos pertinentes.

Esta Ley está en vigencia y se está aplicando en Proyectos Públicos y Privados, sin excepción alguna y se encuentra íntegramente reglamentada.

6.

### DIAGNOSTICO HIDROQUIMICO

Una primera consideración que emerge de los análisis de las aguas superficiales es que la cuenca puede dividirse en 5 tramos, según la salinidad de sus aguas:

- El lago Titicaca y sus afluentes, con aguas de salinidad baja.
- La parte situada entre el Puente Internacional y Calacoto, en el Desaguadero con aguas un poco más salinas.
- La confluencia del río Desaguadero con el río Mauri, con salinidad baja.
- La zona que va desde aguas abajo de la confluencia del Desaguadero y Mauri hasta el Puente Español, con aguas salinas.
- La zona del extremo sur, del río Desaguadero con aguas cada vez más salinas hasta llegar al máximo en el lago Poopó y en el Salar de Coipasa.

La calidad del agua del sistema T.D.P.S. es muy variable y presenta problemáticas bien diferenciadas. Así, en el lago Titicaca se puede señalar que prácticamente no existen problemas, a no ser de eutrofización por algas en la bahía de Puno, debido a los despejos disueltos sin tratamiento de aguas servidas de la ciudad; mientras que en algunos ríos hay problemas localizados de contaminación minera: como en la cuenca del Coata y en la cuenca sur del altiplano a partir de La Joya. Se tiene por otro lado contaminación puntual por despejos domésticos en Desaguadero y en Oruro; y finalmente problemas de salinización, gran parte de estos originados naturalmente.

Los problemas generales más importantes que se han identificado en el sistema TDPS, son:

- Salinización natural, gradual desde Puente Japonés hacia el sur de la cuenca, haciéndose más grave en los lagos Uru-Uru y Poopó cuyo proceso natural de transformarse en salares, se acelera cuando ocurren años secos.
- Contaminación natural, particularmente con arsénico, cuyos valores altos se detectaron desde Eucaliptus hacia el sur de la cuenca, debido probablemente a la salinización del medio.

- Contaminación antrópica, sobre todo en el área urbana: Puno, Viacha, El Alto y Oruro, con problemas de contaminación bacteriológica debida a los desechos domésticos (basuras y aguas servidas), y defectos en sus redes de alcantarillado (a veces inexistentes); esto debido a una falta de planificación e implementación de un programa de saneamiento ambiental y el incumplimiento de las reglamentaciones sobre lanzamiento de desechos líquidos y sólidos en cuerpos de agua, que ocasionan además contaminación inorgánica.

Asimismo en varias áreas urbanas de las ciudades citadas existe contaminación industrial, especialmente al sur de la cuenca, por efluentes mineros que desembocan (ó desembocaron) en los lagos Uru-Uru y Poopó. Como no existe una adecuada disposición final de los inertes y desmontes, que por efectos de lluvias y lixiviación contaminan el medio ambiente, el resultado negativo se vé en el deterioro y extinción de la fauna piscícola.

El detalle concerniente a los elementos contaminantes puede sintetizarse de la siguiente manera:

### **Aguas Superficiales**

Existe una aparente tendencia al incremento en las concentraciones de los diferentes elementos químicos, de norte a sur del sistema T.D.P.S., las cuales alcanzan valores muy críticos en la región de los lagos Uru-Uru y Poopó.

Las ocurrencias de periodos lluviosos en el sistema ejercen una influencia directa y rápida en la calidad de las aguas, pues por efectos de la dilución resultante, se modifican notablemente las características fisico-químicas de las mismas, tanto a lo largo del año como entre años secos y años húmedos.

Del análisis de los resultados obtenidos (y desde un punto de vista fisico-químico) se puede señalar que las aguas superficiales de los ríos en los puntos de muestreo, no son aptas para consumo humano directamente, principalmente por sus contenidos de wolframio o tungsteno y de estaño en toda la cuenca como puede deducirse de las figuras 4.22 y 4.23 (si bien se debe tomar en cuenta que estos elementos ocurren naturalmente

en la cuenca) así como por sus contenidos de cloro, sodio y sílice (ver figuras 4.11, 4.4.13 y 4.15) en el caso de los ríos Mauri y Desaguadero. Adicionalmente se tienen restricciones físicas (como color, turbidez y material en suspensión), características que con un tratamiento primario se podrían eliminar sin dificultades.

Para uso animal (abrevamiento) las aguas de los ríos afluentes al lago Titicaca (Ramis, Coata, e Ilave) no tendrían restricciones; mientras que las aguas de los ríos Mauri y Desaguadero limitaciones estacionales de cloro, sodio y boro.

Para fines de riego, de acuerdo a los criterios señalados en el anexo C, las muestras obtenidas se pueden clasificar de acuerdo a su tenor de salinidad en:

- (C<sub>1</sub>) Aguas sin peligro de salinidad
- (C<sub>2</sub>) Aguas con peligro de salinidad medio: En esta categoría están las muestras de los ríos Ramis, Coata, e Ilave.
- (C<sub>3</sub>) Aguas con peligro de salinidad alto: Pertenecen a este grupo: las muestras de los ríos Mauri y Desaguadero en Puente Internacional y Puente Japonés.
- (C<sub>4</sub>) Aguas con peligro de salinidad muy alta: Conformadas por: las muestras de Calacoto, Chuquiña y Puente Español (sobre el río Desaguadero).

Los lagos Uru-Uru y Poopó tienen valores muy superiores a la clase C<sub>4</sub>.

De acuerdo a su tenor de sodio, se pueden clasificar en:

- (S<sub>1</sub>) Baja peligrosidad sódica - Pertenecen: las muestras de los ríos Ramis, Coata, e Ilave.
- (S<sub>2</sub>) Mediana peligrosidad sódica - En este grupo están los ríos Mauri y Desaguadero en Puente Internacional, y en Puente Japonés.
- (S<sub>3</sub>) Alta peligrosidad sódica - donde se ubican las muestras del río Desaguadero en Calacoto, en Chuquiña y en Puente Español.

Las muestras de los lagos Uru-Uru y Poopó se ubican fuera de categoría, ya que las aguas ya cargadas de sales se concentran por evaporación y reciben agua de escorrentía y de los manantiales de las lomas terciarias, ricas en sales y yeso.

Del análisis de la figura 6.1, donde se muestra la distribución y tendencia de la calidad de las aguas superficiales con fines de riego y de los cuadros 4.5; 4.6; 4.7 y 4.8, se puede señalar que:

- Se pueden utilizar para riego sin problemas: las aguas de los ríos Ramis, Coata, e Ilave (C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>)
- Se pueden utilizar para riego con limitaciones: los ríos Mauri y Desaguadero en Puente Internacional y Puente Japonés (C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>).
- Se pueden utilizar para riego con adecuadas acciones de manejo de agua y de suelo: las aguas del río Desaguadero en Calacoto y Chuquiña (C<sub>4</sub>S<sub>3</sub>)

En el Puente Internacional se registraron bajas concentraciones de oxígeno disuelto, lo que se debería a la contaminación doméstica (resultado del aumento de la población estable y flotante y de las poblaciones fronterizas de Desaguadero) y a las basuras, que, además, provocan el desarrollo de la flora saprófita anormal que consume una mayor cantidad de oxígeno disuelto.

En los lagos Uru-Uru y Poopó existe una deficiencia permanente de oxígeno disuelto, deficiencia que se incrementa con la disminución del volumen de agua en los años secos (insaturación constante que lleva a una anoxia crónica), ya que en muchos lugares se aíslan puntos de agua que luego se convierten en aguas estancadas y que en el caso de Oruro, se agrava con las descargas de los efluentes domésticos de la ciudad.

Es necesario subrayar las situaciones críticas puntuales que ocurren en El Alto y Oruro (Bolivia) y en Puno (Perú), donde se han identificado problemas muy graves de contaminación antrópica, frente a los cuales resulta necesaria una intervención de control, con tratamientos de efluentes en plantas adecuadas, para la disminución de la carga contaminante.

En función de la evolución de la conductividad y del total de sólidos disueltos, es importante subrayar el papel regulador de la salinidad que tienen tanto el lago Titicaca como el río Mauri, sobre la evolución (dilución) de la cuenca del Desaguadero.

El río Mauri es el principal aportador natural de sílice disuelta a la cuenca sur del Desaguadero, con valores que alcanzan hasta 81 mg/l, como resultado de la presencia de series eruptivas en la cabecera de la cuenca.

### **Aguas subterráneas**

Desde un punto de vista físicoquímico y con fines de consumo doméstico, la calidad de las aguas subterráneas muestreada fué de mejor calidad que las superficiales y, salvo raras excepciones, son aptas para consumo en general.

La aptitud para consumo humano, en la mayoría de las fuentes, se halla dentro de los límites de potabilidad (aceptables, regulares, buenas y muy buenas), salvo en muy pocos casos, en algunas zonas donde sus características de dureza, composición química sobrepasan los límites permisibles, bacteriológicamente, y por el grado de contaminación, se restringe su uso, clasificándose como mediocres y malas.

Los tipos de aguas subterráneas predominantes en el sistema son: cálcicas - magnésicas - sódicas -sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas cloruradas y/o sulfatadas sódicas.

En algunas cuencas hidrogeológicas, se han detectado, localmente, contaminación de acuíferos, de origen mineralógico-tóxico y también biológico principalmente en los pozos someros ubicados aguas abajo de focos de contaminación (pozos sépticos, plantas de aguas servidas, ríos conduciendo aguas negras, desechos industriales, etc).

La **conductividad eléctrica (CE)** en el contexto general del sistema, como un indicador del contenido total de sales disueltas en el agua, evoluciona en el espacio con tenores que siguen una tendencia creciente del norte al sur entre  $500 < CE < 5.000$  micromhos/cm a  $+25^{\circ}\text{C}$ . Según este rango de conductividad las aguas tienen una salinidad baja, media, alta y muy alta. Asimismo se distingue otra tendencia general de conductividad en el sentido nor-este hacia sur-oeste, en las cuencas hidro-

geológicas cuyas fuentes de recarga provienen de los deshielos de la Cordillera oriental, con un rango de 500 < CE < 1.000 micromhos/cm a + 25°C.

Dentro de cada cuenca hidrogeológica, el tenor de la conductividad eléctrica evoluciona en, forma creciente, en el sentido del escurrimiento subterráneo; sin embargo se presentan también tendencias locales que dependen de las condiciones geológicas del subsuelo y de los gradientes hidráulicos que regulan la renovación de las aguas subterráneas. De otro lado la salinidad global depende también del tipo de acuífero captado por la fuente; así en algunos sectores de Bolivia, en pozos someros y profundos ubicados muy próximos entre sí, se registraron valores diferentes de conductividad, con lo cual se evidencia que al existir acuíferos diferenciados en profundidad la salinidad varía en función de las características de dichos acuíferos. El pH en la mayoría de las zonas hidrogeológicas fluctúa entre 6,5 y 8,5, con lo que se establece que las aguas son ligeramente ácidas, neutras y alcalinas.

De los 39 pozos muestreados, sólo 4 no son aptos para uso potable ni para consumo de los animales y son: San Miguel de Llanga (río Desaguadero N° 31), Coata (N° 10), Zona de Illpa - Perú (N° 7 y N° 9).

Para uso en riego, se utiliza nuevamente el concepto de la toxicidad iónica específica, relacionada con la salinidad y la concentración relativa de sodio en relación con calcio, magnesio y pH.

En la figura N° 6.2, se muestra la distribución de las muestras de aguas obtenidas de los pozos en función de su uso para riego; y tomando en cuenta el Cuadro 4.11, que al combinar las distintas clases de salinidad (conductividad) y la peligrosidad por el sodio intercambiable; podemos señalar que:

- Bajo las actuales condiciones de riego y drenaje, no son aptas para su empleo en riego las aguas de los pozos N° 9 y 7 en Illpa, N° 10 en Coata, y N° 31 en San Miguel de Llanga.

### **Uso del agua para proyectos de riego**

La potencial utilización de las aguas para riego, en particular de las aguas superficiales, en el sistema T.D.P.S. deberá considerar, que si bien los niveles de salinidad se incrementan en la dirección aguas abajo, en



el río Desaguadero, por lo que toca al uso de agua para riego con relación a su contenido de sales, en cada caso o proyecto específico, aparte de sus propias características, además de tener en cuenta la calidad del agua, será necesario considerar otras variables como son: las características de los suelos a irrigar (salinidad y drenaje), el tipo de riego a emplear, los cultivos a desarrollar, y sobre todo las condiciones de manejo del agua de riego, del drenaje y de los suelos a emplearse, lo que llevará, en cada caso, a la posible implementación o no del proyecto.

### **Lodos (sedimentos)**

De los 12 puntos muestreados (figura 4.20), los lugares más contaminados son el río Coata (aguas abajo de Juliaca) y el lago Uru-Uru. Los contenidos de cadmio, cobre, manganeso, mercurio y plomo observados en el Coata son superiores a los límites admisibles por las normas vigentes, especialmente a la altura de Juliaca. En el recorrido hacia el pueblo de Coata, el contenido de contaminantes disminuye ligeramente, pero no llega a situarse por debajo del límite admisible.

El lago Uru-Uru presenta contaminación por plomo; además, muestra valores altos de contaminación por cobre, manganeso y mercurio. Tanto el río Coata aguas abajo de Juliaca como el lago Uru-Uru son receptores de contaminantes producto de las actividades industriales principalmente y mineras.

El lago Poopó muestra concentraciones elevadas de cadmio (en Huari), cobre, manganeso y zinc, también producto de las actividades mineras de la región (ingenios de Poopó y Bolívar). Asimismo estudios realizados con los tejidos de los peces del lago Poopó (pejerrey y orestias), han comprobado la presencia de metales pesados (plomo, cobre, cadmio, cobalto, níquel, cromo, antimonio, estaño, manganeso, zinc, etc.), lo mismo que en macrofitas y algas. Ello indica el elevado grado de contaminación en toda la cadena ecológica.

La incidencia del complejo minero de Bolívar se manifiesta de forma particular cerca de Wilañeque, donde desembocan los ríos que drenan esta región.

En los lodos no se han detectado problemas de contaminación por arsénico, cobalto, cromo, níquel o plata (Ver figura 4.20).

FIGURA 6.1 DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE AGUAS SUPERFICIALES PARA RIEGO

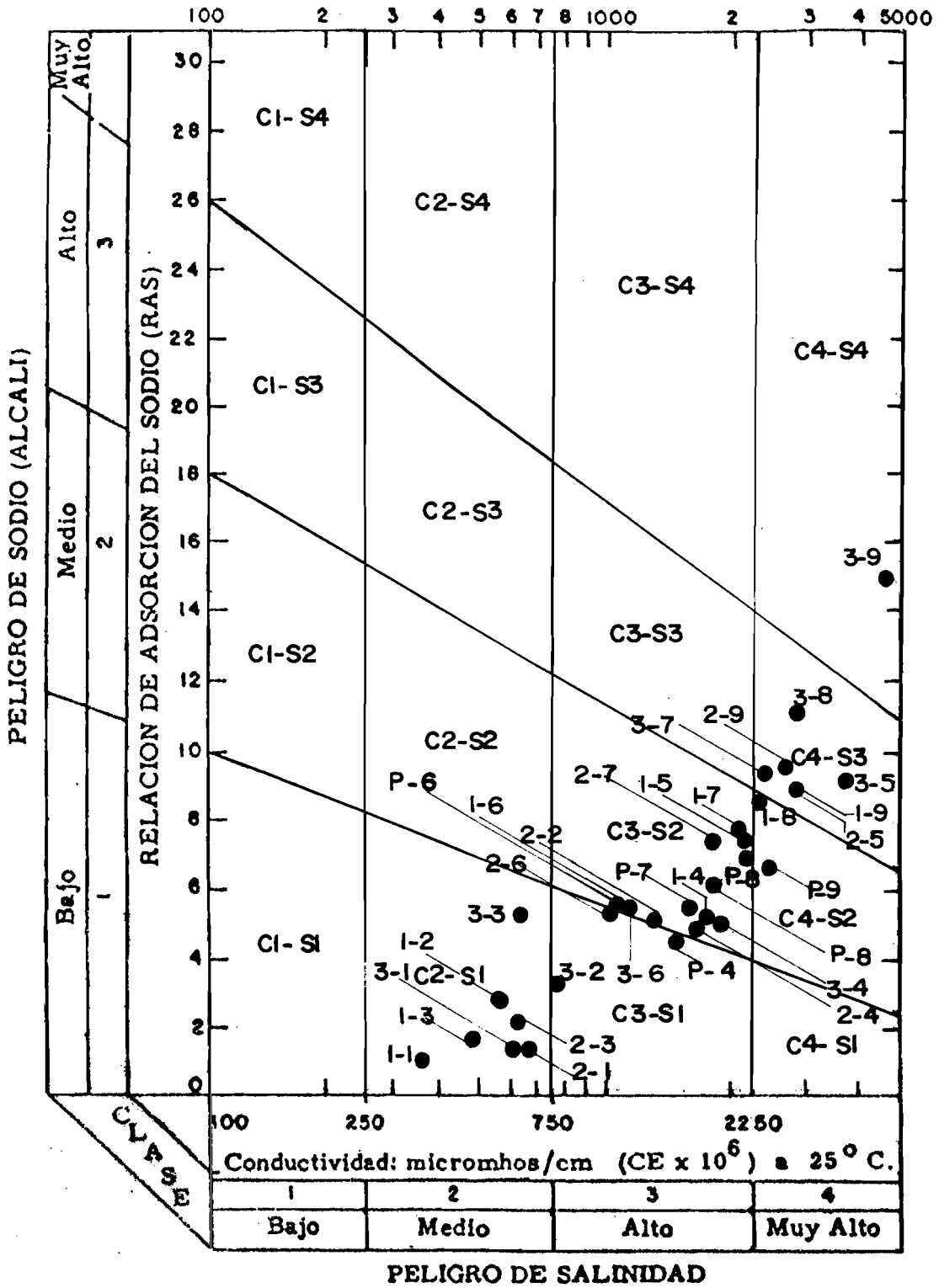
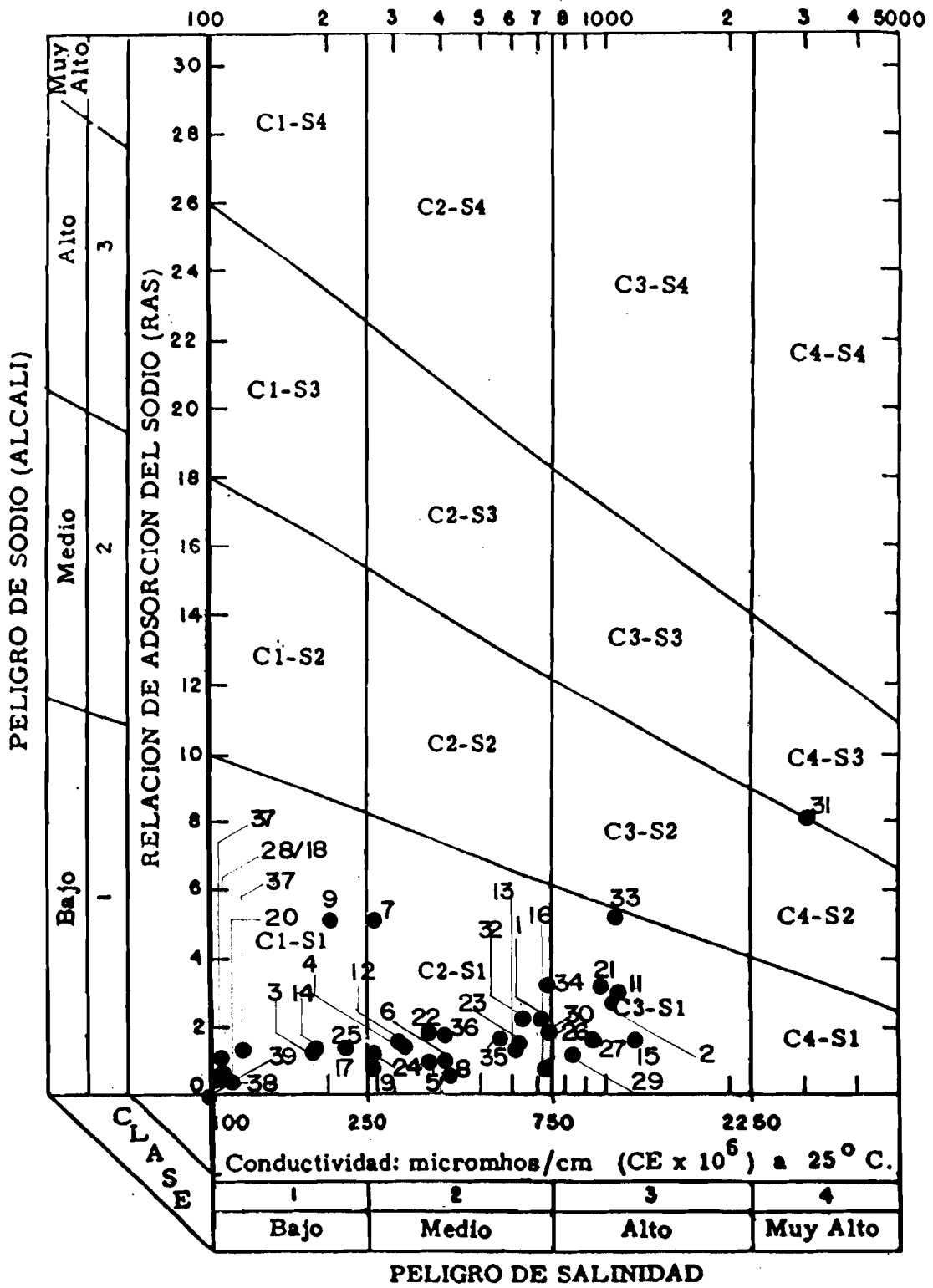


FIGURA 6.2 DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DE AGUAS PARA RIEGO (POZOS)



**RECOMENDACIONES**

La contaminación medio ambiental del área del sistema T.D.P.S. que se detectó, indica un sistema en equilibrio inestable con tendencia hacia una degradación irreversible si no se interviene con acciones de control y de corrección. Por este motivo a continuación se efectúan algunas recomendaciones necesarias para mantener el sistema en equilibrio:

- Agilizar la promulgación de la Ley de Aguas (Bolivia) que actualmente está detenida en el Congreso.
- Actualizar el Código de Minería en Bolivia, a fin de hacer cumplir su reglamentación en lo referente a control y tratamiento de efluentes contaminados.
- Exigir a través de las autoridades competentes, que todas las empresas mineras (estatales y privadas) cumplan con los Códigos de Minería en lo que concierne al uso y protección del recurso agua, ya que estas empresas constituyen la fuente principal de contaminación;
- Efectuar un monitoreo continuo de la conductividad, (salinidad), así como un monitoreo con frecuencia mensual de los parámetros necesarios para la evaluación del SAR (Na, Ca, Mg), en puntos extratéticos tales como:
  - Puente Internacional
  - Calacoto
  - Río Mauri
  - Puente Japonés
  - Chuquiña
  - Puente Español
- Prever un monitoreo químico, físico y bacteriológico de la contaminación a la salida de los sistemas de desague de Puno, El Alto, Oruro y Puente Internacional, con el fin de evaluar el estado de la contaminación y programar intervenciones de saneamiento.
- Regularizar los pozos en lo que significa aperturas, uso y sobre todo mantención de su calidad, mediante un monitoreo de los mismos.

- Profundizar el estudio sistemático (fisicoquímico y bacteriológico) de las aguas subterráneas, como alternativa de consumo, en función a conocer sus límites estacionales (climáticos) asociados a los cambios del nivel freático.
- Evaluar los contenidos de nutrientes en aguas subterráneas (fosfatos y nitratos) a fin de poder suplir este déficit en las aguas superficiales, para riego.
- Incentivar a nivel rural cursos ó talleres de capacitación y conocimiento en lo referente al uso y manejo del recurso agua, que comprenderá la higiene y cuidado en su consumo.
- Estudiar en detalle el caso particular de la contaminación minera de los lagos Uru-Uru y Poopó; identificar todas las fuentes, aplicar programas de control, monitorear los diversos componentes de los ecosistemas (aguas, sedimentos, plantas, peces, etc); y estudiar las posibles alternativas de solución para su recuperación.

Dentro del marco de la futura gestión de la Autoridad Binacional Autónoma se debería contar con un Modelo de CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES (C.A.S.). Las tareas a realizar para poner a punto el modelo requerirían efectuar en una primera fase las siguientes actividades:

- Establecimiento de las necesidades
- Análisis de Modelos posibles de utilizar
- Adecuación del modelo escogido
- Evaluación y adquisición de programas
- Definición de ámbito y alcance
- Calibración previa

En una segunda fase se establecería la capacidad de respuesta del modelo, determinando:

- El ámbito geográfico en el cual se extiende la simulación
- Los componentes contaminantes a simular:
  - \* El régimen hidráulico
  - \* La temperatura
  - \* Oxígeno disuelto
  - \* Materia en suspensión
  - \* DBO

- \* DQO
- \* COT (Carbono Orgánico Total)
- \* Ciclo de nitrógeno
- \* Conductividad eléctrica
- \* Metales pesados y tóxicos

Las fuentes de contaminación a tener en cuenta serían las siguientes:

- Fuentes difusas
- Fuentes puntuales
- Descargas químicas (minería e industrias)
- Descargas biológicas (urbana)

## 8. BIBLIOGRAFIA

- M. Beveridge, 1983 "Un estudio de los niveles de metales pesados en el Lago Poopó, Bolivia" Institute Of Aquaculture University of Stirling, Stirling EK 9 4LA, Scotland 40 pp.
- ILTIS A., 1987 "Datos sobre la temperatura, pH, la Conductividad eléctrica y la transparencia de las aguas de superficie del lago Titicaca Boliviano (1985-1986)
- ONERN, 1992 Información sobre Afluentes del Perú al Lago Titicaca (Pendiente su publicación) (1985-1986) Puno-Perú.
- Quintanilla A. Jorge, 1987 La Química del Lago Titicaca y su relación con el Plancton. Documento de Pesca N° 004, OLDEPESCA, Convenio CAF/UMSA/IMARPE, Lima-Perú 321 pp.
- PHICAB-UMSA-ORSTOM, 1988 Campañas de muestreo sobre la cuenca endorreica del Altiplano Boliviano de los años 1986-1988, datos inéditos, La Paz - Bolivia
- INFORME IIQ-UMSA, 1990 Muestras del río Lauca (4), salida de campo del 15 al 16 de mayo 1990 (muestras proporcionadas por el Ing. Dante Gumiel (3-Julio 1990).
- ILTIS A, DEJOUX d. J.G. WASSON, 1990 Datos Hidrobiológicos referentes a Lago Poopó (Bolivia) Informe Convenio UMSA-ORSTOM N° 21, La Paz - Bolivia, 19 pp.
- FISHERIES DEVELOPMENT LIMITED (Misión Británica) 1991 - Fisheries Management Review Bolivia, Final Report of Overseas Development Administration (Misión Británica), La Paz - Bolivia, Junio 1991, 154 pp.

- YUNTA, 1991 Presentación institucional, documento interno de Yunta (ONG) Noviembre 1991, aprox. 46 pp Datos Provincia Villarroel del Dpto. de La Paz (15 muestras).
- Informe IIQ-1991 Informe Interno IIQ-UMSA para PHICAB-ORSTOM, datos de análisis de pozos de aguas para riego y consumo humano en la Prov. Aroma - La Paz (33 muestras).
- VARIOS - 1987 Descripción del Lago Titicaca y su cuenca, parte II, OLDEPESCA, Documento de Pesca N° 005, Convenio CAF/IMARPE/UMSA, Proyecto Evaluación de los Recursos Pesqueros del Lago Titicaca, Lima-Perú. 173 pp.
- MACKERETH F.H. HERONJ, TALLING JF, 1978 Water Analysis. Scientific Publication N° 36, Freshwater Biological Association, 120 pp.
- OPS/OMS, 1985 Guías para la calidad del agua potable Vol 1, recomendaciones, publicación científica N° 481 Organización Panamericana de la Salud, Washington. D.C. EEUU, 136 pp.
- BREMOND R., PERRODON C, 1987 Parámetros de la calidad de las aguas, Ministerio del Medio Ambiente y de la Vida. Dirección de Prevención de contaminación de los servicios de agua. París - Francia, 259 pp.
- MINISTERIO DE SALUD Y BIENESTAR SOCIAL División del Medio Ambiente CANADA, 1987 Recomendaciones para la calidad del agua potable en el Canadá OTTAWA, 1 Tabla de Resúmen.



- CANOVAS C., JUAN, 1986  
Calidad agronómica de las aguas de riego, Servicio de Extensión Agraria, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 3° edición, Madrid 55 pp.
- AYRS R.S., WESTCOT D.W. 1984 - Calidad del agua para la Agricultura, Estudio FAO de riego y drenaje N° 29, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación, Roma. 85 pp.
- DRASOVSKY G., 1986  
Hygienic Criteria of Drinking water Quality, Centro para proyectos Internacionales (GKNT), USSR Comisión para programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), Ministerio de Salud Pública de la USSR, Moscú, 266 pp.
- TASK FORCE ON WATER QUALITY GUIDELINES  
1987 - Canadian Water Quality guidelines, Canadian Council of Resource and Environment Ministers, Canadá.
- DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS  
Calidad de las aguas para consumo humano. Directiva del Consejo (15-7-80 - 80/78/CEE, Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 151 Vol 02 (1980), 174-192 pp.
- PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL DE WARU-WARU  
1992 - Principios Técnicos para la Reconstrucción y Producción agrícola en Waru-Waru, Convenio PELT/INADE-IC/COTESU. Vol I. Suelos y Agua. Puno - Perú 197 pp.
- GRESSARD F. 1991  
Dossier Bibliographique, Carte de la Qualité des Cours D'eau de Rhone Alpes, 31 pp.
- SGAB 1992  
Impact of Minerals Industry on the Environment in some Areas of the Departments of Oruro and Potosí, WBolivia, Ministerio de Minería y Metalurgia de Bolivia, Proyecto de Rehabilitación del Sector Minero/SGAB International AB, 28 p.

## A N E X O A

### Metodologías empleadas para los análisis químicos

#### 1 - Determinación del pH

Método: Electrométrico, basado en la diferencia de potencial que existe entre un electrodo de vidrio y uno de referencia, mediante un phmetro HACH y empleando un electrodo HACH Cat n. 44300 - 21.

#### 2 - Determinación de la temperatura (°C)

Método: La medida de la temperatura se efectúa con la ayuda de electrotermómetro HACH Mod. 44600.

#### 3 - Conductividad eléctrica (ms/cm)

Método: Se efectúa mediante el principio del puente de Kohlrausch o puente de Wheastone, en corriente alterna y con electrodos constituidos por dos láminas de platino recubiertas por negro de platino, es decir, con un conductivímetro HACH Mod. 44600.

#### 4 - Determinación de color (Pt.Co)

Método: Standar, recomendado por APHA (platino-cobalto), mediante espectrofotómetro HACH-DREL 2000 expresado en unidades de color, según la relación: 1 unidad de color = 1 mg/l de platino como ion cloroplatinato, a una longitud de onda de 455.

#### 5 - Determinación de turbidez (FTU)

Método: Absorciométrico, basado en la propiedad óptica de las muestras de agua que resulta de la desviación y absorción de la luz por la materia en suspensión presente. Se expresa en Unidades de Turbidez de Formazina (FTU), que es equivalente a las Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). Mediante espectrofotómetro HACH-DREL 2000, a una longitud de onda de 450.

#### 6 - Sólidos en suspensión (MES)

Método: Se mide por gravimetría después de filtración mediante vacío o centrifugación, expresado en mg/l.

- 7 - **Sólidos disueltos (TDS)**  
Método: Mediante el equipo medidor TDS-HACH, automático, expresado en mg/l.
- 8 - **Oxígeno disuelto**  
Método: Colorimétrico, de titulación del iodo liberado con tiosulfato de sodio 0,025N; método Winkler modificado, empleando solución de almidón como indicador; los resultados son expresados en mg/l.
- 9 - **Determinación de calcio y magnesio**  
Método: Absorción atómica con un espectrofotómetro PERKIN ELMER 2380. Las longitudes de onda empleadas son: para  $\text{Ca}^{+2}$ , = 442 nm;  $\text{Mg}^{+2}$ , = 285,5nm con quemador de una rendija y 10 cm. de longitud de paso, empleando una llama aire-acetileno.
- 10 - **Determinación de sodio y potasio**  
Método: Espectrofotometría atómica de emisión de llama con un aparato PERKIN ELMER 2380 (llama aire-acetileno), las longitudes de ondas empleadas son: para  $\text{K}^{+}$ ; = 766,5 nm y para  $\text{Na}^{+}$ ; = 589 nm.
- 11 - **Determinación de hierro**  
Método: Absorción atómica con un espectrofotómetro PERKIN ELMER 2380. La longitud de onda empleada es 248,3 nm, empleando una llama aire-acetileno.
- 12 - **Cobre**  
Método: Absorción atómica, mediante un espectrofotómetro PERKIN ELMER 2380. Llama aire-acetileno; a una longitud de onda de = 324,8 nm.
- 13 - **Zinc**  
Método: Absorción atómica, mediante un espectrofotómetro PERKIN ELMER 2380. Llama aire-acetileno; a una longitud de onda de = 213,9 nm.

**14 - Plomo**

Método: Espectrofotómetro de absorción atómica, doble haz, VARIAN 1475 con generador de hidruros modelo 65; a una longitud de onda de  $\lambda = 217 \text{ nm.}$ , con corrector de background de lámpara de deuterio.

**15 - Arsénico**

Método: Espectrofotómetro de absorción atómica, doble haz, VARIAN 1475 con generador de hidruros modelo 65; a una longitud de onda de  $\lambda = 193,7 \text{ nm.}$ , con corrector de background.

**16 - Boro**

Método: Colorimétrico, mediante espectrofotómetro PERKIN ELMER HITACHI, Mod. 200 con quinalizarina a una longitud de onda de  $\lambda = 620 \text{ nm.}$

**17 - Determinación de Manganeso**

Método: Absorción atómica, mediante un espectrofotómetro PERKIN ELMER 2380. Llama oxidante de aire-acetileno; a una longitud de onda de  $\lambda = 279,5 \text{ nm.}$

**18 - Determinación de Mercurio**

Método: Espectrofotómetro de absorción atómica, doble haz. VARIAN 1475 con generador de hidruros modelo 65, a una longitud de onda de  $\lambda = 253,7 \text{ nm.}$  Con corrector de background de lámpara de deuterio.

**19 - Determinación de Antimonio**

Método: Espectrofotómetro de absorción atómica, doble haz, VARIAN 1475 con generador de hidruros modelo 65; a una longitud de onda de  $\lambda = 217,6 \text{ nm.}$  Con corrector de background.

**20 - Determinación de Estaño**

Método: Espectrofotómetro de absorción atómica, doble haz, VARIAN 1475 con generador de hidruros modelo 65; a una longitud de onda de  $\lambda = 266,1 \text{ nm.}$  Con corrector de background.

**21 - Determinación de la Alcalinidad (Carbonatos y Bicarbonatos)**

Método: Titulación potenciométrica con HCl 0,01n, según el método gráfico de Gran, explicado por W. Stumm, J.J. Morgan, 1970. Se calculan dos funciones; F1 y F2; F1 corresponde al primer punto de inflexión de la curva de titulación, es decir a los carbonatos. F2 corresponde al segundo punto de inflexión, es decir a la alcalinidad total (bicarbonatos).

**22 - Determinación de Sulfatos**

Método: Basado en la precipitación, en medio de ácido clorhídrico. El precipitado así obtenido es estabilizado por una solución de "Tween 20". La suspensión homogénea es medida en un espectrofotómetro Hitachi Mod. 200, a una longitud de onda de:  
= 650 nm.

**23 - Determinación de Cloruros**

Método: Basado en la determinación colorimétrica del compuesto  $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ , se utiliza tiocianato mercúrico, el ión tiocianato es liberado por la formación del cloruro mercúrico soluble, en presencia del ion férrico, los iones tiocionatos libres forman tiocianato férrico fuertemente coloreado el cual es medido a una longitud de onda de = 480 nm.; en un espectrofotómetro Hitachi Modelo 200.

**24 - Determinación de Fosfatos**

Método: Basado en la formación de un complejo fosfomolibdico, el cual por reducción toma una coloración azul, que luego es determinado por espectrofotometría a 890 nm. de longitud de onda, en un espectrofotómetro de campo HACH Modelo DR 2000.

**25 - Determinación de Nitratos**

Método: Determinación colorimétrica de  $\text{NO}_3^-$  que forma con sulfanilamida, una sal de diazonio, la cual se acopla con N-1 naftiletildiamino dihidrocloruro y este complejo así formado da una coloración rosa-violeta. Se usa la longitud de onda de 543 nm. Se transforma todos los nitratos en nitri-

tos por reducción de la solución. La solución rosa se mide en un espectrofotómetro HACH Modelo DR 2000.

**26 - Determinación de Nitritos**

Método: Determinación colorimétrica de  $\text{NO}_2^-$  que reacciona con el ácido sulfanílico para formar una sal de diazonio, la cual se acopla al ácido cromatrópico para producir un complejo de color rosa a una longitud de onda de 507 nm; en un espectrofotómetro HACH modelo DREL 2000.

**27 - Determinación de Cianuros**

Método: Colorimétrico, basado en el método piridina-pirazolona, que da un intenso color azul con cianuros libres, mediante espectrofotómetro HACH-DREL 100, a una longitud de onda de 612 nm.

**28 - Determinación de Sílice Disuelta**

Método: Determinación colorimétrica del complejo silicomolóbdico reducido. La concentración de sílice disuelta de las aguas es independiente de la conductividad, se cuantifica a una longitud de onda de 710 nm. y se mide en un espectrofotómetro Hitachi modelo 200.

**29 - Determinación de Cadmio**

Método: Absorción atómica mediante un espectrofotómetro PERKIN ELMER 2380. Llama aire-acetileno, a una longitud de onda de 228,8 nm.

**30 - Determinación de Níquel**

Método: Absorción atómica mediante un espectrofotómetro HITACHI 180-30, con corrector background, a una longitud de onda de 232,0 nm.

**31 - Determinación de Cobalto**

Método: Absorción atómica mediante un espectrofotómetro HITACHI 180-30 con corrector de background, a una longitud de onda de 240,7 nm.

**32 - Determinación de Wolfram (Tungsteno)**

Método: Colorimétrico, basado en el método del tiocianato de sodio, que da un color amarillo con tungsteno, mediante espectrofotómetro PERKIN ELMER-HITACHI 200, a una longitud de onda 420 nm.

**33 - Determinación de CO<sub>2</sub> libre**

Método: Por cálculo indirecto a partir de: pH y temperatura, tomando en cuenta la alcalinidad total: conductividad, fuerza iónica, salinidad ó total cationes ó aniones. Según MACKERETH.FJH, HERON.J., TALLING. JF. (1978).

**34 - Determinación de Cromo Hexavalente**

Método: Por Colorimetría mediante el método de la 1,9 difenilcarbohidracida con la formación de color púrpura y con un espectrofotómetro HACH-DREL 2000, a una longitud de onda de 540 nm.

**35 - Determinación de Plata**

Método: Espectrofotómetro de absorción atómica, doble haz, VARIAN 1475, con llama aire-acetileno, a una longitud de onda de 328.1 nm, slit = 0.2 nm y con corrector de background.

**36 - Determinación de Dureza Total (°d)**

Método: Complexométrico, utilizando un buffer hasta pH = 10, mediante EDTA, con solución alcohólica de negro de eriocromo T con indicador, viraje de color rojo lila (vino) a azul claro, en presencia de calcio y magnesio.

## A N E X O B

### Contaminantes específicos

Se detallan a continuación algunos procesos específicos de contaminación:

#### **ZINC (Zn = Zn<sup>++</sup>)**

En las rocas comunes (30-120 ppm. Zn) Zn es el elemento presente en mayor magnitud de los minerales en forma de sulfuro (aproximadamente 60%) y, también, se presenta en una considerable proporción en las rocas formando silicatos de Fe-Mg. El desgaste de las rocas produce iones de **Zn** móviles, especialmente en ambientes ácido oxidantes. El **Zn** es, sin embargo, fácilmente absorbido por arcilla, hierro acuoso y óxidos de aluminio, y minoritariamente por los componentes orgánicos, por consiguiente, está acumulado en los horizontes superficiales de la mayoría de los tipos de suelo. El balance de **Zn** en la mayoría de los ecosistemas muestra que el ingreso atmosférico excede la salida debido a ambas: lixiviación y la producción de biomasa. La vida media del **Zn** como un poluente está estimada entre 70-500 años. El **Zn** juega un rol metabólico esencial tanto en plantas como animales: la deficiencia del **Zn** es un fenómeno bien conocido. Los niveles tóxicos de **Zn** causan daños a las raíces y retardan el crecimiento de las plantas, y producen disturbios en el metabolismo humano. El límite permisible para sedimentos es de 94 ppm.

#### **COBRE (Cu = Cu<sup>+</sup>)**

En las rocas comunes (10-50 ppm. Cu) el **Cu** está presente como sulfuros y en una menor extensión en los silicatos de Fe-Mg.

**Cu** es también móvil en ambientes ácidos y oxidantes, pero en menor proporción que el **Zn**. La interacción química del **Cu** con material mineral y orgánico del suelo es fuerte, y el **Cu** se precipita fácilmente como sulfuro, carbonato, e hidróxido. La solubilidad del **Cu** está marcadamente incrementada por la quelación orgánica. El balance del **Cu** en la superficie del suelo muestra que la influencia atmosférica puede reemplazar por lo menos parcialmente la extracción del **Cu** por la producción de biomasa. La vida-media de la polución del **Cu** está en el orden de 300-1500 años. El **Cu** (como el **Zn**) juega roles



metabólicos esenciales en plantas y animales. La deficiencia de **Cu** es bien conocida. En las plantas, la alta concentración de **Cu** agrava la deficiencia de molibdeno (antagonismo **Cu-Mo**). Los niveles tóxicos de **Cu** causan, por ejemplo, clorosis de **Fe** inducida y daños a las raíces de las plantas, y molestias en el metabolismo humano.

Los límites admisibles en Suiza para suelos superficiales (500 ppm) y la Agencia del Agua de Lyon, Francia, para sedimentos (26 ppm).

#### **PLOMO (Pb = Pb<sup>++++</sup>)**

En las rocas el plomo se presenta (5-30 ppm **Pb**) como sulfuro, y en "feldespatos" debido a la capacidad del **Pb** para reemplazar **K**, **Ba**, **Sr**, y **Ca**. Durante el desgaste primario los minerales del **Pb** se oxidan o hidrolizan lentamente, y el **Pb** es fácilmente precipitado como carbonato o incorporado en las arcillas, óxidos de **Fe-Mn** y en materia orgánica. El **Pb** está considerado como un elemento muy inmóvil entre los metales pesados. La solubilidad del **Pb** (como del **Cu**) puede estar muy incrementada por los complejos orgánicos. El incremento constante de la concentración del **Pb** de la mayoría de los suelos superficiales es un problema grave. La vida-media de la polución del **Pb** en el suelo puede ser muy larga, hasta 6.000 años. No existe ninguna evidencia que el **Pb** sea esencial para la biota, pero los efectos han mostrado que sólo son negativos. En las plantas las cantidades tóxicas de **Pb** causan daños a las hojas y raíces y en los humanos (especialmente los compuestos orgánicos) se ha demostrado que son acumulativos causando anemia y dolencias neurológicas. El límite admisible para sedimentos, según la Agencia del Agua de Lyon, es de 50 ppm.

#### **MANGANESO (Mn = ion)**

**Mn** es uno de los elementos traza más abundantes en la litosfera (0.04-0.15% **Mn**). **Mn<sup>2+</sup>** reemplaza los cationes divalentes en silicatos **Fe-Mn** comunes y óxidos. Durante el desgaste de los compuestos de **Mn** son oxidados y el **Mn** liberado es reprecipitado como numerosos minerales secundarios, principalmente óxidos acuosos. La movilidad del **Mn** está principalmente gobernada por las condiciones **Eh-pH** del medio ambiente. La movilidad puede ser muy incrementada por los complejos orgánicos. El **Mn** es un constituyente esencial del suelo para la nutrición de las plantas, además, controla la conducta de varios otros mi-

cronutrientes. La deficiencia de Mn es común en el desarrollo de las cosechas sobre suelos neutros y calcáreos. En algunos suelos ácidos, el síntoma más común de la toxicidad del Mn es la clorosis de Fe. El límite indicado por la Agencia del Agua de Lyon para sedimentos es de 341 ppm.

#### **ARSENICO (As = As<sup>=</sup>)**

En las rocas comunes As está presente (1-15 ppm As) en forma de minerales de sulfuro y como arseniatos. Muchos minerales conteniendo As son fácilmente desgastados, pero la movilidad del **As** es limitada por la absorción fuerte especialmente por el Fe hidratado y óxidos de Al. Por consiguiente, también los sedimentos arcillosos y los suelos de superficie están enriquecidos en As. Las formas móviles comunes de **As** con **AsO<sub>2</sub><sup>-</sup>**, **AsO<sub>4</sub><sup>-3</sup>**, **HAsO<sub>4</sub><sup>-2</sup>** y **H<sub>2</sub>AsO<sub>4</sub><sup>-2</sup>**

El anión arseniato, **AsO<sub>4</sub><sup>-3</sup>**, se comporta en forma muy parecida a la de los fosfatos. Varios tipos de bacterias promueven la oxidación del **As** y participan también en la alquilación del **As**. El ingreso atmosférico del As a los suelos superficiales puede exceder sus salidas en muchos países industrializados, ya que es un inhibidor metabólico. Los arseniatos solubles y los trióxidos son más tóxicos; la toxicidad es disminuída por las plantas bien suministradas con fósforo. La letalidad del As para los humanos es bien conocida por siglos; el As es un carcinógeno y causa dolencias neurológicas. El límite propuesto por FAO/WHO es de 30 ppm para suelos superficiales.

#### **CADMIO (Cd = Cd<sup>++</sup>)**

La abundancia de Cd en las rocas comunes es 1/1.000 comparada a la de Zn, p.ej., 0.03-0.3 ppm. En su conducta geoquímica el **Cd** es similar al Zn, pero más incorporado en sulfuros y más móvil en los ambientes ácidos. Bajo condiciones fuertemente oxidantes el **Cd** es probable que precipite como **CdO** ó **CdCO<sub>3</sub>**, y puede ser acumulado en depósitos de fosfato y orgánicos. La contaminación del suelo con Cd está considerada como el más serio riesgo para la salud. El ingreso atmosférico del Cd excede abundantemente la salida desde los perfiles del suelo. Los contenidos de Cd han reportado que son extremadamente altos (sobre 100 ppm) por la presencia de Pb-Zn disueltos. Debido a muchas interferencias al metabolismo normal, Cd es un elemento muy tóxico para plantas y animales. La mayoría del Cd está disponible fácilmente para las plantas desde ambas fuentes, suelo y

aire. En la nutrición del hombre y de los animales, el Cd es un veneno acumulativo causando heridas en los riñones y en los huesos.

#### **ANTIMONIO (Sb = ion)**

La abundancia de encontrar Sb está en el orden de 0.1 ppm; solamente los sedimentos arcillosos pueden contener hasta 2 ppm. de Sb. Como el arsénico, el **Sb** es sulfofílico y anfotérico, y un elemento de movilidad relativa. Desde las soluciones, el **Sb** es retenido eficientemente por la materia orgánica (abundante en el carbón) y los óxidos de Fe, y está enriqueciendo los suelos superficiales. El Sb está considerado un elemento no esencial para la biota, sin embargo, si está disponible se sabe que es fácilmente ingerido por las plantas. El Sb ha sido encontrado expandido en las industrias no ferrosas por el transporte a largo plazo. La toxicidad, aunque no verificada a menudo, se espera que se debe a la competencia del Sb (como del As, Se y Te) en lugares con metabolitos esenciales. El límite admisible según FAO/WHO es de 5 ppm para suelos superficiales.

#### **PLATA (Ag = Ag<sup>+</sup>)**

**Ag** se comporta geoquímicamente muy parecido al cobre, pero la presencia de Ag es de solamente 1/1.000 comparada al Cu, p.ej., 0,005-0,02 ppm. El ion **Ag** es fácilmente liberado por el desgaste y precipitada en ambientes alcalino-reductores o en la presencia de compuestos sulfurosos. Las sustancias húmicas absorben y acomplejan Ag llevando de 10 a 100 veces de enriquecimiento de Ag en los suelos superficiales.

Para las plantas la Ag es un elemento tóxico; **Ag** puede sustituir al **K<sup>+</sup>** en las membranas, precipita las proteínas bacteriales y los RNAs y reacciona con los grupos sulfídricos. El límite admisible según FAO/WHO para suelos superficiales es de 2 ppm.

#### **HIERRO (Fe = ion)**

Si bien el hierro es esencial para la nutrición del hombre, no se considera que el agua potable sea una fuente importante de este elemento. En concentraciones de unos 0,3 mg/l, el hierro mancha la ropa del lavado y las instalaciones de tuberías dando un sabor desagradable a las bebidas. La precipitación del exceso de hierro produce un desagradable color pardo rojizo. Cuando las

concentraciones sobrepasan los 0,3 mg/l, pueden aumentar los costos de mantenimiento y las quejas acerca del sabor. Para riego, el límite máximo es de 5 mg/l.

Como se emplean mucho los compuestos de hierro para el tratamiento del agua, se seleccionó un valor guía para el hierro de 0,3 mg/l, como solución intermedia.

#### **ESTAÑO (Sn = Sn<sup>++++</sup>)**

El estaño es liberado por el desgaste atmosférico de rocas ígneas que contienen el mineral casiterita (**SnO<sup>2</sup>**).

La mayor fuente antropogénica de estaño inorgánico que entra al ambiente son las descargas industriales de minas, refinerías, manufacturas de acero y aguas de alcantarillado municipal. Una ulterior fuente de contaminación puede derivar de los desechos domésticos.

En aguas naturales el estaño se encuentra en muy baja concentración. Cuando se detecta, el rango de concentración es de 1 a 2 ug/l.

La concentración de estaño en el aire es de 0,003-0,3 µg/m<sup>3</sup>, hallado en muestras correspondientes a algunas ciudades industriales de USA. El polvo de regiones industriales de Europa reporta la concentración de 10-10.000 mg/Kg (NAS, 1977).

Los compuestos de estaño (II) como cloruro estañoso son solubles en agua y en soluciones acuosas.

No se dispone de mucha información segura acerca del destino del estaño inorgánico en el ambiente acuático. En general, las concentraciones de estaño se incrementan de la manera siguiente: aguas ≤ superficie microcapa ≤ sedimentos. Existen pocos estudios sobre la acumulación de estaño. El estaño ha sido encontrado en organismos marinos.

El estaño es irritante y neurotóxico. Los compuestos inorgánicos (**SnO<sub>2</sub>**, **SnCl<sub>4</sub>**, **SnF<sub>2</sub>**) producen alteraciones como:

- Intoxicación aguda y subaguda: náuseas, cólicos, diarrea, fatiga, cefalea, vómito (ingestión de alimentos con alto contenido de Sn).
- Intoxicación crónica: neumoconiosis benigna, estannosis (exposición ocupacional).

Los derivados orgánicos de Sn producen intoxicación aguda y subaguda: irritación de la piel y de los ojos y de la porción del tracto respiratorio.

**CROMO (Cr = Cr<sup>+++</sup>)**

Normalmente, la presencia de cromo como contaminante se debe a la actividad industrial y, específicamente, a su utilización en la curtiembre. Esta actividad produce efluentes líquidos que contienen este elemento, el cual es retenido parcialmente en los sedimentos. El valor referencial de contaminación de sedimentos por cromo, según la Agencia del Agua de Lyon, es de 22 ppm.

**MERCURIO (Hg = Hg<sup>++</sup>)**

Las principales fuentes de contaminación son la minería, las industrias que hacen uso de este elemento (equipos eléctricos, laboratorios químicos, pinturas, plantas de cloro y soda), odontología y agricultura. De acuerdo a la bibliografía al respecto, el contenido promedio de mercurio en el suelo es de 0,1 ppm.

**NIQUEL (Ni = ion)**

Los límites para suelos superficiales varían entre 45 ppm (GREEN PECE) y 50 ppm (Norma Suiza para Suelos Superficiales).

**WOLFRAM (Tungsteno) (W = ion)**

No se conocen límites admisibles en suelos superficiales para este elemento, raro en la corteza terrestre.

## A N E X O C

### NORMATIVIDAD PARA EL USO DE LAS AGUAS

Las normas internacionales para consumo humano, consumo animal y para riego existentes, que se aplican en Bolivia, Perú, OPS/OMS/CEPIS, FAO y normas europeas (CEE) se presentan en los cuadros C.1 y C.2 .

Con base en éstos parámetros, se pueden evaluar las aguas muestreadas y analizadas en este trabajo.

En el caso particular de riego, se debe considerar la problemática potencial de salinidad, infiltración del agua, toxicidad, y problemas varios, para lo que se debe tener en cuenta el contenido de sales solubles (salinidad), contenido de sodio, contenido de elementos tóxicos para las plantas, contenido de elementos patógenos, y contenido de sólidos en suspensión y/o elementos corrosivos (particularmente si se emplean sistemas de riego presurizados). De acuerdo a ello, las directrices para interpretar la calidad de las aguas para riego se presentan en el cuadro C-3.

Para analizar el problema de infiltración, se ha empleado la conductividad eléctrica y el índice RAS (Relación de adsorción de sodio) sugerido por el laboratorio de salinidad de Riverside (USDA Salinity Laboratory, USA), modificado por Suarez (1981), según recomendación del Estudio FAO Riego y drenaje 29 - Rev 1, 1987.

La clasificación establecida se basa en las siguientes características:

- La concentración total de sales solubles expresada mediante la conductividad eléctrica en micromhos por cm a 25°C ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).
- La concentración relativa del sodio con respecto al calcio y magnesio (en me/l), denominada índice RAS, se calcula de acuerdo a:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

donde:

$$\text{Log Ca} = .28288 - .666816 \log(\text{HCO}_3/\text{Ca}) + .021815\text{CEa}$$

Con base a ello, las aguas para riego se han clasificado según su peligro de salinidad en:

- C-1: Agua de bajo peligro de salinidad. Conductividad entre 100 y 250 micromhos/cm a 25°C que corresponde aproximadamente a 64-160 mg/l de sólidos disueltos. Puede usarse para la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos, con muy poco peligro de que desarrolle salinidad. Podría precisarse algún lavado, que se puede lograr normalmente con el riego, excepto en suelos de muy baja permeabilidad.
- C-2: Agua de peligro de salinidad media. Conductividad entre 250 y 750 micromhos/cm a 25°C correspondiendo aproximadamente a 160-480 mg/l de sólidos disueltos. Puede usarse con un grado moderado de lavado. Sin excesivo control de la salinidad se pueden cultivar, en la mayoría de los casos, las plantas moderadamente tolerantes a las sales.
- C-3: Agua de peligro de salinidad alto. Conductividad entre 750 y 2250 micromhos/cm a 25°C, correspondiendo aproximadamente a 480-1440 mg/l de sólidos disueltos. No puede usarse en suelos de drenaje deficiente. Selección de plantas muy tolerantes a las sales y posibilidad de control de la salinidad del suelo, aún con drenaje adecuado.
- C-4: Agua de peligro de salinidad muy alto. Conductividad superior a 2250 micromhos/cm a 25°C (aproximadamente 1440 mg/l de sólidos disueltos). No es apropiada en condiciones ordinarias para el riego. Puede utilizarse con una selección de cultivos en suelos permeables, de buen drenaje y con exceso de agua para lograr un buen lavado.

Asimismo, según su peligro de sodio, se han clasificado en :

- S-1 Agua con peligro de sodio bajo. Puede usarse en la mayoría de los suelos con escasas posibilidades de alcanzar elevadas concentraciones de sodio intercambiable. Los cultivos sensibles, como los frutales de pepa, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.
- S-2 Agua con peligro de sodio medio. Puede presentar un peligro en condiciones de lavado deficientes, en terrenos de textura fina con elevada capacidad de cambio catiónico, si no contienen yeso.
- S-3 Agua con peligro de sodio alto. En la mayor parte de los suelos puede alcanzarse un límite de toxicidad de sodio intercambiable, por lo que es

preciso un buen drenaje, lavados intensos y adiciones de materia orgánica. En los suelos yesíferos el riesgo es menor.

S-4 Agua con peligro de sodio muy alto. En general inadecuada para riego, excepto con salinidades bajas o medias, siempre que se pueda posibilitar su empleo con la disolución del calcio del suelo, el uso del yeso o de otros elementos.

Cuadro C.1 LIMITES PERMISIBLES EN CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES (NATURALES)

PARAMETROS	UNIDAD	CONSUMO HUMANO	CONSUMO ANIMAL	RIEGO
Temperatura	°C	9 - 15°	SI	SI
Conductividad	mS/cm	0,1 - 1,00	1,50	1,50
pH	---	6,5 - 8,5	6,5 - 9,0	5,5 - 9,0
Color aparente	Pt/Co	5 - 50	70	50
Turbidez	FTU	5,00	SI	20
T.D.S.	mg/l	500 - 1500	5.000	500 - 3.500
M.E.S.	mg/l	25,00	SI	70
Dureza	°d	25	SI	SI
Oxígeno Disuelto	mg/l	>4,0	>4,0	3,0 - 9,0
Tasa de Saturación	%	SI	SI	SI
Alc. Total	mg/l	610	SI	SI
H CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	SI	SI	280
H CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	mg/l	Solo aparece a partir de pH 8,40	SI	75
CO <sub>2</sub> Libre	mg/l	SI	SI	SI
Fosfatos	mg/l	3,5	7,0	65
Nitratos	mg/l	40,00	50,00	40
Nitritos	mg/l	1,00	10,00	SI
Cloruros	mg/l	250,00	400	400
Sulfatos	mg/l	400,00	800	400
Sílice disuelta	mg/l	20,00	SI	SI
Cianuros	mg/l	0,05 - 0,10	0,10	0,10
Calcio	mg/l	200,00	SI	SI
Magnesio	mg/l	100,00	SI	200
Sodio	mg/l	120,00	200	300
Potasio	mg/l	1000,00	SI	SI
Hierro	mg/l	0,30	1,00	5,00
Manganeso	mg/l	0,30	1,00	0,50 - 5,00
Arsénico	mg/l	0,05	0,2	0,1 - 2,0
Cromo (+6)	mg/l	0,05	1,00	0,10
Wolfram-Tungsteno	mg/l	0,05	SI	SI
Cobre	mg/l	1,00	0,50	0,20
Estaño	mg/l	0,002	SI	SI
Plomo	mg/l	0,05	0,10	5,00 - 10,00
Antimonio	mg/l	0,60	SI	SI
Mercurio Total	mg/l	0,0005 - 0,001	0,01	0,003
Plata	mg/l	0,05 - 0,10	SI	0,20
Cadmio	mg/l	0,01	0,05	0,01
Cobalto	mg/l	0,05	0,10	0,05
Niquel	mg/l	0,10	1,00	0,20 - 2,0
Bismuto	mg/l	SI	SI	SI
ZINC	mg/l	5,0	5,0	5,0
Boro/BO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	mg/l	2,0 / 11,0	2,0 / 11,0	2,0 / 11,0

SI = Sin información



## FUENTES

- OPS/OMS, 1985                      Guías para la calidad del agua potable Vol 1, recomendaciones, publicación científica N° 481 Organización Panamericana de la Salud, Washington. D.C. EEUU, 136 p.
- BREMOND R., PERRODON C,            1987.- Parámetros de la calidad de las aguas, ministerio del Medio Ambiente y de la Vida. Dirección de Prevención de contaminación de los servicios de agua. París - Francia, 259 p.
- MINISTERIO DE SALUD Y BIENESTAR SOCIAL                      División del Medio Ambiente CANADA, 1987. Recomendaciones para la calidad del agua potable en el Canadá OTTAWA, 1 Tabla de Resumen.
- CANOVAS C., JUAN, 1986                Calidad agronómica de las guas de riego, Servicio de Extensión Agraria, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 3ª edición, Madrid 55 p.
- AYRS R.S., ESTCOT D.W. 1984                                      Calidad del agua para la agricultura, Estudio FAO de riego y drenaje N° 29, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación, Roma. 85 p.
- DRASOVSKY G., 1986                      Hygienic Criteria of Drinking water Quality, Centro para proyectos Internacionales (GKNT), URSS Comisión para programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), Ministerio de Salud Pública de la URSS, Moscú, 266 p.
- TASK FORCE ON WATER QUALITY GUIDELINES, 1987                      Canadian Water Quality gudelines, Canadian Council of Resource and Environment Ministers, Canadá,

**Cuadro C.2 Características agua potable normas CEE**

		<u>Valor guía</u>	<u>Concentración máxima admisible</u>
pH			6,5-8,5
C.E.	µs/cm		400
Temp	(°C)	12°	25°
Dureza G.A.	(°d)		8,5
Alcalinidad	(mg/l HCO <sub>3</sub> )		30
Aluminio	(mg/l)	0,05	0,2
Calcio	(mg/l)		100
Cloruros	(mg/l)	25	200
Magnesio	(mg/l)	30	50
Potasio	(mg/l)	10	12
Sodio	(mg/l)	20	175
Sulfatos	(mg/l)	25	250
NH <sub>4</sub>	(mg/l)	0,05	0,5
Plata	(mg/l)		0,01
% de Saten o D	(mg/l)		> 75%
Boro	(mg/l)		1
Hierro	(mg/l)	0,05	0,2
Fluor	(mg/l)		1,5
Fosforo	(mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,4	5,0
Manganeso	(mg/l)	0,02	0,05
Nitratos	(mg/l)	25	50
Nitritos	(mg/l)		0,1
Cobre	(mg/l)		0,1-3
Zinc	(mg/l)		0,1-5
Antimonio	(mg/l)		0,01
Arsénico	(mg/l)		0,01-0,05
Níquel	(mg/l)		0,05
Cianuros	(mg/l)		0,05
Cromo	(mg/l)		0,05
Mercurio	(mg/l)		0,001
Plomo	(mg/l)		0,05
Cadmio	(mg/l)		0,005
Color	(Pt/Co)	1	20
Turbidez	(JTU)	0,4	4
M.E.S.	(mg/l)		Ausencia

Calidad de las Aguas para consumo humano - Directiva del Consejo (15-7/80) - 80/778/CEE Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 15/Vol/02 (1980); 174-192 pp

Problema Potencial	Unidades	Grado de Restricción de Uso		
		Ninguna	Ligera a Moderada	Severo
Salinidad (afecta disponibilidad de agua para el cultivo) <sup>2</sup>				
Eca	ds/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
(o)				
TSS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltración (reduce infiltración; evaluar usando a la vez la Eca y el RAS) <sup>3</sup>				
RAS = 0 - 3	y Eca =	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
= 3 - 6	=	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
= 6 - 12	=	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
= 12 - 20	=	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
= 20 - 40	=	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Toxicidad de Iones Específicos (afecta cultivos sensibles)				
Sodio (Na) <sup>4</sup>				
riego por superficie	RAS	< 3	3 - 9	> 9
riego por aspersión	me/l	< 3	> 3	
Cloro (Cl) <sup>4</sup>				
riego por superficie	me/l	< 4	4,0 - 10	> 10
riego por aspersión	mg/l	< 3	> 3	
Boro (B) <sup>5</sup>				
Oligoelementos (Tabla 21)				
Varios (afecta cultivos sensibles)				
Nitrógeno (NO <sub>3</sub> -N) <sup>6</sup>	mg/l	< 5	5,0 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> ) (aspersión foliar únicamente)	me/l	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH		Amplitud Normal 6,5 - 8,4		

<sup>1</sup> Fuente: University of California Committee of Consultants 1974. (En "La calidad del agua en la agricultura": Estudio FAO-Riego y Drenaje Nº 29-Rev 1-1987).

<sup>2</sup> Eca es la conductividad eléctrica del agua; medida de la salidad, expresada en decisiémenes por metro a 25°C (ds/m), o en millimhos por centímetro a 25°C (mmhos/cm). Las dos medidas son equivalentes. TSS, es el total de sólidos en solución, expresado en miligramos por litro (mg/l).

<sup>3</sup> RAS es la relación de adsorción de sodio, algunas veces representada como RNa. Para un valor determinado del RAS, la velocidad de infiltración aumenta a medida que aumenta la salinidad. Debe evaluarse el problema potencial de infiltración utilizando el RAS y la Eca. Fuente: Rhoades 1977 y Oster y Schroer 1979.

<sup>4</sup> La mayoría de los cultivos arbóreos y plantas leñosas son sensibles al sodio y al cloro; en el caso de riego por superficie úsese los valores indicados. La mayor parte de los cultivos anuales no son sensibles; para ellos úsese las tolerancias de salinidad dadas en las Tablas 4 y 5. Para la tolerancia de los frutales al cloro, utilícese la Tabla 14. En el caso de riego por aspersión sobre el follaje, y humedad relativa por debajo del 30%, el sodio y el cloro pueden ser absorbidos por las hojas de cultivos sensibles; para ellos ver las Tablas 18, 19 y 20.

<sup>5</sup> Para las tolerancias al boro, ver las Tablas 16 y 17.

<sup>6</sup> NO<sub>3</sub>-N es el nitrógeno en forma de nitrato, expresado en términos de nitrógeno elemental (en el caso de aguas residuales incluir el NH<sub>4</sub>-N y el N-orgánico).

## LISTA DE CUADROS

### Cuadros

- 4.1A Proyecto: T.D.P.S.-Hidroquímica. Primera Campaña 15-04-92
- 4.1B Proyecto: T.D.P.S.-Hidroquímica. Primera Campaña 15-04-92
- 4.2A Proyecto: T.D.P.S.-Hidroquímica. Segunda Campaña 15-08-92
- 4.2B Proyecto: T.D.P.S.-Hidroquímica. Segunda Campaña 15-08-92
- 4.3A Proyecto: T.D.P.S.-Hidroquímica. Tercera Campaña 15-01-93
- 4.3B Proyecto: T.D.P.S.-Hidroquímica. Tercera Campaña 15-01-93
- 4.4A Promedios Totales de Parámetros Físico-Químicos por Campañas y Puntos (1990-1991). Proyecto: (UMSA-U.LAVAL)
- 4.4B Promedios Totales de Parámetros Físico-Químicos por Campañas y Puntos (1990-1991). Proyecto: (UMSA-U.LAVAL)
- 4.5 Evaluación de la Calidad de Agua para Riego. Primera Campaña. Proyecto T.D.P.S. - Hidroquímica 15-04-92
- 4.6 Evaluación de la Calidad de Agua para Riego. Segunda Campaña. Proyecto T.D.P.S. - Hidroquímica 15-08-92
- 4.7 Evaluación de la Calidad de Agua para Riego. Tercera Campaña. Proyecto T.D.P.S. - Hidroquímica 15-01-93
- 4.8 Evaluación de la Calidad de Agua para Riego. Promedios Totales de Parámetros Físico-Químicos por Campañas y Puntos (1990-1991). Proyecto: (UMSA-U.Laval).
- 4.9 Análisis de Elementos Contaminantes en Lodos del Sistema T.D.P.S. (Agosto de 1992)
- 4.10 Análisis de Elementos Contaminantes en Lodos del Sistema T.D.P.S. (Diciembre de 1992)
- 4.11 Resultado de los Análisis Físico-Químico de Muestras de Aguas Subterráneas. Sistema T.D.P.S.
- 4.12 Evaluación de la Calidad de Aguas para Riego - Muestras de Aguas Subterráneas. Sistema T.D.P.S.

## LISTA DE FIGURAS

### Figuras

- 1.1 Ubicación de la Zona de Estudio (Sistema T.D.P.S.)
- 1.2 Area de estudio (Sistema T.D.P.S.)
- 3.1 Ubicación de Puntos de Muestreo de Aguas Superficiales
- 3.2 Ubicación de Puntos de Muestreo de Lodos (Sedimentos)
- 3.3 Ubicación de Puntos de Muestreo de Pozos (Aguas Subterráneas)
- 4.1 Variación de la Conductividad: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.2 Sólidos Totales Disueltos: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.3 Variación de pH: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.4 Variación de la Dureza: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.5 Materia en Suspensión: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.6 Variación de Oxígeno Disuelto: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.7 Variación de Alcalinidad Total: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.8 Dióxido de Carbono Libre (CO<sub>2</sub>): Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.9 Variación de Fosfatos: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.10a Variación de Nitratos: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.10b Variación de Nitritos: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.11 Variación de Cloruros: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.12 Variación de Sulfatos: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó

- 4.13 Variación de Silice Disuelta: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.14 Variación de Potasio: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.15 Variación de Sodio: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.16a Variación de Calcio: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.16b Variación de Magnesio: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.17 Variación de Boratos: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.18 Variación de Cianuros: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.19 Variación de Hierro: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.20 Variación de Manganeso: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.21 Variación de Cromo (+6): Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.22 Variación de Wolfram: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.23 Variación de Estaño: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.24 Variación de Plomo: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.25 Variación de Antimonio: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.26 Variación de Arsénico: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.27 Variación de Cadmio: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.28 Variación de Cobalto: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó

- 4.29 Variación de Niquel: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 4.30 Variación de Zinc: Lago Titicaca-Río Desaguadero-L. Poopó
- 6.1 Diagrama para la Clasificación de Aguas Superficiales para Riego
- 6.2 Diagrama para la Clasificación de Aguas para Riego (Pozos)