



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

CONVENIO
UMSA - ORSTOM

FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE BIOLOGIA



INCIDENCIA DE UNA CONTAMINACION POR EFLUENTES
MINEROS SOBRE LA FAUNA BENTICA EN UN COMPLEJO
FLUVIO-LACUSTRE ALTOANDINO

Milluni La Paz - Bolivia

Postulante :
ROBERTO APAZA CHAVEZ

Tutor Cientifico : Dr. CLAUDE DEJOUX
Co-tutor Cientifico : Dr. JEAN G. WASSON
Tutor Administrativo : Dra. MARGOT FRANKEN

La Paz - Bolivia

1991

FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES

CARRERA DE BIOLOGIA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

Ing. José Lorini Lapachet

TRIBUNAL EXAMINADOR

Ma. en Cs. Ruth Sivila de Cari

Lic. Rubén Marin Pantoja

TUTOR CIENTIFICO (ORSTOM)

Dr. Claude Dejoux

TUTOR ADMINISTRATIVO (UMSA)

Ma. en Cs. Cecile B. de Morales

La Paz Bolivia 1991

**INCIDENCIA DE UNA CONTAMINACION POR EFLUENTES
MINEROS SOBRE LA FAUNA BENTICA EN UN COMPLEJO
FLUVIO-LACUSTRE ALTOANDINO**

Milluni La Paz - Bolivia

AL SACRIFICIO DE MIS PADRES
JOAQUIN Y REMEDIOS A QUIENES
LES DEBO TODO LO QUE SOY

A MI QUERIDA ESPOSA
IRMA POR SU PACIENTE
ESPERA Y SU CONSTANTE
AYUDA EN TODO MOMENTO

INDICE GENERAL

Indice general	I
Indice de figuras.....	V
Indice de cuadros.....	IX
Indice de fotos	X
Agradecimientos	XV
Resumen	XVII
I. INTRODUCCION	1
I.1. Generalidades	1
I.2. Antecedentes	3
I.3. Objetivos	4
I.4. Situación actual de las investigaciones	5
II. CARACTERES HIDROMORFOLOGICOS DE LA REGION DE ESTUDIO	9
II.1. Situación geográfica de la región de estudio	9
II.1.1. Laguna Pata Khota	9
II.1.2. Laguna Jankho Khota	12
II.1.3. Laguna Milluni.....	12
II.1.4. Otras lagunas naturales	12
II.2. Geomorfología	13
II.3. Geología	14
II.4. Climatología.....	16
II.4.1. Temperatura del aire.....	16
II.4.2. Pluviometría	17
II.5. Régimen hidrológico	19
III. EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACION EN EL VALLE DE MILLUNI ...	21
III.1. Uso del agua para el tratamiento de minerales	21

II

III.1.1. Concentración gravimétrica de minerales	21
III.1.2. Flotación de minerales	22
III.2. Aporte de contaminantes y su influencia sobre la calidad de las aguas de la región de Milluni	24
III.2.1. Contaminación por extracción de minerales	24
III.2.2. Contaminación natural	24
III.2.3. Contaminación por desechos sólidos	26
III. Repercusión de la contaminación en la calidad de aguas	26
IV. ESTUDIO FISICO QUIMICO DEL COMPLEJO FLUVIO LACUSTRE DE MILLUNI	30
IV.1. Generalidades	30
IV.2. Elección de los puntos de muestreo	31
IV.3. Caracteres físico químicos	31
IV.4. Métodos de análisis físico químicos	32
IV.5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	36
IV.5.1. Caracteres físicos del agua	36
IV.5.1.1. Transparencia	36
IV.5.1.2. Temperatura	38
IV.5.1.3. Conductividad eléctrica	40
IV.5.1.4. pH	42
IV.5.1.5. Materia en suspensión	45
IV.5.1.6. Oxígeno disuelto	47
IV.5.2. Caracteres químicos de las aguas	48
IV.5.2.1. Composición de las sales disueltas en el complejo fluvio lacustre del valle de Milluni	48
IV.5.2.2. Evolución espacio temporal de la comosición química de las aguas del	

III

	complejo de lagunas de la región de Milluni	51
IV.5.3.	Caracteres químicos de los sedimentos contaminados	56
IV.6	CONCLUSIONES	57
V.	ESTUDIO BIOLÓGICO DEL COMPLEJO FLUVIO LACUSTRE DE LA REGIÓN DE MILLUNI	60
V.1.	Antecedentes y definición del estudio	60
V.2.	Ecosistemas estudiados	61
V.2.1.	Elección de las estaciones	61
V.2.1.1.	Ambientes lóticos	61
V.2.1.2.	Ambientes leníticos	62
V.3.	Metodología de muestreo	63
V.3.1.	Ambientes lóticos	63
V.3.2.	Ambientes leníticos	68
V.4.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	69
V.4.1.	Habitat acuático de los ríos	69
V.4.2.	Habitat acuático de las lagunas.....	71
V.4.3.	Evolución anual de la fauna béntica	76
V.4.3.1.	Fauna de los ríos	76
V.4.3.2.	Fauna de la lagunas	82
V.4.3.2.1.	En el sedimento	82
V.4.3.2.2.	En la vegetación	84
V.4.3.2.3.	En substratos artificiales	86
V.4.4.	Repartición faunística de las especies	89
V.4.4.1.	Fauna de los ríos	89
V.4.4.2.	Fauna de las lagunas	91

V.4.5. Evolución de la abundancia faunística en las lagunas	92
V.4.5.1. En el sedimento	93
V.4.5.2. En la vegetación	95
V.4.6. Diversidad de la fauna béntica	98
V.4.6.1. Diversidad en ríos	98
V.4.6.2. Diversidad en lagunas	98
V.5. CONCLUSIONES	100
V.6. DISCUSION	101
VI. PERSPECTIVAS DE RESTAURACION DE LOS ECOSISTEMAS ACUATICOS AFECTADOS POR LA CONTAMINACION MINERA	106
VI.1. Laguna Jankho Khota	106
VI.2. Laguna Milluni	108
VI.3. RECOMENDACIONES	109
VII. BIBLIOGRAFIA	111
VIII. ANEXO 1	
IX. ANEXO 2	

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 : Mapa de ubicación de los cuatro valles glaciares de la Cordillera Real, basado en las cartas del I.G.M.	10
FIGURA 2 : Mapa de la zona de estudio, basado en las cartas del I.G.M.	11
FIGURA 3 : Mapa geológico de Milluni según Lehmann	15
FIGURA 4 : Régimen pluviométrico de las estaciones Zongo y Milluni, basado en los datos de la Compañía Boliviana de energía Eléctrica	18
FIGURA 5 : Diagrama de producción de la planta de beneficio de la mina Milluni	23
FIGURA 6 : Distribución de los puntos de muestreo de agua en los afluentes y lagunas de la región de estudio.....	29
FIGURA 7 : Curvas de transparencia del agua en las lagunas de la región de estudio.....	37
FIGURA 8 : Evolución de la mineralización global desde río arri-ba hacia río abajo en el complejo lacustre de Milluni	41

- FIGURA 9 : Evolución anual del pH, desde río arriba hacia río abajo en el complejo de lagunas de la región de Milluni..... 43
- FIGURA 10: Representación porcentual de los tipos de agua presentes en el complejo lacustre de la región de Milluni 49
- FIGURA 11: Variaciones del nivel de agua (cm) en la laguna Jan-kho Khota 52
- FIGURA 12: Evolución anual de la composición química en las lagunas de la región de Milluni 53
- FIGURA 13: Distribución de los puntos de muestreo de los organismos bénticos en los afluentes y lagunas de la región de Milluni 64
- FIGURA 14: Diagrama del tratamiento de las muestras de invertebrados del sedimento y la vegetación tanto en el campo como en el laboratorio67
- FIGURA 15: Evolución anual de la abundancia (organismos por metro cuadrado) y composición porcentual de la fauna béntica de los diferentes ríos del complejo lacustre de Mulluni78
- FIGURA 16: Evolución anual de la abundancia (Organismos por metro cuadrado) y composición porcentual de la

VII.

- dinámica de colonización de substratos artificiales en ríos de la región de Milluni80
- FIGURA 17: Evolución anual de la abundancia (organismos por me-tro cuadrado) y composición porcentual de la fauna béntica en sedimentos de las lagunas Pata Khota y Jankho Khota 83
- FIGURA 18: Evolución anual de la abundancia (organisms por 10 gramos de vegetación seca) y composición porcentual de la fauna en la vegetación de las lagunas Pata Khota y Jankho Khota..... 85
- FIGURA 19: Dinámica de colonización de substratos artificiales en las lagunas Pata Khota y Jankho Khota 87
- FIGURA 20: Lista global del organismos recolectados en afluentes y lagunas del complejo lacustre de la región de Milluni 90
- FIGURA 21: Grupos de familias por clases de abundancia en sedi-mentos de las lagunas Pata Khota y Jankho Khota 94
- FIGURA 22: Grupos de familias por clases de abundancia en la vegetación de las lagunas Pata Khota y Jankho Khota 96

FIGURA 23: Evolución del Índice de diversidad desde aguas naturales hacia aguas contaminadas	99
FIGURA 24: Esquema del nuevo canal de aducción desde la laguna Jankho Khota hasta la laguna de Milluni realizado por SAMAPA	107

INDICE DE CUADROS

- CUADRO 1 : Medidas de los cambios periódicos de la temperatura (°C) en la laguna Pata Khota39
- CUADRO 2 : Promedio anual de la composición físico química de las aguas de ríos y lagunas del complejo fluvio lacustre de la región de Milluni.....55
- CUADRO 3 : Características de las estaciones de los diferentes afluentes del complejo lacustre de la región de Milluni70
- CUADRO 4 : Características de las estaciones, laguna Pata Khota74
- CUADRO 5 : Características de las estaciones, laguna Jankho Kho-ta75
- CUADRO 6: Características de las estaciones, laguna Milluni76

INDICE DE FOTOS

- FOTO 1 : Contaminación natural, presencia de sulfuros de hierro cerca de la laguna Jankho Khota 25
- FOTO 2 : Contaminación por desechos sólidos, material en desuso depositado cerca da la laguna Jankho Khota25
- FOTO 3 : Contaminación por desechos sólidos, material en desuso depositado en la orilla de la laguna Milluni....27
- FOTO 4 : Afluente 4, aporta gran cantidad de materia en suspensión a la laguna Jankho Khota46
- FOTO 5 : Afluente 7 aporta gran cantidad de sedimentos contaminados a la laguna Jankho Khota 46
- FOTO 6 : Substratos artificiales formados por tres piedras planas, recolectados en la región de estudio.....66
- FOTO 7 : Presencia de sedimentos contaminados en la zona II de la laguna Jankho Khota 72
- FOTO 8 : Presencia de sedimentos contaminados en la zona III de la laguna Jankho Khota72
- FOTO 9 : Presencia de sedimentos contaminados en la zona IV de la laguna Jankho Khota 73

FOTO 10: Presencia de sedimentos contaminados en la zona VI
de la laguna Jankho Khota 73

ANEXO 1

CUADRO 1 : Resumen de los análisis físico químicos (mg/l) de las aguas de la región de Milluni realizado por SAMAPA, BMSA y STAB

CUADRO 2 : Pluviometría (mm) de la estación Zongo de la Corporación Boliviana de Energía Eléctrica

CUADRO 3 : Pluviometría (mm) de la estación Milluni de la Corporación Boliviana de Energía Eléctrica

CUADRO 4 : Resumen de los análisis físico químicos (mg/l) de lagunas ubicadas en cuatro valles glaciares realizado por Iltis

CUADRO 5 : Resumen de los análisis químicos de los sedimentos de la región de Milluni realizado por Base Metal Synergy Associated

XIII.

ANEXO 2

- CUADRO 1 : Variación anual de los factores físico químicos en afluentes y lagunas de la región de estudio
- CUADRO 2 : Distribución faunística por clases de abundancia de los diferentes afluentes del complejo lacustre de la región de Milluni
- CUADRO 3 : Distribución faunística por clases de abundancia de la dinámica de colonización de substratos artificiales en los diferentes afluentes del complejo lacustre de Milluni
- CUADRO 4 : Distribución faunística por clases de abundancia de la laguna Pata Khota
- CUADRO 5 : Distribución faunística por clases de abundancia de las lagunas khota (Hichu Khota) y Allka Khota (Ovejuyo)
- CUADRO 6 : Distribución faunística por clases de abundancia de la laguna Jankho Khotia
- CUADRO 7 : Distribución faunística por clases de abundancia de la dinámica de colonización de substratos artificiales en lagunas de la región de estudio

CUADRO 8 : Distribución faunística por clases de abundancia de la dinámica de colonización de substratos artificiales en el efluente de la laguna Milluni

AGRADECIMIENTOS

- Al convenio UMSA-ORSTOM, muy en especial al Dr. Claude DEJOUX tutor científico, por su amplia y decidida colaboración en el asesoramiento técnico logístico que permitió el logro del presente trabajo.
- Al Dr. Jean Gabriel Wasson, co-tutor científico, por la coo-peración al proporcionar información bibliográfica para realizar el presente estudio.
- A la Dra. Margot Franken, tutor representante de la Universidad Mayor de San Andrés, a quien le debo mis más sinceros agradecimientos por la orientación logística para la conclusión del presente trabajo.
- Al Instituto de Investigaciones Químicas de la Universidad Mayor de San Andrés por los análisis de algunos parámetros químicos.
- Al laboratorio de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrolo-gía por los análisis de algunos parámetros físico químicos.
- Al laboratorio de Tierra Limitada por los análisis de metales pesados.

XVI

- Al Instituto de Ecología por el financiamiento para la conclu-sión del presente estudio.
- Agradezco particularmente al Sr. Julio Cesar Salinas por la colaboración en el trabajo de campo.
- A la persona de la Sra Cecilia González por la transcripción del presente trabajo.

RESUMEN

La contaminación de que han sido objeto las lagunas de la región de Milluni, motivaron a realizar el presente estudio sobre la composición físico química de las aguas y la distribución y abundancia de los organismos bénticos de estos medios acuáticos.

De acuerdo a la contaminación, tres lagunas han sido diferenciadas, Milluni (completamente contaminada), Jankho Khota (parcialmente contaminada) y Pata Khota (sin contaminación). Todas estas forman un rosario de lagunas, tienen como afluente principal agua de glaciar y el efluente de la laguna, que se encuentra más arriba.

Las aguas de la laguna Pata Khota son poco mineralizadas, con baja conductividad, neutras o ligeramente ácidas, con una composición química característica de lagunas naturales de alta montaña. Mientras que las aguas de la laguna Jankho Khota presentan una evolución interesante de una zona a otra en la misma laguna, es decir, hay un crecimiento progresivo de los diferentes parámetros físico químicos, con una tendencia hacia la acidez en la dirección norte-sur. Por último, la laguna Milluni presenta aguas muy conductivas y mineralizadas, extremadamente ácidas, con una concentración de iones metálicos también elevada y con presencia importante de metales pesados.

XVIII.

Como producto de esta contaminación, la abundancia y diversidad de los organismos béticos tiene una evolución también importante. Existe una disminución tanto en abundancia como en diversidad desde las lagunas naturales hacia aquellas afectadas por la contaminación, demostrándose de esta manera el efecto negativo que ha acarreado la explotación de minerales en esta región, además ha significado para el Servicio Autónomo Municipal de Agua Potable y Alcantarillado un costo elevado en el tratamiento de estas aguas.

I. INTRODUCCION

I.1 Generalidades

La creciente, a veces mal planificada industrialización de los países en vías de desarrollo, viene acompañada de aspectos negativos, uno de los cuales es la contaminación de aguas, que se extiende rápidamente.

Los problemas de contaminación ocurren principalmente en áreas urbanas y rurales por la presencia de empresas mineras en esta última. En el caso particular de la industria minera, ha sido beneficiado por leyes sumamente parcializadas para la explotación de minerales, debido a que nuestro país, al tener su economía basada en la minería, ha tratado de favorecer a esta actividad. Por eso, serios perjuicios han sido causados por los desechos de los tratamientos de los ingenios; estos pueden ser depositados en forma inadecuada y llevados por el agua superficial, además el depósito directo de efluentes en lagos, provocando serias alteraciones ecológicas.

Muy cerca de La Paz, una vista general de la represa de Milluni nos muestra un lago de aguas transparentes rodeado por una superfiie de tierra colorada con alto contenido de hierro, que aparentemente cubre todo el fondo de esta laguna; esto como el resultado de la acumulación desde hace más de 40

años de aportes sedimentarios altamente cargados por los efluentes de mina Milluni (APAZA, 1989).

Como es conocido, estas aguas son almacenadas para su utilización, primero en la planta hidroeléctrica de la COBEEy luego por SAMAPA, para el abastecimiento de agua potable a la zona central de la ciudad, después de su tratamiento, razón por la cual nos ha parecido interesante realizar este estudio del real nivel de contaminación de esta laguna y averiguar la posibilidad de una descontaminación parcial o total, tomando en cuenta la situación crítica por la que atraviesa la minería a nivel mundial. La mina se cerraba por lo que actualmente las lagunas situadas en esta región reciben una cantidad de efluentes limitados.

A fin de lograr este resultado, ha sido necesario realizar un estudio comparativo de la situación ecológica encontrada en otros medios acuáticos ubicados dentro del complejo fluvio lacustre de la región de Milluni. Uno de ellos es la laguna Jankho Khota, presentando una parcial contaminación, otro, la laguna Pata Khota, representando un medio natural. Asimismo, hemos considerado otras lagunas situadas en otros valles de la Cordillera Real, como ser: laguna Khotia del valle de Hichu Khota y laguna Allka Khota del valle de Ovejuyo.

I.2. Antecedentes

La actividad minera en esta región data desde 1940, cuando la mina pertenecía a la "Fabulosa Mines", para luego, desde 1960, pasar a depender de la COMSUR, empresa que dispuso la recuperación del mineral por sistema de flotación, usando aguas provenientes de deshielo, para luego devolverlas a su curso normal con la consiguiente contaminación (PAZ, 1988).

La planta de tratamiento de Achachicala fue la primera en proporcionar agua potable a la ciudad de La Paz en el año 1930, para lo cual contaba únicamente con el embalse de Milluni chico, a objeto de garantizar el consumo de agua potable en la época seca y poder cubrir de esta manera las exigencias de la población; se construyó una nueva represa en los años 1930 a 1940 (actualmente lago Milluni).

La mina Milluni utilizó en sus diferentes etapas de explotación aguas provenientes de los deshielos del Huayna Potosí y otros nevados. La captación y conducción de aguas efectuadas por la compañía minera, sirvieron como abastecimiento doméstico del campamento, y dentro de la mina el agua se utilizó como refrigerante para las compresoras.

El agua contaminada a su vez deteriora el suelo, con la presencia de elevadas concentraciones de iones metálicos, y además otorga a la represa de Milluni un agua de pésimas

características, fenómenos que en conjunto deterioran el medio ambiente en general.

Desde 1943, época en la cual la Honorable Alcaldía Municipal (HAM) era la encargada de distribución de agua potable, por los problemas de ese momento, conjuntamente con la Compañía Boliviana de Energía Eléctrica (COBEE) efectuaban una serie de reclamos a la empresa minera, sin llegar a conseguir los objetivos trazados, Posteriormente, en el año 1965 se crea el Servicio Autónomo Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SAMAPA), heredando todos los problemas de contaminación hasta la fecha, a pesar de haber sido reacondicionada la planta de tratamiento de Achachicala en 1970, viene señalando que tiene enormes gastos por el tratamiento de las aguas para hacerlas potables y suministrarlas a la ciudad de La Paz.

I.3. Objetivos

El objetivo principal del presente trabajo es de aportar al conocimiento del deterioro del medio ambiente por la explotación minera y particularmente sentar las bases para determinar el efecto nocivo que presentan las aguas y los sedimentos de las lagunas Jankho Khota y Milluni sobre los organismos acuáticos. Además el estudio dinámico de la evolución cualitativa y cuantitativa de la fauna béntica en las diferentes lagunas de la región de estudio.

Por otra parte, la finalidad de esta investigación es la de servir como material de consulta para posteriores estudios, que puedan mejorar las condiciones actuales de las lagunas contaminadas.

Dentro del objetivo general, presentado en el párrafo anterior, están como objetivos específicos, la determinación de los parámetros físico químicos y biológicos de importancia en la contaminación de las lagunas de la región de Milluni. Los parámetros que se utilizaron fueron:

- La evolución anual de los factores físico químicos
- la elaboración de una lista faunística de los ambientes lóti-cos y leníticos
- la distribución y abundancia de los organismos bénticos en los ambientes lóticos y leníticos y su evolución anual
- La evaluación de los factores morfodinámicos para un posible repoblamiento de organismos acuáticos en los medios actualmente contaminados.

I.4. Situación actual de las investigaciones

Muchos investigadores realizaron trabajos sobre la conntaminación de los medios acuáticos, pero en Bolivia son pocos los estudios referentes a este tema, con más énfasis en aspectos físico químicos, descuidando por completo la parte biológica.

Los estudios sobre la contaminación minera en ríos y lagunas son muy escasos: Tales como la contaminación del lago Poopó por empresas mineras situadas a lo largo del río Desaguadero (MIN, 1987), además de un estudio de los niveles de metales pesados en el mismo lago (BEVERIDGE, 1983) demostrando contenidos altos de iones metálicos tanto en las aguas, sedimentos, tejido muscular del pejerrey y de la totora, y un estudio de los contenidos contaminantes en aguas y sedimentos provenientes de la mina Matilde a través del río Chilaya al lago Titicaca (SALM & ARZE, 1979) con niveles relativamente altos de manganeso, plomo y zinc, además de un trabajo sobre la contaminación originada por la industria minera (CARDOZO 1983) (SAHONERO, 1983).

Los estudios referentes a la cuenca de Milluni han sido realizados por SAMAPA efectuando una serie de análisis físico químicos en diferentes puntos de la región de Milluni, demostrando concentraciones muy elevadas de metales en los principales efluentes de la mina (ver ANEXO 1 CUADRO 1); asimismo KOLLOTZED & SOINE (1985) de la agencia de cooperación alemana (GTZ) realizaron un trabajo de las condiciones físico químicas de las aguas de la cuenca de Milluni comparándolas con otras represas de SAMAPA, advirtiéndose un mayor costo en el tratamiento de las aguas provenientes de la región de Milluni.

También RIOS (1985) realizó un estudio de la contaminación producido por las descargas mineras de COMSUR en la laguna de Milluni, posteriormente un estudio encomendado por la Compañía Minera del Sur (COMSUR) a una consultora Base Metal Sinergy Associated (1988) evaluó minuciosamente las aguas y sedimentos en diferentes puntos de la laguna Milluni. Ambos trabajos demuestran contenidos de metales en concentraciones elevadas. Finalmente, se realizaron un estudio "in situ" sobre la sensibilidad de los organismos béticos a la contaminación por efluentes de la mina Milluni (APAZA, 1989) donde se destaca una elevada mortalidad de los organismos en los medios, que contenían agua y sedimentos contaminados, y además de un estudio de macrófitos realizados por STAB (1990).

Con el aumento de la contaminación de aguas se hace más urgente la purificación de éstas, razón por la cual también se hicieron estudios sobre el tratamiento de aguas para su potabilización en forma de una planta de alto rendimiento (BALLON, 1978), así como el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas potables en base a métodos modernos (GONZALES, 1980).

El mejoramiento de las técnicas de purificación de aguas ha sido objeto de continuas investigaciones. Ya en los años cincuenta se reportó, que algunas plantas acuáticas pueden

absorber grandes cantidades de sustancias orgánicas e inorgánicas del agua contaminada (SEIDEL, 1953). Durante muchos años se examinaron diferentes macrófitos y los tipos de contaminantes que podían eliminar (SEIDEL, 1966), obteniéndose buenos resultados. Por otro lado, SALM & ARZE (1982) realizaron experimentos "in situ" con totora para la purificación de aguas contaminadas. Finalmente se efectuó un trabajo sobre el comportamiento de la totora frente al hierro y la plata (GEHLER, 1985) con buenos resultados.

Como podemos ver, aparte de nuestro último trabajo incluido el de STAB, ninguno concierne entonces a la reacción de los organismos acuáticos a diferentes niveles de contaminación, para una mejor comprensión del desequilibrio ecológico causado por los efluentes contaminados de la mina Milluni.

II. CARACTERES HDROMORFOLOGICOS DE LA REGION DE ESTUDIO

II.1. Situación geográfica de la región de estudio

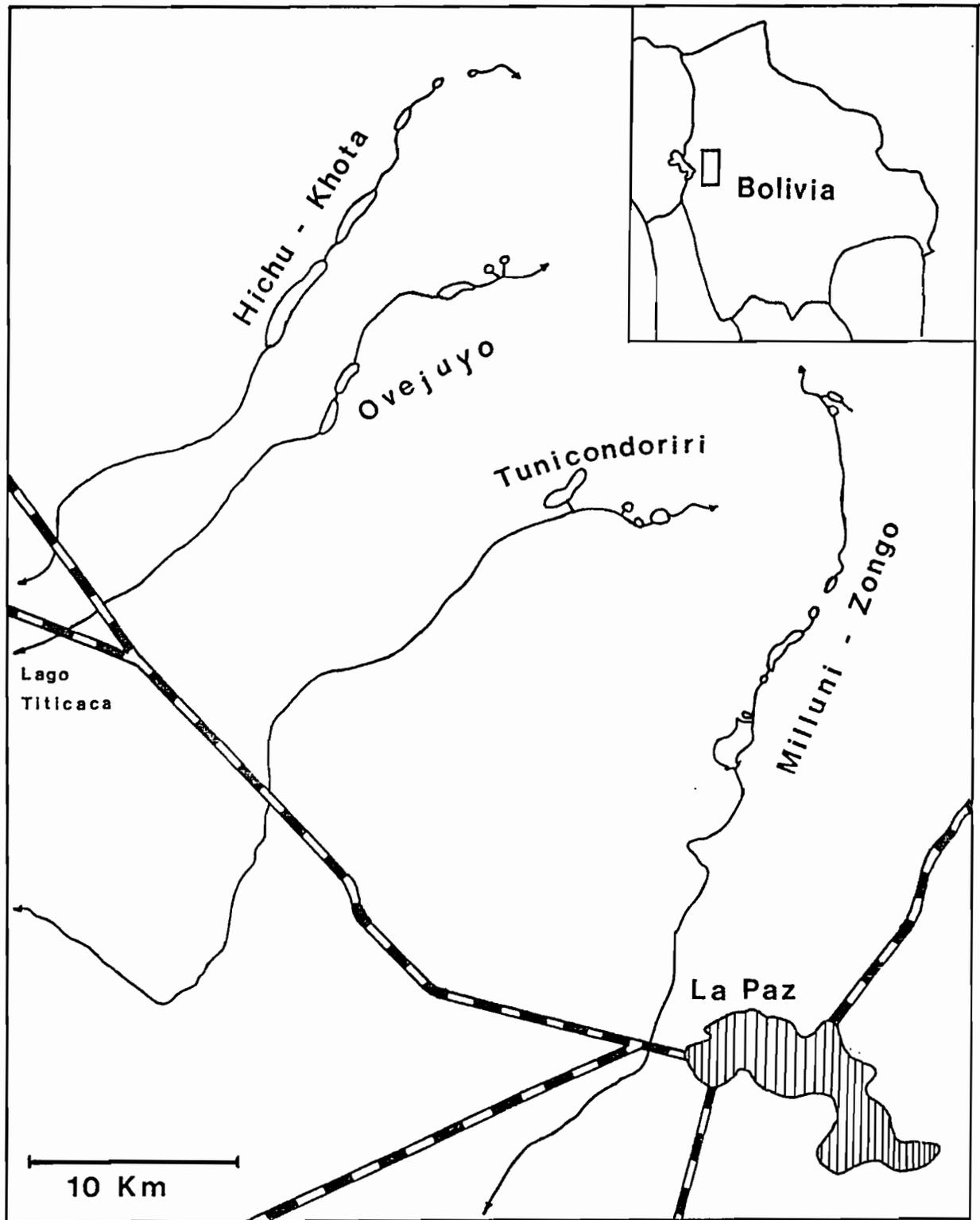
Varias son las lagunas que se encuentran a lo largo de la Cordillera Real, distribuidas principalmente en cuatro valles glaciares, que se extienden al este y al norte de La Paz (cordillera oriental de los Andes) en la provincias Omasuyos, los Andes y Murillo del departamento de La Paz. Estos valles reciben la denominación según el nombre de la laguna inferior; de la siguiente manera: Hichu Khota, Ovejuyo, Tunicondoriri y Milluni (FIGURA 1).

El estudio que se ha realizado, está enmarcado dentro del complejo fluvio lacustre de la zona de Milluni, representado principalmente por una serie de tres lagunas, sus afluentes y la mina misma. Este complejo se encuentra a 30 km y está ubicado en el departamento de La Paz al norte de la provincia Murillo, cantón Achocalla. En la carta geográfica del Instituto Geográfico Militar, se encuentra de $16^{\circ}08'$ a $16^{\circ}10'$ latitud sur y de $68^{\circ}17'$ a $68^{\circ}21'$ longtud oeste (FIGURA 2). Las lagunas son las siguientes:

II.1.1. Laguna Pata Khota

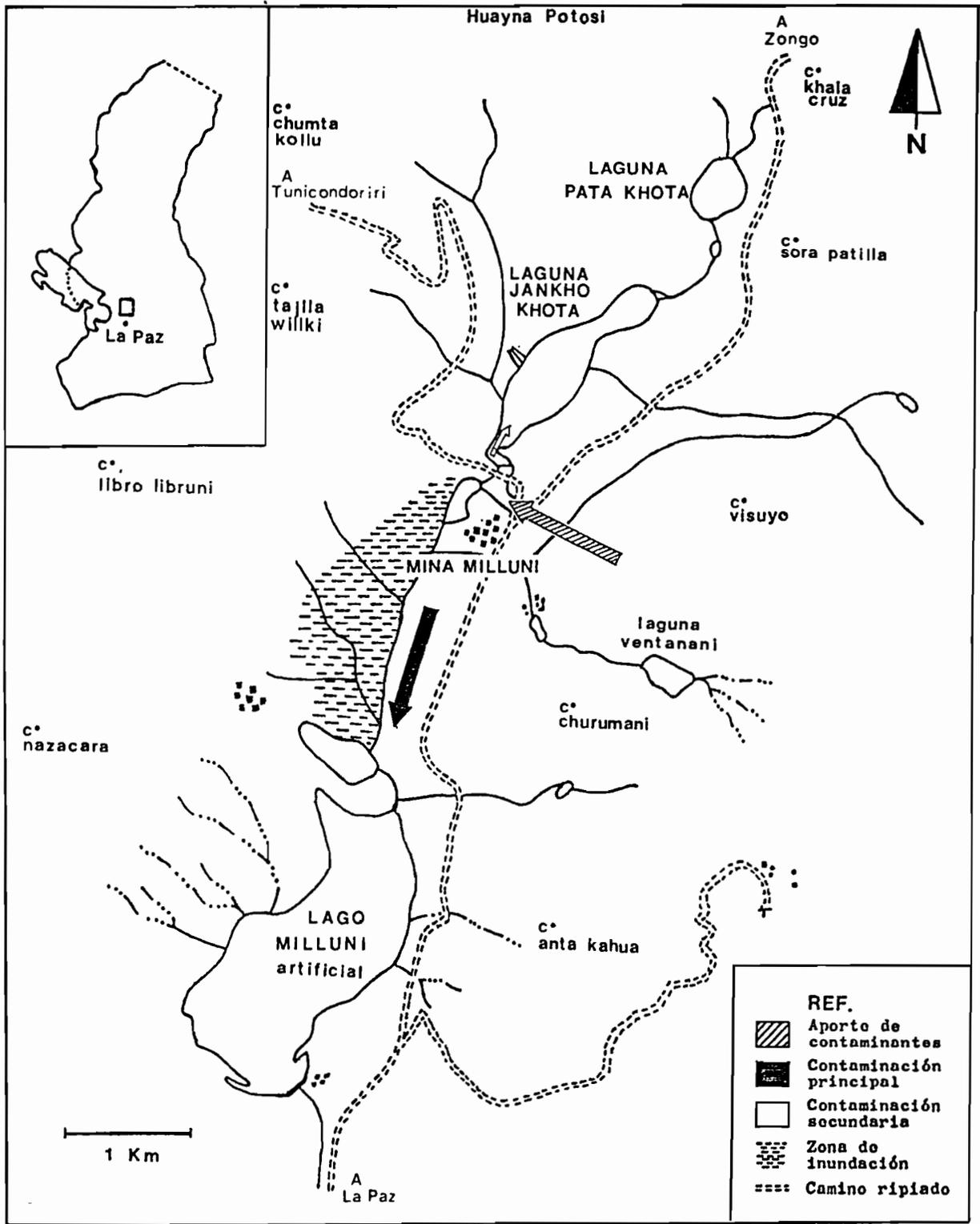
Se encuentra ubicada a 4670 metros sobre el nivel del mar, tiene como afluente principal agua de glaciar. No está

FIGURA 1



Mapa de ubicación de los cuatro valles glaciares de la cordillera Real basado en las cartas del I.G.M.

FIGURA 2



Mapa de la zona de estudio basado en las cartas del I.G.M.

6291

afectada por la contaminación, se encuentra ecológicamente intacta.

II.1.2. Laguna Jankho Khota

Está situada a 4575 metros sobre el nivel del mar, tiene como afluentes principales agua de glaciario y el efluente de la laguna situada más arriba. Se encuentra parcialmente contaminada, debido a que un efluente de la mina desemboca en la zona sur de esta laguna.

II.1.3. Laguna Milluni

Se encuentra a 4530 metros sobre el nivel del mar, tiene como afluentes principales agua de glaciario y el efluente de la laguna Jankho Khota. Se encuentra totalmente contaminada por los efluentes de la mina Milluni.

II.1.4. Otras lagunas naturales

A fin de completar nuestro estudio comparativo, hemos tomado en cuenta otras lagunas no contaminadas, que se encuentran aproximadamente a la misma altura que las lagunas de la región de estudio. La laguna Khotia del valle de Hichu Khota está ubicada a 4550 metros sobre el nivel del mar, la laguna Allka Khota del valle de Ovejuyo se encuentra a 4510 metros sobre el nivel del mar; ambas tienen como afluente principal

agua de glaciación y el efluente de la laguna que se encuentra más arriba.

II.2. Geomorfología

La zona de estudio se puede dividir geomorfológicamente a grandes rasgos, en dos zonas:

Hacia el norte las cimas de las montañas alcanzan una altura mayor a los 6000 metros (el punto más alto es el Huayna Potosí a 6038 metros), donde se encuentran afloramientos rocosos. Hacia el sur la depresión del altiplano rellena de sedimentos.

Entre estas dos zonas se encuentra el complejo de lagunas; laguna Pata Khota realizada por un dique de forma subcircular, laguna Jankho Khota de forma subrectangular alargada y finalmente, la laguna artificial Milluni también realizada por un dique de forma irregular. Las aguas provenientes de esta zona, están orientadas hacia el altiplano (cuenca cerrada). En la zona predominan amplios valles en forma de "U" de carácter glaciación y con pendientes relativamente pequeños (niveles de comparación son el borde del altiplano y el valle de La Paz) (LEHMANN, 1978).

II.3. Geología

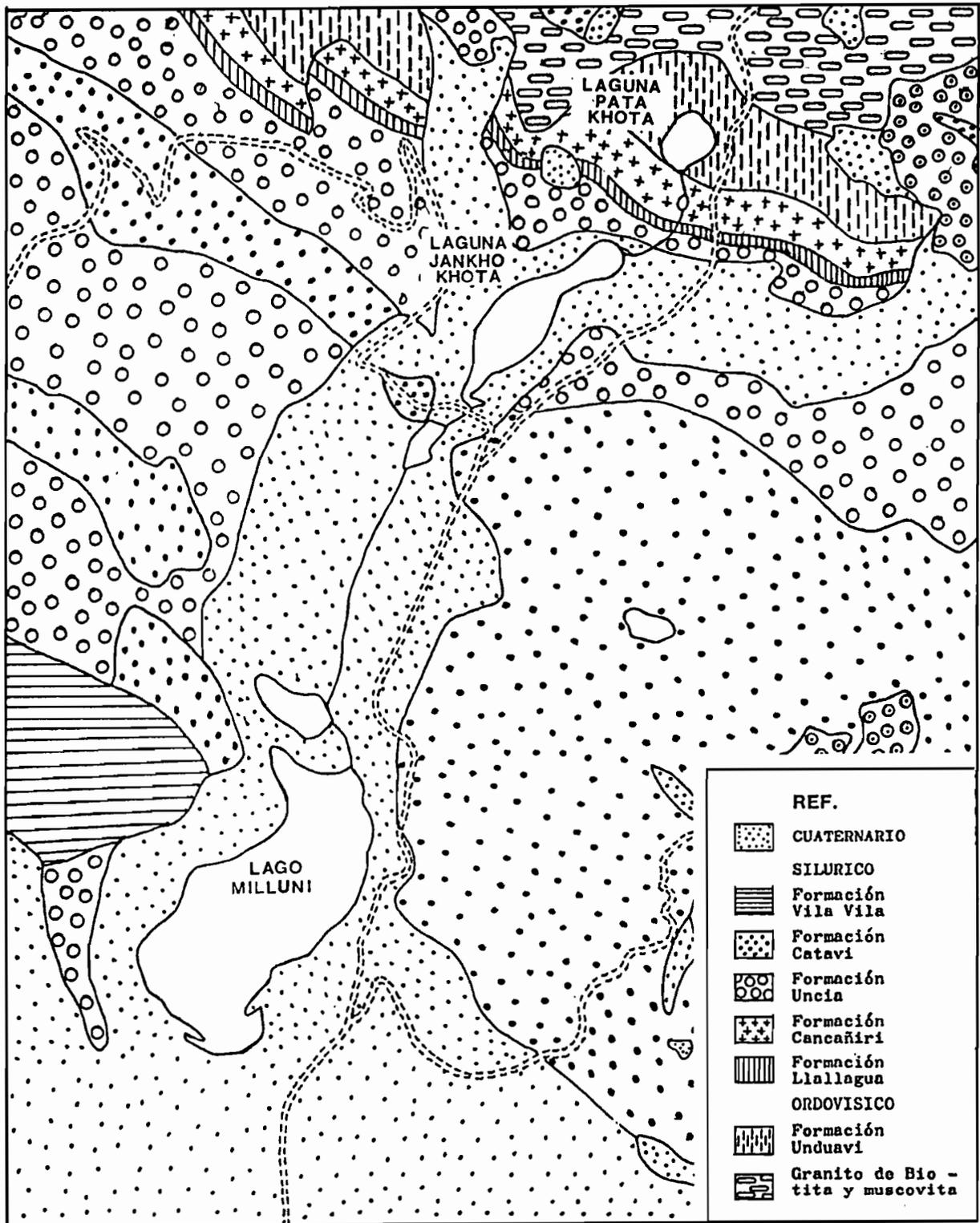
Se han realizado diversos estudios sobre la geología de la Cordillera Real (MURIEL, 1967) (BRANISA, 1965-1969). En particular LEHMANN (1978) realizó un estudio geológico de la región de Milluni, caracterizando la formación Cancañiri (diamictitas) continuando con las formaciones Llallagua y Uncia predominantemente de carácter arcilloso.

La formación Catavi se inicia con la sedimentación arcillo-arenosa de edad Ludloviana, seguido por la formación Vila Vila, que se caracteriza por presentar meta-arcosas y lutitas violetas, que se ubican en el límite Silúrico-Devónico; esta secuencia del Paleozoico inferior está afectada por un metamorfismo débil y está plegada.

Los meta-sedimentos Silúrico-Ordovísicos están intruidos por el macizo granítico de dos micas: del Huayna Potosí y por el pequeño stock granítico-porfírico del Chacaltaya (Figura 3).

Los yacimientos metalíferos del área se pueden considerar pertenecientes a la secuencia: Estaño, Wolfram, Bismuto, Zinc, Plomo, Cobre y forman parte de las zonas de alteración hidrotermal. En escala regional ellos están relacionados con la formación Catavi de edad Silúrica.

FIGURA 3



Mapa geológico de Milluni, según LEHMANN

Finalmente, indicamos que esta zona se caracteriza por presentar gran cantidad de sulfuros de hierro (piritas), además de casiterita y escasa cantidad de arsenopirita.

II.4. Climatología

La cordillera de Los Andes representa una barrera climática muy marcada, determinando dos zonas diferentes: El flanco vertiente nor-oriental es mucho más húmedo que la vertiente sur-occidental ya que éste recibe vientos húmedos de la cuenca amazónica (WASSON & MARIN, 1988).

Según KOEPPEN la zona de estudio está contemplada dentro del clima de alta montaña, correspondiendo a las altas cumbres de la cordillera, que están cubiertas de nieve o hielo la mayor parte del año.

TREWARTHA-ROBINSON clasifica la zona dentro del clima de tierras altas, determinado fundamentalmente por la altura sobre el nivel del mar y por factores locales como radiación solar, orientación de los valles y las corrientes atmosféricas.

II.4.1. Temperatura del aire

Desde el punto de vista climático, esta zona está regida por un clima de tipo tropical de alta montaña (ILTIS, 1988). A 4310 metros sobre el nivel del mar, el promedio anual de la

temperatura del aire es de 5.5°C en el valle de Huchu Khota, los promedios mensuales son de 3.5°C para el mes más frío (julio) y de 6.8°C para el mes más caluroso (diciembre).

Nuestras lecturas se efectuaron durante el día y están comprendidas entre los extremos, que varían de 1.5°C a 6.3°C, en Junio de 2.3°C a 13.1°C, en Octubre de 1988.

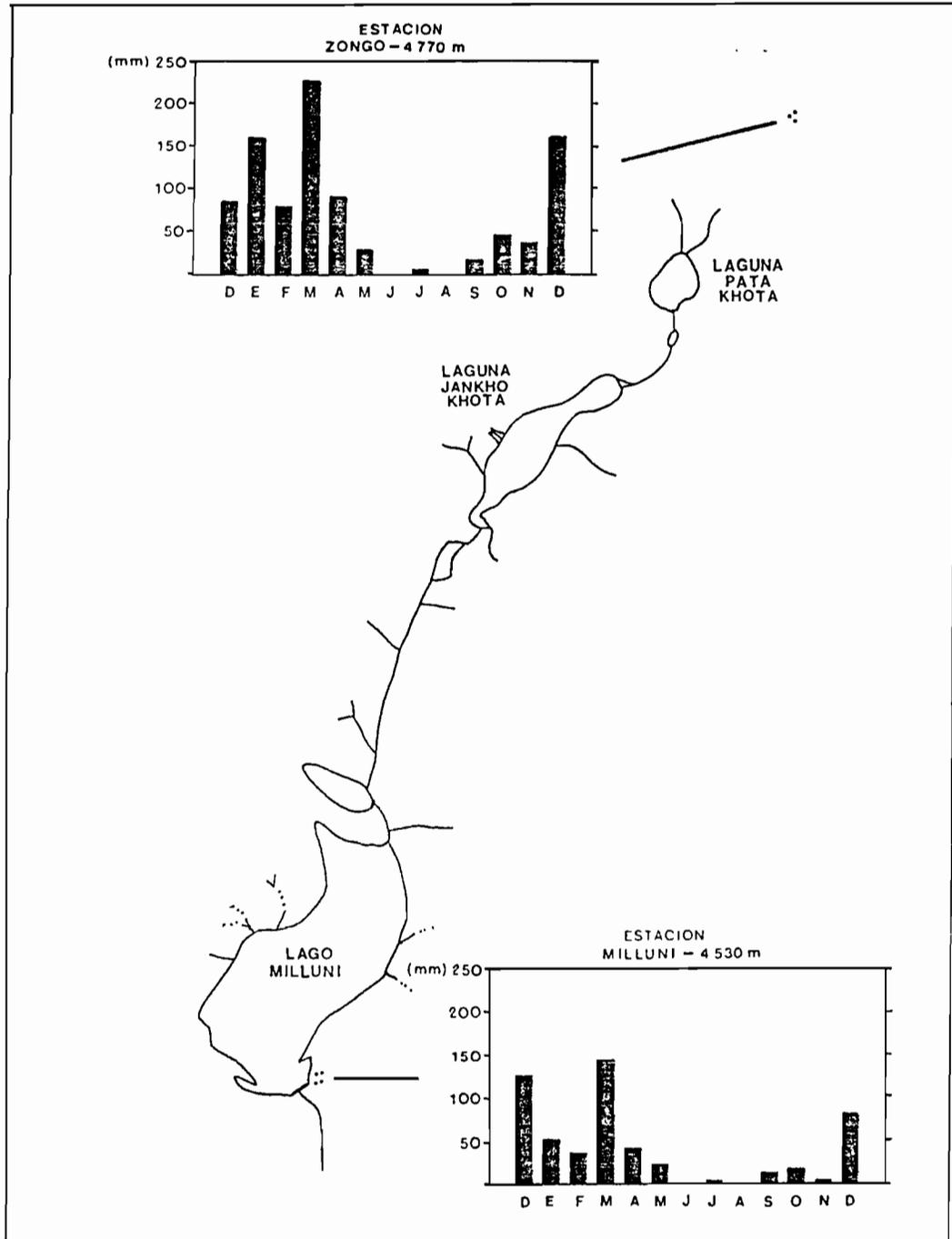
Como se podrá apreciar, existen pequeñas diferencias de temperatura del aire entre las épocas de lectura en el valle de Milluni comparadas con las del valle de Hichu Khota.

II.4.2. Pluviometría

Según la carta pluviométrica de ROCHE & ROCHA (1985) la lluvia media anual sobre el altiplano se evalúa de 600 a 700 mm., mientras que el valle de Hichu Khota las precipitaciones anuales de diciembre a abril con un máximo en Enero son del orden de 800 mm. (ILTIS, 1988).

El promedio de lluvias sobre el conjunto de lagunas de la región de estudio se evaluará mediante dos estaciones, Milluni y Zongo, de acuerdo a las medidas registradas por la Compañía Boliviana de Energía Eléctrica (COBEE) (ver ANEXO 1 CUADROS 2 Y 3), donde se puede observar que existe un mayor aporte registrado en la estación Zongo y menor en la estación Milluni, debido a los factores indicados en el punto I.4.

FIGURA 4



Regimen pluviométrico en las estaciones Zongo y Milluni
basado en los datos de la Compañía Boliviana de Energía
Eléctrica (COBEE)

La pluviometría concerniente al período de estudio (Octubre de 1987 a Diciembre 1988) está representada en la FIGURA 4. Se observa un aumento de la precipitación de Diciembre a Marzo con una baja en Febrero (estación de Zongo), alcanzando un máximo en Marzo con 229.5 mm. Mientras que en la estación Milluni los valores de aporte de Diciembre a Marzo son casi similares con pequeñas variaciones, valores bajos en Enero y Febrero y un máximo en Marzo con 148 mm.

En resumen se puede decir que los aportes en la cordillera son bajos, destacándose de esta manera, la barrera climática que representa ésta, porque el régimen pluviométrico aumenta desde el altiplano hacia la amazonia según MONTES DE OCA (1982).

II.5. Régimen hidrológico

Un régimen hidrológico válido para la zona cordillerana, está representado por el valle de Hichu Khota, donde se observa una misma repartición anual entre las épocas húmeda y seca. Los caudales no son conocidos, pero los estimados son aproximadamente de 5 a 10 l/s/km² para la región antes indicada (WASSON & MARIN, 1988) y de 5 l/s/km² para la región altiplánica (LOZADA, 1985).

Los caudales estimados de la región de Hichu Khota son representativos para la zona de estudio, pudiendose observar

decrecidas de las aguas de Mayo a Noviembre de 1988 y además un máximo de crecida en Marzo de 1988 (cf FIGURA 11).

III. EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACION EN EL VALLE DE MILLUNI

III.1. Uso del agua para el tratamiento de minerales

La empresa COMSUR hizo la captación y conducción de aguas de los diferentes nevados que rodean esta zona, como también de la laguna de Pata Khota. El uso más importante que tuvieron estas aguas, se refiere, sin lugar a dudas, al empleo en el proceso de concentración de estaño en la planta de beneficio, esto representa la fuente más importante de la contaminación. El proceso comprende fundamentalmente dos etapas (RIOS, 1985).

III.1.1. Concentración gravimétrica de minerales

En esta etapa, el mineral, después de haber sido extraído en forma de pequeñas rocas, es sometido a trituramiento a través de unas máquinas especiales giratorias, que permiten una trituración uniforme. Posteriormente, se procede a la molienda de todo este material mediante unos molinos, para luego pasar a la mesa de concentración de tipo vibratorio separando por gravedad la casiterita (SnO_2) por su elevado peso específico. En esta última etapa se utiliza bastante agua.

III.1.2. Flotación de minerales

Esta segunda etapa se basa en el empleo de reactivos. En el proceso se utiliza en primera instancia el floculante Zantato II (hidrocarburo de sodio o potasio) en cantidades de 0.16 Kg/Tm de mineral bruto, para luego aplicar un espumante a base de alcohol, el Dofroth 250 en dosis de 0.15 Kg/Tm de mineral bruto. Finalmente, se aplica sulfato de cobre en una dosis de 0.005 Kg/Tm de mineral bruto.

Todo este proceso permite variar las propiedades físicas del mineral en forma selectiva, recubriendolas en capas mono, bi, tri y polivalentes, logrando de esta manera separarlas en contra de las leyes gravimétricas. Luego al formarse espuma se las recoge con unas paletas, donde el agua es un vínculo entre el mineral y los diferentes reactivos sufriendo de esta manera una inevitable contaminación.

Por otro lado, varios de los minerales se extraen como desecho. Inicialmente formaban compuestos sulfurosos que, en contacto con el agua, llegan a formar ácido sulfúrico por el proceso de oxidación (cf IV.5.1.4.).

Para tener una idea más clara del proceso de la planta de beneficio de estaño, se puede recurrir a la FIGURA 5, que muestra el diagrama con sus diferentes procesos y además de los puntos donde sale agua contaminada.

FIGURA 5

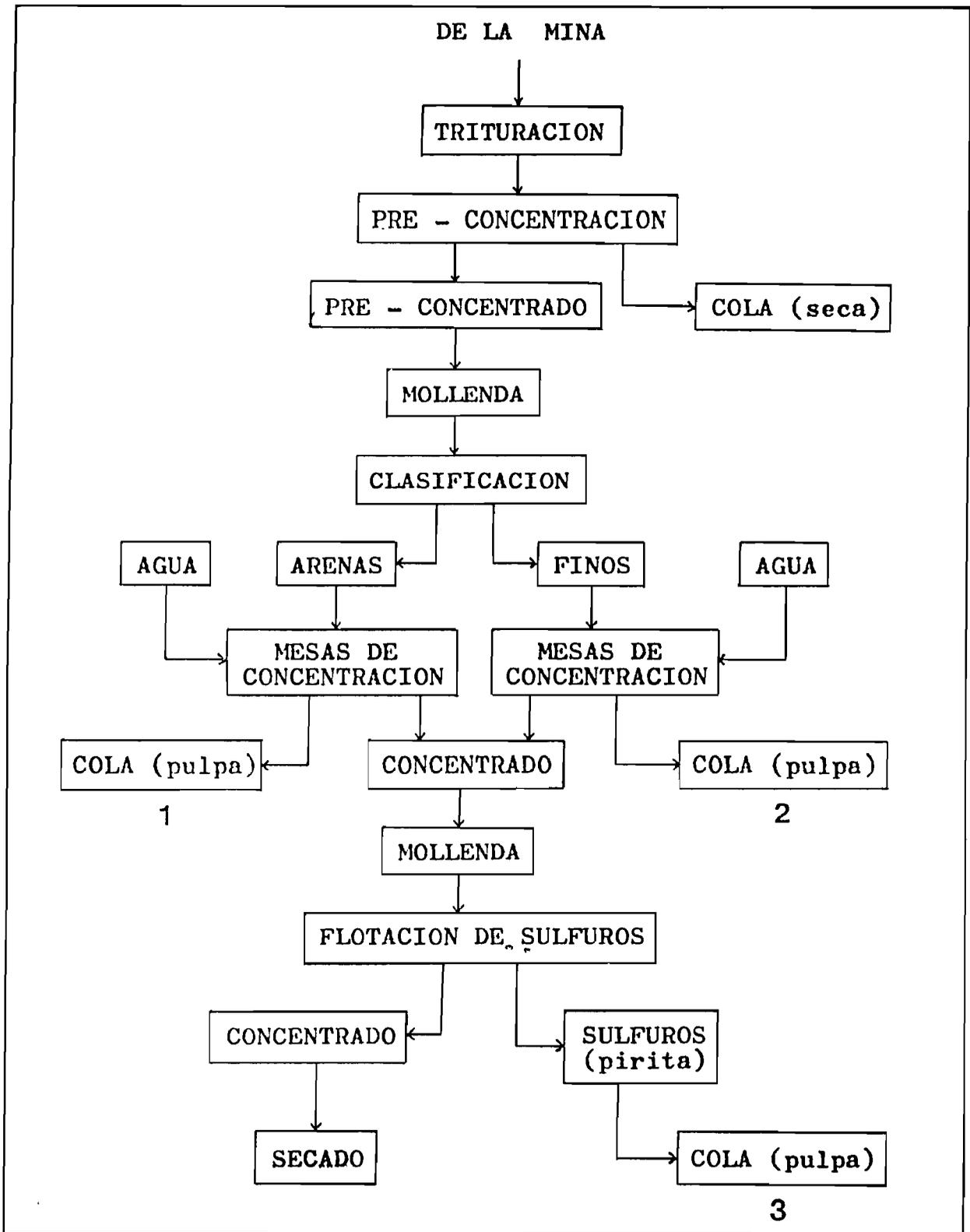


Diagrama de producción de la planta de beneficio de la mina Milluni fuente superintendencia del ingenio COMSUR
1, 2, 3, puntos donde sale agua contaminada

III.2. Aporte de contaminantes y su influencia sobre la calidad de las aguas de la región de Milluni

Las fuentes de contaminación en esta región tienen su repercusión directa en las lagunas Jankho Khota y Milluni, que se ven influenciadas principalmente en la alteración de los ecosistemas acuáticos. Las fuentes son de tres tipos, como indicamos a continuación.

III.2.1. Contaminación por extracción de minerales

En primer lugar, las aguas filtran a las galerías de la mina son expulsadas al exterior por el nivel 36 (bocamina de campana) que es igual a afluente 7 (proveniente de la mina) en nuestros estudios, hacia el puente Huallatani, lugar donde se mezclan con las aguas provenientes de los deshielos.

Por otro lado, las aguas totalmente contaminadas por el ingenio de la mina Milluni son devueltas a su curso normal por medio del nivel cero (bocamina principal) hacia el afluente principal de la laguna Milluni, mezclandose con las aguas provenientes de la laguna Jankho Khota.

III.2.2. Contaminación natural

Una contaminación natural, producto de las características geológicas de esta región, presentan zonas alrededor de la lagunas Jankho Khota y Milluni con tierras de color amarillo

FOTO 1



Contaminación natural, presencia de sulfuros de hierro cerca de la laguna Jankho Khota

FOTO 2



Contaminación por desechos sólidos, material en desuso depositado cerca de la laguna Jankho Khota

(sulfuros de hierro) (FOTO 1), las cuales son arrastradas por pequeños arroyos hacia los ríos y las lagunas durante la época de lluvias, provocando también una contaminación pero en menor grado.

III.2.3. Contaminación por desechos sólidos

Esta fuente de contaminación está referida a todo el material en desuso, producto de la explotación minera, que ha sido acumulado irresponsablemente en varios sectores muy cerca de la laguna Jankho Khota (FOTO 2) que, de alguna manera, tiene también su influencia sobre la calidad de las aguas.

Asimismo, se ha observado una gran cantidad de medidores de luz en desuso depositados en la orilla de la laguna Milluni (FOTO 3), los cuales por las características ácidas de las aguas de esta laguna, han sufrido una descomposición importante, afectando de manera peligrosa la composición química de estas aguas.

III.3. Repercusión de la contaminación en la calidad de aguas

La contaminación minera en la región de Milluni repercute directamente en los tratamientos de potabilización. Las elevadas proporciones de hierro, manganeso y zinc, que se advierten al ingresar a la planta de tratamiento de Achachicala, son eliminados con dosificaciones fuertes de cal

FOTO 3



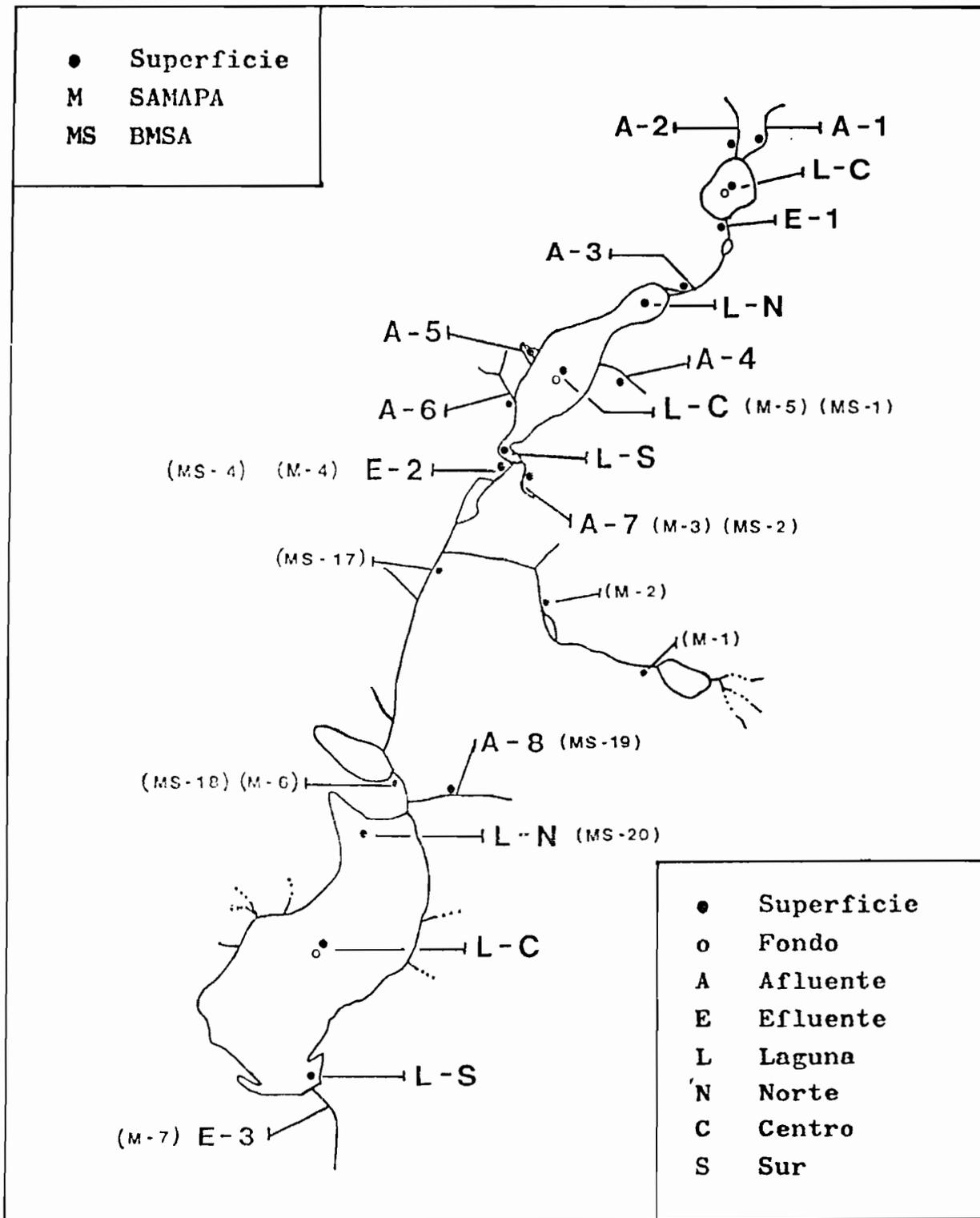
Contaminación por desechos solidos, material en desuso depositado en la orilla de la laguna Milluni

y sulfato de aluminio (ALBA-SAMAPA, información personal), que tienen incidencia directa en los costos de tratamiento.

Por el crecimiento de la población y por calidad de las aguas, la planta de Achachicala fue rediseñada y acondicionada en el año 1970, pero pese a estas mejoras el tratamiento de las aguas provenientes de la represa de Milluni es muy costoso.

En conclusión, el agua que sale del ingenio es inutilizable para la agricultura y además causa la destrucción de los ecosistemas acuáticos, que anteriormente existía en los ríos y lagunas de esta región, debido principalmente a la remoción de tierra, que se ha realizado para la recuperación de minerales por medio de técnicas de flotación, con el uso de compuestos químicos, que de alguna manera también contaminan las aguas, al igual que las fuentes naturales de contaminación como el depósito de desechos sólidos representan un gran peligro para el medio ambiente.

FIGURA 6



Distribución de los puntos de muestreo de agua en los afluentes y las lagunas de la región de estudio
 SAMAPA Servicio Autónomo Municipal de agua Potable y Alcantarillado
 BMSA Base Metal Synergy Associates

IV. ESTUDIO FISICO QUIMICO COMPLEJO FLUVIO LACUSTRE DE MULLUNI

IV.1. Generalidades

Los agentes causantes de la contaminación pueden ser de naturaleza orgánica e inorgánica. Esta contaminación, cuando llega a un nivel demasiado elevado, induce transformaciones físicas, químicas y finalmente ecológicas, que pueden perjudicar a los ecosistemas acuáticos (ODUM, 1982).

Los ríos, en general, son menos sensibles a la contaminación, debido a que las cargas poluentes recorren largas distancias, donde la capacidad de autodepuración es relativamente rápida. Al contrario, las lagunas asimilan la carga poluyente, este hecho hace que estos medios sean mucho más perturbados, porque acumulan en su seno elementos contaminantes.

En el caso particular que nos ocupa, la contaminación minera es de carácter inorgánico, traducido en la liberación de diferentes elementos químicos hacia las lagunas Jankho Khota y Milluni. Esto nos ha motivado a llevar adelante el presente estudio sobre las características físico químicas de las aguas de esta región.

IV.2. Elección de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo para los análisis físico químicos de las aguas de ríos y lagunas, fueron elegidos tomando en cuenta las primeras observaciones realizadas, como ser: la presencia de sedimentos de color amarillo, ausencia o presencia de organismos acuáticos, y las variaciones de pH.

Con este criterio hemos tomado un total de 10 puntos de muestreo, distribuidos en los diferentes afluentes y efluentes del complejo fluvi lacustre de la región de Milluni, y un total de 7 puntos de muestreo distribuidos en las lagunas de esta zona (FIGURA 6).

IV.3. Caracteres físico químicos

Las medidas de color, turbidez, materia en suspensión y alcalinidad fueron efectuadas en el laboratorio del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), los análisis iónicos, Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Hierro, Cloruros, Sulfato, Nitrato y Fosfato así como la Sílice, fueron efectuados en el laboratorio del Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ-UMSA) bajo la responsabilidad del Proyecto Hidrológico de la Cuenca Amazónica Boliviana (PHICAB). Finalmente, los análisis de metales pesados Manganeso, Zinc, Estaño, Plomo y Arsénico fueron realizados en el laboratorio de Tierra Limitada bajo la responsabilidad del IIQ-UMSA.

IV.4. Métodos de análisis físico químicos

Las muestras de agua fueron tomadas directamente bajo la superficie con ayuda de un recipiente de plástico, donde se ha medido el pH y la conductividad eléctrica (us/cm a 20°C) mediante un aparato electrométrico. La temperatura fue tomada mediante una sonda Quick Novo, en superficie, a 3 metros y en algunos casos hasta el fondo. La transparencia fue evaluada con un disco Secchi en las zonas más profundas de cada laguna. Finalmente, fueron tomadas muestras de superficie y fondo (botella hidrológica) para los respectivos análisis físico químicos (cf FIGURA 6).

- Color y Turbidez

Se ha medido con un espectrofotocolorimétrico portátil HACH con lecturas sobre escalas directamente graduadas en Formazine Turbidite Units a una longitud de onda de 450 nm para la turbidez, y en Platine/Cobalt Units a una longitud de onda de 455 nm. para el color.

- Materia en Suspensión

Previamente se ha filtrado todo o parte de la muestra (de 200 a 1000 ml) según los tenores, en filtro de fibra de vidrio Whatman GFC de 1.2 micrones, luego pesado en balanza de precisión Sautes (1/100 mg).

- Alcalinidad

Se ha medido por dosificación volumétrica con ayuda de un ácido fuerte (H_2SO_4) en presencia de indicadores de color como la fenolftaleina alcoholica y metilo anaranjado.

- Sulfatos

Se ha medido por dosificación Nefelométrica, que se basa en la precipitación en medio de HCl. Los precipitados son estabilizados por una solución de TWEN-20. La suspensión homogénea es medida en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 650 nm.

- Fosfatos

La medición se basa en la formación de un complejo fosfomolibdico, el cual por reducción toma una coloración azul, que luego se extrae en isobutanol, posteriormente es determinado por espectrofotometría a una longitud de onda de 882 nm.

- Nitratos

Determinación colorimétrica, con la formación de una sal de diazonio, la cual se acopla con N-1 Naftiletildiamino dihidrocloruro. Este complejo así formado da una coloración rosa violeta, que se mide a una longitud de onda de 543 nm.

- Sodio y Potasio

Dosificación por espectrofotometría de llama con un aparato PERKIN ELMER 2380 (llama oxígeno acetileno). Las longitudes de onda empleadas son de 766.5 nm para el potasio y de 584 nm para el sodio.

- Calcio y Magnesio

Dosificación por absorción atómica con un espectrofotómetro PERKIN ELMER 2380; las longitudes de onda empleadas son: 422.7 nm para el calcio y de 285.5 nm para el magnesio.

- Hierro

Se ha medido por absorción atómica con un espectrofotómetro PERKIN ELMER 2380, la longitud de onda empleada es de 248 nm.

- Sílice

Basada en la determinación colorimétrica del complejo silicomolibdico reducido para muestras, la longitud de onda utilizada fue de 710 nm. con dilución.

- Manganeso

Dosificación por absorción atómica tipo VARIAN, a una longitud de onda de 279.5 nm., se utilizó un rango de patrones diluidos de 0.01 a 0.02 ppm para verificar el límite

de detección en llama oxidante, aire acetileno; el rango óptimo de operación es de 1 a 4 ppm.

- Zinc

Dosificación por absorción atómica tipo VARIAN a una longitud de onda de 213.9 nm, el rango óptimo de operación es de 0.4 a 1.6 ppm. En nuestros análisis se utilizó un rango de patrones de 0.25 a 1.00 ppm., incluyendo la verificación del límite de detección en llama oxidante aire acetileno.

- Estaño

Dosificación por absorción atómica tipo VARIAN a una longitud de onda de 286.3 nm. dentro de un rango óptimo de operación de 50 a 200 ppm en llama oxidante aire acetileno. En nuestros análisis se obtuvieron lecturas estables para el rango de patrones, sin embargo, todas las lecturas dieron cero, por lo que se recomienda la llama reductora acetileno óxido nitroso, que minimiza las interferencias producidas por los metales.

- Plomo

Dosificación por absorción atómica tipo VARIAN a una longitud de onda de 283.3 nm dentro de un rango de operación de 10 a 40 ppm, se utilizó un rango de patrones diluidos de 1.0 a 0.1 ppm y otro de 0.05 a 1.00 ppm según el comportamiento de las muestras, en llama oxidante de aire acetileno.

- Arsénico

Dosificación por absorción atómica tipo VARIAN a una longitud de onda de 193.7 nm; la absorvancia depende en este caso de la corriente de la lámpara, este a 7 mA en llama reductora de aire hidrógeno. En nuestros análisis hemos utilizado la llama aire acetileno, dentro de un rango óptimo de operación de 50 a 200 ppm.

IV.5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

IV.5.1. Caracteres físicos del agua

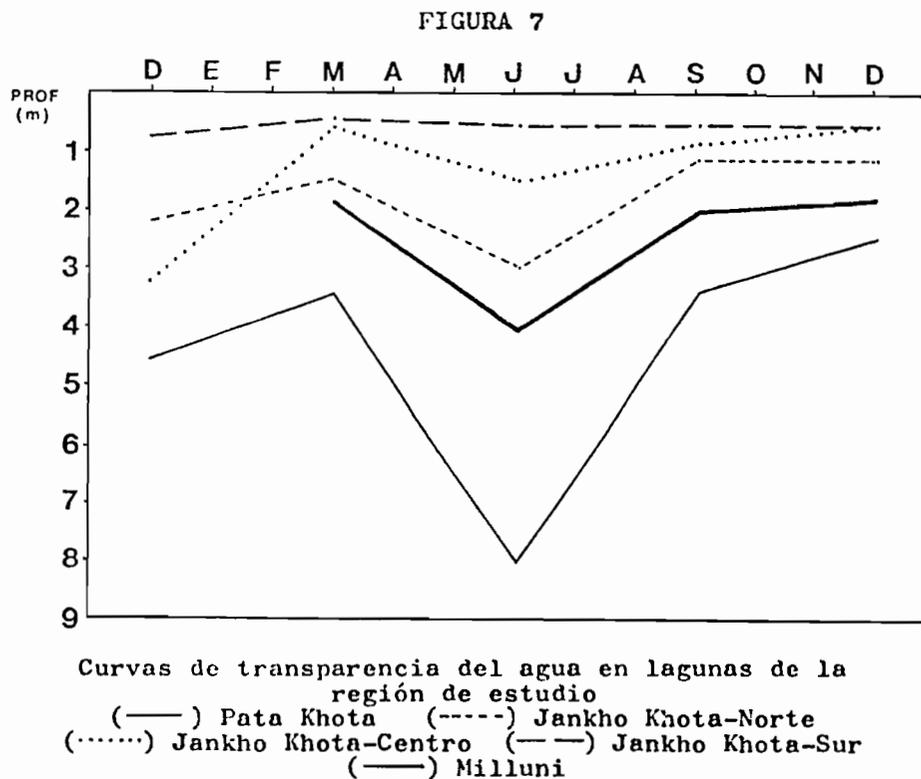
IV.5.1.1. Transparencia

La evolución anual de la transparencia varía notablemente de una laguna a otra, y están representados en forma de curvas en la FIGURA 7.

Las aguas de la laguna Pata Khota (sin contaminación) son más transparentes que otras lagunas de la misma región, observándose una transparencia alta durante el estiaje y baja durante la época húmeda, esta diferencia está relacionada directamente con el aporte de materia en suspensión confirmado por los valores de color y turbidez (ver ANEXO 2 CUADRO 1).

Las aguas de las diferentes zonas de la laguna Jankho Khota (parcialmente contaminada) presentan una evolución similar al

de la laguna anterior, pero menos marcada en las zonas norte y centro y casi constante en la zona sur, pudiendose apreciar además un decrecimiento de la transparencia en la dirección indicada, debido al aporte importante de materia en suspensión



Por los afluentes 4 (natural) y 7 (contaminado) que tienen valores altos de color y turbidez (ver ANEXO 2 CUADRO 1).

Finalmente, es importante tomar en cuenta la presencia intermedia que presenta la laguna de Milluni (totalmente

contaminada) entre las dos lagunas indicadas anteriormente, pero de manera inexplicable presenta valores altos de color y turbidez (ver ANEXO 2 CUADRO 1), lamentablemente no existen datos al respecto para poder comparar.

En conclusión, las aguas de la laguna Milluni resultaron ser más transparentes que las aguas de la laguna Jankho Khota, debido muy posiblemente a la presencia del plancton en la laguna parcialmente contaminada y la ausencia de estos organismos en Milluni y además a la acidez, que hace que estas partículas en suspensión se precipiten; mientras que, las aguas de la laguna Pata Khota son mucho más transparentes que las lagunas precedentes, pero todas están en directa relación con el régimen pluviométrico de la zona.

IV.5.1.2. Temperatura

La temperatura es un factor ecológico fundamental en la mayoría de los medios acuáticos (RUTTNER, 1953), porque es la que coordina la actividad fisiológica, biológica y el comportamiento de los organismos.

Nuestras mediciones realizadas durante el día, demuestran extremos de 4,1°C y 13,0°C en los afluentes 1 y 6 respectivamente, además de 7,7°C y 11,6°C en las lagunas Pata Khota y Milluni respectivamente (cf. CUADRO 2). Se observa

por otro lado, valores bajos en el estiaje y valores altos en la época húmeda (ver ANEXO 2 CUADRO 1).

La evolución de la temperatura en las lagunas ha sido estudiada hasta la zona más profunda, observandose una uniformidad desde la superficie hasta el fondo, no existiendo estratificación en ninguna estación del año, debido a la frecuente mezcla de las aguas por efecto de los constantes vientos en esta región, por tanto estas lagunas están contempladas dentro de las polimícticas frías (LOEFFLER, 1964).

CUADRO 1
Medidas de los cambios periodicos
de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en la laguna
Pata Khota

HORA	JUN-88	DIC-88
7.00	2.9	2.2
8.00	2.2	2.4
9.00	3.5	3.0
10.00	5.4	3.8
11.00	7.2	5.0
12.00	9.4	5.7
13.00	10.3	4.6
14.00	11.2	6.5
15.00	10.9	6.7
16.00	9.6	7.0
17.00	6.1	7.0
18.00	4.7	6.1
Amplitud Térmica	9.0	4.8

Podemos concluir indicando que las temperaturas registradas en la región de estudio son típicas de regiones altoandinas, es así que los cambios periódicos en época seca y húmeda en la laguna Jankho Khota (parcialmente contaminada) presentan una marcada diferencia (CUADRO 1) entre horas 13.00 y 15.00,

destacándose además una mayor amplitud térmica (9.0°C) en el estiaje y una menor amplitud térmica (4.8°C) en época húmeda, debido principalmente a la fuerte radiación durante el día en el estiaje.

IV.5.1.3. Conductividad eléctrica

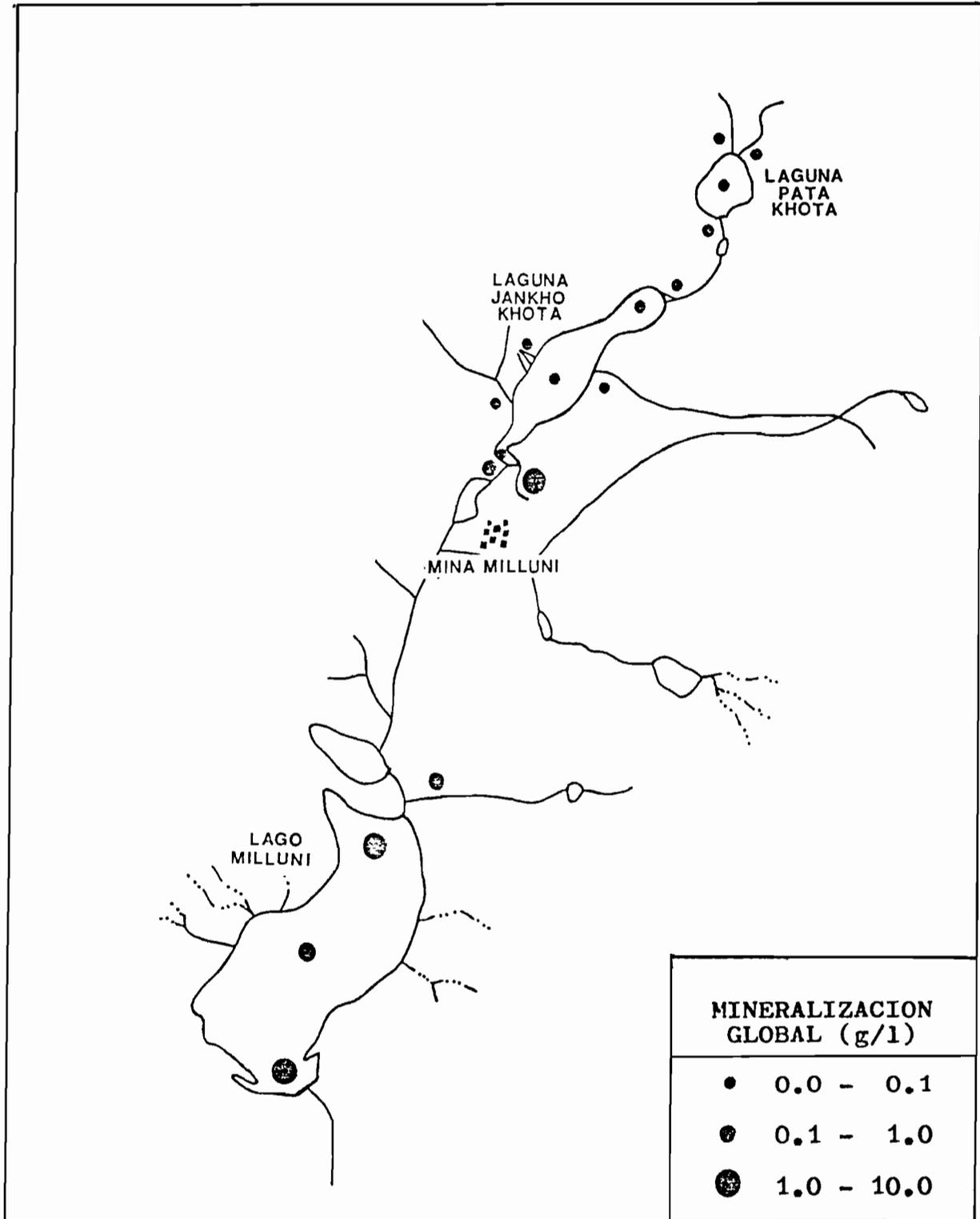
En la cordillera la conductividad eléctrica crece generalmente desde río arriba hacia río abajo en condiciones naturales (ILTIS 1988), pero parece difícil determinar un esquema de las variaciones estacionales.

El promedio de la conductividad eléctrica medida durante el período de estudio varía de acuerdo a las condiciones de cada medio, desde 21 us/cm a 435 us/cm en afluentes naturales 2 y 8 respectivamente, y 4650 us/cm en el afluente 7 contaminado.

Las aguas de la laguna Pata Khota (sin contaminación) son poco conductivas (27 us/cm) y las de Milluni muy conductivas (1862 us/cm), destacándose una posición intermedia en la laguna Jankho Khota (parcialmente contaminada) con una evolución creciente desde la zona norte (59 us/cm) hacia la zona sur (98 us/cm) debido principalmente a la presencia de sedimentos contaminados en esta zona.

La variabilidad de la conductividad eléctrica, tanto en ríos como en lagunas está sujeta al régimen pluviométrico (ver ANEXO 2 CUADRO 1).

FIGURA 8



Evolución de la mineralización global desde río arriba hacia río abajo en el complejo lacustre de Milluni

La mineralización de las aguas ha sido calculada (RODIER, 1982) a partir de los valores promedio de conductividad, los valores obtenidos están relacionados con la remoción de tierra realizada por la compañía minera COMSUR.

En el afluente 7 y en la laguna Milluni la mineralización es superior a 1.0 g/l, y muy baja en los demás afluentes, mientras que en las lagunas Pata Khota y Jankho Khota los valores encontrados están por debajo de 0.1 g/l (FIGURA 8).

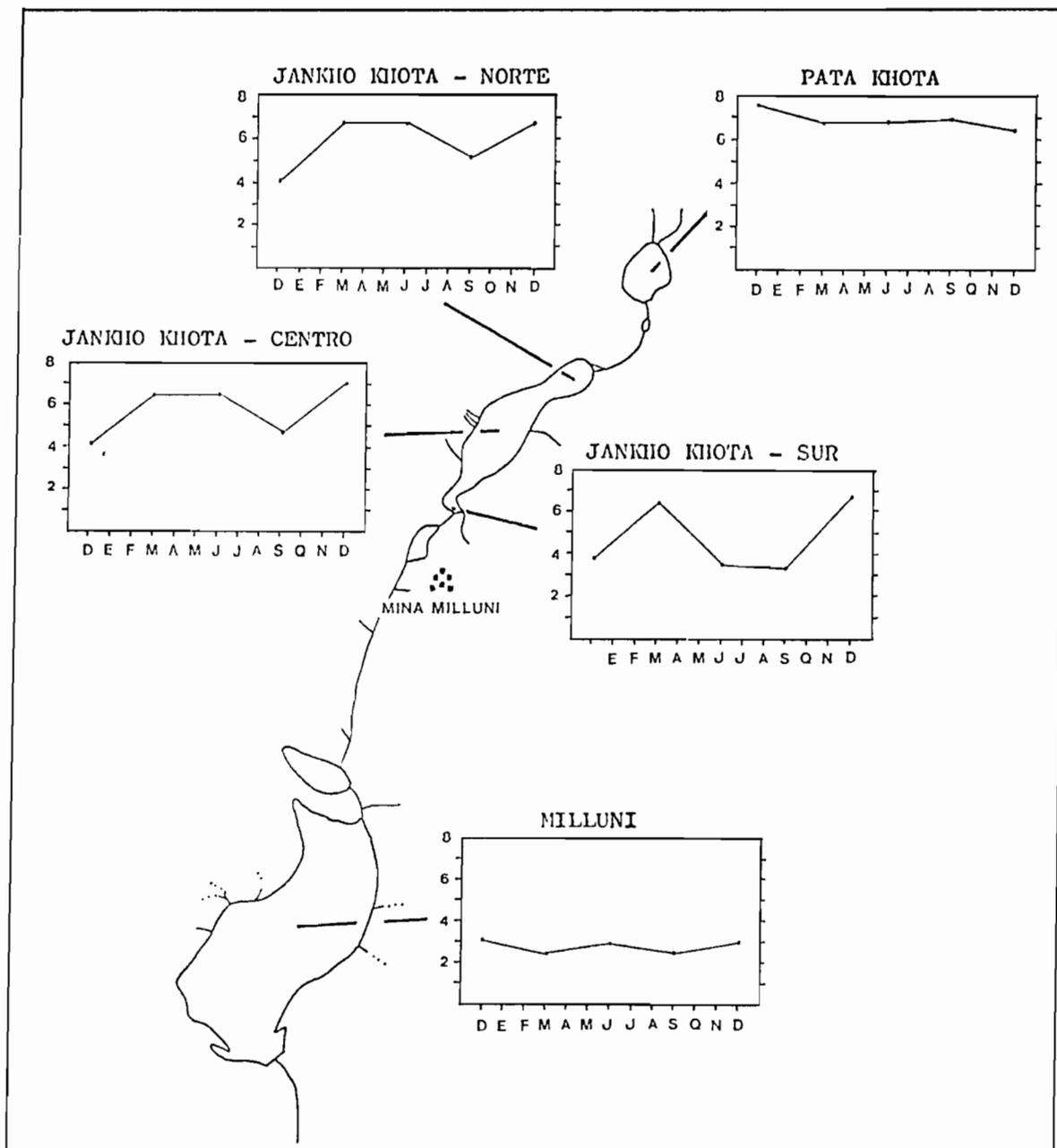
En conclusión, las variaciones existentes a nivel de la conductividad se deben principalmente a un factor de dilución, destacandose un aumento de este parámetro desde río arriba hacia río abajo, debido al aporte importante de afluentes contaminados hacia las lagunas Jankho Khota y Milluni.

IV.5.1.4. pH

En general las aguas de las lagunas que se encuentran en lo alto de los valles glaciares son generalmente ácidas, alcanzando la neutralidad en las lagunas río abajo en condiciones naturales (ILTIS, 1988).

Los valores promedio de nuestro estudio presentan diferentes niveles de acidez (cf. CUADRO 2), teniendo extremos de 3.1 a 3.5 en afluentes contaminados y de 6.5 a 7.4 en afluentes naturales. Asimismo, los valores encontrados en las lagunas

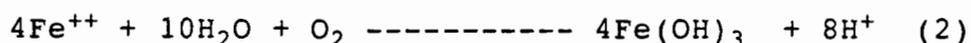
FIGURA 9



Evolución anual del pH desde río arriba hacia río abajo en el complejo de lagunas de la región de Milluni

son también diferentes, 2.9 en la laguna Milluni y 7.0 en la laguna Pata Khota, destacandose una evolución decreciente en la laguna Jankho Khota desde la zona norte (6.0) hacia la zona sur (4.9), debido principalmente al aporte de sedimentos contaminados hacia las lagunas Jankho Khota y Milluni. Existen variaciones durante el período de estudio (ver ANEXO 2 CUADRO 1).

Esta acidez se debe a una reacción de oxidación de las piritas de hierro con la participación de bacterias aeróbicas y anaeróbicas (HALLBERG, 1973) produciendose ácido sulfúrico y hierro ferroso, que son compuestos solubles (ec. 1). Estos son disueltos y transportados por las aguas de drenaje de la mina mediante los efluentes hacia las lagunas.



Como producto de esta oxidación se forman sedimentos generalmente hidroxidos que son insolubles (ec. 2), y además se forma una cantidad adicional de iones hidrogeno que le dan aún más el carácter ácido a estas aguas (CARDOZO, 1983) (FRANCO, 1984).

En conclusión, los valores obtenidos reflejan claramente una estabilidad extremadamente ácida en la laguna Milluni, sin ninguna mejora durante el período de estudio (FIGURA 9). La

laguna parcialmente contaminada presenta una inestabilidad durante el período de estudio, con una relativa mejora hacia la finalización de presente estudio, debido a la ausencia de aporte de aguas contaminadas (A-7), y además al gran aporte de aguas de deshielo hacia esta laguna, que por dilución mejora las condiciones.

IV.5.1.5. Materia en suspensión (M.E.S.)

Según WASSON & MARIN (1988) las tasas de MES son bastante bajas en la cuenca de la cordillera. Nuestros resultados no han permitido estimar el promedio anual de transporte de materia en suspensión (cf. CUADRO 2), que al parecer se produce de diciembre a marzo correspondiente al régimen pluviométrico de la zona.

La laguna Pata Khota tiene dos afluentes, uno de ellos (A-1) proveniente del cerro Khala Cruz con 32.2 mg/l, el segundo afluente del Huayna Potosí aporta una baja cantidad. Esta laguna aporte 18.7 mg/l hacia la próxima.

La laguna Jankho Khota tiene cinco afluentes, de los cuales el afluente 4 aporta mayor cantidad de MES (304 mg/l). De igual manera el afluente 7 también representa un aporte relativamente alto (80.4 mg/l) (FOTOS 4 Y 5), mientras que los demás afluentes tienen un aporte bajo. Esta laguna aporta

FOTO 4



Afluente 4, aporta gran cantidad de materia en sus pensión a la laguna Jankho Khota

FOTO 5



Afluente 7, aporta gran cantidad de sedimentos conminados a la laguna Jankho Khota

75.9 mg/l hacia la próxima, es decir, una cantidad mayor que la laguna precedente.

Finalmente, la laguna Milluni tiene varios afluentes, el afluente 8 aporta una baja cantidad de materia en suspensión, apenas 2.2. mg/l, pero el aporte sedimentario hacia esta laguna ha sido por los efluentes de la mina.

En conclusión, el aporte de materia en suspensión es importante hacia la laguna Jankho Khota, principalmente por los afluentes (4 y 7), como también hacia la laguna Milluni por el efluente 2 además de los efluentes de la mina, razón por la cual se ha visto disminuida su capacidad de embalse.

IV.5.1.6. Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto constituye, sin duda, un factor importante para la vida acuática en general, así como para las reacciones de oxidación de las piritas, que ocurre en los medios contaminados.

Los resultados de un estudio realizado por STAB (1990) en las lagunas Pata Khota y Jankho Khota en aguas de superficie demuestran una saturación del 110% y 112% respectivamente, sin mucha variación durante el período de estudio. De igual manera otros datos concernientes a las lagunas Jankho Khota y Milluni (BMSA, 1988) verifican lo indicado anteriormente.

La saturación de oxígeno en las lagunas, que se encuentran en lo alto de los valles, se debe a la abundancia de macrófitos en la laguna Pata Khota, así como a la frecuente mezcla de las aguas por los vientos permanentes. Asimismo, la laguna Jankho Khota presenta valores casi similares a la laguna anterior, debido al aporte de oxígeno por los diferentes afluentes y además a la presencia de macrófitos, aunque en menor cantidad, con mayor predominancia en la zona norte de esta laguna.

En conclusión, la saturación de oxígeno es por demás buena en las lagunas, que son objeto de nuestro estudio, debido a los factores explicados en el párrafo anterior.

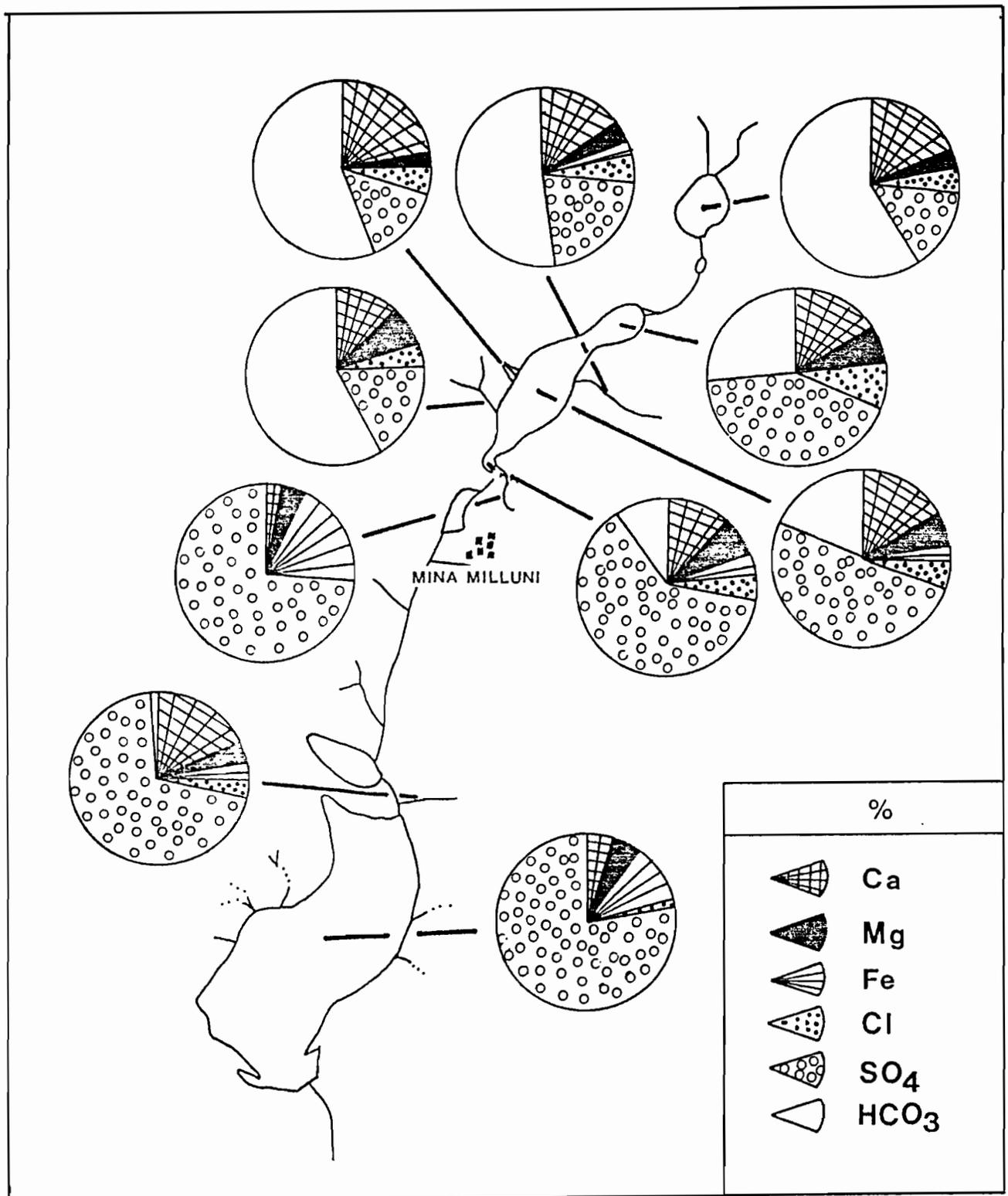
IV.5.2. Caracteres químicos de las aguas

IV.5.2.1. Composición de las sales disueltas en el complejo fluvio lacustre del valle de Milluni

Los análisis realizados destacan una distinción neta de la composición química de las aguas de ambientes lóticos y linóticos de la región de estudio y están representados mediante tortas en la FIGURA 10 en función de seis iones importantes (Bicarbonatos, Sulfatos, Cloruros, Hierro, Magnesio y Calcio).

En general todas aquellas aguas provenientes de los deshielos son de tipo bicarbonatado cálcico, y bajas concentraciones de

FIGURA 10



Representación porcentual (%) de los tipos de agua presentes en el complejo lacustre de la región de Milluni

Cloruros, Hierro y Magnesio, con excepción del afluente 8, que presenta aguas de tipo sulfatado cálcico, con bajas concentraciones en los demás iones.

Aquellas provenientes de los drenajes de la mina (A-7) son diferentes, de tipo sulfatado férrico con bajos tenores de Calcio, Magnesio y ausencia de bicarbonatos debido a la extrema acidez de estas aguas.

Las aguas de las lagunas son totalmente diferentes, debido a la contaminación de que han sido objeto éstas; así, la laguna Pata Khota presenta aguas de tipo bicarbonatado cálcico, igual que las lagunas situadas en otros valles glaciares de la Cordillera Real (ver ANEXO 1 CUADRO 4).

La laguna Jankho Khota presenta una evolución importante desde la zona norte hacia la zona sur, observándose un crecimiento en el contenido de Sulfatos y un decrecimiento de los Bicarbonatos, pero en general se puede decir, que estas aguas son de tipo sulfatado cálcico.

Finalmente, la laguna Milluni se caracteriza por presentar aguas de tipo sulfatado férrico, con bajas proporciones en Cloruros, Magnesio, Calcio y ausencia de bicarbonatos por la acidez de estas aguas.

En conclusión, las aguas de la cordillera presentan bajas concentraciones tanto en nutrientes como en sales, asimismo

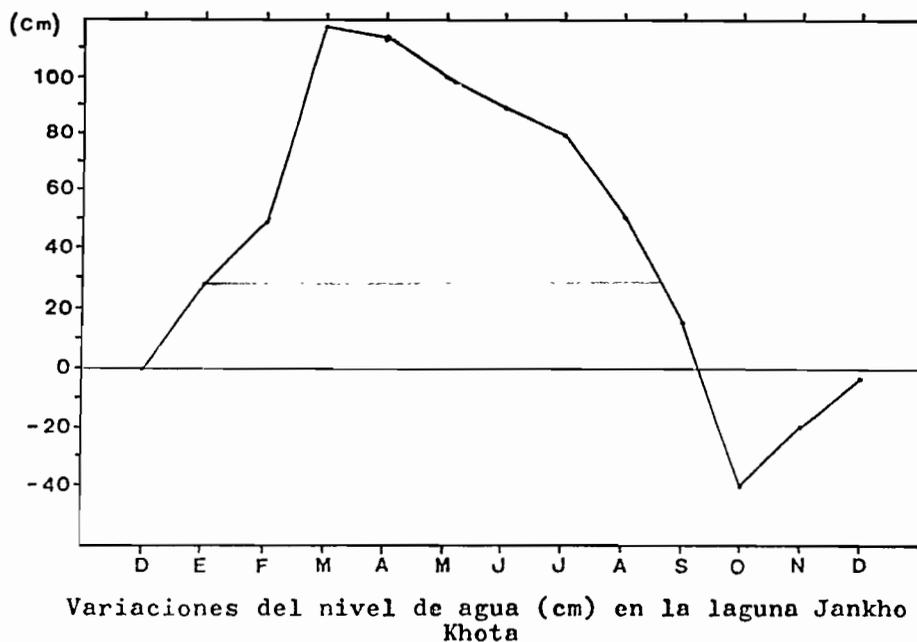
los diferentes tipos de aguas naturales observadas, son idénticos a los señalados por ILTIS (1988) en las lagunas de altura del departamento de La Paz, como también a los indicados por STAB (1990) en las lagunas de la Cordillera Real, y por BARRA et al (1988) en los lagos de altura del departamento de Cochabamba, como los indicados por HEGEWALD et al (1976-1981) en los lagos de altura del Perú.

IV.5.2.2. Evolución espacio temporal de la composición química de las aguas del complejo de lagunas de la región de Milluni

En el curso de nuestras investigaciones los niveles de agua fueron registrados de manera que se distinguen dos períodos hidrológicos; un período de aguas bajas desde Mayo hasta Octubre y un período de aguas altas de Enero a Abril con un máximo en Marzo (FIGURA 11), por lo que la concentración de iones en las lagunas presenta una evolución anual importante, pero sin mucha variación hasta el fondo de las lagunas, por lo que no se han tomado en cuenta estos resultados.

En la FIGURA 12 están representadas las concentraciones de los diferentes iones presentes en las lagunas, desde río arriba hacia río abajo, destacándose, a primera vista, bajas concentraciones en época de aguas altas, precisamente debido al efecto de dilución y concentraciones relativamente altas en época de aguas bajas.

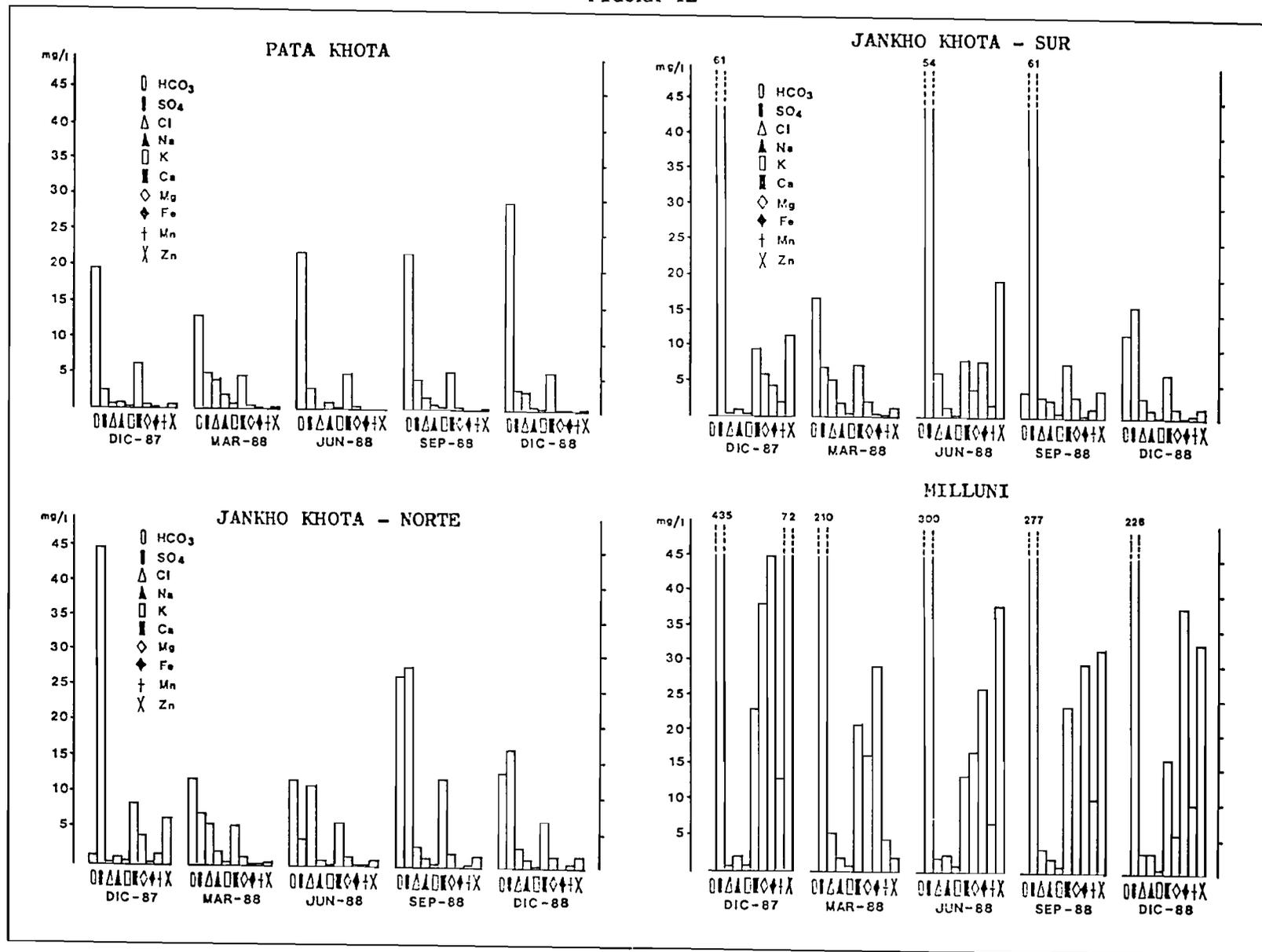
FIGURA 11



Las aguas de la laguna Pata Khota tienen una facie bicarbonatado cálcica que predomina todo el año, con pequeñas variaciones, presentan tenores de Sodio y Potasio casi constantes, con variaciones irregulares de Sulfatos y Cloruros debido al régimen pluviométrico de la zona, sin embargo, los tenores de Hierro, Manganeso y Zinc son muy bajos y hasta ausentes en algunas campañas (ver ANEXO 2 CUADRO 1).

Las aguas de la laguna Jankho Khota tienen una evolución importante desde la zona norte hacia la zona sur, observándose la presencia de dos facies bicarbonatado

FIGURA 12



Evolución anual de la composición química (mg/l) durante el periodo de estudio de las lagunas de la región de Milluni

cálcicas y sulfatado cálcicas; la primera facie se presenta en las tres zonas hacia el norte durante la época de aguas altas, y la segunda predomina en las zonas centro y sur; mientras que los tenores de Sodio, Potasio y Magnesio no sufren mucha variación (ver ANEXO 2 CUADRO 1), pero sí la ausencia de Bicarbonatos en algunas épocas del año. Finalmente los tenores de Hierro, Manganeso y Zinc aumentan gradualmente hacia la zona sur, disminuyendo muy poco hacia la finalización del presente estudio, debido a que el afluyente 7 se encontraba totalmente seco.

Por último, las aguas de la laguna Milluni tienen una sola facie, sulfatado férrico, que predomina todo el año, con ausencia total de Bicarbonatos. El Sodio y el Potasio no sufren mucha variación, pero sí el Calcio y Magnesio debido a los aportes por los efluentes de la mina (ver ANEXO 2 CUADRO 1).

En los tres medios acuáticos se destaca la ausencia de Fosfatos y una muy baja concentración de Nitratos en las lagunas Pata Khota y Jankho Khota, mientras que la Silice sube su concentración hacia río abajo.

En relación a otros metales (Arsénico, Estaño, Plomo) en nuestros análisis han sido detectados por debajo de los límites de detección del método, razón por la cual no han sido analizados en el presente acápite. Pero estudios

realizados por SAMAPA (1983), KOLLOTZEK & SOINE (1987) Y BMSA (1988) permiten destacar claramente concentraciones de Manganeso, Zinc, Plomo, Arsénico y Hierro por encima de los indicados por la OMS y la EG (ver anexo 1 CUADRO 1). Estos valores elevados se encuentran en el efluente de la laguna Jankho Khota y en la laguna Milluni principalmente.

En conclusión, las facies químicas de las lagunas están estrechamente relacionadas con el régimen pluviométrico y el aporte de contaminantes de la mina. Podemos apreciar que las condiciones físico químicas de las aguas de la laguna Milluni no han sufrido ninguna mejora desde hace muchos años atrás (ver ANEXO 1 CUADRO 1) comparado con aquellos resultados obtenidos (CUADRO 2). Pero se puede observar, que en la laguna Jankho Khota se han sucedido algunos cambios importantes debido al aporte permanente de aguas de deshielo.

CUADRO 2

Promedio anual de la composición físico química (mg/l) en ríos y lagunas del complejo fluviolacustre de la región de Milluni
A : Afluente E : Efluente L : Laguna N : Norte
C : Centro S : Sur

SISTEMA	ESTAC.	T °C	pH	Con. Mg/Lm	Col P/Co	Tur FTV	MES	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Zn	S10
PATA KHOTA	A - 1	4.1	6.5	29	22	12	32.2	21.7	1.5	6.0	0.7	6.4	0.4	1.3	0.3	0.5			3.3
	A - 2	4.2	6.6	21	20	8	2.7	17.1	1.7	2.7	-	5.8	0.2	0.8	0.1	0.1			4.7
	L - C	7.7	7.0	27	15	10	18.7	21.2	2.3	3.6	0.3	5.4	0.3	1.0	0.3	0.1	0.03	0.2	2.9
	E - 1	9.5	7.2	26	6	7	2.8	19.2	1.3	2.9	-	5.2	0.3	0.7	0.3	0.2			2.3
JANKHO KHOTA	A - 3	12.2	7.2	27	14	8	4.9	20.5	2.8	5.9	-	5.4	0.3	0.9	0.3	0.2			2.2
	A - 4	10.8	7.0	47	42	115	304.0	20.5	2.6	7.6	0.6	6.0	1.2	1.7	0.8	0.9	0.07	0.5	3.1
	A - 5	7.9	7.4	50	25	14	21.2	30.0	3.1	6.8	0.4	11.7	0.8	1.0	0.4	0.1			3.4
	A - 6	13.0	7.0	43	33	10	5.8	24.8	2.0	7.5	0.4	4.9	2.3	1.2	0.4	0.2			5.5
	A - 7	11.6	3.1	4650	249	95	80.4	0.0	5.0	1877.0	253.6	77.3	111.0	3.6	1.7	470.0	59.3	273.0	9.1
	L - N	8.9	6.0	59	16	8	3.0	13.2	4.7	20.3	0.5	8.2	2.1	1.4	0.4	0.1	0.6	2.3	5.4
	L - C	8.3	5.8	71	21	22	13.5	8.5	3.7	25.1	0.6	8.2	2.7	1.3	0.4	0.7	0.8	3.7	4.4
	L - S	10.2	4.9	98	20	18	13.0	6.6	3.7	39.8	2.8	7.9	3.4	1.7	0.5	2.7	1.2	7.7	4.9
E - 2	11.9	3.8	1357	29	109	75.9	0.7	3.8	291.0	23.8	29.0	25.8	1.9	0.5	41.6	16.9	55.1	6.2	
MILLUNI	A - 8	12.9	3.5	435	12	3	2.2	2.4	3.2	94.1	3.1	23.2	6.3	1.3	0.6	6.8	2.4	7.6	8.5
	L - N	11.6	2.7	1862	39	29	14.0	0.0	3.9	295.0	4.7	14.9	18.5	2.6	1.0	45.3			6.9
	L - C	9.1	2.9	1263	27	49	76.8	0.0	2.9	290.0	20.7	19.5	19.4	2.4	0.8	34.2	9.1	35.6	7.8
	L - S	10.1	2.9	1375	27	22	44.2	0.0	3.1	261.0	11.9	22.4	20.7	2.3	0.8	31.5	9.7	32.0	8.6
Límites Permisibles	O.M.S.	-	5.5	-	-	-	-	-	-	400.0	45.0	200.0	100.0	-	-	0.3	0.1	5.0	-
	E.G.	-	9.5	-	-	-	-	-	-	600.0	60.0	100.0	300.0	-	-	0.2	0.05	0.1	-

IV.5.3. Caracteres químicos de los sedimentos

Muchos elementos tóxicos son descargados por los efluentes de la mina en forma de colas (cf FIGURA 5), los cuales son transportados y depositados en los ríos y lagunas (HADLEY, 1989; HOROWITZ et al, 1988) en forma de algunos complejos químicos, que se vuelven insolubles, con gran riesgo para la fauna acuática.

De acuerdo a un estudio realizado por Base Metal Synergy Associates (BMSA) (1988), los sedimentos de la región de estudio demuestran concentraciones altas de Hierro, Manganeso, Zinc, Arsénico, Cobre y Plomo en los mismos puntos indicados en la FIGURA 6, así como los demás iones, pero en mayor proporción el magnesio. El afluente 8 presenta en su seno sedimentos que contienen valores bajos en relación a los puntos anteriormente indicados, pero con la excepción de que éste presenta mayor cantidad de plomo que los otros puntos (ver ANEXO 1 CUADRO 5).

Los puntos situados entre las lagunas Jankho Khnota y Milluni, son aquellos que presentan los valores más elevados, porque esta zona es la primera en recibir los efluentes cargados de sedimentos de la mina. Por lo que la represa de Milluni se ha visto disminuida en su capacidad de embalse. Por ejemplo, aproximadamente entran 67 toneladas anuales de arsénico (RIOS, 1985) y en los 40 años de explotación se

habrán acumulado alrededor de 2500 toneladas de arsénico únicamente.

En conclusión, los sedimentos depositados tanto en ríos como en lagunas del complejo fluvio lacustre de Milluni han afectado notablemente las características físico químicas de las aguas, y además de su incidencia directa sobre los organismos acuáticos, provocando un desequilibrio ecológico importante.

IV.6. CONCLUSIONES

El estudio físico químico realizado, no ha permitido obtener una serie de resultados que aclaran el real nivel de contaminación de las lagunas Jankho Khota y Milluni.

La laguna Pata Khota representa un medio ecológicamente intacto, con temperaturas bajas bien marcadas durante la estación fría, con un pH neutro y una conductividad baja al igual que la mineralización, con aguas transparentes bien oxigenadas de tipo bicarbonatado cálcico y bajas concentraciones en los demás iones, presentando las mismas características que otras lagunas naturales situadas en otros valles glaciares como ser las de Hichu Khota y Ovejuyo.

Si consideramos el caso extremo presentado por la laguna Milluni, este se caracteriza por tener un pH extremadamente ácido, una conductividad muy elevada y con aguas de una

mediana transparencia y bien oxigenada de tipo sulfatado férrico, estamos realmente en presencia de un medio hipercontaminado, debido al transporte importante de metales hacia los afluentes principales que van a desembocar a esta laguna, por lo que la concentración de iones en este medio es muy elevada, por consiguiente las aguas de esta represa son de pésima calidad.

Si finalmente tomamos en cuenta los resultados de la laguna Jankho Khota, podemos considerarlos como los más importantes, porque presentan una evolución muy particular desde la zona norte hacia la zona sur. El pH sufre una acidificación y la conductividad crece en la dirección indicada, presenta dos facies químicas bien diferenciadas, bicarbonatado cálcico hacia el norte y sulfatado cálcico hacia el sur, debido a la presencia de sedimentos contaminados en esta última, que tiene su incidencia en la calidad de estas aguas por la concentración elevada de iones metálicos en la zona sur, influenciada principalmente por el afluente 7.

Por otro lado, se tiene una contaminación natural por las características geológicas de la región, que no es el problema principal y a esto se suma además la contaminación por desechos sólidos depositados muy cerca de las lagunas Jankho Khota y Milluni, que por dilución de estos desechos

aportan también elementos tóxicos dañinos para la fauna acuática en general.

V. ESTUDIO BIOLÓGICO DEL COMPLEJO FLUVIO LACUSTRE DE LA REGION DE MILLUNI

V.1. Antecedentes y definición del estudio

Los primeros estudios referentes al lago Titicaca como un ecosistema característico de lagunas de altura, han sido realizados por GILSON (1937). Desde esta época un cierto número de trabajos han sido publicados, entre los cuales citaremos a los de BLUME (1955) y HAAS (1955 Y 1957) sobre los Moluscos de los lagos de altura. Luego FAXON (1978) sobre los Anfípodos, los de ROBACK et al (1980) sobre otros insectos que los Dípteros recolectados por la expedición Caterwood en Bolivia y Perú, así como los de ROBACK & COFFMAN (1983) referente a los dípteros recolectados por la misma expedición. Finalmente, un estudio en preparación concerniente a la fauna béntica del lago Titicaca y varios lagos y ríos de altura situados a lo largo de la Cordillera Real por DEJOUX (1987-1989).

El presente estudio concierne esencialmente al estudio de los invertebrados acuáticos tanto en ríos como en lagunas, su clasificación sistemática con la ayuda de claves taxonómicas de NEEDHAM & NEEDHAM (1972); EDMONDSON (1959); SAETHER (1980 Y 1982) y los indicados en el párrafo anterior.

La importancia del presente trabajo de investigación radica en la incidencia directa de la contaminación sobre los invertebrados de ríos y lagunas de la región de Milluni, produciendo de esta manera una alteración en la distribución y abundancia de la fauna.

V.2. Ecosistemas estudiados

Para los diferentes cuerpos de agua existen varios sistemas de clasificación, así los ecosistemas pueden ser diferenciados a partir de poblaciones de invertebrados y de peces (HUET, 1949; ILLIES & BOTOSANEANU, 1963; BOTOSANEANU, 1979), pero desde un punto de vista más práctico se diferencian en ecosistemas lóticos (aguas rápidas y frías) y leníticos (aguas lentas y recalentadas), basados fundamentalmente en las características de cada medio acuático.

V.2.1. Elección de las estaciones

V.2.1.1. Ambientes lóticos

Las estaciones principales a ser estudiadas sobre el complejo fluvio lacustre de la región de Milluni comprenden principalmente ocho afluentes, de los cuales dos desembocan en la laguna Pata Khota, donde se han tomado un total de tres puntos de muestreo con una red surber, además se colocaron tres substratos artificiales a 20 cm de profundidad. Mientras

que, la laguna Jankho Khota posee cinco afluentes, tomándose un total de cuatro puntos de muestreo con el surber únicamente en tres afluentes permanentes, asimismo hemos colocado la misma cantidad de substratos artificiales a la misma profundidad que las anteriores.

Los elementos que han determinado la elección de las estaciones principales son: La procedencia de los afluentes principales al complejo de lagunas, además de la morfología del río y del substrato presente en cada medio acuático.

V.2.1.2. Ambientes leníticos

Las estaciones principales comprenden diferentes zonas de las lagunas. Así en la laguna Pata Khota se han tomado un total de cinco puntos de muestreo con dos repeticiones en cada profundidad, tanto para la vegetación como para el sedimento. Asimismo, se colocaron dos substratos artificiales a 30 cm de profundidad aproximadamente.

Mientras que la laguna Jankho Khota ha sido zonificada en siete zonas de acuerdo a las diferentes profundidades que presenta, se tomaron de tres a cinco muestras en cada zona, además de un substrato artificial a 20 cm de profundidad únicamente en las zonas I (norte) y VII (sur).

Finalmente, en la laguna Milluni se eligieron un total de cinco puntos de muestreo con dos repeticiones en cada

profundidad, además de dos substratos artificiales en el efluente de esta laguna.

Los elementos que han determinado la elección de las estaciones principales son: La presencia o ausencia de vegetación en las diferentes lagunas, como las condiciones físico químicas de cada laguna.

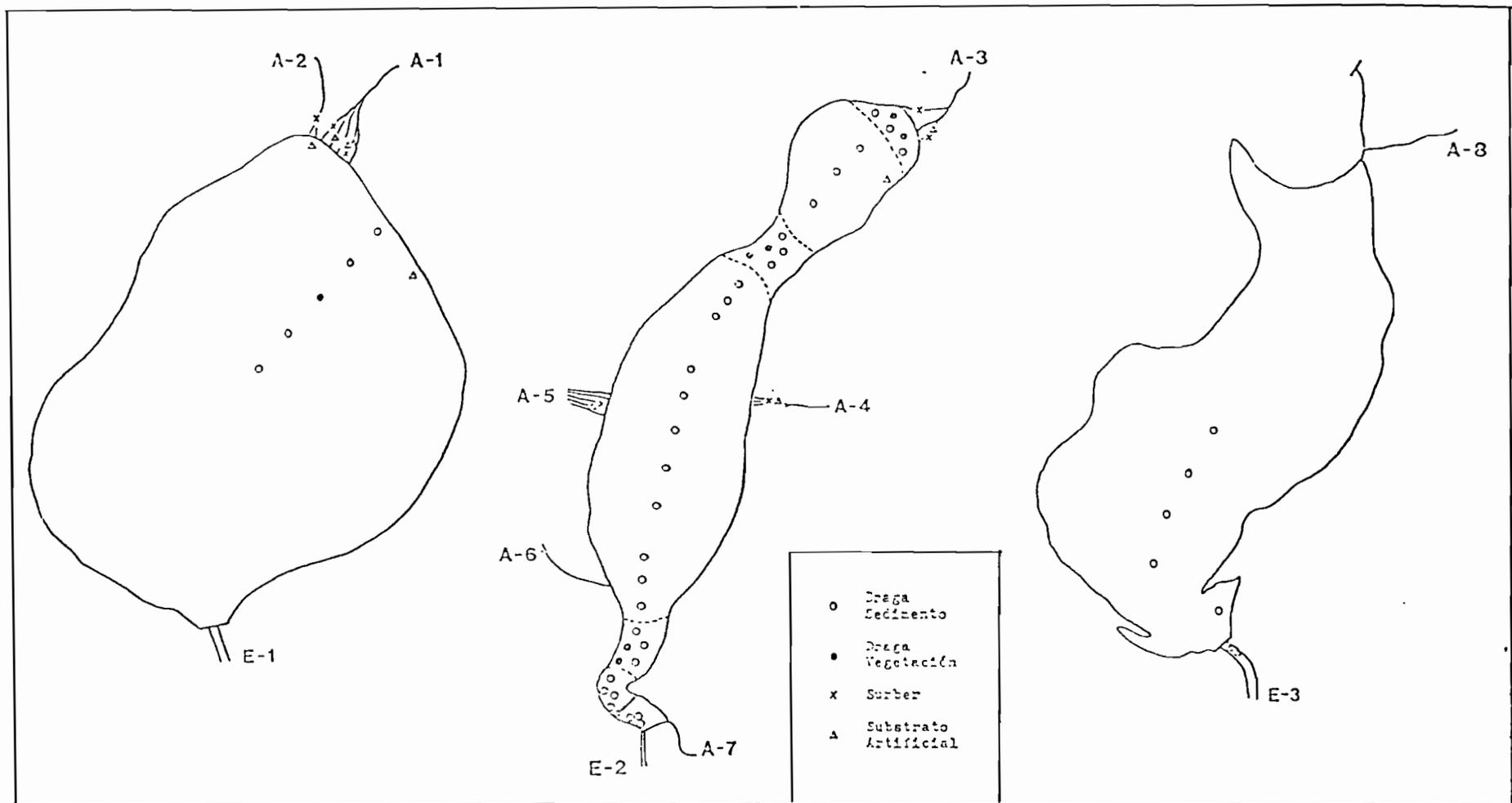
V.3. Metodología de muestreo

Diferentes métodos empleados en limnología han sido utilizados para realizar muestras cualitativas y cuantitativas de la población de invertebrados de los ríos y lagunas de la región de estudio, para tener una idea más clara de la distribución y abundancia de los organismos bénticos.

V.3.1. Ambientes lóticos

El muestreo de los invertebrados bénticos está diseñado para obtener una imagen cuantitativa de la población global de una estación (WASSON et al, 1981). Una muestra ha sido tomada en cada estación (FIGURA 13) con una red surber de 17 x 17 cm de superficie, con mallas filtrantes de 250 micras de apertura. En los puntos de muestreo se midieron los parámetros morfodinámicos como ser: substrato, velocidad y profundidad del agua.

FIGURA 13



Distribución de los puntos de muestreo de los organismos bénticos en los afluentes y lagunas de la región de Milluni

El material recolectado fue sometido a un lavado y generalmente a una primera separación de los invertebrados a través de una flotación (FIGURA 14) con una solución de sacarosa, cuya densidad es de 1.12 a 1.15 (KAJAK et al, 1968). Los individuos fueron tamizados en una malla filtrante de 250 micras. Todo el material fue fijado en formol al 5%, luego llevado al laboratorio, donde los invertebrados son separados, determinados, contados y agrupados por taxa.

La utilización de substratos artificiales para el análisis biológico de aguas, es una técnica empleada con frecuencia (KHALAF & TACHET, 1978). Para que sea efectivo el método, hemos estandarizado los substratos artificiales, utilizando tres piedras planas (FOTO 6) para eliminar así un factor de variabilidad. Un substrato artificial ha sido colocado en cada estación (FIGURA 13) para tener una idea más clara de la dinámica de colonización de los invertebrados en estos medios acuáticos.

El material colectado fue sometido a un lavado por medio de un tamiz de 250 micras, luego es fijado en formol al 5%, posteriormente llevado al laboratorio, donde los organismos son separados, determinados, contados y agrupados por taxa.

El muestreo se realizó con una frecuencia de dos meses para las muestras con el surber y de 20 días de exposición para

FOTO 6



Substratos artificiales formados por tres piedras planas, recolectados en la región de estudio

FIGURA 14

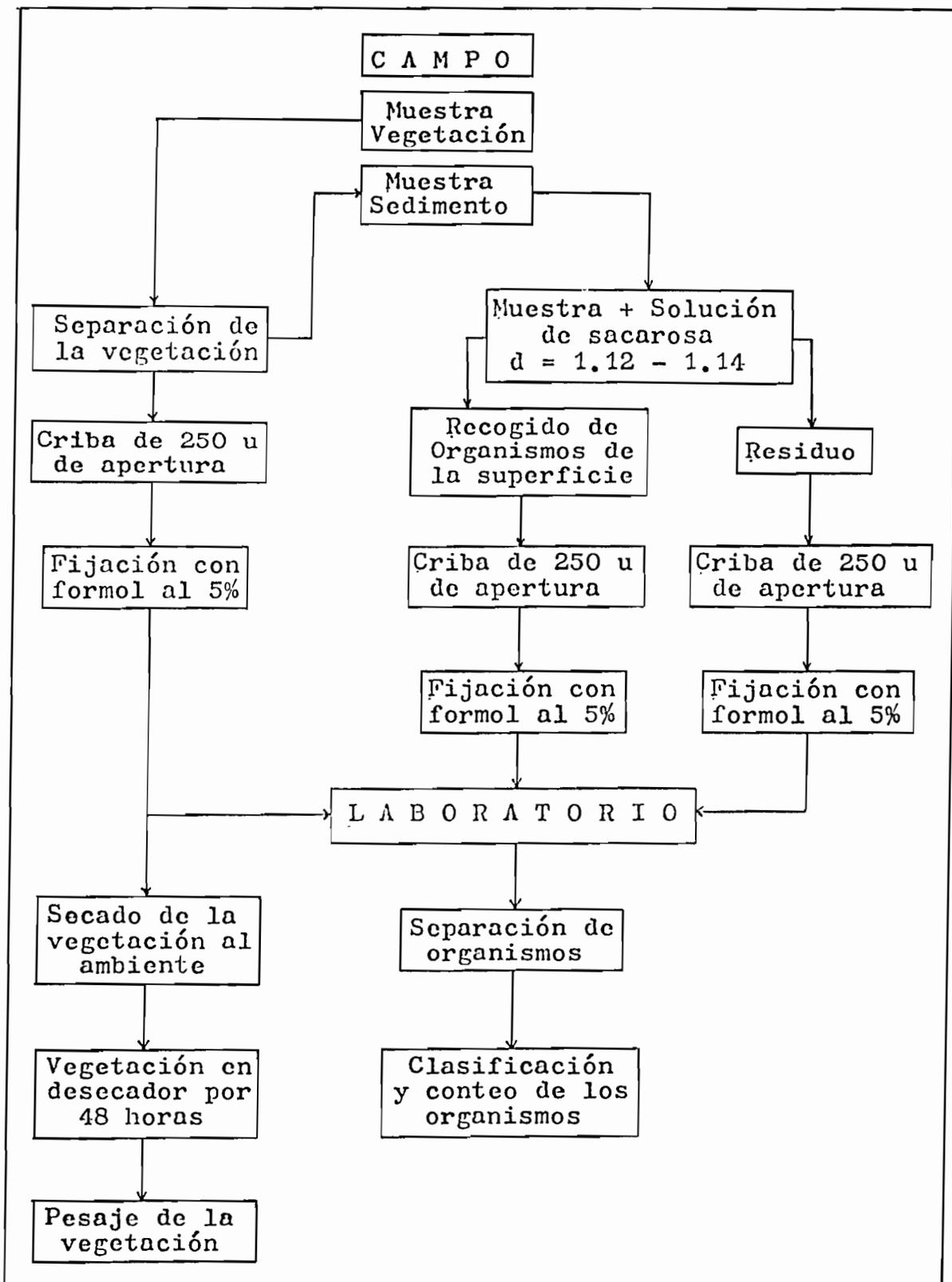


Diagrama del tratamiento de las muestras de invertebrados del sedimento y la vegetación tanto en el campo como en el laboratorio

los substratos artificiales, durante un ciclo hidrológico de un año desde octubre de 1987 hasta diciembre de 1988.

V.3.2. Ambientes leníticos

Numerosos autores (KAJAK, 1963; ELIOT & TULLET, 1978; JUGET & LAFONT, 1982) hasta el momento han utilizado aparatos de extracción universal muy efectivos para los estudios del bentos. En el presente estudio se han utilizado dos tipos de dragas.

Una draga LENZ tipo ECKMAN BIRGE modificada con una superficie de 196 centímetros cuadrados, que permite además una estratificación vertical de la muestra, para el caso de los sedimentos. Dos muestras fueron tomadas en cada profundidad en las lagunas Pata Khota y Milluni, mientras que, de tres a cinco muestras en diferentes zonas de la laguna Jankho Khota (FIGURA 13).

Otra draga LENZ tipo ECKMAN BIRGE de 225 centímetros cuadrados de superficie, se utilizó para la vegetación acuática, a pesar de las dificultades ya conocidas que se presentan al realizar un muestreo en este tipo de medio. Dos muestras fueron tomadas en la laguna Pata Khota y seis muestras en la laguna Jankho Khota (FIGURA 13).

La utilización de substratos artificiales para el estudio de la fauna béntica se realizó en la zona litoral de 30 a 50

centímetros de profundidad, para ver la capacidad de colonización de organismos (LAVILLE, 1974), además de la incidencia de la contaminación en la dinámica de colonización.

La abundancia de organismos en cada medio (ríos y lagunas) ha sido calculado por unidad de superficie. Para las muestras de vegetación, el cálculo se ha realizado en base a 10 gramos de peso seco de vegetación, después de hacerla secar en el desecador con silica gel a temperatura ambiente. El índice de diversidad de Shannon y Weaver ha sido calculado mediante la siguiente fórmula (DAGET, 1979)
$$I_{Sh} = - \sum_{i=1}^s \frac{q_i}{Q} \log_2 \frac{q_i}{Q}$$

Donde: I_{Sh} : Estimativa del Índice de Diversidad de Shannon y Weaver, q_i : Número de organismos por categoría taxonómica
 Q : Número total de organismos, S : Número total de categorías taxonómicas.

V.4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

V.4.1. Habitat acuático de los ríos

El substrato, la distribución de las velocidades de la corriente y la calidad del agua son factores importantes para la distribución de los invertebrados (VERNEUX & TUFFERY, 1967).

La velocidad del agua varía muy poco de un río para otro, destacandose una mayor velocidad (30 a 60 cm/s) en el

afluente 3 y una menor velocidad (10 a 15 cm/s) en los afluentes 6 y 7, además de velocidades intermedias en los restantes ríos.

En general, la mayoría de los afluentes de la región de Milluni presenta substratos similares, como los elementos más gruesos se encuentran los cascajos en forma predominante, en segundo lugar grava gruesa y piedras esparcidas en zonas de corriente (CUADRO 3) y los demás substratos finos en una proporción baja.

CUADRO 3

Características de las estaciones en ríos

A : Afluente

SF : Arena Fina SG : Arena Gruesa GF : Grava Fina

GG : Grava Gruesa CF : Cascajo Fino CG : Cascajo Grande

PF : Piedra Fina PG : Piedra Grande B : Bloque R : Roca

LI : Limo

LAGUNA	ESTACIONES	TIPO MORFOLOGICO ANCHO DEL LECHO	VELOCIDAD cm/s	SUBSTRATO
PATA KHOTA	A - 1	Sinuoso 1.00 m	30 - 50	GF, GG, CF, CG PF, PG
	A - 2	Poco sinuoso 1.00 m	15 - 20	GF, GG, CF, CG PF, PG
JANKHO KHOTA	A - 3	Poco sinuoso 1.00 m	30 - 60	GF, GG, CF, CG PF, PG
	A - 4	Sinuoso 3.00 m	10 - 60	LI, GF, GG, CF CG, PF, PG
	A - 5	Cascada 5.00 m	10 - 50	SF, SG, CF, CG PF, PG, B, R
	A - 6	Sinuoso 1.00 m	10 - 15	GF, GG, CF, CG PF, PG
	A - 7	Canal 0.50 m	10 - 15	GF, GG
MILLUNI	A - 8	Poco sinuoso 1.00 m	15 - 20	GF, GG, CF, CG PF, PG

Como casos excepcionales, el afluente 5 presenta como substrato dominante arena fina y gruesa depositada en capas,

además la presencia de bloques y roca esparcidos en toda la cascada y en menor proporción grava, cascajo y piedras. El afluente 7 posee únicamente grava y sedimento contaminado fino.

En vista de estas características morfodinámicas, los ríos de esta región pertenecen al tipo Rhithral (ILLIES, 1961; SCHWOERBEL, 1980).

Algunos ríos presentan muy poca vegetación macrofítica y escasa cantidad de algas, con excepción de los afluentes 4 y 5 que se caracterizan por no presentar vegetación en su lecho.

V.4.2. Habitat acuático de las lagunas

En estos medios el substrato tiene mayor importancia. La zona litoral puede estar mezclada con piedras de forma y tamaño diversos o con arena y restos calcareos de seres vivos (CHERRAITIA, 1984). Conforme se va profundizando aquella, disminuye y se convierte paulatinamente en un substrato cada vez más particulado hasta llegar a ser limo o arcilla.

La laguna Pata Khota tiene una profundidad máxima de 11.50 metros con presencia de arena y grava en la zona litoral y limo hacia el fondo (CUADRO 4).

FOTO 7



Presencia de sedimentos contaminados en la zona II de la laguna Jankho Khota

FOTO 8



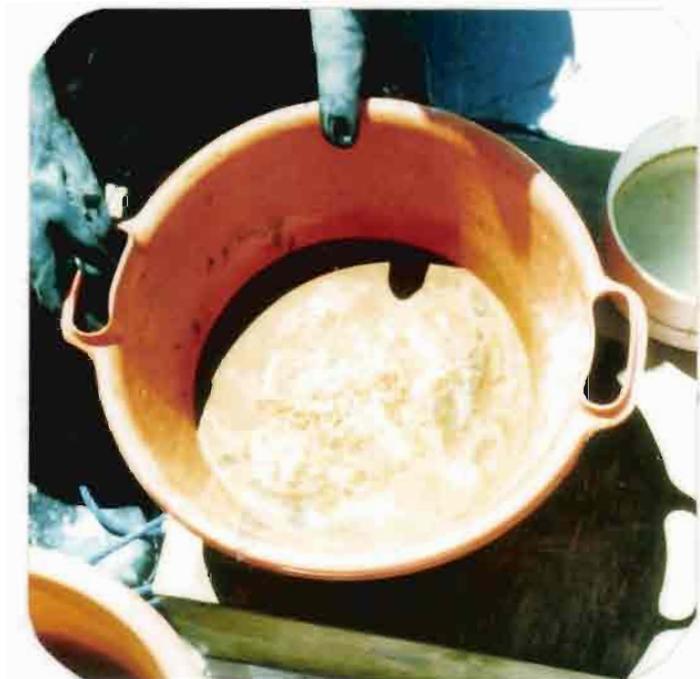
Presencia de sedimentos contaminados en la zona III de la laguna Jankho Khota

FOTO 9



Presencia de sedimentos contaminados en la zona IV
de la laguna Jankho Khota

FOTO 10



Presencia de sedimentos contaminados en la zona VI
de la laguna Jankho Khota

CUADRO 4
Características de las estaciones
laguna Pata Khota

TRANSECTO	DRAGAS		PROFUNDIDAD (m)	SUBSTRATO
	total	número		
N ↓ S	10	1	0.50	arena fina con grava y pie - dras
		2		
		3	1.50	sedimento limo so con grava y vegetación
		4		
		5	5.00	sedimento limo so con vegeta- ción abundante
		6		
		7	10.00	sedimento limo so
		8		
		9	11.70	sedimento limo so
		10		

La vegetación en esta laguna es abundante, presenta principalmente dos familias: Characeae de la especie Nitella clavatooides en una profundidad de 1 a 5 metros y Scrophulariaceae de la especie Limosella subulata en una profundidad de 4 a 5 metros (STAB, 1990).

La laguna Jankho Khota, con 18.50 metros de profundidad máxima, presenta un substrato diferente en cada zona: la zona I (norte) formada por limo y piedras, la zona II presenta limo y mucha materia vegetal muerta y además indicios de sedimento contaminado (FOTO 7). Asimismo se puede observar sedimentos contaminados en la zona III (FOTO 8). Al otro extremo la zona IV-Sur con mayor presencia de sedimentos contaminados (FOTO 9) y la zona VI es aquella que se encuentra totalmente colmatadas por dicho sedimento; las zonas intermedias también tienen en su seno el substrato

la especie Drepanocladus cf exannulatus en una profundidad de 0.5 metros, que parece ser resistente a la contaminación (STAB, 1990).

Finalmente, la laguna Milluni presenta una profundidad máxima de 6.50 metros, y como substrato tiene pequeños trozos ya compactados en forma de hidróxidos de hierro (cf ec. 2) sobre un sedimento blando (CUADRO 6).

CUADRO 6
Características de las estaciones
laguna Milluni

TRANSECTO	DRAGAS		PROFUNDIDAD (m)	SUBSTRATO	
	total	número			
N ↓ S	10	1	6.50	sedimento ferruginoso con algunos trozos compactos en la superficie del substrato	
		2			
		3	5.00		
		4			
		5	4.50		
		6			
		7	4.00		sedimento ferruginoso fino muy blando
		8			
		9			
		10			

Esta laguna se caracteriza por no presentar ningún tipo de vegetación acuática, debido a los factores ya conocidos y explicados en el capítulo IV.

V.4.3. Evolución anual de la fauna béntica

V.4.3.1. Fauna de los ríos

Los resultados que hemos obtenido permiten el reconocimiento de la composición faunística global, detallándose los

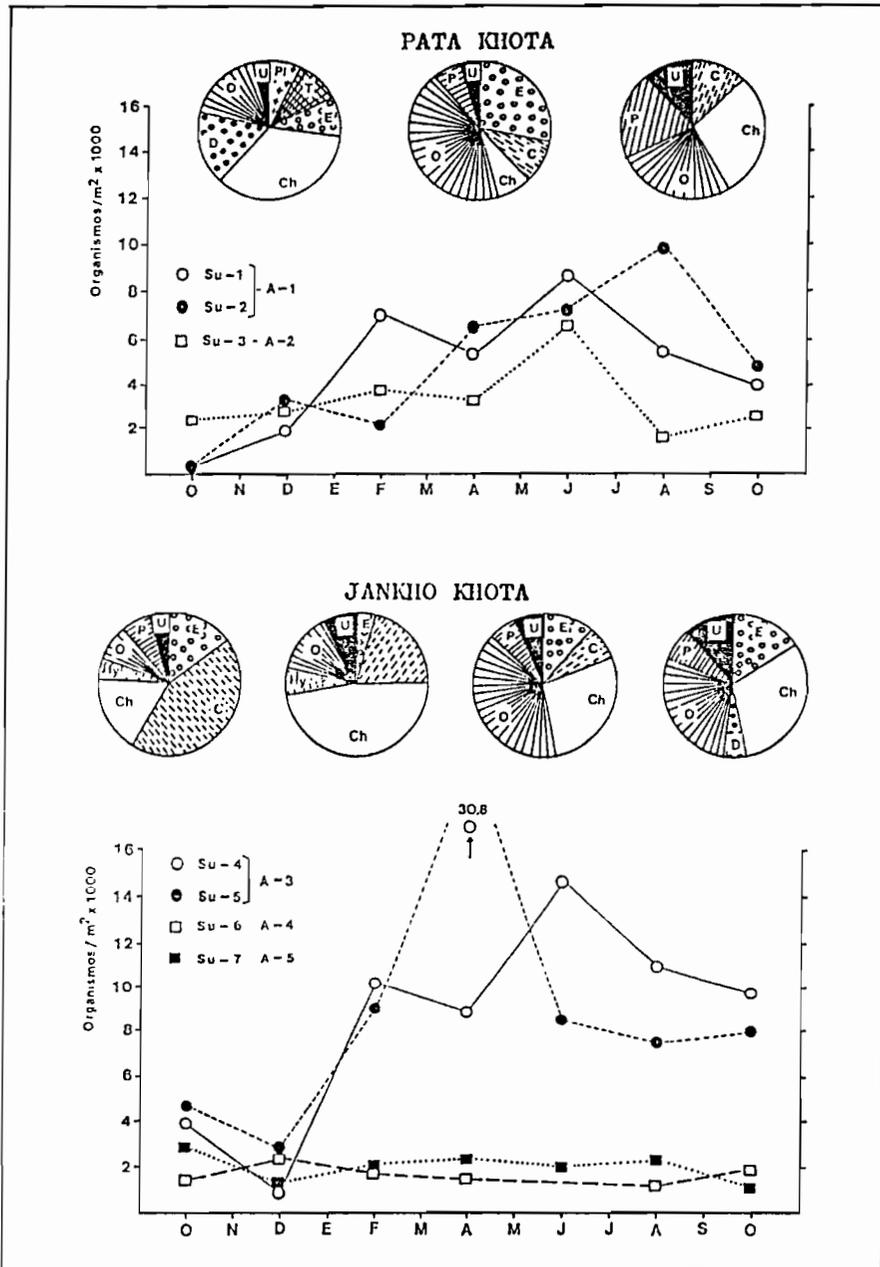
resultados de taxa dominantes, su abundancia y composición porcentual (FIGURA 15).

Por un lado se tiene las estaciones correspondientes al sistema Jankho Khota, con variaciones significativas en la evolución anual de la fauna diferenciándose dos conjuntos:

El primer conjunto está formado por las estaciones 4 y 5 (afluente 3), que alcanzan un máximo en la abundancia de organismos (14.774 y 30.862 organismos por metro cuadrado) durante el estiaje y baja cantidad (900 y 2837 organismos por metro cuadrado) durante la época húmeda, estas variaciones se deben al comportamiento de los invertebrados, así en época seca, el caudal disminuye y todos aquellos organismos que se encontraban en el límite del lecho, migran al nuevo límite, es decir, se agrupan. Ambas estaciones corresponden al afluente 3 y están formadas por seis grupos de organismos con una dominancia de Coleópteros y Quironómidos en el primer caso y de Quironómidos y Coleópteros en el segundo, con la presencia de otros grupos en menor proporción.

El segundo conjunto, está formado por las estaciones 6 y 7 donde se puede observar curvas sin mucha variación estacional, debido principalmente a las características morfodinámicas y con una baja abundancia en relación a las estaciones precedentes, cuya composición faunística es de

FIGURA 15



Evolución anual de la abundancia (organismos por metro cuadrado) y composición porcentual de la fauna béntica en los diferentes ríos de la región de Milluni

Su : Surber A : Afluente

Pl : Plecopteros T : Tricopteros E : Efemeropteros

C : Coleopteros Ch : Quironomidos D : Dípteros

Ily : Hydracarinas O : Oligoquetos P : Tricladidas

U : Otros menores al 5%

cinco grupos, con una dominancia de Oligoquetos y Quironómidos en ambas estaciones.

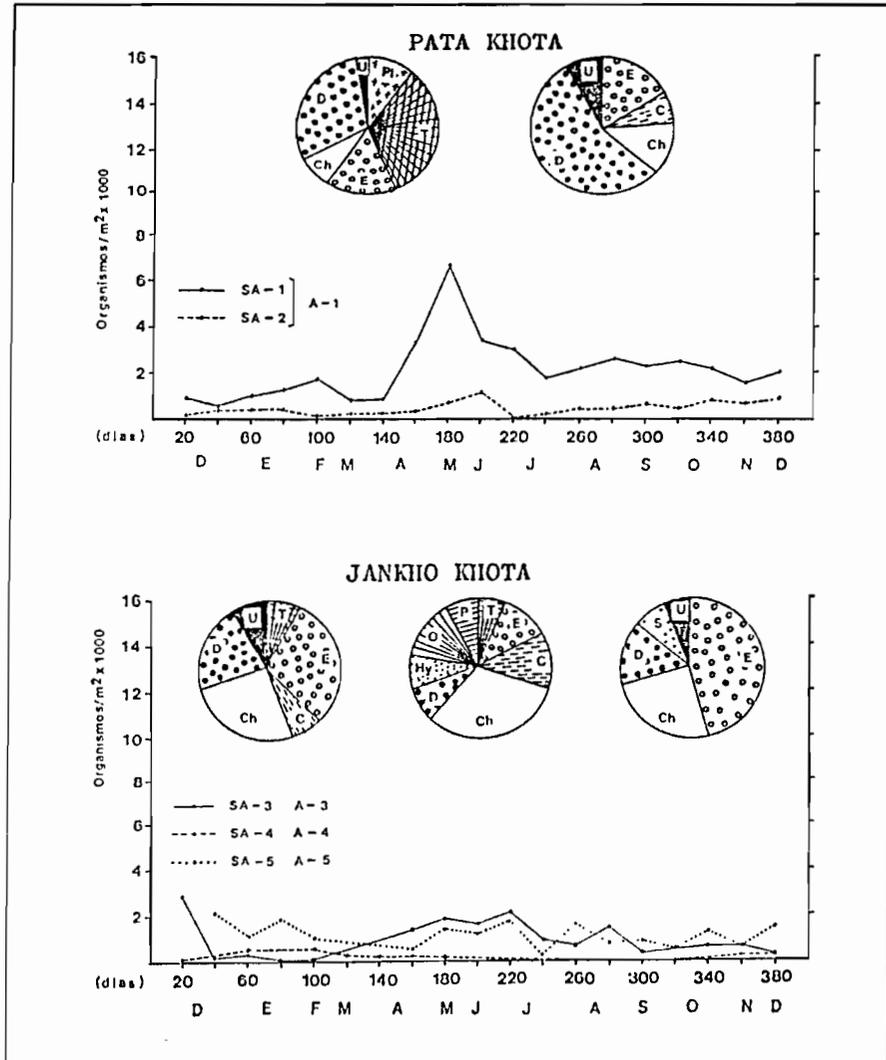
Por otro lado, tenemos aquellas estaciones que forman parte del sistema Pata Khota que, presentan una evolución creciente de la abundancia hacia el estiaje, pero se encuentran entre los dos extremos que hemos analizado antes.

Las estaciones 1 y 2 correspondientes al afluente 1, y 3 al afluente 2 se caracterizan principalmente por tener pequeñas variaciones y una composición faunística formada de siete, seis y hasta cinco grupos de organismos respectivamente, con una dominancia de Quironómidos y Oligoquetos en la estación 1 y 3 y de Oligoquetos, Efemerópteros en la estación 2.

En cuanto a la dinámica de colonización de substratos artificiales se observa una evolución irregular durante el período de estudio (FIGURA 16).

La estación 1 tiene una mayor abundancia, alcanzando un máximo (6400 organismo por metro cuadrado) en el estiaje, debido a los factores descritos con anterioridad, está formada por cinco grupos de organismos, donde los Tricópteros y Dípteros son dominantes. Al contrario la estación 4 tiene menor abundancia, inferior a los 500 organismos por metro cuadrado, sin mucha variación estacional, pero con ausencia de agua en algunos meses durante la época seca, está

FIGURA 16



Evolución anual de la abundancia (organismos por metro cuadrado) y composición porcentual de la dinámica de colonización de substratos artificiales en ríos de la región de Milluni

SA : Substratos Artificiales A : Afluente
 Pl : Plecopteros T : Tricópteros E : Efemeropteros
 C : Coleópteros Ch : Quironómidos D : Dípteros
 Hy : Hydracárinas O : Oligoquetos P : Tricladida
 S : Hirudíneos U : Otros menores al 5%

compuesto por ocho grupos de organismos donde predominan los Quironómidos. Mientras que las estaciones 2, 3 y 5 se encuentran en una posición intermedia respecto a las anteriores, con pequeñas variaciones, formado por cuatro y cinco grupos taxonómicos, siendo dominantes los Dípteros y Efemerópteros en la estación 2 y los Efemerópteros en las estaciones 3 y 5.

En conclusión, la evolución anual de la fauna en ríos está en directa relación con las características morfodinámicas, la pluviometría de la zona, porque las variaciones del lecho provocan la dispersión o agrupamiento de los organismos acuáticos.

Es más efectivo realizar el estudio del bentos en aguas corrientes con substratos artificiales, puesto que éstos son colonizados por una gran parte de la fauna, que colonizan con preferencia espacios libres entre piedras y además aquellos que se encuentran sobre las piedras. Contrariamente, el estudio de la fauna con el surber resulta ser menos efectiva desde el punto de vista cualitativo, pero es un buen método para estudios cuantitativos.

Finalmente, es necesario indicar que los substratos artificiales son utilizados con frecuencia para determinar la calidad de las aguas.

V.4.3.2. Fauna de las lagunas

V.4.3.2.1. En el sedimento

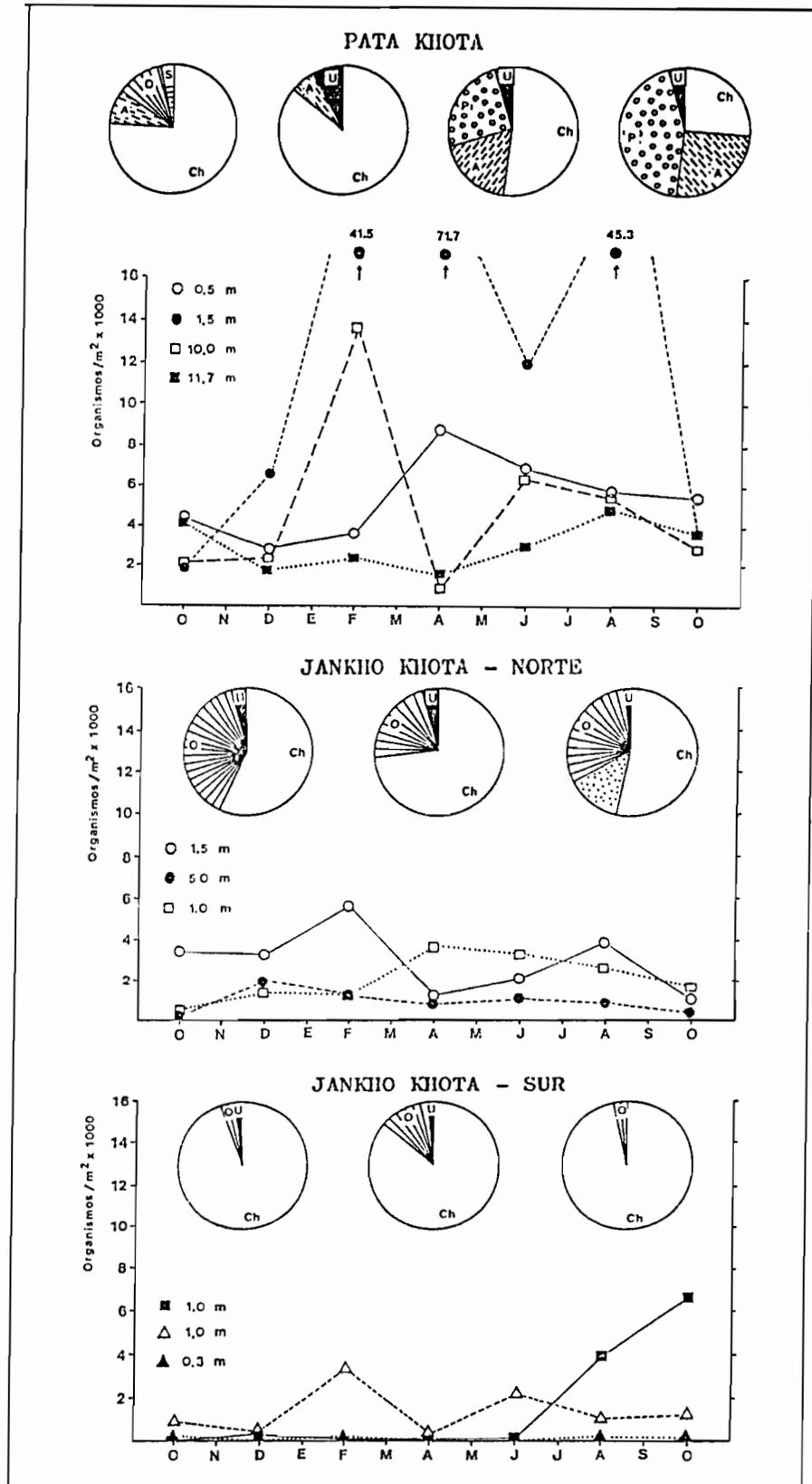
La evolución anual de la fauna béntica está representada en la FIGURA 17.

La laguna Pata Khota, por ser un medio totalmente natural, tiene una mayor abundancia de organismos, principalmente en una profundidad de 1.5 metros (zona litoral) con variaciones irregulares, alcanzando un máximo en el estiaje (71.700 organismos por metro cuadrado). Está formado únicamente por dos grupos de invertebrados cuya dominancia es de Quironómidos, y además de otros organismos en muy baja proporción.

La zona más profunda (11.70 metros) tiene una menor abundancia, sin mucha variación durante el período de estudio, con un máximo de 4900 organismos por metro cuadrado durante la época seca, formado por 3 grupos taxonómicos, con una dominancia de Tricladidas, crustáceos y Quironómidos.

La zona de 10.0 metros de profundidad presenta una evolución que es también irregular, y está formada por tres grupos de organismos donde los Quironómidos y Tricladidas son dominantes, al igual que a 0.5 metros de profundidad la composición faunística es similar, pero con una muy clara dominancia de Quironómidos.

FIGURA 17



Evolución anual de la abundancia (organismos por metro cuadrado) y composición porcentual de la fauna béntica en los sedimentos de las lagunas de la región de Milluni

Ch : Quironómidos H y : Hydracarina A : Crustaceos
P : Tricladidas O : Oligoquetos S : Hirudíneos
U : Otros menores al 5%

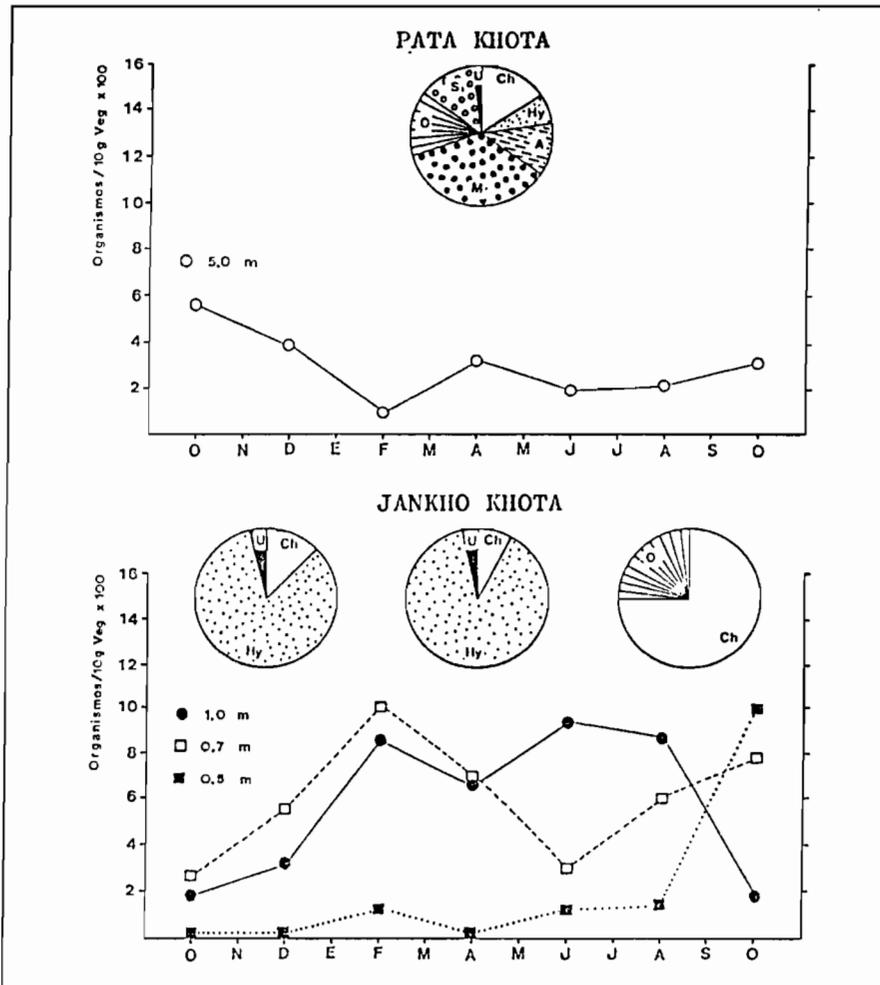
La laguna Jankho Khota, afectada parcialmente por la contaminación, presenta una evolución importante y con una fauna menos numerosa, debido a los factores físico químicos, encontrándose una mayor abundancia (5.700 organismos por metro cuadrado) en la zona I (norte) pero formado únicamente por dos grupos taxonómicos con una dominancia de Quironómidos y Oligoquetos. Asimismo las zonas II, V y VI difieren en su evolución anual, pero tienen la misma composición faunística formada por dos grupos de organismos cuya dominancia es de Quironómidos. La zona III se diferencia de las demás por tener la presencia de Hydracarinas aparte de los dos grupos anteriormente indicados. Al contrario, la zona VII (sur) presenta la abundancia más baja de toda la laguna, sin mucha variación durante el período de estudio, formada igualmente por dos grupos de organismos, con una dominancia casi total de Quironómidos.

V.4.3.2.2. En la vegetación

La evolución anual de la fauna béntica está representada en la FIGURA 18.

La laguna Pata Khota tiene una vegetación abundante, donde la evolución faunística sufre pequeñas variaciones durante el período de estudio con una abundancia baja en Febrero, debido al aumento del nivel de agua en esta laguna. El bentos está formado por seis grupos de organismos cuya dominancia es de

FIGURA 18



Evolución anual de la abundancia (organismos por metro cuadrado) y composición porcentual de la fauna béntica en la vegetación de las lagunas de la región de Milluni

Ch : Quironómidos Hy : Hydracarinas A : Crustaceos
 M : Moluscos O : Oligoquetos S : Hirudineos
 U : Otros menores al 5%

Moluscos y otros grupos que tienen su habitat en la vegetación.

La laguna Jankho Khota, en sus zonas I y III presenta una vegetación poco abundante con respecto a la primera, con pequeñas variaciones presentan una mayor abundancia, pero está formada apenas por dos grupos de organismos, con una dominancia de Hydracarinas y en baja proporción Quironómidos.

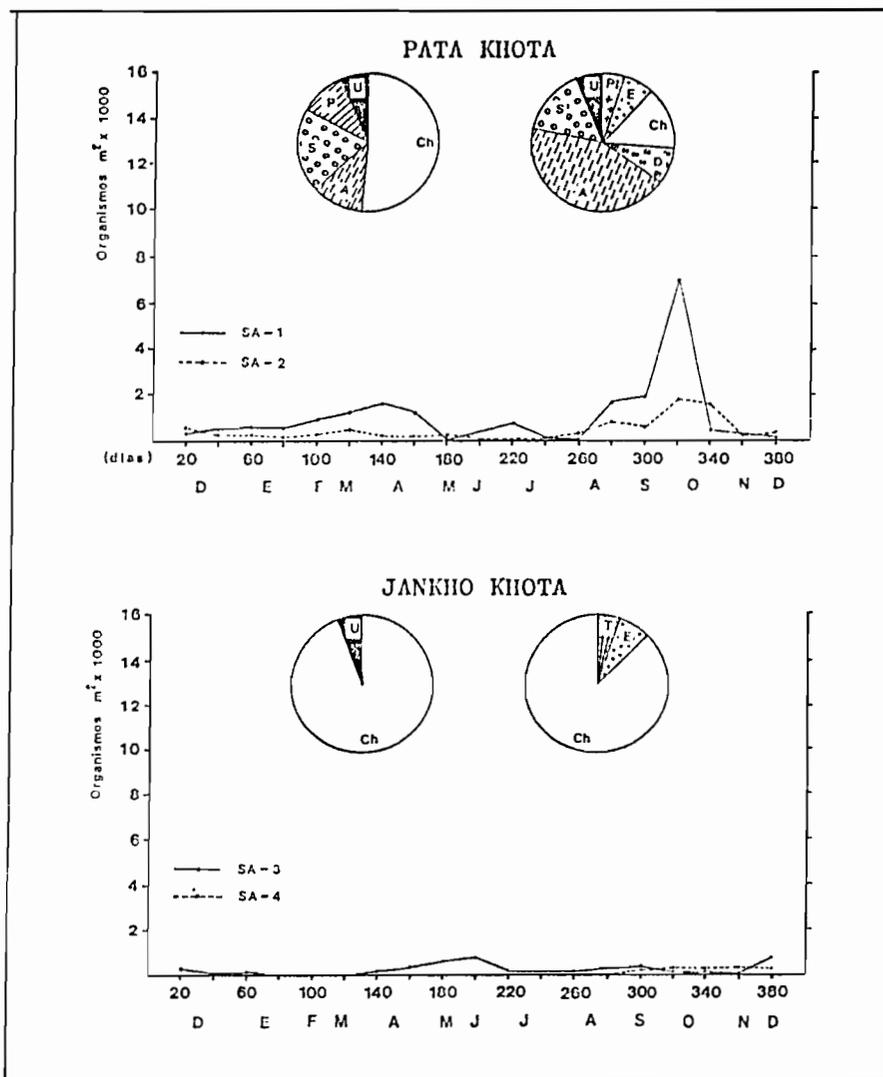
En tanto que la zona V tiene una vegetación escasa, con una evolución anual del bentos casi constante durante gran parte del período de estudio, pero sufre un aumento hacia la finalización del trabajo, debido posiblemente a una mejora de las condiciones físico químicas, formada únicamente por dos grupos de organismos, cuya dominancia es principalmente de Quironómidos y Oligoquetos.

V.4.3.2.3. Substratos artificiales

La dinámica de colonización de substratos artificiales presenta una evolución poco irregular y está representada en la FIGURA 19.

En la laguna Pata Khota la estación 1 presenta una fauna abundante con baja cantidad de especies (cuatro grupos) con dominancia de Quironómidos e Hirudineos; mientras que en la estación 2 la abundancia es baja pero la cantidad de especies es superior (seis grupos) con una dominancia de crustáceos.

FIGURA 19



Evolución anual de la abundancia (organismos por metro cuadrado) y composición porcentual de la dinámica de colonización de sustratos artificiales en lagunas de la región de Milluni

SA : Sustratos Artificiales

Pl : Plecopteros T : Tricopteros E : Efemerópteros

Ch : Quironómidos D : Dípteros A : Crustáceos

S : Hirudíneos U : Otros menores al 5%

Esta diferencia se debe principalmente a la ubicación de los substratos. El primero está ubicado en una zona con poco movimiento de agua y el segundo en una zona muy influenciada por el oleaje.

En la laguna Jankho Khota la estación 3 (zona III) tiene una menor abundancia en relación a las estaciones anteriores, formada únicamente por un grupo taxonómico los Quironómidos. Y la estación 4 (zona VII) presenta al principio ausencia de individuos, pero hacia la finalización aparecen algunos grupos, donde los Quironómidos son también dominantes.

En conclusión, la evolución anual de la fauna béntica en la mayoría de los ríos varía en forma creciente hacia el estiaje, estas variaciones están más relacionadas con las características morfodinámicas, pero existen algunas estaciones sin ninguna variación durante el período de estudio, con una dominancia de Quironómidos en la mayoría de las estaciones.

La dinámica de colonización de substratos artificiales en ríos varía de acuerdo a la posición de los substratos con una dominancia de Efemerópteros, Dípteros y Tricópteros.

Por otro lado, la evolución anual de la fauna en las lagunas es muy irregular, con diferencias muy notables de una profundidad para otra en la laguna Pata Khota y con pocas

variaciones en la laguna Jankho Khota, con decrecimiento de la abundancia desde la zona I (norte) hacia la zona VII (sur) con dominancia de Quironómidos en todas las estaciones.

La evolución anual de la fauna en la vegetación es poco variable, pero formada por varios grupos de organismos cuya dominancia es de Moluscos en la laguna sin contaminación, en contraposición a aquella laguna parcialmente contaminada, presenta una evolución irregular y con una dominancia de Hydracarinas.

La dinámica de colonización de substratos artificiales en las lagunas varía poco, con una dominancia de Quironómidos en todas las estaciones.

V.4.4. Repartición faunística de las especies

Los diferentes grupos de organismos acuáticos han sido encasillados de acuerdo a la categoría taxonómica correspondiente, es así que se identificaron 29 taxa (FIGURA 20) de los cuales 26 corresponden a los medios lóticos y 16 a los medios leníticos.

V.4.4.1. Fauna de los ríos

La fauna de los ríos se caracteriza por la presencia de organismos reofílicos. La fauna es poco diversa pero a menudo densa (ver ANEXO 2 CUADROS 2 y 3).

FIGURA 20

PHILUM	ORDEN	CLASE	FAMILIA	GENERO	CODIGOS	
PLATELMINTOS	Turbelarios	Tricladida	Dugesiidae	-		
ANELIDOS	Oligoquetos	Plesiopora	Naididae	-	OB - 1, 2, 3	
			Glossiphonidae	Helobdella		
	Hirudineos	Rhynchobdellida	Hyalellidae	Hyalella	AB - 10	
	Crustaceos	Amphipoda	Hydracnellidae	Hydracarina	HB - 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 12, 14	
ARTROPODOS	Acaros	Hemiptera	Corixidae	-		
			Ephemeroptera	Baetidae	Baetis	EB - 4
				Leptophlebitidae	-	EB - 8
			Plecoptera	Perlidae	Claudioperla	PB - 1
			Coleoptera	Elmidae	Austrelmis	CB - 1
				Dytiscidae	Notonecta	CB - 7
			Trichoptera	Goeridae	-	TB - 2, 7, 13
				Rhyacophilidae	Atopsyche	TB - 10
				Hydroptilidae	-	TB - 21, 28
			Diptera	Simulidae	-	
				Ceratopogoninae	-	
				Tabanidae	-	
				Ephydriidae	Ephydra	
				Muscidae	Limnophora	
				Empididae	-	EmB - 1, 2
Chironomidae	-					
Chironominae	Tanytarsus					
	Polypedilum					
Orthocladinae	Pseudosmittia					
	Corynoneura					
Poedoninae	Cricotopus					
Podoninae	Parochlus					
Diamesinae	Diamesa	A, B				
Tanypodinae	Tanypus					
MOLUSCOS	Gastropodos	Prosobranchiata	Hydrobiidae	Littoridina	MB - 5	
		Pulmonata	Ancylidae	Anysancyllus	MB - 1	
	Pelecypodos	Heterodonta	Planorbidae	Taphius	MB - 2	
			Sphaeriidae		MB - 3, 4	

Lista global de organismos recolectados en afluentes y lagunas del complejo lacustre de la región de Milluni

La mayoría de los ríos de la región de estudio presenta una fauna esencialmente compuesta de : Leptophlebiidae y Baetidae de la especie Baetis cf peruvianus (Efemerópteros); Perlidae de la especie Claudioperla cf tigrina (Plecópteros); Orthoclaadiinae del género Cricotopus; Podonominae del género Parochlus (Quironómidos); Simuliidae (Dípteros), Hydracarinae, Oligoquetos y Tricladidas, siempre presentes durante el período de estudio.

Existen también aquellos grupos que se encuentran únicamente en algunos ríos, como por ejemplo: Hydroptilidae (Tricópteros) Chironominae del género Tanytarsus; Orthoclaadiinae de los géneros Pseudosmittia y Corynoneura; Tanypodinae del género Tanytus (Quironómidos), e Hirudineos de la familia Glossiphonidae principalmente en los afluentes 4 y 5. Los restantes grupos taxonómicos se encuentran en forma esporádica en todos los afluentes.

Asimismo, los organismos reofílicos como : Plecópteros, Tricópteros y Efemerópteros que colonizan con más frecuencia los substratos artificiales.

V.4.4.2. Fauna de las lagunas

Las lagunas naturales (ver ANEXO 2 CUADROS 4, 5 y 6) tienen una composición faunística formada por; Chironominae de los géneros Tanytarsus y Polypedilum cf titicaca; Orthoclaadiinae

del género Cricotopus (Quironómidos), Oligoquetos, Hirudineos de la familia Glossiphodinae y Tricladida de la familia Dugesiidae, en el caso de los sedimentos y con la presencia de otros grupos de organismo en forma muy ocasional.

La fauna presente en la vegetación es la misma con excepción de la presencia de Moluscos de las familias Ancyliidae, Planorbiidae y Sphaeridae. Existen también algunos grupos que se encuentran en forma muy ocasional, estos son: Perlidae de la especie Claudioperla cf tigrina (Plecópteros), Elmidae del género Austrelmis (Coleópteros), Corixidae (Hemípteros), Tabanidae (Dípteros) y Orthoclaadiinae de los géneros Pseudosmittia y Corynoneura Podonominae del género Parochlus y Diamesinae del género Diamesa (Quironómidos).

Los organismos como: Orthoclaadiinae del género Cricotopus, (Quironómidos), Crustacea del género Hyaella colonizan con más frecuencia los substratos artificiales, en cambio los otros grupos lo hacen en forma esporádica (ver ANEXO 2 CUADRO 7).

V4.5. Evolución de la abundancia faunística en las lagunas

Para una mejor comprensión de nuestros resultados, hemos elaborado los datos, contemplando únicamente aquellos dentro de una profundidad de 1.0 a 1.5 metros, por las

características particulares de la laguna Jankho Khota, para hacer un estudio comparativo con la laguna Pata Khota.

V.4.5.1. En el sedimento

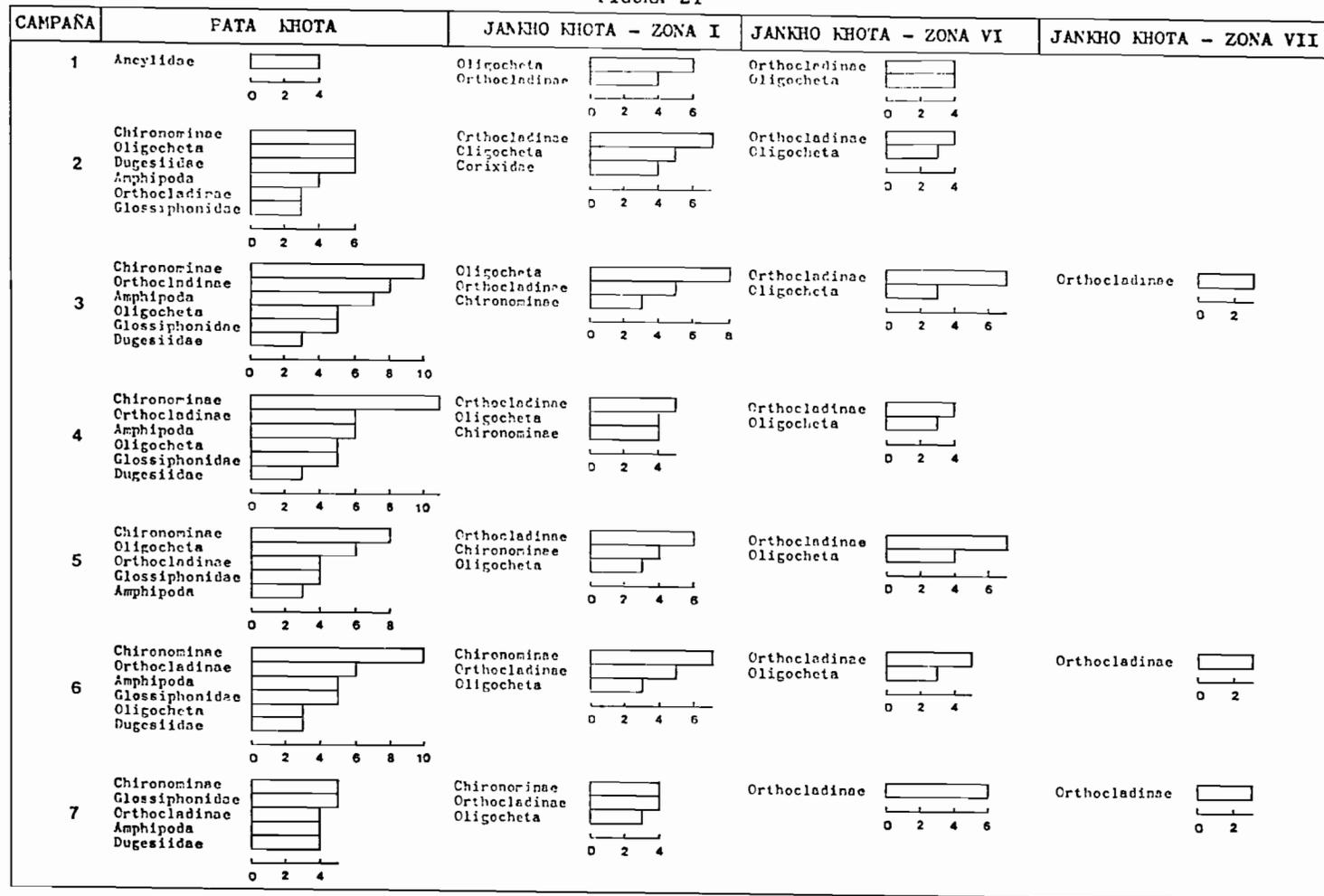
La laguna Pata Khota presenta una mayor abundancia y número de especies (FIGURA 21), siendo dominantes los Chironominae de la especie Polypedilum cf titicacae con excepción de la primera campaña, donde dominan los Moluscos de la familia Ancyliidae. Pero existen algunos taxa, cuya abundancia es menor y están presentes durante casi todo el año, estos son: Anfípodos del género Hyaella, Oligoquetos, Hirudineos de la familia Glossiphonidae y Tricladida de la familia Dugesiidae (ver anexo 2 CUADRO 4).

La laguna Jankho Khota tiene una evolución totalmente diferente a la de la laguna anterior, por lo que analizaremos las zonas más representativas.

La zona I (norte) tiene una menor abundancia y número de especies cuya dominancia es de Oligoquetos, Chironominae de los géneros Polypedilum cf titicacae y Tanytarsus; Orthoclaadiinae del género Cricotopus y Oligoquetos (ver ANEXO 2 CUADRO 6).

La zona VII (sur) ya representa un medio muy influenciado por la contaminación, donde se observa una disminución de la abundancia y el número de especies, encontrándose únicamente

FIGURA 21



Grupos de familias por clases de abundancia en los sedimentos del complejo de lagunas de la región de Milluni

0 - 4 : 1	16 - 32 : 4	128 - 256 : 7	1024 - 2048 : 10
4 - 8 : 2	32 - 64 : 5	256 - 512 : 8	2048 - 4096 : 11
8 - 16 : 3	64 - 128 : 6	512 - 1024 : 9	4096 - 8192 : 12

la presencia de Orthoclaadiinae del género Cricotopus, pero esta presencia sólo se observa en tres campañas durante el período de estudio.

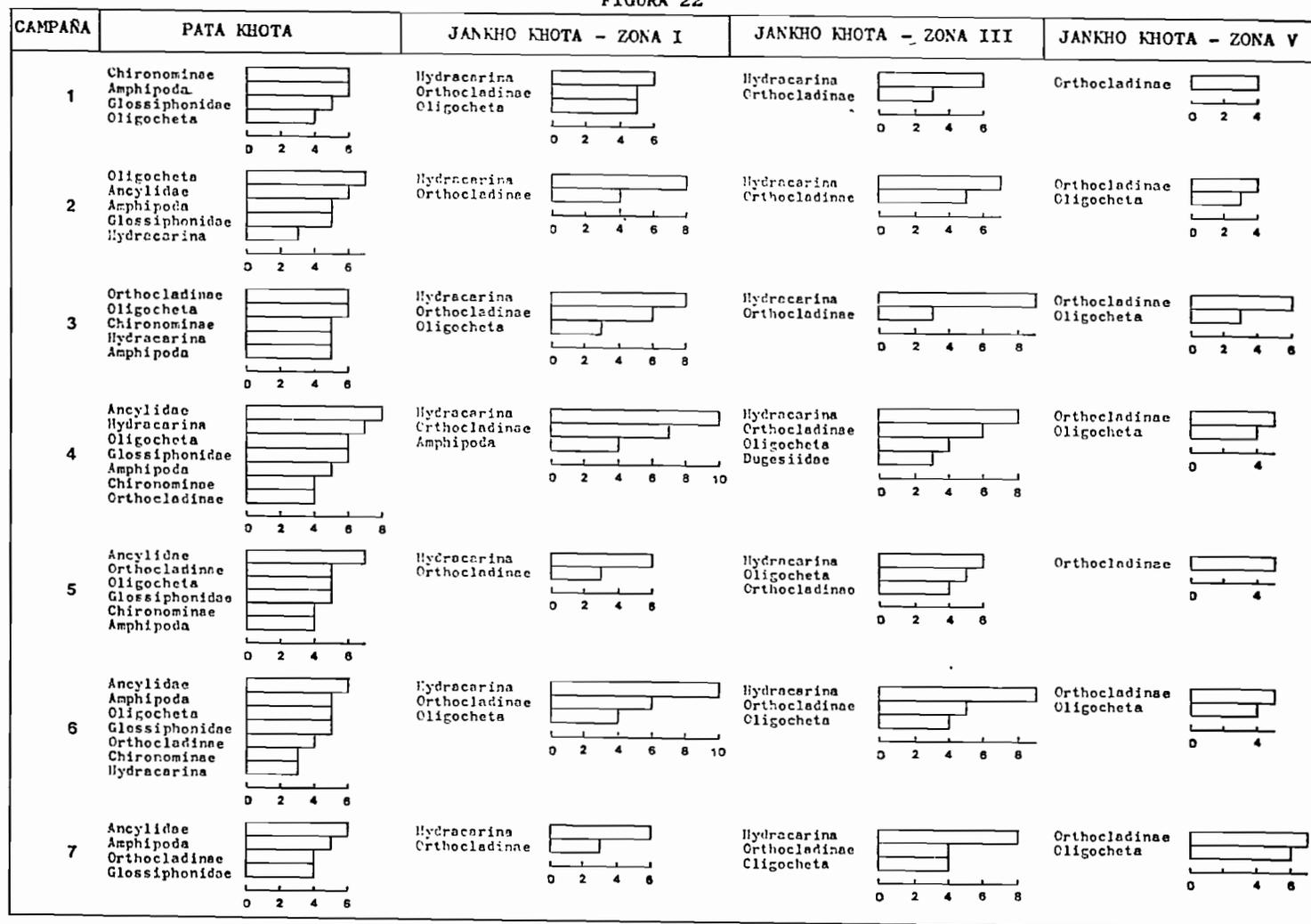
V.4.5.2. En la vegetación

La laguna Pata Khota tiene una vegetación abundante, por lo que presenta una mayor abundancia y número de organismos (FIGURA 22); con Oligoquetos, Chironominae y Orthoclaadiinae dominantes en las tres primeras campañas, pero en las restantes existe un dominio absoluto de Moluscos de la familia Ancyliidae. También existen algunos taxa, cuya abundancia es menor y se mantiene durante todo el período de estudio, estos son: Anfípodos del género Hyaella, Orthoclaadiinae del género Cricotopus e Hirudíneos de la familia Glossiphonidae y otros grupos como Oligoquetos e Hydracarinae en forma esporádica (ver ANEXO 2 CUADRO 4).

La laguna Jankho Khota tiene poca vegetación, por tanto la abundancia y el número de especies es baja y además diferentes a los de la laguna anterior.

La zona I (norte) posee una composición faunística, donde las Hydracarinae son dominantes durante todo el período de estudio, además de la presencia de Orthoclaadiinae del género Cricotopus y Oligoquetos en menor proporción, con ausencia de otros grupos como: Anfípodos e Hirudíneos, debido

FIGURA 22



Grupos de familias por clases de abundancia en la vegetación del complejo de lagunas de la región de Milluni

0 - 4 : 1	16 - 32 : 4	128 - 256 : 7	1024 - 2048 : 10
4 - 8 : 2	32 - 64 : 5	256 - 512 : 8	2048 - 4096 : 11
8 - 16 : 3	64 - 128 : 6	512 - 1024 : 9	4096 - 8192 : 12

principalmente a la presencia de sedimentos contaminados. De igual forma se puede observar que la zona III tiene la misma composición faunística (ver ANEXO 2 CUADRO 6).

La zona V como un medio contaminado, tiene una menor abundancia y menor número de especies con un dominio absoluto de Orthoclaadiinae del género Cricotopus durante todo el período de estudio, también se observa la presencia de Oligoquetos en menor proporción.

En conclusión, la abundancia y el número de especies del bentos tanto en los sedimentos como en la vegetación sufren una gradual disminución desde medios sin contaminación hacia aquellos medios contaminados.

Las especies presentes en aquellos medios naturales (Pata Khota) son Polypedilum cf titicacae, Hyaella y otros grupos como Oligoquetos, Hirudineos y Tricladida que forman parte de ecosistemas naturales. Mientras que la laguna afectada parcialmente por la contaminación (Jankho Khota) presenta únicamente tres grupos de Quironómidos; Polypedilum cf titicacae, Tanytarsus y Cricotopus en la zona I (norte) y en zona VII (sur) la presencia solitaria del género Cricotopus.

Asimismo, la diferencia es notable en la vegetación, puesto que en aquellos medios naturales predominan los Moluscos, en

tanto que en aquellas zonas afectadas por la contaminación, las Hydracarinas son abundantes.

V.4.6. Diversidad de la faune béntica

Los valores promedio del índice de diversidad del bentos de los medios lóticos y leníticos, están representados en forma de curvas en la FIGURA 23.

V.4.6.1. Diversidad en ríos

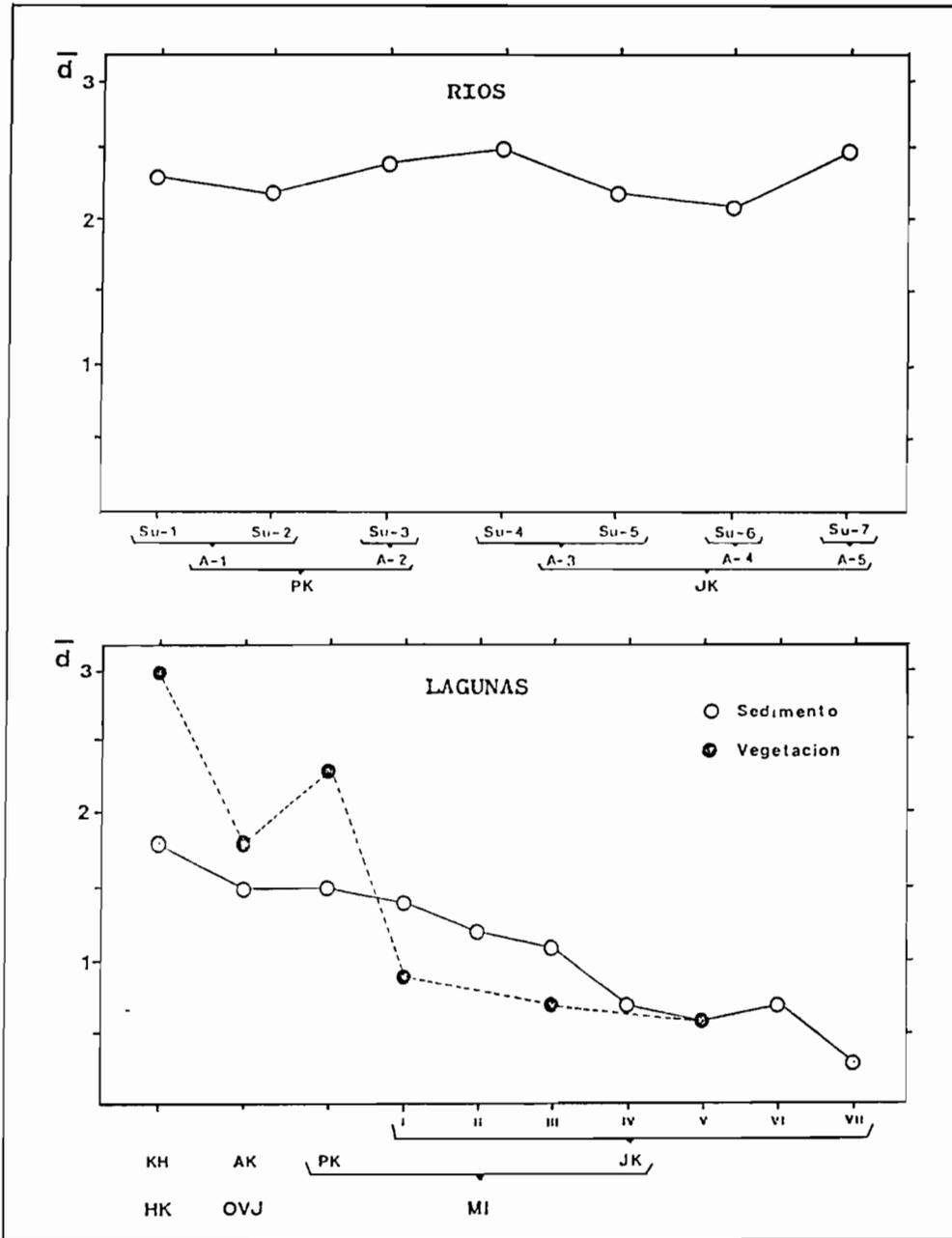
La diversidad de la fauna en ríos varía muy poco, está comprendida entre 2.1. a 2.5. Estos valores son similares a los encontrados por MARIN (1989) en los ríos de altura, lo cual nos da la confiabilidad respecto a los resultados obtenidos en el presente estudio.

Las pequeñas variaciones están relacionadas con las características morfodinámicas de cada afluente, cabe recordar, que algunas especies no están presentes en todas las estaciones (cf V.4.4.), razón por la cual los valores del índice de diversidad tienen las variaciones que habíamos indicado anteriormente.

V.4.6.2. Diversidad en lagunas

Las lagunas no contaminadas (Khotia, Allka Khota y Pata Khota) presentan valores altos de índice de diversidad tanto

FIGURA 23



Evolución del Índice de Diversidad de SHANON & WEABER del complejo fluvio lacustre de Milluni y otros medios acuáticos

Su : Surber A : Afluente

I al VII : Zonas

KH : Khotia AK : Allka Khota PK : Pata Khota

JK : Jankho Khota

HK : valle de Hichu Khota OVJ : valle de Ovejuyo

Mi : Vallo de Milluni

en el sedimento (1.5 a 1.8) como en la vegetación (1.8 a 3.0).

La laguna Jankho Khota presenta un decrecimiento en sus valores desde 1.49 (zona I) hasta 0.32 (zona VII) en el caso de los sedimentos, y además desde 0.86 (zona I) hasta 0.64 (zona V) en la vegetación, debido a los factores de contaminación explicados en el capítulo III.

Estos resultados y los descritos en los capítulos anteriores demuestran claramente la grave alteración de los ecosistemas acuáticos, en algunos casos de carácter irreversible.

V.5. CONCLUSIONES

El estudio de la fauna béntica, nos ha permitido obtener una serie de resultados, que aclaran el real nivel de contaminación de las lagunas Jankho Khota y Milluni.

La evolución anual y la abundancia de los organismos en los medios de aguas corrientes es muy heterogénea, porque se ha podido observar algunas estaciones con mayor abundancia en relación con otras. Asimismo, la composición faunística (cinco a siete grupos) y la diversidad de los invertebrados no varía mucho, con una dominancia de Quironómidos en la mayoría de las estaciones. De igual manera, la dinámica de colonización de substratos artificiales es poco variable, donde predominan los Dípteros, Tricópteros y Efemerópteros,

que pueden ser considerados como buenos colonizadores de aguas corrientes y zonas de poca profundidad en las lagunas.

Por otro lado, la evolución anual de la fauna en las lagunas de la región de estudio varía notablemente.

Primero, la laguna Pata Khota presenta una variación de la fauna más en relación con la profundidad, pero se puede observar claramente que la abundancia y diversidad son elevadas, al igual que en otras lagunas naturales situadas a lo largo de la Cordillera Real.

Contrariamente, la laguna Jankho Khota, que se encuentra parcialmente afectada por la contaminación, tiene una fauna diferente. Esta decrece tanto en abundancia como en diversidad desde la zona norte hacia la zona sur que es la más afectada por la contaminación, pudiendose encontrar únicamente el género Cricotopus en esta última. La dinámica de colonización de substratos artificiales tiene el mismo comportamiento.

Finalmente, la laguna Milluni, que se encuentra totalmente contaminada, se caracteriza por no presentar en su seno organismos acuáticos ni vegetación.

V.6. DISCUSION

En general, el estudio físico químico y biológico realizado en el complejo fluvi lacustre de la región de Milluni, nos permite realizar un análisis comparativo para la laguna sin contaminación, pero por la ausencia de estudios referentes a la incidencia de la contaminación sobre la fauna béntica, nos limitaremos a analizar únicamente los resultados obtenidos.

La laguna Pata Khota que forma parte del complejo de lagunas de la región de Milluni, se encuentra totalmente natural sin ninguna influencia antropogénica, que podría ocasionar una eventual contaminación, por lo que se puede decir, que es representativa de lagunas no contaminadas al igual que otras lagunas situadas en otros valles glaciares de la Cordillera Real, como ser: Khotia y Allka Khota.

Las características físico químicas de estas lagunas tienen mucha similitud, con grandes variaciones térmicas durante el estiaje, con baja cantidad de nutrientes (oligotrofos), pH neutro y concentraciones bajas de metales como: zinc, hierro y manganeso en relación a los límites permisibles por la OMS y la EG (cf CUADRO 2).

Los factores tróficos, su desarrollo y abundancia son también determinados por el substrato y la profundidad presente en cada laguna, caracterizandose la laguna Pata Khota por presentar gran cantidad de macrófitos.

En general, las poblaciones de invertebrados en las lagunas, son variables y además estables con una disminución desde la zona litoral hasta la zona más profunda, observándose la presencia dominante de Quironómidos en el sedimento y Moluscos en la vegetación, además de que la diversidad es más alta en la vegetación presente en estos medios.

La dinámica de colonización de substratos artificiales, nos permite destacar la eficiencia de este método para realizar estudios cualitativos, que nos dan una imagen clara de la población de invertebrados, así como la capacidad de algunos grupos que colonizan medios similares.

Las características físico químicas de la laguna Jankho Khota varían considerablemente de una zona para otra, observándose un crecimiento de las concentraciones de los diferentes componentes químicos con excepción del bicarbonato, que decrece por la evolución ácida de las aguas en la dirección norte sur, esto se debe a la presencia de sedimentos contaminados con alto contenido de hierro manganeso y zinc y otros iones metálicos, que sobrepasan los límites permisibles, principalmente en las zonas VI y VII (sur) y aún mucho más en el efluente de esta laguna.

Esta laguna presenta diferentes afluentes, por lo que se ha podido observar un gran aporte de materia en suspensión, que tiene mucho que ver con la distribución faunística, es así

que en varias oportunidades (1990) se ha observado el depósito de una capa de sedimento de color plomizo proveniente del afluente 4, proceso que le da una mejora relativa a las condiciones físico químicas de las aguas de esta laguna.

Como el producto de los factores mencionados en el párrafo anterior, la abundancia y diversidad faunística sufren una variación importante produciéndose un desequilibrio ecológico, debido a la presencia de sedimentos contaminados en toda la laguna y además al depósito permanente de sedimentos no contaminados, que de alguna manera limita el desarrollo normal de la fauna.

Uno de los grupos que parece ser resistente a la contaminación, los Quironómidos Orthocladinae del género Cricotopus (HIRVENOJA, 1973) es el que predomina en las zonas más afectadas por la contaminación, particularmente en la laguna Jankho Khota.

Finalmente, la laguna Milluni, la más afectada por la contaminación minera, provocando a esta represa una disminución en su capacidad de embalse, debido al gran aporte de materia en suspensión por los efluentes de la mina.

Muchos estudios demuestran la presencia peligrosa de algunos iones metálicos como Hierro, Manganeso y Zinc en

concentraciones elevadas, similares a los encontrados en el presente estudio. Asimismo, se puede destacar la ausencia de bicarbonatos, por el bajo pH, por lo cual, algunos investigadores indican que este daño ocasionado por la empresa minera COMSUR es irreversible.

En 1989 SAMAPA construyó un canal de aducción desde la laguna Jankho Khota hasta el extremo norte de la represa de Milluni, con el único objetivo de mejorar las condiciones físico químicas de estas aguas, meta que no se ha cumplido, porque las condiciones de esta represa siguen sin ninguna variación, debido a la presencia de sedimentos contaminados. En mi opinión, era mejor efectuar la conexión al canal de aducción de la represa de Milluni (FIGURA 24).

Por las condiciones de total contaminación no se ha encontrado ningún tipo de organismos bénticos ni vegetación acuática, por lo que se dice que es azoica, pero en los substratos artificiales colocados en el canal de aducción se ha podido observar la colonización de dos grupos de Quironómidos de los géneros Cricotopus y Parochlus, obviamente en muy baja proporción (ver ANEXO 2 CUADRO 8). Pero se puede remarcar, que el aporte exterior de organismos es un fenómeno que ocurre permanentemente y puede iniciar la recolonización biológica en este medio muerto.

VI. PERSPECTIVAS DE RESTAURACION DE LOS ECOSISTEMAS ACUATICOS AFECTADOS POR LA CONTAMINACION MINERA

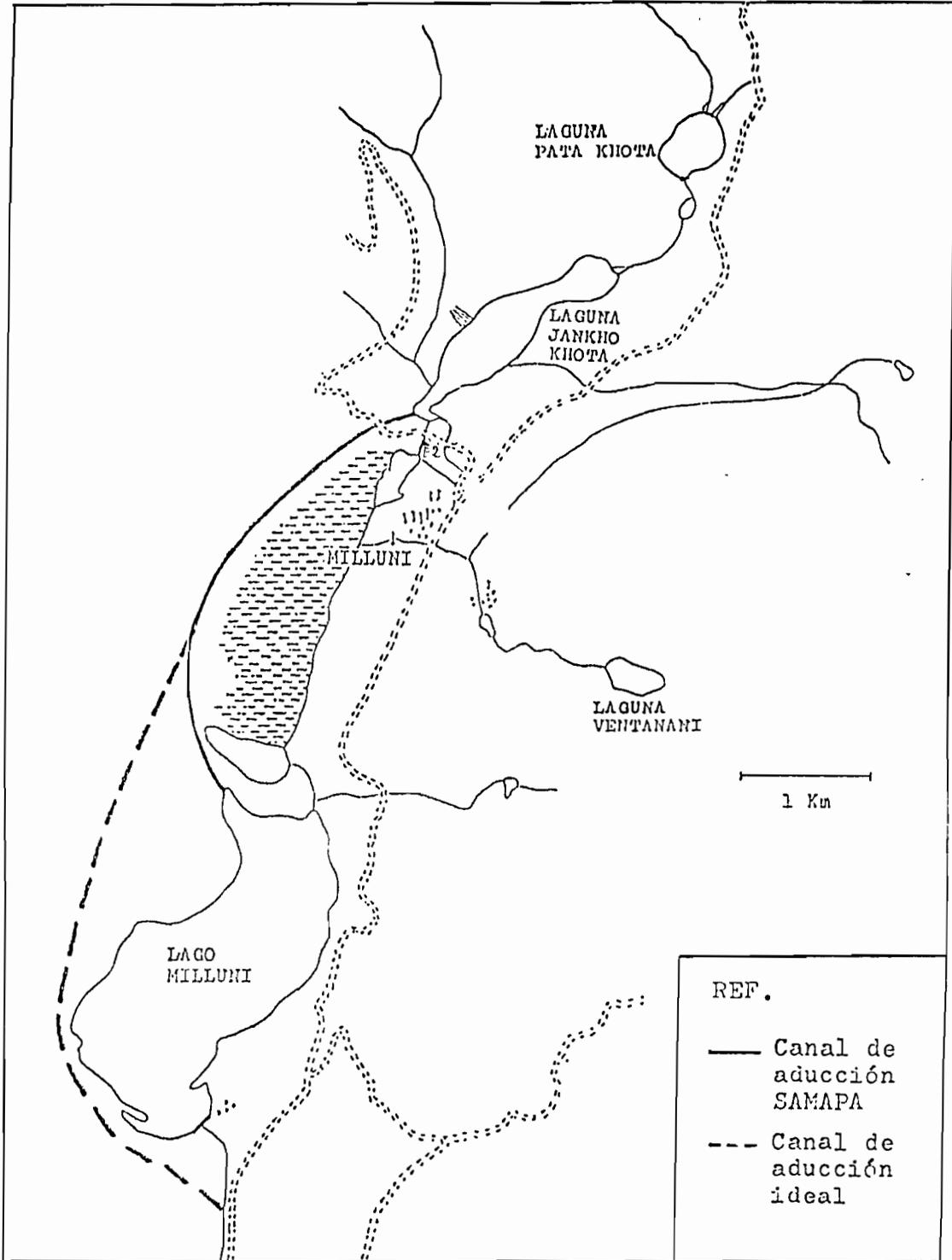
VI.1 Laguna Jankho Khota

El problema básico de esta laguna es la presencia de sedimentos contaminados, principalmente en las zonas V, VI y VII. Dichos sedimentos han sido transportados y depositados a lo largo de esta cuenca, por lo que consideramos importante las siguientes aseveraciones.

Antes que nada es importante indicar, que SAMAPA construyó un canal de aducción en el extremo sur (zona VI) anulando completamente el efluente 2 (FIGURA 24) sin haber realizado una previa limpieza de los sedimentos dañinos presentes en esta zona, aumentando de esta manera el nivel de agua en aproximadamente 1.50 metros, quedando por debajo del nivel de agua el muro de piedras existente entre las zonas VI y VII, con el riesgo de que estos sedimentos por efecto de los constantes vientos, puedan ser removidos y llevados a otras zonas, por lo que se recomienda realizar un estudio similar al presente, en las condiciones actuales.

A pesar de lo indicado anteriormente, esta laguna presenta buenas perspectivas de restauración, primero por la eliminación del afluente 7 (proveniente de la mina), y por el gran aporte de aguas de deshielo, que por dilución mejoran

FIGURA 24



Esquema del nuevo canal de aducción realizado por el Servicio Autónomo Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (SAMAPA)

relativamente las condiciones físico químicas del agua, al igual que el depósito de limo sobre el sedimento contaminado. En segundo lugar, es necesario indicar, que todos los desechos y los desmontes, que se encuentran alrededor de la zona sur deben ser removidos hacia otra zona para que no sea un peligro de contaminación.

Por otro lado, es también importante indicar, que en la zona VII (sur) ha sido sembrada totora en noviembre de 1989 por TAUCER (comunicación personal) hasta la fecha se ha observado una adaptación a este medio. Esta puede ser una de las formas de poder mejorar la calidad de las aguas y además de conseguir una colonización de algunos grupos de organismos, que prefieren la vegetación como habitat.

Finalmente, se debe realizar un tratamiento de los sedimentos contaminados, por ejemplo, cubriendolas con una capa de arena y grava en las zonas VI y VII para aislar estos contaminantes de la interfase substrato agua. Esto ayudaría notablemente a una pronta restauración como laguna natural con todas las características tanto físico químicas como biológicas.

VI.2. Laguna Milluni

De acuerdo a nuestros resultados, esta laguna es la más afectada por la contaminación, pero existen algunas posibilidades de salvar esta represa, tomando algunas medidas

como las siguientes: Primero se debe desviar el curso de todos aquellos afluentes que desembocan tanto al río que va a la laguna, como aquellos que llegan directamente a la represa. Luego se debe secar totalmente, en lo posible todo el área comprendida entre esta laguna y la mina misma, para luego cubrirlas con grava y arena para aislar el sedimento contaminando del agua.

Posterior a este tratamiento se podría realizar una siembra de aquellos macrófitos, que tienen la cualidad de descontaminar.

Otra posible solución es la de hacer una remoción de todo el sedimento existente en la laguna, para poder recuperar algunos metales por el método de lixiviación bacteriana y al mismo tiempo hacer un encalado de los residuos de dicho tratamiento.

VI.3. RECOMENDACIONES

Como recomendaciones generales, para evitar en el futuro problemas de contaminación similares a los encontrados en el presente estudio, se deberá dar importancia a los siguientes aspectos:

- Obligar al sector minero a ejecutar una explotación planificada para que los problemas de remoción de

contaminantes no sea costosa, además de exigir que se construya una planta de tratamiento de aguas.

- La pronta promulgación de la ley de aguas y el reglamento de desechos sólidos en los cuerpos de agua, que deberá hacer cumplir estrictamente la Dirección de Saneamiento Ambiental. Este sería un instrumento legal muy valioso para la preservación de los diferentes recursos hídricos de nuestro país.

- Sugerir a la Dirección Nacional de Saneamiento Ambiental a realizar un control permanente de los desechos mineros en todo el país, para de esta manera precautelar los daños causados como el presente.

- Sugerir a SAMAPA implantar una política adecuada para la limpieza del canal de aducción en todo su recorrido hasta la planta de tratamiento de Achachicala, para de esta manera aminorar la contaminación de estas aguas.

VII. BIBLIOGRAFIA

- APAZA R. 1989: Sensibilidad de los organismos bénticos a la contaminación por efluentes mineros: Caso laguna Milluni, Tesina. Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Departamento de Biología, UMSA La Paz. 61 p.
- BASE METAL SYNERGY ASSOCIATES. 1988: Evaluation of water sources in the Milluni grande. Catchment, Bolivia. Vol I, Repport number 225/88, Poligraf. 76 p.
- BASE METAL SYNERGY ASSOCIATES. 1988: Evaluation of water sources in the Milluni grande Catchment, Bolivia. Vol II, Report Number 225/88, Poligraf. 50 p.
- BASE METAL SYNERGY ASSOCIATES. 1988: Evaluation of water sources in the Milluni grande Catchment, Bolivia. Vol III, Report number 225/88, Poligraf. 19 p.
- BALLON J. 1978: Tratamiento de aguas potables, planta de alto rendimiento para la ciudad de Trinidad (Tesis), Ingeniería Civil. UMSA La Paz 80 p.
- BARRA C., CADIMA M. & MALDONADO M. 1988: Caracterización altitudinal de los cuerpos de agua del Departamento de Cochabamba, Bolivia, Facultad de Ciencias y Tecnología, UMSS Multigraf. 24 p.

- BEVERIDGE M. 1983: Un estudio de los niveles de metales pesados en el lago Poopo, Bolivia, University of Stirling. Poligraf. 40 p.
- BLUME W. 1985: Littoridinen ans dem Titicasse (Mollusca). Zool. Stuud. München, 25: 8 p.
- BOTOSANEANU L. 1979: Quinze annés de recherches sur la zonation des cours d'eau: 1963-1978. Revue commentée de la bibliographie et observations personnelles. Bijdragen tot. de Dierkunde. 49. 1: 109-134 p.
- BRANISA L. 1965: Los fósiles quía de Bolivia, I Paleozoico, Index Fosils of Bolivia, I Paleozoic. Serv. Geol. Boliv. 6: 282 p.
- BRANISA L. 1969: El sistema Silúrico en Bolivia, Estratigrafía, Faunas y límites I, el límite entre el Silúrico y el Devónico. Bolivia. Soc. Geol. Boliv. 12: 22-70 p.
- BRANCO S. M. 1984: Limnología Sanitaria. Estudio de la Polución de aguas continentales. CETESB, Sao Paolo, S.P. Brasil 120 p.

- CARDOZO N. 1983: Contaminación originada por la industria minera, Mesa redonda. Soc. Boliv. Ecol. Multigraf. 10 p.
- CHERRAITIA M. L. 1984: Essai d'appréciation de la qualité de quelques milieux stagnant de faible profondeur à partir des macroinvertébrés (Thèse) le doctorat de troisième cycle. Université Claude Bernard, Lyon. 97 p.
- DAGET J. 1979: Les modèles mathématiques en Ecologie. Bull. Ecol. Fasc. 4. par an. Masson, Paris. 172 p.
- DEJOUX C. 1988: Panorama de la fauna béntica de las aguas del altiplano boliviano. Actas del primer congreso iberoamericano y caribe sobre pesca y acuicultura. Margarita, Venezuela. 8-14 Mayo In Pres.
- DEJOUX C. Catálogo iconográfico de los invertebrados bénticos del Altiplano Boliviano. En preparación.
- EDMONDSON W. T. 1959: Fresh Water Biology. Libray of Congres Catalog. Card. number 59-6781. New York. 1247 p.
- ELLIOT J.M. & TULLET P.A. 1978: A bibliography of samplers for Bentic invertebrates. Ocass. Public. Fresh Water Biol. Ass, 4: 61 p.

- FAXON W. 1976: Exploration of lake Titicaca by Alexander AGASSIZ and S.W. GARMAN IV Crustace Bull. Mus. Comp. Zool. Harv. 3: 361-375 p.
- GEHLER E. 1985: Comportamiento de Schoenoplectus tatora frente al hierro y la plata (Tesis). Ciencias Puras y Naturales. Departamento de Química. UMSA. 80 p.
- GILSON H.C. 1937: The Percy Sladen Trust Expedition to lake 1. Description of the expedition. Trans. Limn. Soc. (3) 1: 1-20 p.
- GONZALES R. 1980: Modificación de la planta de tratamiento de agua potable de Achachicala en base a métodos modernos de diseño. (Tesis) Ingeniería Civil. UMSA, La Paz. 90 p.
- HALLBERG R.O. 1973: The microbiological C-N-S Cycles in sediments and their effect in the ecology of the Sediment Water intergase. Oikos Suppl. 15: 51-62 p.
- HAAS F. 1957: Eine neue endemische schnecke aus dem Titicacasee. Arch. Moll. 86-4/6. 137-139 p.
- HADLEY R. F. & ONGLEY E.D. 1989: The transport of mine tailings as suspended sediment in the Belle Fourche

River, West-central South Dakota, USA. In *Sediment and the Environment*. IAHS. 19-26 p.

HEGEWALD E. & RUNKEL K.H. 1981: Investigations on the lakes of Perú and their phytoplankton 6 Additional chemical analyses. *Arch. Hydrobiol.* 92 (1) 31-43 p.

HIRVENOJA M. 1973: Revision der Gattung *Cricotopus*. Van Der Wulp und ihrer Verwandten (Díptera Chironomidae). *Ann. Zool. Fenn.* 10: 1-363 p.

HOROWITZ A.J. ELRICK K.A., CALLENDER E. 1988: The effect of mining on the sediment trace. Element Geochemistry of cores from the Cheyene river arm of lake Oahe. South Dakota, USA, in *Chemical Geology Elsevier Science. Publishers B.V.* 67: 17-33.

HUET M. 1949: Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles dans les eaux courantes. *Schweiz Z. Hydrol.* 11: 3-4 p.

ILTIS A. 1988: Datos sobre las lagunas de altura de la región de La Paz (Bolivia). *Convenio UMSA-ORSTOM. Multigraf.* 14: 1-50 p.

ILLIES J. & BOTOSANEANU L. 1963: Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des

eaux courantes, considérées surtout du point de vue faunistique. Mitt. Int. Ver. Limnol. 12: 1-57 p.

ILLIES J. 1961: Versuch einer allgemeinen biozoologischen Gliederung der fließgewässer. Int. Rev. Ges. Hydrobiol. 46: 205-213 p.

JUGUET J. & LAFONT M. 1982: L'échantillonnage de la faune benthique. Revue des Techniques de prélèvement d'extraction et de tri application aux Oligochètes. Sciences de l'eau 1: 243-254 p.

KAJAK Z. 1963: Analysis of quantitative benthic methods. Ekol. Pol 11: 1-56 p.

KAJAK Z., DUSOGE K. & PREJS A. 1968: Application of the flotation technique to assessment of absolute numbers of benthos. Ekol. Polska. Ser. A. 16: 607-620 p.

KHALAF G. & TACHET H. 1978: Un problème d'actualité, Revue en matière d'utilisation des substrats artificiels pour l'échantillonnage des macroinvertébrés des eaux courantes. Villeurbanne. Bull. Ecol. 9, 1: 29-38 p.

KOLLOTZEK D. & SOINE K. 1987: Bericht über den Einsatz der Kurzzeitexperten für Wasseranalytik und

Trinkwasseraubereintung - Vedewa. Deutsche
Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)
G.M.B.H. Poligraf. 60 p.

LAVILLE H. 1974: Utilisation de substrats artificiels pour
l'étude de la faune macrobentique de la zone
littorale rocheuse des lacs de montagne. *Annls.
Limnol.* 10, 2: 163-172 p.

LEHMANN B. 1979: Memoria explicativa del mapa geológico de
Milluni. Cordillera Real (Bolivia) en. *Rev.
Geociencias.* UMSA La Paz. 1: 187-257 p.

LOEFFLER H. 1964: The limnology of tropical high mountain
lakes. *Verh. Intern. Verein. Limnol.* Stuttgart. 15:
176-193 p.

LOZADA G.A. 1985: Balance hídrico superficial de la cuenca
del lago Titicaca (Tesis), Ingeniería Civil. UMSA.
La Paz. Public. PHICAB. 158 p.

MIN. B.S. 1987: Some aspects of conservation of Pejerrey
Resources in lago Poopo. Fisheries Research and
Development Agency, Fisheries Office. R.O.K.
Poligraf. 14 p.

MARIN R. 1989: Elementos para una tipología de los ríos de
altura de la región de La Paz : Caracterización

Biológica y Potencialidades piscícolas, Tesis.
Facultad de Ciencias Puras y Naturales,
Departamento de Biología. UMSA La Paz. 76 p.

MONTES DE OCA I. 1982: Geografía y recursos naturales de
Bolivia Banco Central de Bolivia. Cochabamba -
Bolivia. 628 p.

MURIEL Z.C. 1967: Estudio geológico y mineralógico de la
región de Milluni (Tesis). Facultad de Ciencias
Puras y Naturales. Depto. de Geología. UMSA. La Paz
109 p.

NEEDHAM J.G. & NEDHAM P.R. 1972: Los seres vivos de las aguas
dulces. Guía para el estudio. Edl. Reverte. 70 p.

ODUM E.P. 1972: Ecología. Interamericana S.A. de C.V. México
639 p.

PAZ O. 1988: Los Sanchez de Lozada envenenan La Paz. Patria
Grande UMSA. Multigraf. 8: 1-4 p.

RAMADE F. 1977: Elementos de Ecología Aplicada. Mundi prensa.
Madrid España. 581 p.

RIOS C.G. 1985: Estudio de la contaminación ambiental por las
descargas mineras de COMSUR en la represa Milluni
(Tesis). Ingeniería Civil. UMSA. La Paz. 120 p.

- ROBACK S.S., BERNER L., FLINT O.S. Jr. NIESSER N. SPANGLER P.J. 1980: Results of the Catherwood Bolivian-Peruvian Altiplano expedition. Part I. Aquatic insects except Díptera. Proc. Acad. Nat. Sc. Philadelphia, 132: 176-217 p.
- ROBACK S.S. & COFFMAN W.P. 1983: Results of the Catherwood Bolivian-Peruvian Altiplano expedition. Part II. Aquatic Díptera including montane Diamesinae and Orthoclaadiinae (Chironomidae) from Venezuela. Proc. Acad. Nat. Sci. Philadelphia. 135: 9-79 p.
- ROCHE M.A. & ROCHA N. 1985: Mapa pluviométrico de Bolivia y regines vecinas. Public. PHICAB.
- RODIER J. 1960: L'analyse Chimique et Physicochimique de l'eau. Dunod. Paris. 358 p.
- RUTTNER F. 1953: Fundamentals of Limnology. University of Toronto Press. Toronto. 242 p.
- SAETHER O.A. 1980: Glossary of Chironomid morphology terminology (Díptera: Chironomidae) in Entomologica Scandinavica. Sweden. Motala. Supl. 14: 457 p.
- SAETHER O.A. 1982: Entomologica Scandinavica A Journal of Systematic Entomology. Orthoclaadiinae (Díptera: Chironomidae) Sweden Motala. Vol. 3: 435 p.

- SALM H. & ARZA C. 1982: Schoenoplectus tatora (totora) para la purificación de aguas contaminadas en Revista del Inst. Ecol. 2: 41-48 p.
- SALM H. & ARZE C. 1979: Estudio de los contenidos de elementos contaminantes en aguas y sedimentos provenientes de mina Matilde, en Revista Boliv. Quim. 1: 69-96 p.
- SAHONERO M. 1983: Contaminación de la industria minera, en actas Mesa redonda sobre contaminación de aguas. Multigraf. 57-61 p.
- SCHWOERBEL J. 1975: Métodos de Hidrobiología (Biología del agua dulce). Herman Blume. España. 261 p.
- SHWOERBEL J. 1980: Einfuehrung in die Limnologie. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart. New York. Cuarta edición. 196 p.
- SEIDEL K. 1953: Pflanzungen Zwischen Gewässer und land. Mitt. a. d. Maxc Plak. Ges. 8: 17-81 p.
- STAB S. 1990: Vegetation und Hydrochemie tropischer Hochgebirgslagunen in der Cordillera Real Bolivien. Diplomarbeit. Wesfälische Wilhelms Universität Münster. 99 p.

VERNEUX J. & TUFFERY G. 1967: Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Ann. Sci. Univ. Besançon, Troisième série. 3: 79-90 p.

WASSON J.G. & MARIN R. 1988: Primeros datos para una tipología ecológica de los ríos de altura de la región de La Paz en actas del segundo simposio de la investigación francesa en Bolivia, ORSTOM. Multigraf. 127-142 p.

WASSON J.G. GUYOT J.L., DEJOUX C. & ROCHE M.A. 1989: Régimen térmico de los ríos de Bolivia. UMSA-ORSTOM, PHICAB SENAMHI. Poligraf. 35 p.

WASSON J.G. 1976: La Pollution de l'isère dans la région Grenobloise, analyse écologique, diagnostic de pollution et propositions de lutte. Doc. de Cartographie écologique. Grenoble. Vol. 18: 105-122.

WASSON J.G. 1981: Méthodes Biologiques pour l'appréciation de la pollution chimique des eaux, en la Pollution chimique des eaux. Inst. Nat. Agron. Paris 19 p.

ANEXO 1

CUADRO 1

Resumen de los análisis físico-químico (mg/l) de estudios realizados por SAMAPA, BMSA y STAB en las lagunas de la región de Milluni

JK : Jankho Khota Mi : Milluni Ch : Chico Gr : Grande
N : Norte S : Sur Ef : Efluente

ESTUDIOS REALIZADOS	AÑO	PUNTOS DE MUESTREO	pH	Mn	Zn	Pb	Cu	As	Fe
SAMAPA	1982	JK M-5	6.4	0.4	4.6	0.15	0.07	0.01	1.8
BMSA	1988	JK MS-1		0.90	1.9	0.01	0.01	0.01	0.65
STAB	1990	JK M2-A N		0.07	2.019	-	0.0	-	0.058
		JK M2-B S		0.109	2.596	-	0.002	-	1.23
SAMAPA	1982	JK Ef. M-4	3.8	8.2	19.1	0.01	0.5	0.2	89.7
BMSA	1988	JK Ef. MS-4		1.30	2.7	0.01	0.01	0.01	0.50
SAMAPA	1982	Mi-Ch. M-6	3.7	9.4	30.7	0.36	0.48	0.54	94.7
BMSA	1988	Mi-Ch. MS-18		7.30	23.0	0.13	0.33	0.80	68.0
BMSA	1988	Mi-Gr. MS-20		6.50	23.0	0.05	0.25	0.70	78.0
SAMAPA	1982	Mi Ef. M-7	3.1	8.1	38.6	0.27	0.8	0.48	26.3
BMSA	1988	Mi Ef. MS-25		11.7	32.0	0.10	0.40	0.30	25.0
Limites Permisibles	O.M.S.			0.5	15.0	0.01	1.5	0.05	1.0

CUADRO 2

Pluviometria (mm) de la estación de Zongo de la COBEE. Los datos concernientes al periodo de estudio estan encuadrados

Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total anual
1981	203.0	173.5	72.5	36.5	7.5	0.0	0.0	49.0	23.0	81.5	70.0	86.5	803.0
1982	148.0	45.7	132.0	26.0	0.0	5.0	1.0	4.0	38.0	65.0	70.0	81.0	596.0
1983	68.0	57.5	40.0	38.0	27.0	3.0	7.0	19.0	28.0	46.0	32.0	70.0	435.0
1984	315.0	109.0	154.0	54.0	8.0	14.0	0.0	21.0	7.0	56.0	45.0	68.5	851.0
1985	138.0	177.0	94.0	57.0	7.0	33.0	0.0	0.0	67.0	3.4	179.5	352.0	1108.0
1986	291.0	440.0	394.0	104.5	3.5	0.0	8.5	18.0	69.5	36.5	97.5	168.5	1631.0
1987	243.0	43.5	54.5	47.5	27.5	7.5	17.5	0.7	14.0	58.0	84.0	89.5	687.0
1988	160.0	81.0	229.5	91.0	30.5	0.0	4.0	0.0	17.0	47.0	35.5	162.0	857.0
Prom. anual	195.7	140.9	146.3	56.8	13.9	7.8	4.7	14.0	32.9	49.1	77.0	134.7	

CUADRO 3

Pluviometria (mm) de la estación de Milluni de la COBEE. Los datos concernientes al periodo de estudio estan encuadrados

Años	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total anual
1981	95.0	91.0	77.0	39.0	1.0	0.0	0.0	53.0	75.5	49.5	76.5	55.0	612.0
1982	96.0	35.0	88.0	14.0	3.0	14.0	11.0	4.5	38.0	28.5	98.5	53.0	483.0
1983	17.5	15.0	21.0	2.5	2.3	0.6	0.6	0.0	47.4	33.0	56.0	73.0	269.0
1984	117.0	164.5	117.0	14.1	10.0	24.0	20.0	15.0	30.0	25.0	60.0	65.0	662.0
1985	228.0	144.0	226.0	164.0	68.0	45.0	0.0	6.0	41.0	31.0	104.5	74.5	1132.0
1986	74.5	79.5	82.0	61.0	10.0	0.0	27.0	80.0	38.0	30.0	26.0	93.0	601.0
1987	107.0	3.0	25.0	34.0	22.0	21.0	7.5	20.0	9.5	123.5	139.0	128.0	639.0
1988	52.0	39.0	148.0	40.0	25.0	0.0	2.0	0.0	13.0	17.0	3.0	81.0	420.0
Prom. anual	98.7	71.4	98.0	46.1	17.7	13.1	8.5	22.3	36.5	42.6	70.0	77.8	

CUADRO 4

Resumen de los análisis físico-químicos (mg/l) de lagunas
ubicadas en cuatro valles glaciares realizado por Iltis
HK : Hichu Khota OVJ : Ovejuyo TUN : Tunicondoriri
ZON : Zongo

VALLES	LAGUNAS	ALT. msnm	pH	Cond. us/cm	SiO ₂	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	Fe
HK	Khara Khota	4310	7.0	39.6	5.5	13.2	0.0	7.9	6.2	2.3	14.0	1.9	0.1
	Khotia	4450	6.9	39.1	7.7	13.4	0.0	9.9	3.0	0.8	4.4	1.6	0.05
	Jankho Khota	4690	6.7	18.2	4.9	11.6	0.7	10.6	1.1	0.2	2.2	1.3	0.7
	Wila Lloreeta	4840	6.6	8.4	3.5	6.1	0.6	5.5	0.5	0.1	4.9	1.2	0.7
	Negra	4810	6.4	8.4	4.6	8.6	0.7	5.0	0.8	0.1	1.6	1.0	0.1
OVJ	Taypi Chaca	4300	7.3	50.5	3.5	17.1	11.4	13.0	7.4	2.2	19.6	2.0	0.1
	Sora Khota	4300	7.4	52.1	3.6	17.1	3.2	17.0	5.9	1.2	7.2	1.3	0.05
	Allka Khota	4510	7.2	49.5	5.1	13.4	9.2	11.6	5.7	0.9	5.0	1.1	0.2
	Palcoco	4610	6.6	59.5	7.0	5.5	0.7	28.1	7.2	0.8	2.7	1.1	0.05
	Juri Khota	4670	5.6	48.6	11.9	4.9	0.7	18.0	5.0	0.8	0.2	0.3	0.0
TUN	Tuni	4430	7.1	55.1	1.7	18.3	0.4	11.5	5.5	1.5	3.2	1.3	0.1
	Moro Khota	4590	7.7	101.9	7.6	31.1	0.4	33.4	15.2	4.4	3.2	0.9	0.0
	Sora Khota	4510	9.1	85.8	0.4	25.7	0.4	15.9	9.1	2.1	2.5	1.2	0.5
	Esperanza	4610	7.5	77.8	3.6	19.5	1.1	18.9	6.5	1.9	1.0	2.1	0.3
ZON	Zongo	4770	6.9	18.7	3.6	12.2	0.4	2.4	1.4	0.3	0.9	1.1	0.8
	Botijlaca	3925	6.8	24.4	2.2	14.9	0.9	2.3	1.9	0.3	1.6	0.9	0.4
	Viscachani	3750	7.0	17.1	4.5	9.7	0.6	3.8	1.2	0.2	1.1	1.1	0.1

CUADRO 6

Resumen de la composición química de los sedimentos
realizado por Base Metal Synergy Associated
(Fe en % y los otros en mg/Kg)

A : Afluente E : Efluente L : Laguna N : Norte
C : Centro Jk : Jankho Khota Mi : Milluni

PUNTOS BMSA	PUNTOS COMUNES	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Zn	As	Pb	Cu
MS- 1	L-Jk-C	200	3700	108	650	4.5	650	265	150	25	40
MS- 2	A - 7	55	3200	117	600	25.5	950	2700	4500	60	280
MS- 4	E - 2	42	4400	113	590	10.0	325	195	700	20	50
MS-17	-	120	10500	340	520	35.5	6700	14000	10500	245	1250
MS-18	-	53	3600	700	1100	14.8	250	1350	2100	110	180
MS-19	A - 8	28	960	125	530	17.5	80	440	1750	207	155
MS-20	L-Mi-N	120	5000	127	810	17.5	2800	13000	5900	380	1300

ANEXO 2

CUADRO 1

Variación anual de los factores físico químicos en afluentes y lagunas de la región de estudio

SISTEMA	ESTAC	FECHA	T °C	pH	Con. $\mu\text{g}/\text{km}^3$	Col. Ft/C	Turb. F°U	MES	HCO_3	Cl	SO_4	NO_3	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Zn	S10		
PATA KHOTA	A-1	1.12.87	6.7	6.3	15	2	8	8.7	17.1	0.5	3.0	0.3	3.3	0.2	0.9	0.5	0.2	-	-	-	3.2	
		1.03.88	5.3	7.1	35	5	25	102.6	24.4	1.3	10.0	1.7	5.8	0.4	2.5	0.8	0.2	-	-	-	2.5	
		14.06.88	6.0	6.0	38	50	10	-	26.8	0.86	7.1	-	8.5	0.7	1.46	0.01	1.06	-	-	-	1.0	
		14.09.88	4.1	6.7	21	10	12	12.5	14.6	1.87	8.3	0.2	8.3	0.3	0.7	0.1	-	-	-	-	-	4.6
		2.12.88	4.4	6.4	37	45	5	4.8	25.6	2.78	1.3	-	5.9	0.2	0.90	0.11	-	-	-	-	-	4.9
	Promedio	4.1	6.3	29	22	12	32.2	21.7	1.5	6.0	0.7	6.4	0.4	1.3	0.3	0.5	-	-	-	-	3.3	
	A-2	1.12.87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1.03.88	0.2	6.7	27	45	10	-	19.5	0.31	0.6	-	5.8	0.3	0.90	0.01	0.11	-	-	-	-	5.6
		14.06.88	4.7	6.8	30	0	10	4.6	17.1	1.97	3.8	-	5.6	0.2	0.78	0.17	0.2	-	-	-	-	4.5
		2.12.88	7.6	6.2	15	15	5	0.7	14.6	2.98	3.7	-	5.9	0.2	0.80	0.11	0.1	-	-	-	-	3.9
		Promedio	4.2	6.6	21	20	8	2.7	17.1	1.7	2.7	-	5.8	0.2	0.8	0.1	0.1	-	-	-	-	4.7
	L-C	1.12.87	9.6	7.7	26	0	1	3.1	19.5	0.3	2.3	0.3	6.3	0.3	0.7	0.2	0.1	0.07	0.58	2.4	-	
1.03.88		9.4	6.9	24	8	13	54.0	13.4	4.0	5.0	-	4.8	0.5	2.0	0.8	0.11	-	-	-	-	2.0	
14.06.88		4.2	6.9	26	43	12	-	22.0	-	3.0	-	5.1	0.3	0.97	0.2	0.06	0.01	0.04	4.2	-		
14.09.88		6.8	7.0	31	0	16	14.6	22.0	1.92	4.3	0.2	5.4	0.3	0.75	0.33	-	-	-	-	-	3.4	
2.12.88		8.5	6.5	29	25	8	3.0	29.3	2.98	3.0	-	5.4	0.3	0.74	0.2	0.1	0.03	0.2	2.9	-		
Promedio	7.7	7.0	27	15	10	18.7	21.2	2.3	3.6	0.3	5.4	0.3	1.0	0.3	0.2	0.1	0.03	0.2	2.9	-		
E-1	1.12.87	10.1	8.2	28	0	0	4.0	17.1	0.3	3.0	0.1	4.9	0.2	0.7	0.2	0.2	-	-	-	-	1.0	
	1.03.88	10.5	6.8	27	10	8	0.8	18.3	0.2	2.0	8.2	4.2	0.4	0.9	0.3	0.17	-	-	-	-	1.0	
	14.06.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	14.09.88	7.9	6.9	20	0	8	3.1	19.5	1.51	3.3	-	5.3	0.3	0.75	0.32	0.3	-	-	-	-	3.3	
	2.12.88	9.4	6.7	27	15	10	3.4	22.0	3.35	3.2	-	6.2	0.2	0.73	0.3	0.2	-	-	-	-	3.9	
Promedio	9.5	7.2	26	6	7	2.8	19.2	1.3	2.9	4.1	5.2	0.3	0.7	0.3	0.2	-	-	-	-	2.8		
JANKHO KHOTA	A-3	1.12.87	11.6	8.0	25	0	2	4.5	14.6	0.10	6.0	0.1	5.0	0.3	0.7	0.3	0.2	-	-	-	-	2.0
		1.03.88	13.0	6.8	26	5	11	2.4	19.5	4.3	4.0	0.1	4.5	0.4	1.5	0.4	0.1	-	-	-	-	0.5
		14.06.88	11.6	6.8	36	45	10	-	18.3	3.6	3.3	-	4.5	0.3	0.97	0.2	0.03	-	-	-	-	3.2
		14.09.88	12.0	6.8	22	0	10	8.7	31.7	3.29	3.6	-	7.9	0.2	0.83	0.31	-	-	-	-	-	3.4
		2.12.88	8.0	7.6	26	20	10	3.8	30.5	2.41	2.7	-	4.9	0.2	0.68	0.17	0.3	-	-	-	-	2.1
	Promedio	12.2	7.2	27	14	8	4.9	20.5	2.8	3.9	0.1	5.4	0.3	0.9	0.3	0.2	-	-	-	-	2.2	
	A-4	1.12.87	11.2	7.9	42	30	02	171.5	17.1	0.25	9.0	0.2	5.9	1.1	1.7	0.4	0.3	-	-	-	-	2.0
		1.03.88	11.0	6.9	46	20	09	172.4	19.5	0.5	11.0	1.4	6.2	1.4	1.3	0.7	0.32	-	-	-	-	2.6
		14.06.88	7.1	6.9	73	40	12	-	19.5	5.61	5.5	1.2	5.5	2.1	3.72	0.67	0.35	-	-	-	-	2.5
		14.09.88	12.1	6.8	30	70	300	291.4	24.4	3.36	6.4	0.1	6.2	0.3	1.40	1.03	1.0	-	-	-	-	4.0
		2.12.88	12.4	7.0	44	50	115	590.3	22.0	3.09	6.1	0.2	6.1	0.6	0.95	0.74	1.0	-	-	-	-	4.1
	Promedio	10.8	7.0	47	42	115	301.0	20.5	2.6	7.6	0.6	6.0	1.2	1.7	0.8	0.9	-	-	-	-	-	3.1
A-5	1.12.87	7.6	7.9	55	0	8	8.6	21.4	0.2	6.0	0.3	11.5	1.1	0.8	0.3	0.1	-	-	-	-	4.0	
	1.03.88	11.6	7.2	60	25	18	15.5	24.4	6.6	5.0	0.1	10.6	1.0	1.5	0.5	0.15	-	-	-	-	1.5	
	14.06.88	4.7	7.0	64	40	10	-	34.2	2.5	8.0	0.9	13.8	1.2	1.68	0.4	0.06	-	-	-	-	3.7	
	14.09.88	9.5	7.2	22	0	6	31.3	36.6	3.3	6.5	-	11.9	0.4	0.73	0.38	-	-	-	-	-	4.1	
	2.12.88	5.9	7.7	51	60	30	29.4	30.5	2.94	8.7	-	10.5	0.5	0.7	0.26	0.2	-	-	-	-	5.9	
Promedio	7.9	7.4	50	25	14	21.2	30.0	3.1	6.8	0.4	11.7	0.8	1.0	0.4	0.1	-	-	-	-	3.4		
A-6	1.12.87	10.8	7.7	40	45	8	7.4	17.1	0.04	9.0	0.1	4.3	2.2	1.0	0.3	0.3	-	-	-	-	6.0	
	1.03.88	11.7	6.6	50	10	13	4.2	20.5	4.5	10.0	0.1	5.6	2.4	1.5	0.5	0.23	-	-	-	-	4.0	
	14.06.88	8.6	6.6	39	45	10	-	26.8	1.5	3.5	0.9	4.8	2.4	1.11	0.36	0.12	-	-	-	-	6.4	
	14.09.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2.12.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Promedio	13.0	7.0	43	33	10	5.8	24.8	2.0	7.5	0.3	4.9	2.3	1.2	0.4	0.2	-	-	-	-	-	5.5	
A-7	1.12.87	12.5	3.5	3790	300	120	167.0	0.0	1.25	475.0	761.5	70.1	66.2	5.0	1.7	436.3	-	-	-	-	10.0	
	1.03.88	11.9	2.4	3970	360	135	53.2	0.0	6.5	2151.5	223.0	69.0	171.0	3.0	1.3	601.0	-	-	-	-	7.5	
	14.06.88	10.4	3.2	2410	185	75	-	0.0	7.1	3112.0	7.6	89.0	100.0	3.6	2.02	480.0	-	-	-	-	7.5	
	14.09.88	11.6	3.1	8400	150	55	21.0	0.0	4.83	1770.0	32.1	81.0	100.0	2.77	1.81	360.0	-	-	-	-	11.4	
	2.12.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Promedio	11.6	3.1	4650	249	96	80.4	0.0	5.0	1877.0	253.6	77.5	111.0	3.6	1.7	470.0	-	-	-	-	-	9.1	
L-N	1.12.87	10.3	4.2	110	0	0	3.8	1.2	0.1	45.0	0.5	8.8	4.2	1.1	0.6	0.1	1.47	6.8	4.0	-		
	1.03.88	11.8	5.5	45	15	12	1.9	12.2	6.0	7.5	0.5	5.9	2.2	2.0	0.5	0.09	0.2	0.53	0	-		
	14.06.88	5.4	6.8	45	45	10	-	12.2	9.5	4.0	0.5	6.3	1.1	1.31	0.22	0.09	0.15	0.96	2.0	-		
	14.09.88	8.6	5.3	27	0	9	4.5	26.8	3.15	28.3	-	13.4	2.0	1.38	0.39	-	0.3	1.6	4.1	-		
	2.12.88	8.4	6.8	70	20	10	1.9	13.4	2.78	16.7	-	6.8	1.8	1.3	0.27	-	0.7	1.9	15.0	-		
Promedio	8.9	6.0	59	16	8	3.0	13.2	4.7	20.3	0.9	8.2	2.1	1.4	0.4	0.09	0.6	2.3	5.4	-			
L-C	1.12.87	9.6	4.3	140	0	0	21.6	0.0	0.28	50.0	1.2	10.8	6.0	1.1	0.4	0.7	1.06	11.7	5.4	-		
	1.03.88	10.4	6.5	62	13	33	18.0	14.6	5.2	16.0	0.7	6.1	1.7	1.5	0.5	1.76	0.5	1.36	2.5	-		
	14.06.88	6.1	6.5	55	40	46	-	9.5	6.6	16.1	0.3	7.2	3.0	1.49	0.33	0.09	0.47	1.75	4.2	-		
	14.09.88	6.9	4.7	21	0	15	8.6	7.3	3.85	30.0	0.1	10.5	2.1	1.10	0.57	-	0.6	2.4	4.9	-		
	2.12.88	8.4	6.9	70	50	18	5.7	12.2	2.47	13.5	-	6.9	1.7	1.1	0.26	0.1	0.6	1.7	4.8	-		
Promedio	8.3	5.8	71	21	22	13.5	8.5	3.7	25.1	0.6	8.2											

CUADRO 2

Distribución faunística por clases de abundancia de los diferentes afluentes del complejo lacustre de la región de Milluni

Estacion (Surber)	PATA ——— KHOTA											JANKHO ——— KHOTA																																	
	Afluente -1						Afluente -2					Afluente -3							Afluente -4				Afluente -5																						
	1		2		3		4		5			6		7			8		9		10		11		12		13		14																
Taxa	Campana ña																																												
PLECOPTERA																																													
Perlidae																																													
Claudioperla cf tigrina	1	3	1	4	3	4	1	1	1	1	2	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																
TRICHOPTERA																																													
Goeridae sp TB-2	2	4	2	3	4	3						1					2	1	1																										
Goeridae sp TB-7												1					2	1	1																										
Goeridae sp TB-13												1					1	1	1																										
Rhyacophilidae												1					1	1	1																										
cf Atopsyche sp TB-10												1					1	1	1																										
Hydroptilidae sp TB-21												1					1	1	1																										
Hydroptilidae sp TB-28												1					1	1	1																										
EPHEMEROPTERA																																													
Baetidae																																													
Baetis cf peruvianus												2					2	1	1																										
Leptophlebiidae sp EB-8												2					2	1	1																										
COLEOPTERA																																													
Elmidae																																													
cf Austrelmis sp CB-1												3					4	3	3	3	2																								
Dytiscidae												3					4	3	3	3	2																								
Notonecta sp												1					1	1	1	1	1																								
HEMIPTERA																																													
Corixidae																																													
CHIRONOMIDAE																																													
ni + ad no identificados	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1															
Chironominae												1					1	1	1																										
Tanytarsus sp												1					1	1	1																										
Polypedilum cf titicacae												1					1	1	1																										
Orthocladinae												1					1	1	1																										
Pseudomittia sp												1					1	1	1																										
Corynoneura sp												1					1	1	1																										
Cricotopus ssp	1	2	6	6	2	5	3	1	1	1	1	2	3	4	4	4	4	2	4	2	2	6	2	3	1	1	4	2	5	9	6	3	2	3	2	4	1	4	3	4	3	4	3	1	2
Podonominae												1					1	1	1																										
Parochlus sp	1	2	1	2	4	3	1	1	1	1	2	4	1	2	2	1	4	1	3																										
Diamesinae												1					1	1	1																										
Diamesa sp												1					1	1	1																										
Tanypodinae												1					1	1	1																										
Tanypus sp												1					1	1	1																										
DIPTERA																																													
Simuliidae	1	1	6	3	4	1	2	2	2	4	1	3	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1														
Ceratopogoninae sp											1					1	1	1																											
Tabanidae sp	1										1					1	1	1																											
Ephydriidae											1					1	1	1																											
Ephydra sp											1					1	1	1																											
Muscidae											1					1	1	1																											
Antomyiinae sp											1					1	1	1																											
Limnophora sp											1					1	1	1																											
Empididae sp Em-1											1					1	1	1																											
Empididae sp Em-2											1					1	1	1																											
HYDRACARINA	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	4	4	3	6	4	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1															
CRUSTACEA																																													
Hyalella sp AB-10											1					1	1	1																											
OLIGOCHETA	4	5	4	5	4	2	5	4	6	6	6	4	5	5	4	1	3	3	4	4	5	4	4	4	1	5	4	2	4	5	6	4	5	2	4	4	4	4	2	3	4	4	4	3	
HIRUDINEA																																													
Glossiphoniidae											2					2	1	1																											
TRICLADIDA																																													
Dugesidae	2	1				2	1				1	2	2	4	4	1	3	1	3	3	6	2	2																						

ni - ninfas ad- adultos

0 - 4 : 1 16 - 32 : 4 128 - 256 : 7 1024 - 2048 : 10
 4 - 8 : 2 32 - 64 : 5 256 - 512 : 8 2048 - 4096 : 11
 8 - 16 : 3 64 - 128 : 6 512 - 1024 : 9 4096 - 8192 : 12

CUADRO 4

Distribución faunistica por clases de abundancia de la laguna Pata Khota

Substrato	Sedimento						Sedimento						Vegetacion						Sedimento						Sedimento															
Profundidad (m)	0.5						1.5						5						10						11.7															
Taxa	Campana	dia	19	21	28	26	21	30	31	19	21	28	26	21	30	31	19	21	28	26	21	30	31	19	21	28	26	21	30	31	19	21	28	26	21	30	31			
		mes	10	12	02	04	06	08	10	10	12	02	04	06	08	10	10	12	02	04	06	08	10	10	12	02	04	06	08	10	10	12	02	04	06	08	10			
		ano	87	87	88	88	88	88	88	87	87	88	88	88	88	88	97	87	88	88	88	88	88	87	87	88	88	88	88	88	87	87	88	88	88	88				
PLECOPTERA																																								
Perlidae																																								
Claudioperla cf tigrina																																								
COLEOPTERA																																								
Elmidae																																								
cf Austrelmis sp CB-1																																								
HEMIPTERA																																								
Corixidae																																								
CHIRONOMIDAE																																								
ni + ad no identificados	1	1	2	3	1	2	2			1	1				1	1	2																							
Chironominae																																								
Tanytarsus sp				1	3	4	5	5		1				3	3	1																								
Polypedilum cf titicacae	1	2	2	7	7	1	5			6	10	11	8	10	5		6	1	5	4	4	3	1	2																
Orthoclaudiinae																																								
Pseudosmittia sp				1	1	1	1																																	
Corynoneura sp																																								
Cricotopus ssp	4	5	6	6	5	6	6			1	3	8	6	4	6	4																								
Podonominae																																								
Parochilus sp	1	1								1																														
Dinmesinae																																								
Diamesa sp																																								
DIPTERA																																								
Tabanidae sp			1																																					
HYDRACARINA																																								
Hyalocera sp AB-10																																								
CRUSTACEA																																								
Hyalocera sp AB-10	4	5	3	3	1	4	3			1	4	7	6	3	5	4																								
MOLLUSCA																																								
Ancyliidae sp MB-1																																								
Planorbidae sp MB-6																																								
Taphius sp MB-2																																								
Sphaeriidae sp MB-3																																								
Sphaeriidae sp MB-4																																								
OLIGOCHETA ssp	4	4	4	5	5	3	4			6	5	5	6	3	2		4	7	6	6	5	5	3																	
HIRUDINEA																																								
Glossiphoniidae																																								
TRICLADIDA																																								
Dugesidae																																								

ni - ninfas a - adultos 0 - 4 : 1 16 - 32 : 4 128 - 256 : 7 1024 - 2048 : 10
 4 - 8 : 2 32 - 64 : 5 256 - 512 : 8 2048 - 4096 : 11
 8 - 16 : 3 64 - 128 : 6 512 - 1024 : 9 4096 - 8192 : 12

CUADRO 8

Distribución faunística por clases de abundancia de la dinámica de colonización de Substratos Artificiales en el efluente de la laguna Milluni

Substrato Artificial 1

Taxa	Campaña	día	1	21	11	30	26	27	4	26	17	8	12	21	9	26	20	10	31	21	15
		mes	12	12	01	01	02	03	04	04	05	06	07	07	08	08	08	09	10	10	11
		año	87	87	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
CHIRONOMIDAE																					
ni + ad no identificados								1										1			
Orthoclaadiinae																					
Cricotopus ssp					1														1		
Podonominae																					
Parochlus sp												1				1					1

Substrato Artificial 2

EPHEMEROPTERA																					
Baetidae																					
Baetis cf peruvianus																			1		
COLEOPTERA																					
Dytiscidae																					
Notonecta				1																	
CHIRONOMIDAE																					
ni + ad no identificados									1			1	1					1			1
Orthoclaadiinae																					
Cricotopus ssp																					1
Podonominae																					
Parochlus sp					1		1														

ni - ninfas a - adultos

0 - 4 : 1	16 - 32 : 4	128 - 256 : 7	1024 - 2048 : 10
4 - 8 : 2	32 - 64 : 5	256 - 512 : 8	2048 - 4096 : 11
8 - 16 : 3	64 - 128 : 6	512 - 1024 : 9	4096 - 8192 : 12