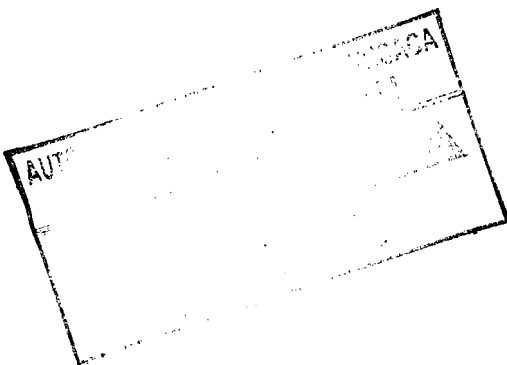




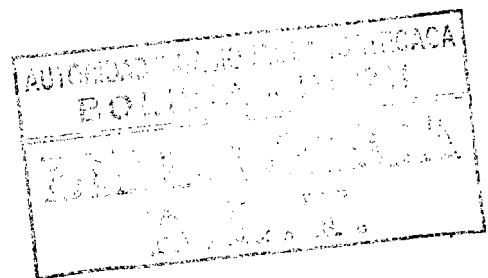
SUBCOMILAGO-PELT

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

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



VOLUMEN A



Enero 1995

INDICE GENERAL DE VOLUMENES

PLAN DIRECTOR

RESUMEN EJECUTIVO

VOLUMEN - A

VOLUMEN - B

ESTUDIOS SECTORIALES

VOLUMEN N°:

- 1.- **DIAGNOSTICO SOCIOECONOMICO**
- 2.- **DIAGNOSTICO DE DAÑOS POR EVENTOS EXTREMOS**
- 3.- **ESTUDIO DE GEOMORFOLOGIA**
- 3-A.- ESTUDIO DE GEOMORFOLOGIA - PLANOS
- 4.- **ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA**
- 4-A. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA. APENDICE - 1. ESTACIONES METEOROLOGICAS
- 4-B. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA. APENDICE-2. CONTRASTE Y CORRECCION DE LAS SERIES PLUVIOMETRICAS HISTORICAS. TOMO-1.
- 4-C. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA. APENDICE-3. CONTRASTE Y CORRECCION DE LAS SERIES PLUVIOMETRICAS HISTORICAS. TOMO-2.
- 4-D. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA. PLANOS
- 4-E. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA. ANEXO 1. PRECIPITACIONES MENSUALES ORIGINALES
- 4-F. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA. ANEXO 2. PRECIPITACIONES MENSUALES COMPLETADAS Y CORREGIDAS
- 4-G. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA. ANEXO 3. PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS CORREGIDAS
- 4-H. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA
ANEXO 4. DIAS DE PRECIPITACION
ANEXO 5. DIAS DE GRANIZO
ANEXO 6. DIAS DE HELADA

- 4-I. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA
 - ANEXO 7. HORAS DE SOL
 - ANEXO 8. EVAPORACION EN TANQUE "A"
 - ANEXO 9. HUMEDAD RELATIVA MEDIA
 - ANEXO 10. NUBOSIDAD MEDIA

- 4-J. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA
 - ANEXO 11. PRESION ATMOSFERICA MEDIA
 - ANEXO 12. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

- 4-K. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA
 - ANEXO 13. TEMPERATURA MAXIMA MEDIA
 - ANEXO 14. TEMPERATURA MAXIMA EXTREMA

- 4-L. ESTUDIOS DE CLIMATOLOGIA
 - ANEXO 15. TEMPERATURA MINIMA EXTREMA

- 5.- ESTUDIOS DE HIDROLOGIA

- 5-A. ESTUDIOS DE HIDROLOGIA. PLANOS

- 5-B. ESTUDIO DE HIDROLOGIA
 - APENDICE 2. CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS ZONAS Y SUBZONAS DEL SISTEMA T.D.P.S.
 - APENDICE 3. PERFILES LONGITUDINALES DE LOS CURSOS PRINCIPALES DE LAS ZONAS Y SUBZONAS DEL SISTEMA T.D.P.S.
 - APENDICE 4. ISOCRONAS DE LAS CUENCAS PRINCIPALES
 - APENDICE 5. INVENTARIO Y DIAGNOSTICO DE LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS
 - APENDICE 6. CAMPAÑAS DE AFOROS LIQUIDOS Y SOLIDOS
 - APENDICE 7. ANALISIS DE EVOLUCION DE LAS CURVAS DE GASTO

- 5-C. ESTUDIOS DE HIDROLOGIA
 - APENDICE 8. DESCRIPCION DEL MODELO DE SIMULACION SSMA-2.
 - APENDICE 9. SERIES DE APORTACIONES MENSUALES ORIGINALES (hm³)
 - APENDICE 10. DESCRIPCION DEL MODELO DE GENERACION (GENERA)
 - APENDICE 11. RESUMEN ESTADISTICO DE GENERACION ESTOCASTICA DE SERIES
 - APENDICE 12. PRECIPITACIONES MAXIMAS DE 2 ó 3 DIAS CONSECUTIVOS
 - APENDICE 13. GRAFICOS DE SIMULACION DE AVENIDAS
 - APENDICE 14. AVENIDAS DE LOS RIOS ILAVE, COATA Y HUANCANE
 - APENDICE 15. PLANTA, PERFIL Y SECCIONES DEL RIO ILAVE
 - APENDICE 16. PARAMETROS HIDRAULICOS DEL RIO ILAVE
 - APENDICE 17. MODELO MIKE-11

- 5-D. ESTUDIOS DE HIDROLOGIA. ANEXO 7.1.- CURVAS DE GASTOS DE LAS ESTACIONES DE AFORO. TOMO I.

- 5-E. ESTUDIOS DE HIDROLOGIA. ANEXO 7.1.- CURVAS DE GASTOS DE LAS ESTACIONES DE AFOROS. TOMO II.

- 5-F. ESTUDIOS DE HIDROLOGIA
 - ANEXO 7.2. SERIES HISTORICAS DE CAUDALES DIARIOS
 - ANEXO 9.1. SERIES DE APORTACIONES MENSUALES ORIGINALES
 - ANEXO 9.2. SERIES DE APORTACIONES MENSUALES CORREGIDAS
 - ANEXO 9.3. SERIES DE APORTACIONES MENSUALES CORREGIDAS Y COMPLETADAS.

- 5-G. ESTUDIOS DE HIDROLOGIA. ANEXO 12.1.- ANALISIS ESTADISTICO DE LAS PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS EN LOS PLUVIOMETROS SELECCIONADOS. TOMO I.

- 5-H. ESTUDIOS DE HIDROLOGIA. ANEXO 12.1.- ANALISIS ESTADISTICO DE LAS PRECIPITACIONES MAXIMAS DIARIAS EN LOS PLUVIOMETROS SELECCIONADOS. TOMO II.

- 5-I. ESTUDIOS DE HIDROLOGIA. ANEXO 12-2. ANALISIS ESTADISTICO DE LAS PRECIPITACIONES MAXIMAS DE 2 DIAS CONSECUTIVOS EN LOS PLUVIOMETROS SELECCIONADOS.

- 5-J. ESTUDIOS DE HIDROLOGIA. ANEXO 12-3. ANALISIS ESTADISTICO DE LAS PRECIPITACIONES MAXIMAS DE 3 DIAS CONSECUTIVOS EN LOS PLUVIOMETROS SELECCIONADOS.

- 5-K. ESTUDIOS DE HIDROLOGIA. ANEXO 12-4. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS CAUDALES MAXIMOS DE 1, 2, 3, Y 7 DIAS CONSECUTIVOS EN LAS CUENCAS PRINCIPALES.

- 6.- ESTUDIOS DE HIDROGEOLOGIA

- 6-A. ESTUDIOS DE HIDROGEOLOGIA. ANEXO

- 6-B. ESTUDIOS DE HIDROGEOLOGIA. PLANOS

- 7.- ESTUDIO DE HIDROQUIMICA Y CONTAMINACION

- 8.- ESTUDIO DE FLUVIOMORFOLOGIA

- 9.- ESTUDIO DE SUELOS Y EROSION

- 9-A. ESTUDIO DE SUELOS Y EROSION. PLANOS

- 10.- ESTUDIO DEL MEDIO NATURAL

- 11.- DIAGNOSTICO Y ESTUDIO DE DESARROLLO PESQUERO

- 12.- BATIMETRIA Y TOPOGRAFIA

- 13.- USO Y MANEJO DEL AGUA EN CULTIVOS PROTEGIDOS. POTENCIACION DE INVERNADEROS

14. **USO Y MANEJO DE AGUA EN BOFEDALES. POTENCIACION DE CAMELIDOS**
15. **PROYECTOS DE RIEGO Y NECESIDADES DE AGUA EN EL SISTEMA T.D.P.S.**
16. **GESTION DEL AGUA EN AFLUENTES AL LAGO TITICACA**
- 16-A. GESTION DEL AGUA EN AFLUENTES AL LAGO TITICACA. ANEXO 1.- CUENCA DEL ILAVE.
- 16-B. GESTION DEL AGUA EN AFLUENTES AL LAGO TITICACA. ANEXO 2. CUENCA DEL COATA
- 16-C. GESTION DEL AGUA EN AFLUENTES AL ALGO TITICACA. ANEXO 3.- CUENCA DEL RAMIS
- 17.- **MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S.**
- 17-A. MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. MODELO DE BALANCE HIDRICO DEL LAGO TITICACA. APENDICES
- 17-B. MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. MODELO DE BALANCE HIDRICO DE LA CUENCA DEL RIO DESAGUADERO. APENDICES.
- 17-C. MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. MODELO DE ESCORRENTIA -CRUETDPS- MANUAL DE USUARIO
- 17-D. MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. MODELO -TDPS MOD-. MANUAL DEL USUARIO.
- 17-E. MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. MODELO DE ESCORRENTIA -RIO DESAGUADERO. ANEXOS. TOMO I.
- 17-F. MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. MODELO DE ESCORRENTIA-RIO DESAGUADERO. ANEXOS. TOMO II.
- 17-G. MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. MODELO DE ESCORRENTIA-RIO DESAGUADERO. ANEXOS. TOMO III.
- 17-H. MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. MODELO DE ESCORRENTIA - RIO DESAGUADERO. ANEXOS. TOMO IV.
- 17-I. MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. MODELO DE BALANCE HIDRICO DEL LAGO TITICACA. ANEXOS. TOMO I.
- 17-J. MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. MODELO DE BALANCE HIDRICO DEL LAGO TITICACA. ANEXOS. TOMO II.
- 17-K. MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. MODELO DE BALANCE HIDRICO DEL LAGO TITICACA. ANEXOS. TOMO III.

- 17-L. **MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. MODELO DE GESTION DE LA CUENCA DEL RIO DESAGUADERO. ANEXOS.**
- 17-M. **MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. PROGRAMA DE CALCULO DEL BALANCE HIDRICO DEL LAGO TITICACA Y DE LA CUENCA DEL RIO DESAGUADERO. ANEXOS. TOMO I**
- 17-N. **MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. PROGRAMA DE CALCULO DEL BALANCE HIDRICO DEL LAGO TITICACA Y DE LA CUENCA DEL RIO DESAGUADERO. ANEXOS. TOMO II.**
- 17-O. **MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. PROGRAMA DE CALCULO DEL BALANCE HIDRICO DEL LAGO TITICACA Y DE LA CUENCA DEL RIO DESAGUADERO. ANEXOS. TOMO III.**
- 17-P. **MODELOS MATEMATICOS DEL SISTEMA HIDRICO T.D.P.S. PROGRAMA DE CALCULO DEL BALANCE HIDRICO DEL LAGO TITICACA Y DE LA CUENCA DEL RIO DESAGUADERO. ANEXOS. TOMO IV.**
- 18. **OBRAS DE MANEJO HIDRAULICO DEL SISTEMA T.D.P.S.**
- 19. **CARPETA BANCABLE DE LAS OBRAS DE REGULACION**
- 18-A y 19-A. **OBRAS DE MANEJO HIDRAULICO DEL SISTEMA T.D.P.S. CARPETA BANCABLE DE LAS OBRAS DE REGULACION. PLANOS.**
- 20. **CARPETA BANCABLE SISTEMA DE RIEGO LAGUNILLAS**
- 20-A. **CARPETA BANCABLE SISTEMA DE RIEGO LAGUNILLAS. PLANOS**
- 21. **CARPETA BANCABLE SISTEMA DE RIEGO ILAVE**
- 21-A. **CARPETA BANCABLE SISTEMA DE RIEGO ILAVE. PLANOS**
- 22. **CARPETA BANCABLE SISTEMA DE RIEGO CHILAHUALA**
- 22-A. **CARPETA BANCABLE SISTEMA DE RIEGO CHILAHUALA. PLANOS**
- 23. **CARPETA BANCABLE SISTEMA DE RIEGO EL CHORO**
- 23-A. **CARPETA BANCABLE SISTEMA DE RIEGO EL CHORO. PLANOS**

BIBLIOGRAFIA

INDICE DEL VOLUMEN A

| | Pág. |
|--|-------------|
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 1.1. ANTECEDENTES | 2 |
| 1.1.1 Acuerdos binacionales | 2 |
| 1.1.2 Creación de la Subcomilago, convenios con la C.E. y creación de los PELT'S | 2 |
| 1.1.3. Contrato de consultoría y documentos contractuales | 3 |
| 1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO | 3 |
| 1.3. AMBITO DEL ESTUDIO | 5 |
| 1.4. ESTUDIOS REALIZADOS E INFORMACION DISPONIBLE | 8 |
| 1.5. ORGANIZACION Y EQUIPO TECNICO DEL ESTUDIO | 11 |
| | |
| 2. DESCRIPCION DEL MEDIO FISICO | 15 |
| 2.1. GEOLOGÍA DEL SISTEMA T.D.P.S. | 15 |
| 2.1.1 Paleozoico | 15 |
| 2.1.2 Mesozoico | 15 |
| 2.1.3 Terciario | 16 |
| 2.1.4 Cuaternario | 16 |
| 2.1.5 Tectónica | 17 |
| 2.2 CLIMATOLOGIA | 17 |
| 2.2.1 Estudios realizados | 17 |
| 2.2.2 Diagnóstico climatológico | 19 |
| 2.2.3 Base de datos hidrometeorológicos | 44 |
| 2.3 HIDROLOGIA | 44 |
| 2.3.1 Estudios realizados | 44 |
| 2.3.2 Diagnóstico hidrológico | 47 |
| 2.3.2.1 Red hidrográfica | 47 |
| 2.3.2.2 Aportaciones | 48 |
| 2.3.2.3 Sequías fluviales | 52 |
| 2.3.2.4 Avenidas | 54 |
| 2.4 HIDROGEOLOGIA | 57 |
| 2.4.1 Estudios realizados | 57 |
| 2.4.2 Diagnóstico hidrogeológico | 58 |
| 2.5 GEOMORFOLOGIA | 61 |
| 2.5.1 Estudios realizados | 61 |
| 2.5.2 Diagnóstico geomorfológico | 63 |
| 2.5.3. Problemática de la geomorfología del sistema T.D.P.S. | 64 |
| 2.6 SUELOS, COBERTURA DEL SUELO Y EROSION | 68 |
| 2.6.1 Estudios realizados | 68 |

| | Pág. | |
|-----------|--|------------|
| 2.6.1.1 | Cobertura y uso actual del suelo | 68 |
| 2.6.1.2 | Capacidad de uso y aptitudes al riego del suelo | 71 |
| 2.6.1.3 | Erosión | 72 |
| 2.6.2 | Diagnóstico sobre suelos, cobertura del suelo y erosión | 74 |
| 2.6.2.1 | Cobertura y uso actual del suelo | 74 |
| 2.6.2.2 | Capacidad de uso y aptitud para riego del suelo | 74 |
| 2.6.2.3 | Erosión | 75 |
| 2.7 | FLUVIOMORFOLOGIA | 76 |
| 2.7.1 | Estudios realizados | 76 |
| 2.7.2 | Diagnóstico fluviomorfológico | 78 |
| 2.7.2.1 | El lago Titicaca | 78 |
| 2.7.2.2 | La laguna de Aguallamaya | 78 |
| 2.7.2.3 | Trecho Aguallamaya - Nazacara (24,15 Km) | 79 |
| 2.7.2.4 | Trecho Nazacara - Calacoto (65,9) Km. | 79 |
| 2.7.2.5 | Trecho de la desembocadura del río Mauri a Eucaliptus (148 Km) | 79 |
| 2.7.2.6 | Trecho aguas abajo de Eucaliptus | 80 |
| 2.7.2.7 | El lago Poopó | 80 |
| 2.8 | HIDROQUIMICA Y CONTAMINACION | 82 |
| 2.8.1 | Estudios realizados | 82 |
| 2.8.2 | Diagnóstico hidroquímico y de contaminación | 87 |
| 2.8.2.1 | Aguas superficiales | 87 |
| 2.8.2.2 | Aguas subterráneas | 89 |
| 2.8.2.3 | Uso del agua para proyectos de riego | 91 |
| 2.8.2.4 | Lodos (sedimentos) | 91 |
| 2.9 | MEDIO NATURAL | 91 |
| 2.9.1 | Diagnóstico del medio natural | 95 |
| 2.10. | CARTOGRAFIA, TOPOGRAFIA Y BATIMETRIA | 103 |
| 3. | DIAGNOSTICO SOCIO-ECONOMICO | 113 |
| 3.1 | RECURSOS HUMANOS | 113 |
| 3.2 | ASPECTOS SOCIALES | 114 |
| 3.3 | SECTOR AGROPECUARIO | 116 |
| 3.4 | RECURSOS HIDROBIOLOGICOS | 120 |
| 3.4.1. | Recursos pesqueros | 120 |
| 3.4.2. | Recursos vegetales acuáticos | 123 |
| 3.5 | OTRAS ACTIVIDADES ECONOMICAS | 124 |
| 3.6 | USOS Y DEMANDAS DE AGUA | 126 |
| 3.7 | INFRAESTRUCTURAS HIDRAULICAS | 126 |
| 3.7.1 | Sistema de abastecimiento de agua y saneamiento básico urbano | 127 |
| 3.7.2 | Suministro de agua y saneamiento básico en el altiplano | 129 |
| 3.7.3 | Sistemas de riego y drenaje | 130 |

| | Pág. |
|-----------|---|
| 3.7.4 | Trasvases de agua hacia los departamentos peruanos de Arequipa y Tacna en la costa del Pacífico 137 |
| 3.8 | OTRAS INFRAESTRUCTURAS 140 |
| 4. | RECURSOS DISPONIBLES Y DEMANDAS POTENCIALES DE AGUA 144 |
| 4.1 | CAUDALES REGULABLES EN LOS RIOS AFLUENTES AL LAGO TITICACA. RESULTADOS DEL MODELO SIM-V. 144 |
| 4.2 | DEFINICION DE LOS CAUDALES APROVECHABLES DEL LAGO Y SUS AFLUENTES 166 |
| 4.3 | CAUDALES DISPONIBLES Y DEMANDAS EN EL EJE DESAGUADERO 172 |
| 4.4 | DEMANDAS POTENCIALES DE AGUA 175 |
| 4.5 | CAUDALES NECESARIOS PARA LA CONSERVACION DE LAGOS 175 |
| 4.6 | EJERCICIOS DE SIMULACIONES REALIZADOS EN EN EJE DESAGUADERO 177 |
| 5. | PRINCIPALES PROBLEMAS DEL SISTEMA T.D.P.S. 180 |
| 5.1. | HELADAS Y GRANIZADAS 180 |
| 5.2 | FRAGILIDAD HÍDRICA DEL SISTEMA T.D.P.S. 181 |
| 5.2.1 | Recursos hídricos superficiales 181 |
| 5.2.2 | Recursos hídricos subterráneos 183 |
| 5.3 | SEQUÍAS 185 |
| 5.4 | INUNDACIONES 187 |
| 5.5 | EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN 190 |
| 5.5.1 | La reducción de la cobertura vegetal y la erosión 190 |
| 5.5.2 | El sobrepastoreo y la erosión 191 |
| 5.5.3 | La erosión eólica 192 |
| 5.5.4 | La sedimentación 192 |
| 5.5.5 | Características erosivas de las diversas cuencas del sistema 193 |
| 5.6 | SALINIZACIÓN 195 |
| 5.7 | CONTAMINACIÓN QUÍMICA. FUENTES DE CONTAMINACIÓN 196 |
| 5.7.1 | Contaminación por vertidos de aguas residuales urbanas e industriales 196 |
| 5.8 | PROBLEMAS SOCIOECONOMICOS 198 |
| 6. | EVALUACION DE DAÑOS POR EVENTOS EXTREMOS 199 |
| 6.1 | EVALUACION DE DAÑOS DIRECTOS 199 |
| 6.1.1 | Agricultura y ganadería 202 |
| 6.1.2 | Efectos sobre el medio ambiente y la pesca 209 |
| 6.1.3 | Infraestructuras 210 |
| 6.2 | EVALUACION DE DAÑOS INDIRECTOS 215 |

VOLUMEN A

INDICE DE CUADROS

| NUMERO | Pág. |
|--|-------------|
| 1.- Tipos de Climas del Sistema T.D.P.S. | 24 |
| 2.- La ETP en el sistema T.D.P.S., según la fórmula de Penman | 34 |
| 3.- Estimación de la radiación solar global | 43 |
| 4.- Resumen estadístico de las aportaciones fluviales en las principales estaciones de aforo | 49 |
| 5.- Caudales mínimos de 1,7 y 15 días consecutivos para distintos períodos de retorno | 53 |
| 6.- Caudales máximos de 1, 2, 3 y 7 días para distintos períodos de retorno | 55 |
| 7.- Principales características hidrogeológicas de las zonas exploradas | 60 |
| 8.- Unidades Geomorfológicas en el Sistema T.D.P.S. | 65 |
| 9.- Mediciones de aportaciones líquidas y sólidas en el Sistema T.D.P.S. | 77 |
| 10.- Agua y saneamiento básico - indicadores | 130 |
| 11.- Principales características de los proyectos de riego inventariados - Perú | 131 |
| 12.- Principales características de los proyectos de riego inventariados - Bolivia | 132 |
| 13.- Situación actual de los principales proyectos de riego inventariados - Perú | 135 |
| 14.- Situación actual de los principales proyectos de riego inventariados - Bolivia | 136 |
| 15.- Volúmenes medios mensuales y volúmenes garantizados en Hm ³ (con 75% de confiabilidad) - Afluentes Lago Titicaca | 145 |
| 16.- Aprovechamientos de riego existentes y propuestos y trasvases propuestos en los afluentes del lago Titicaca | 146 |
| 17.- Estudio de gestión de los recursos de la cuenca del río llave. Resumen de resultados | 151 |
| 18.- Estudio de gestión de los recursos de la cuenca del río llave. Resumen de garantías | 152 |
| 19.- Estudio de gestión de los recursos de la cuenca del río Coata. Resumen de resultados | 157 |

| NUMERO | | Pág. |
|---------------|---|-------------|
| 20.- | Estudio de gestión de los recursos de la cuenca del río Coata. Resumen de garantías | 158 |
| 21.- | Estudio de gestión de los recursos de la cuenca del río Ramis. Resumen de resultados | 162 |
| 22.- | Estudio de gestión de los recursos de la cuenca del río Ramis. Resumen de garantías | 163 |
| 23.- | Características de las simulaciones | 168 |
| 24.- | Resultados de las simulaciones | 169 |
| 25.- | Volúmenes medios mensuales y volúmenes garantizados en Hm ³ (con 75% de confiabilidad) - Eje Desaguadero | 173 |
| 26.- | Ejercicios de simulaciones realizadas para el río desaguadero | 178 |

VOLUMEN A

INDICE DE FIGURAS

| NUMERO | | <u>Pág.</u> |
|---------------|---|--------------------|
| 1.- | Ubicación de la zona de estudio | 6 |
| 2.- | Area de estudio (Sistema T.D.P.S.) | 7 |
| 3.- | Organización general del estudio T.D.P.S. y Plan Global Binacional | 12 |
| 4.- | Posición media de la ZCIT en enero y julio | 20 |
| 5.- | Circulación general de las masas de aire en América del Sur. Situación atmosférica en verano | 21 |
| 6.- | Circulación general de las masas de aire en América del Sur. Situación atmosférica en invierno | 22 |
| 7.- | Clasificación climática | 26 |
| 8.- | Red de estaciones meteorológicas | 27 |
| 9.- | Régimen mensual de la precipitación, ETP y temperatura promedio | 28 |
| 10.- | Precipitación media anual | 29 |
| 11.- | Régimen de distribución total mensual de las precipitaciones | 30 |
| 12.- | Régimen de distribución total mensual de las precipitaciones (Continuac.) | 31 |
| 13.- | Temperatura media anual | 35 |
| 14.- | Temperatura máxima anual | 36 |
| 15.- | Temperatura mínima media | 38 |
| 16.- | Régimen de temperaturas medias y absolutas (Perú) | 39 |
| 17.- | Régimen de temperaturas medias y absolutas (Bolivia) | 40 |
| 18.- | Días de helada | 41 |
| 19.- | Aportes totales al lago | 50 |
| 20.- | Esquemas de evolución del lecho del Desaguadero aguas abajo de la Joya, después de 1920 | 81 |
| 21.- | Estaciones de muestreo para evolución de la calidad de agua superficial y de la contaminación de sedimentos y parámetros críticos | 83 |

| NUMERO | <u>Pág.</u> |
|---|--------------------|
| 22.- Contaminación del agua metales pesados | 85 |
| 23.- Salinidad del agua | 86 |
| 24.- Contaminación de los sedimentos metales pesados | 92 |
| 25.- Las asociaciones vegetales del Lago Titicaca (Colleot 1979-1990) | 96 |
| 26.- Distribución de los principales grupos de invertebrados béticos (C. Dejoux 1991) | 97 |
| 27.- Medios acuáticos, especies ícticas y modos de pesca | 99 |
| 28.- Zonas de actuación del estudio de batimetría y topografía | 105 |
| 29.- Curvas de las superficies y volúmenes en función de la cota. Lago Titicaca y laguna de Arapa | 106 |
| 30.- Curvas de las superficies y volúmenes en función de la cota Lago Mayor | 107 |
| 31.- Niveles de agua del Lago Poopó en estado natural | 121 |
| 32.- Proyectos de riego inventariados | 134 |
| 33.- Posibles trasvases hídricos a las cuencas vertientes al Pacífico | 138 |
| 34.- Sistema llave. Esquema representativo | 149 |
| 35.- Sistema Coata. Esquema representativo | 154 |
| 36.- Sistema Ramis. Esquema representativo | 160 |
| 37.- Sistema T.D.P.S. Esquema Hidrogeológico y zonas exploradas | 184 |
| 38.- Precipitación media anual (1960-1990) sobre el altiplano peruano-boliviano | 200 |
| 39.- Niveles medios mensuales en el Lago Titicaca | 201 |
| 40.- Areas inundadas por la elevación del nivel del Lago Titicaca 1986-87 | 211 |

1. INTRODUCCION

El presente documento es el resultado de un estudio integral que ha tenido como meta final la elaboración de un Plan Director Global Binacional de protección-prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopó y lago Salar de Coipasa (Sistema T.D.P.S.).

El ámbito territorial del estudio constituye una cuenca cerrada, ubicada en América del Sur entre Perú, Bolivia y una pequeña parte en Chile, que está delimitada por las cordilleras Occidental y Oriental de los Andes, las cuales superan los 5000 m de altitud.

La región, denominada **Altiplano**, constituye una extensa planicie ubicada alrededor de los 3800 metros sobre el nivel del mar; está localizada en el departamento o sub-región de Puno (en Perú), y los departamentos de La Paz y Oruro (en Bolivia).

Las duras condiciones climáticas existentes, con frecuentes eventos adversos como inundaciones, sequías, heladas y granizadas, la gran altitud en que se encuentra la región, unido al aprovechamiento inadecuado de los recursos disponibles, hacen extremadamente difíciles las condiciones de vida de su población.

Los habitantes de la región tienen uno de los más bajos niveles de vida de Perú y Bolivia, con elevadas tasas de natalidad. Se dedican principalmente a la ganadería y a la agricultura de subsistencia y con frecuencia, debido a falta de oportunidades, se ven obligados a emigrar hacia las costas del Pacífico o hacia la cuenca amazónica.

La irregularidad de las lluvias, con períodos frecuentes de sequía, ha llevado a la implementación de proyectos de riego de pequeño (menos de 100 ha), y mediano porte (100 a 3000 ha). Se calcula una área total de tierras irrigadas, con infraestructura de riego, en el altiplano del orden de 24.800 hectáreas, de las cuales alrededor de 6.000 hectáreas se dedican a cultivos de consumo humano (papa, quinua, haba, etc).

El lago Titicaca ejerce un efecto termoregulador en su área circunlacustre, lo que permite desarrollar en ella una agricultura de resultados más confiables. Pero en las zonas más alejadas del lago, las frecuentes heladas, hace que la principal actividad sea la ganadería, aprovechando en muchos casos las pasturas naturales irrigadas por inundación.

El Plan Director plantea, entre otras acciones, la implementación de nuevos proyectos de riego para el desarrollo regional que permitirá paliar los efectos negativos causados por las sequías como los sufridos en los años 1956-57, 1965-67, 1980 y 1983.

Entre los motivos principales que han coadyuvado para la realización del presente estudio, figuran las inundaciones catastróficas del año 1986, originadas por una sucesión de tres años (1984, 1985 y 1986), de intensas precipitaciones que provocaron un aumento excepcional de los niveles del lago Titicaca y de los ríos de la zona.

El Plan Global Binacional plantea establecer líneas de actuación para lograr el mejor aprovechamiento de los recursos hídricos e hidrobiológicos, de forma sostenida, con miras a un desarrollo socio-económico regional.

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Acuerdos binacionales

Una "Convención preliminar para el estudio del aprovechamiento de las aguas del lago Titicaca" fue firmada en Lima el 30 de julio de 1955. El 19 de febrero de 1957, se resuelve aprobar un "plan para el estudio económico preliminar del aprovechamiento común de las aguas" del lago sin alterar sustancialmente las condiciones de uso por la otra parte y "tomando en consideración los índices económico o valores intrínsecos del volumen del agua que se derive... para fines industriales, de riego u otro" (artículo I). El mismo documento afirma "el condominio indivisible y exclusivo que ambos países ejercen sobre las aguas del Lago Titicaca" y prevé la creación de una Sub-Comisión Mixta para llevar a cabo los estudios económicos preliminares y sometidos a consideración de la Comisión Mixta Peruano-Boliviana. La implementación de este plan no se efectuó hasta 1987 debido a que los documentos no fueron ratificados.

1.1.2 Creación de la Subcomilago, convenios con la C.E. y creación de los PELT'S

Con la ratificación de los documentos citados en el punto anterior el 20 de febrero de 1987, se inició la labor de las secciones nacionales de la "Sub-Comisión Mixta para el desarrollo de la zona de integración del lago Titicaca". (En lo sucesivo Subcomilago).

La Subcomilago en su primera reunión (septiembre de 1987), convino en solicitar a la Comunidad Europea su apoyo para la formulación de un proyecto de regulación de las aguas del lago Titicaca y la cuenca endorreica del Altiplano, y un plan de aprovechamiento de sus aguas llamado "Plan Director Global Binacional para el desarrollo de la zona de integración del lago Titicaca". La solicitud mencionada se concretó en los convenios ALA/86/03 y ALA/87/23, suscritos entre la CE y los Gobiernos de Perú y Bolivia respectivamente.

En marzo de 1988, a propuesta de la sección boliviana de la Subcomilago, se acordó mantener como una unidad el tratamiento del Sistema TDPS, y que los estudios, a realizarse en el marco de ambos Convenios con la CE, fuesen uno solo.

Posteriormente se crearon los PELT (Proyecto Especial Lago Titicaca), aprobándose los presupuestos de las dos partes (Perú y Bolivia) y su programa de actividades el 25 de octubre de 1989.

Los PELT fueron los encargados de preparar los Términos de Referencia para la ejecución de los estudios T.D.P.S.

El objetivo de los PELT es supervisar los estudios a realizar y la ejecución de las obras, así como emprender otras actividades complementarias.

1.1.3 Contrato de consultoría y documentos contractuales

El 28 de septiembre de 1990, la Comunidad Europea invitó a 12 empresas o Consorcios de empresas a participar en la licitación para la ejecución de los estudios T.D.P.S. El adjudicatario de la licitación fue el CONSORCIO formado por las empresas INTECSA/CNR/ AIC Progetti, que en fecha 10 de julio de 1991 firmó el respectivo contrato con la Comunidad Europea, de acuerdo a los Convenios ALA/86/03 y ALA/87/23 suscritos por los gobiernos de Perú y Bolivia respectivamente.

Con la finalidad de normalizar y complementar la realización de los estudios, los PELT, elaboraron las Instrucciones Administrativas y Técnicas Específicas (IATE) (mayo 1991).

Las actividades del Consorcio se iniciaron el 15 de octubre de 1991; se instalaron oficinas en La Paz (Bolivia) y una oficina auxiliar en Puno (Perú).

En las oficinas fueron instalados equipos informáticos, de ofimática, de telecomunicaciones, de dibujo y de campo. Asimismo, se contrataron técnicos nacionales (bolivianos y peruanos), personal auxiliar y de servicio.

En aspectos específicos, los estudios, contaron con el apoyo de las sedes centrales de las empresas integrantes del Consorcio.

Durante el desarrollo de los estudios se recibieron diversas misiones enviadas por la Comunidad Europea, entre ellas las de los señores Profesor Jean Jacques Peters, y los doctores Alain Teyssonniere de Gramont y Harold Ter Hear.

La Comunidad Europea encargó a la consultora BDPA-SCETAGRI, la tarea de asistencia técnica al PELT, con el apoyo de un codirector europeo y asesoría técnica.

Los Términos de Referencia constituyen junto con contrato y las IATE los documentos contractuales para la realización de los estudios T.D.P.S.

En reuniones mantenidas entre los PELT de Perú y Bolivia y el CONSORCIO, se puntualizaron algunos aspectos sobre la ejecución de los trabajos, cuyos acuerdos se recogieron en el acta firmada entre las partes el 2 de octubre de 1991.

1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Los objetivos de los Estudios están indicados con toda precisión en los Términos de Referencia:

El objetivo último es establecer un Plan Director Global Binacional de control, conservación y uso adecuado de los múltiples recursos del sistema, fundamentalmente el hídrico y el

hidrobiológico, sin afectar negativamente la ecología de la región, considerando las posibilidades de utilización conjunta o individual de esos recursos por parte de Bolivia y el Perú. Para ello se deberán cubrir los siguientes objetivos parciales:

- Estudiar la problemática de las inundaciones y sequías asociadas a la ocurrencia de eventos hidrológicos y climatológicos extremos, estimando sus efectos socio-económicos y ecológicos negativos en el Sistema TDPS, efectuando una evaluación sobre los daños que ocasionan estos fenómenos.
- Analizar las diversas alternativas para la previsión y control de inundaciones y sequías consideradas conjuntamente con el aprovechamiento hídrico, determinando elementos de juicio para la gestión y el control de este recurso, asociado a aspectos económicos, sociales y ecológicos. Para este efecto, se utilizarán modelos de simulación, que permitirán facilitar la selección de las alternativas más convenientes, dentro del marco que establezca el Plan Director Global.
- Ejecutar un estudio integral para determinar los volúmenes de agua utilizables en el sistema TDPS, sin afectar negativamente el caudal medio que discurre por el río Desaguadero y su interrelación con el control y prevención de inundaciones y de sequías, tomando en cuenta que no se debe afectar negativamente la ecología del sistema TDPS, ni otros usos tales como navegación, pesquería, turismo, etc.
- Desarrollar las mejores alternativas, en la identificación de los proyectos, diferenciados por su carácter binacional y nacional; así como, el establecimiento del marco técnico y legal para la ejecución de los proyectos prioritarios de control y/o prevención de inundaciones y sequías; y, para el aprovechamiento y manejo de los recursos del lago Titicaca.
- Para aquellos casos particulares en los cuales las limitaciones de la información existente (series de datos, etc.) no permitan conclusiones de un nivel de confianza razonable, se presentará, una evaluación de los resultados obtenidos y las posibilidades cuantitativas o cualitativas de sesgo, por no disponer de información suficiente.
- Presentar una metodología para perfeccionar el Plan Director, en función de la mayor información hidrometeorológica y de otros datos relevantes, que se irán obteniendo sobre la base de un plan de acciones definidos en el estudio para un plazo no menor a 30 años.

Los objetivos generales se han concretado en objetivos más específicos a lo largo del desarrollo de los estudios, por mutuo acuerdo entre las partes.

1.3 AMBITO DEL ESTUDIO

El área del Proyecto (Figura 1), está constituida por las cuencas hidrográficas del lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopó y lago Salar de Coipasa, que se ha convenido denominar Sistema T.D.P.S.

El sistema T.D.P.S. (Figura 2), es una cuenca endorreica, cuya área se encuentra ubicada entre Perú, Bolivia y Chile; está delimitado geográficamente (en forma aproximada) entre las coordenadas 14°03' y 20°00' de latitud sur y entre 66°21' y 71°07' de longitud oeste.

La superficie del Sistema T.D.P.S. es de 143.900 Km², y comprende la parte altiplánica de la sub-región de Puno (en el Perú) y de los departamentos de La Paz y Oruro (en Bolivia). Las características geográficas de las cuencas que conforman el sistema son las siguientes:

- Lago Titicaca:

| | | | |
|---|-----------------------------|--------|-------------------|
| · | cuenca vertiente | 56.270 | Km ² , |
| · | superficie media (del lago) | 8.400 | Km ² , |
| · | cota media del lago | 3.810 | m.s.n.m., |
| · | volumen medio | 930 | km ³ |

- Río Desaguadero:

| | | | |
|---|-------------------------------|--------|-------------------|
| · | cuenca vertiente (intermedia) | 29.843 | Km ² , |
| · | longitud del cauce | 398 | Km , |
| · | pendiente media | 0,45% | |

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

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

- Lago Poopó:

| | | | |
|---|-------------------------------------|--------|-----------------|
| · | cuenca vertiente (Desaguadero) | 29.843 | Km ² |
| · | superficie media del lago (en 1991) | 3.191 | Km ² |
| · | cota media del lago | 3.686 | m.s.n.m. |

FIGURA 1: UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

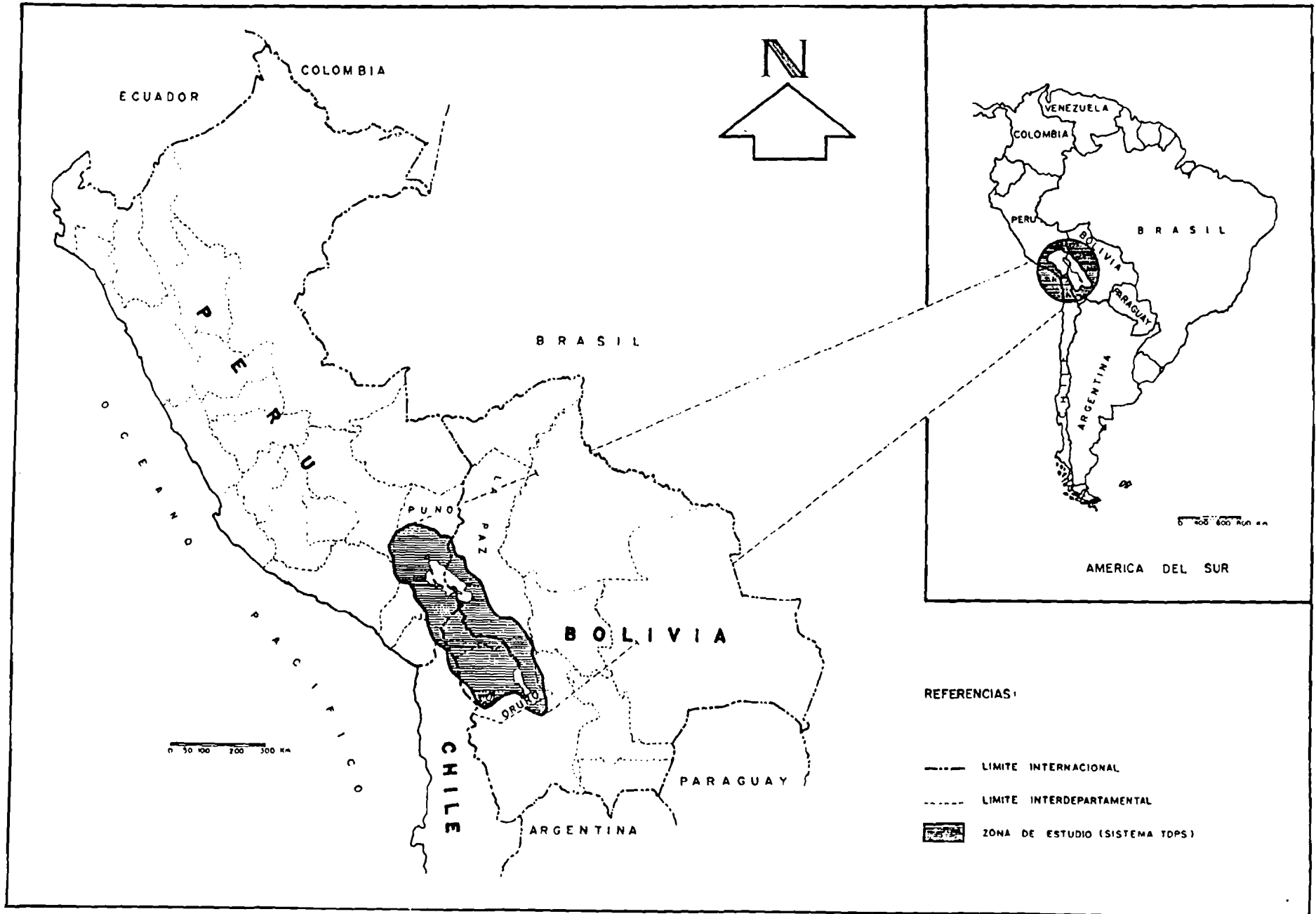
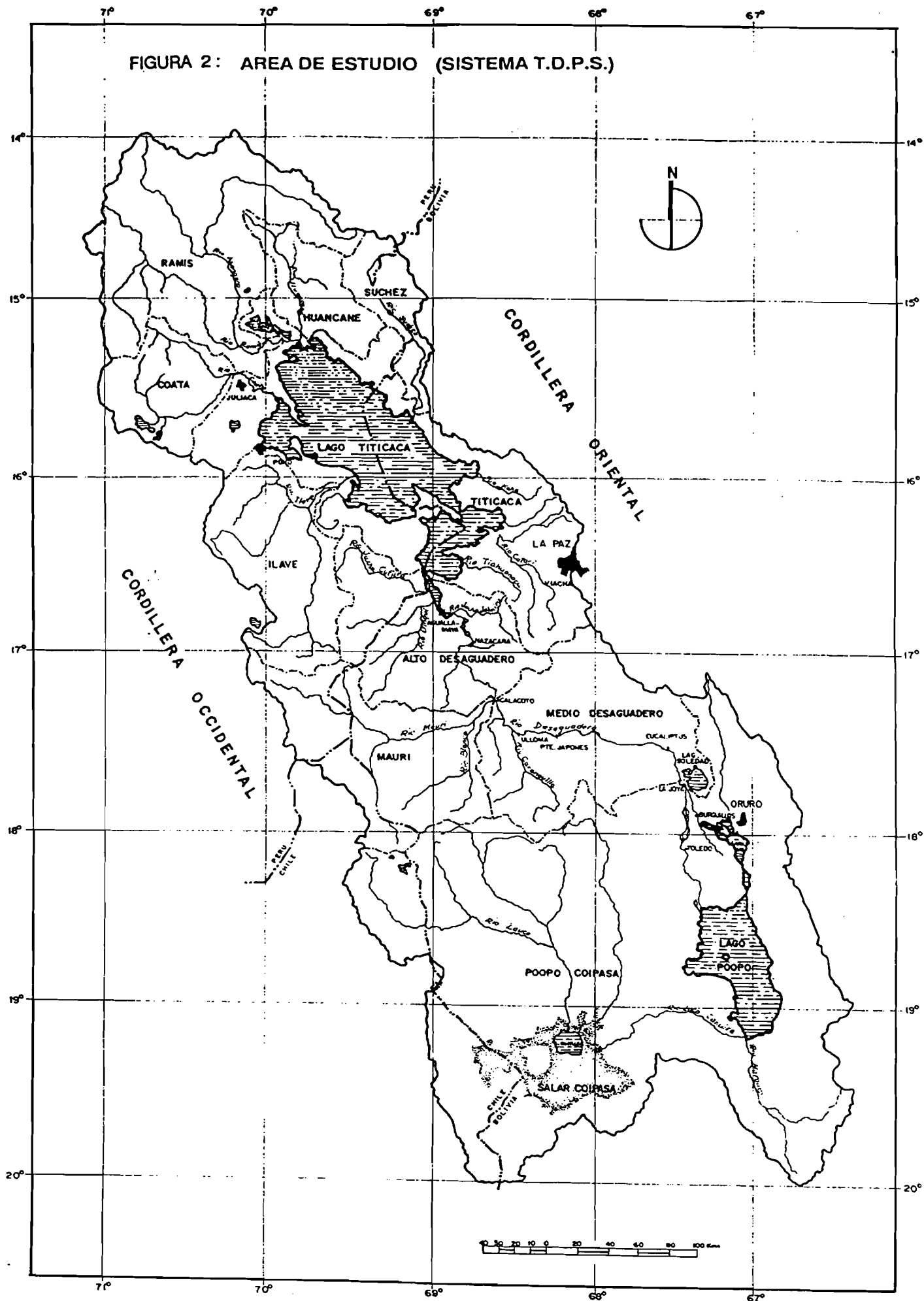


FIGURA 2: AREA DE ESTUDIO (SISTEMA T.D.P.S.)



- Río Laca Jahuirá, que conecta el Lago Poopó con el Salar de Coipasa:
 - longitud del cauce 130 Km, y
 - pendiente media 0,2‰
- Salar de Coipasa:
 - cuenca vertiente (Intermedia) 32.958 Km²,
 - superficie media (del lago) 2.225 Km², y
 - cota media del lago 3.657 m.s.n.m.

Por medio de la quebrada Negrojahuirá, de alrededor de 20 Km de largo, el Salar de Coipasa se conecta al Salar de Uyuni, el cual tiene una cuenca vertiente (intermedia) de 60.000 Km² y una superficie media de 12.000 Km². La cota media del Salar de Uyuni es de 3.653 m.s.n.m..

La cordillera de los Andes se bifurca en las cercanías del Abra de la Raya al sur del Perú, en dos ramales denominados Cordilleras Occidental y Oriental. En medio de ambas y ascendiendo por sus laderas está el Altiplano.

La divisoria Continental y la cordillera de Carabaya, separan el sistema de la cuenca del río Madre de Dios en el norte. En el sur, la serranía Intersalar separa el sistema de la cuenca del Salar de Uyuni. En la parte este, el límite natural del sistema es la cordillera Oriental o Real, donde podemos distinguir, de norte a sur, las cuencas vecinas de la Amazonía y Pilcomayo. Por último, al oeste el sistema limita con la cordillera Occidental de los Andes.

El altiplano está constituido por una serie de llanuras con varias serranías, cerros aislados y una peniplanicie denominada Puna; y que tiene las características de una cuenca cerrada.

La máxima altitud del sistema está en el monte Sajama de 6.542 m.s.n.m., y la mínima corresponde al Salar de Coipasa con 3.653 m.s.n.m..

1.4 ESTUDIOS REALIZADOS E INFORMACION DISPONIBLE

Los estudios de base para la elaboración del Plan fueron desarrollados durante el período 1991-1993, por el Consorcio INTECSA-CNR-AIC Progetti por encargo de la Comunidad Europea, y como consecuencia de ello se ha elaborado:

- Diagnóstico socio económico regional;
- Diagnóstico de daños por eventos extremos; y
- Estudios básicos
- Estudios específicos y de alternativas

que han servido de soporte técnico para la elaboración del Plan Director.

El análisis de la realidad socioeconómica del altiplano peruano-boliviano se ha centrado, entre otros aspectos, en la problemática demográfica, en el contexto regional y nacional, aspectos específicos del sector agropecuario, recursos (pesqueros en particular), comercio, industria, minería, servicios, etc. Se ha realizado un exhaustivo trabajo de recopilación de datos básicos, realizándose evaluaciones de los sistemas de producción, y por último se han identificado los factores negativos y positivos de los distintos sectores de desarrollo regional principalmente del agropecuario.

En el marco de los estudios programados, se han realizado una serie de estudios básicos que han tenido tres finalidades:

- Caracterizar, desde el punto de vista específico del estudio, la problemática del sistema T.D.P.S., y como consecuencia elaborar el **diagnóstico** correspondiente,
- Formar una base de informaciones para la elaboración del Plan Director; y
- Como consecuencia de los dos puntos anteriores formular recomendaciones para el Plan Director.

Los estudios básicos realizados han sido:

Estudios de GEOLOGIA

Estudios de CLIMATOLOGIA

Estudios de HIDROLOGIA

Estudios de HIDROGEOLOGIA

Estudios de GEOMORFOLOGIA

Estudios de HIDROQUIMICA Y CONTAMINACION

Estudios de FLUVIOMORFOLOGIA

Estudios de SUELO, COBERTURA DE SUELOS Y EROSION

Estudios del MEDIO NATURAL

Trabajos de apoyo - TOPOGRAFIA Y BATIMETRIA

La recopilación de información disponible, datos, estudios y proyectos existentes ha sido una parte muy importante de los trabajos, y fundamental para el desarrollo de los estudios.

De las actividades de recopilación, de manera general, se pueden destacar:

- Selección de las redes de observación meteorológica, recopilación y análisis de datos (precipitación, temperatura, evaporación, viento, etc.).

- Selección de la red hidrométrica (estaciones de aforos, caudales en los ríos y niveles en el lago Titicaca). Control de transportes sólidos y de calidad de agua. Diagnóstico del estado actual de las estaciones mediante reconocimiento sobre el terreno, y elaboración de fichas de inventario con sus características.

Recopilación de información relativa a:

- Estudios y proyectos existentes realizados en el área, y que conciernen a climatología, hidrología, hidrogeología, hidráulica, socioeconómica, agricultura, pesca, etc.
- Cartografía, topografía y mapas temáticos (geología, vegetación, suelos..).

De importante ayuda para la recopilación de la información, han sido las bibliotecas existentes en los PELT Perú y PELT Bolivia, donde en una base de datos informatizada está organizada casi toda la información disponible en el área de los estudios; así como también los SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) de Bolivia y Perú, e instituciones diversas de ambos países.

Un listado de la bibliografía consultada se incluye en un volumen específico - BIBLIOGRAFIA.

Un análisis crítico de datos utilizados está especificado en cada Estudio Básico.

Los estudios y proyectos se han realizado teniendo en cuenta las referencias topográficas siguientes:

- Zona norte (incluyendo el lago Titicaca), hasta el inicio del río Desaguadero, se ha utilizado el Sistema Nacional de Perú
- Zona sur, desde inicio del río Desaguadero hasta el Salar de Coipasa, se ha utilizado el Sistema Nacional de Bolivia

Entre los dos sistemas existe la siguiente relación:

Referencia topográfica de Perú - Referencia topográfica de Bolivia = 0,39 m

Durante el desarrollo de los estudios se realizaron trabajos topográficos, batimétricos, geofísicos, control de pozos, pruebas de bombeo, aforos de caudales líquidos y sólidos, toma de muestras y análisis de aguas y sedimentos, visitas de campo, vuelos aéreos de reconocimiento, campañas de mediciones de temperatura, radiación solar, vientos, etc. en el lago Titicaca. Estas actividades han dado lugar a documentos específicos que han sido entregados a los PELT.

Los estudios específicos y de alternativas, han tenido como objetivo común, servir de base para la toma de decisiones para la elaboración del Plan Global Binacional; en estos se contempla principalmente el elemento "hídrico", ya sea desde el punto de vista de recurso, o desde el punto de vista de factor determinante, (inundaciones, sequías, etc). Estos estudios constituyen la columna vertebral del proyecto T.D.P.S., atendiendo a lo

especificado en los Términos de Referencia. Dentro de esta problemática, se han realizado: Análisis de proyectos existentes (principalmente de riego), Gestión del agua en afluentes del lago Titicaca, Modelos Matemáticos de simulación hídrica, Definición de nuevos proyectos (Obras de regulación, embalses, encauzamientos, etc).

Finalmente, Dentro del Plan Director, para determinados proyectos seleccionados, se han preparado **Carpetas Bancables**, para ser utilizadas en la gestión, ante Instituciones Internacionales, de obtención de financiamiento para la elaboración de los diseños finales de los proyectos y su posterior ejecución.

La realización de los estudios arriba citados, fué coordinada por un Director y dos Co-Directores a los que estuvieron asignados equipos de profesionales técnicos, europeos y nacionales (peruanos y bolivianos), con un total aproximado de 250 hombres/mes.

Durante la realización de los trabajos se presentaron bimestralmente, **Informes Periódicos de Avance** de los estudios, indicándose en ellos: actividades ejecutadas, grado de cumplimiento en relación a lo programado, ajustes de actividades, sucesos importantes...etc. El número de informes de avance presentados fue de 11 (once).

1.5 ORGANIZACION Y EQUIPO TECNICO DEL ESTUDIO

Los estudios y trabajos realizados, en campo y gabinete, que han servido de soporte para la elaboración del Plan Director Global Binacional de regulación de recursos hídricos y aprovechamientos en el sistema T.D.P.S., fueron organizados por el Consorcio en coordinación con los PELT. Los resultados de cada uno de los estudios realizados se presenta de forma completa y autosuficiente y como documentos independientes anexos al Plan. En el presente documento, a modo de resumen se presentan los estudios, sus objetivos, metodologías empleadas, resultados y conclusiones. La documentación completa puede ser consultada en el Estudio correspondiente.

A continuación se presenta el Organigrama general (Figura 3) de los Estudios T.D.P.S., en el cual junto a los llamados **estudios básicos**, aparecen, con sus interligaciones respectivas, **estudios complementarios** y **estudios específicos y de alternativas** de nuevos proyectos, y como consecuencia final la elaboración del **Plan Director Global Binacional** y las **Carpetas Bancables** de los proyectos seleccionados.

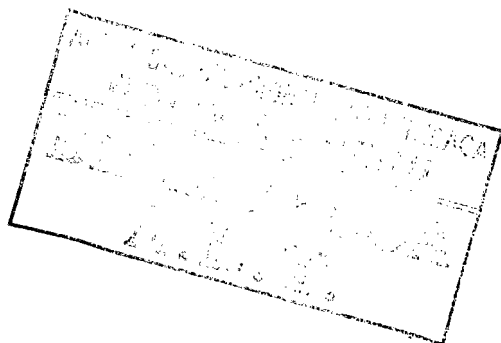
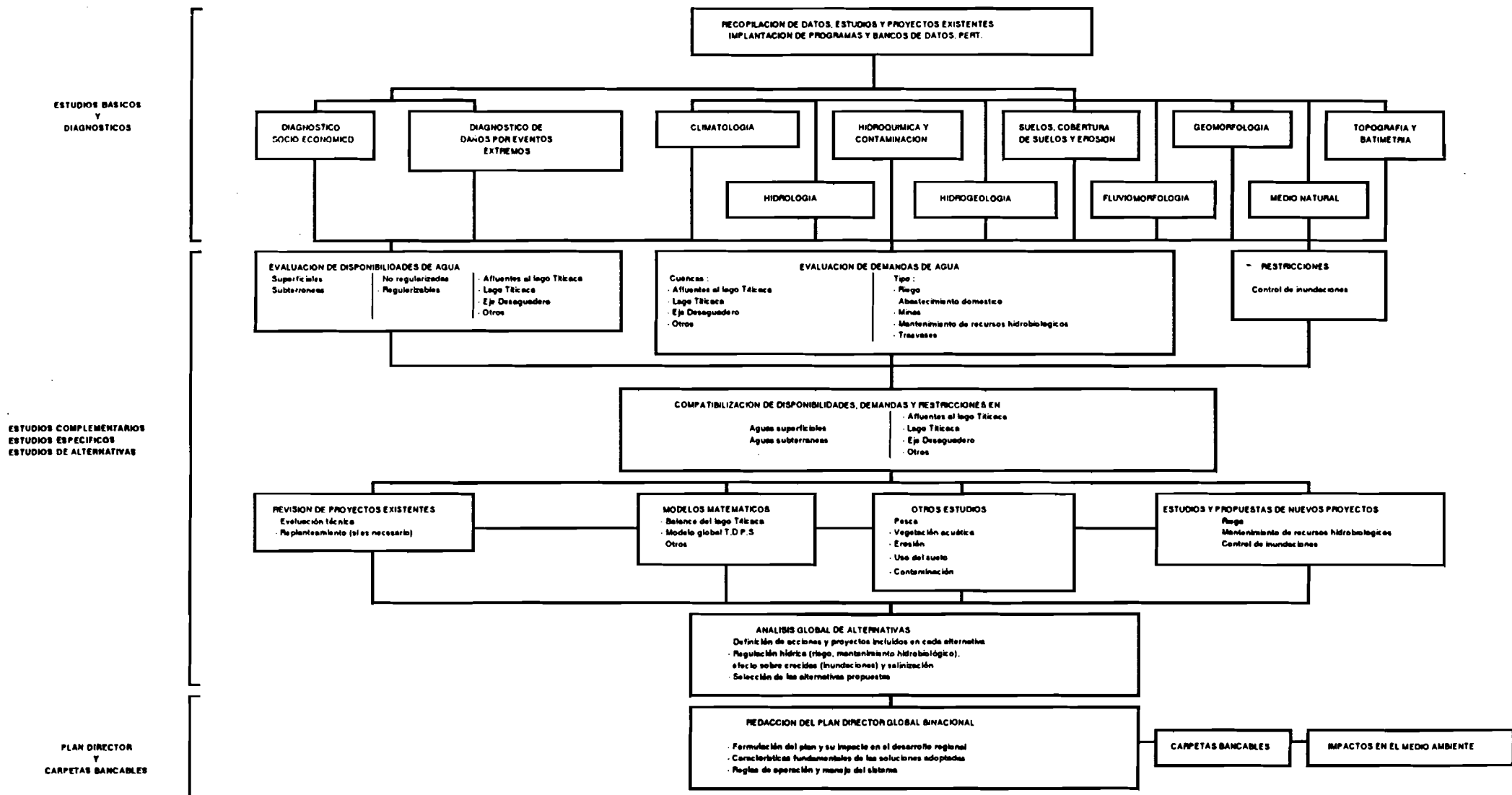


FIGURA 3: ORGANIZACION GENERAL DEL ESTUDIO T.D.P.S Y PLAN GLOBAL BINACIONAL



PARTICIPACION TECNICA EN LOS ESTUDIOS

- Jefe del Proyecto** : Ing. Francisco Martinez Morales
- Codirector** : Ing. Mario Baglivo
- Codirector** : Ing. Francis Fruchart
- Directores de las firmas Consorciadas** :
Ing. Enrique Colom (INTECSA)
Ing. Fabricio Giovagnoni (AIC Progetti)
Ing. Michel Cote (CNR)
- Expertos Europeos** :
Ing. Francisco de Borja Marti - Planificación general
Ing. Rafael Fernandez - Hidrólogo
Ing. Eugenio Fernandez - Hidrólogo
Ing. Didier Roult - Experto Modelos Matemáticos
Ing. Marcel Ramette - Fluviomorfológico
Ing. Jean Sinou - Modelos Matemáticos
Lic. Guy Colillieux - Ecólogo
Ing. Frederick Storck - Hidráulico
Ing. Pierre Roumieu - Hidráulico
Ing. Jean Claude Salle - Agrónomo
Ing. Leonardo Lombardi - Hidrogeólogo
Ing. Marcelo Polcari - Geólogo
Lic. Francesco Marabelli - Economista
Ing. Emilio Usai - Metereólogo
Ing. Alberto Fortunato - Topógrafo
Ing. Franco Morazzini - Geofísico
Lic. Tullio Naccarato - Economista
Lic. Aurora Calvache - Tec. Informático
Ing. Fermín López (en Madrid) - Hidrología
Ing. Antonio Salcedo (en Madrid) - Climatología
Ing. Javier Antequera (en Madrid) - Climatología
Ing. Giorgio Bastianini (en Roma) - Hidroquímica
Ing. Gilles Tratapel (en Lyon) - Geotecnia
- Expertos Nacionales:**
Ing. Pedro Guerrero - Asesor dirección del Proyecto
Ing. Carlos Vallejos - Hidroquímico
Ing. Jorge Peña - Hidrología
Ing. Carlos Herbas - Hidrología
Ing. Julio Campos - Hidrología
Lic. Jorge Quintanilla - Hidroquímica
Ing. Enrique Millones - Experto en Medio Ambiente
Ing. Hans Salm - Hidroquímica
Ing. Alejandro Goytendía - Experto en Suelos
Ing. Carmen Felipe Morales - Experta en Erosión

Ing. Ricardo León - Economista
Lic. José Vera - Hidrobiólogo
Lic. Rubén Marín - Hidrobiólogo
Lic. René Alfaro - Hidrobiólogo
Lic. Nicómedes Rocha - Meteorólogo
Lic. Willy Bellido - Economista
Lic. Rodolfo Cerball - Tec. Informático

**Expertos en Misiones
enviadas por la C.E. :**

Prof. Jean Jacques Peters
Dr. Alain Teyssonniere de Gramont
Dr. Harold Ter Hear
Ing. Jean Pierre Lamagat - Modelos Hidráulicos
Ing. Raymond Labrousse - Suelos y Erosión
Ing. Jean Paul L'Homme - Meteorólogo
Lic. Jean Denis Kramkimel - Medio Ambiente
Lic. Alec Bouchitte - Economista
Ing. Bernard Pouyaud - Experto en estaciones
Meteorológicas
Ing. Denis Carra - Informático
Ing. Georges Chenet - Planificación Hidráulica

**Responsables Técnicos
del PELT :**

Ing. Mario Revollo - Codirector PELT-Bolivia
Ing. Anibal Pacheco - Codirector PELT-Perú
Ing. Jacques Teerink - Codirector C.E. (hasta julio 1992)
Ing. Vincent Frey - Codirector C.E. (a partir de julio 1992)
Ing. Jaime Taborga - Asesor Técnico PELT - Bolivia
Ing. Raúl Gutierrez - Asesor Técnico PELT - Perú

ESTUDIOS CONTRATADOS

Topografía y Batimetría del
río Desaguadero : Servicio de Hidrografía Naval (Bolivia)

Cobertura y Uso de la Tierra: CUMAT (Bolivia)

Geomorfología : GEOMAP (Florencia-Italia)

Análisis Químicos : IBTEN (Bolivia)

Aforos y Sedimentología: SENAMHI (Bolivia)

Estudios sobre Invernaderos: CIPCA (Bolivia)

2. DESCRIPCION DEL MEDIO FISICO

A continuación se describen los componentes estudiados del medio natural y su diagnóstico.

2.1 GEOLOGÍA DEL SISTEMA T.D.P.S.

Como apoyo a los estudios y trabajos de geomorfología, se han elaborado estudios y mapas geológicos compaginando las diferentes clasificaciones y nomenclaturas usadas en Perú y Bolivia; exponiéndose a continuación una síntesis del estudio realizado.

2.1.1 Paleozoico

Observando la **geología** de la región y desde el punto de vista **litoestratigráfico**, se puede afirmar que el paleozoico inferior aflora principalmente al norte de la cuenca altiplánica en los flancos de las cordilleras Real y de Apolobamba. Se le encuentra también al norte del lago Titicaca en la región de Lampa y Ayaviri, donde está constituido principalmente por el ordovícico superior y una secuencia siluro-devónica no bien diferenciada. En la región Lampa-Calapuja, el paleozoico inferior de edades caradociana a llandoveriana, está compuesto por lutitas arenosas intercaladas con cuarcitas masivas y areniscas finas, micáceas y de lutitas amarillentas a verdosas.

Al sudoeste de Juliaca en Perú, en la región de Cabanillas, la secuencia siluro - devónica alcanza espesores de 2.500 m; iniciándose con el llandoveriano superior, formado por lutitas arenosas y areniscas. El paso al devónico está marcado por cuarcitas bien estratificadas en bancos de 20 a 50 m, cuarcitas de Taya-Taya; el resto del devónico con un espesor de más de 1.500 m está compuesto de areniscas y lutitas arenosas grises verdosas.

En la parte boliviana, el paleozoico inferior se inicia con el ordovícico superior que aflora al pie de la cordillera Real, encontrándose representado por más de 1.500 m de areniscas, lutitas y cuarcitas del caradociano conocidas como formación Amutara.

En territorio boliviano el devónico, se desarrolla en la margen oriental del lago Titicaca, entre Puerto Acosta, Achacahi, Huarina, Cumaná, Pucarani hasta el sur de Viacha, incluyendo la península de Copacabana y casi todas las islas del lago Menor.

El paleozoico superior se encuentra al norte y al noroeste del lago a lo largo del flanco sur occidental de la cordillera Oriental entre Nuñoa, Crucero, Ananea, Puerto Acosta y Escoma. Asimismo en Juliaca, Lampa, Península de Copacabana, Isla del Sol, estrecho de Tiquina, Islas Taquiri y Paco, en Cumaná, Yaurichambi y Colquencha.

2.1.2 Mesozoico

El mesozoico inferior y medio están prácticamente ausentes en la cuenca del lago Titicaca, por el contrario el cretácico está bien desarrollado en el altiplano y en la cordillera Oriental.

Los afloramientos del jurásico marino ubicados en Puno (Perú), conocidos como grupo Lagunillas, presentan calizas fosilíferas del sinemuriano (jurásico inferior) sobre las cuales descansan lutitas y margas bituminosas del calloviano, culminando la secuencia en un delgado nivel de areniscas probablemente del jurásico superior.

En el resto de la cuenca no existen afloramientos jurásicos, lo que evidencia que esta zona estuvo emergida durante más de 120 millones de años (Lanbacher 1977), formando una plataforma estable que sólo fue perturbada por movimientos epirogénicos que favorecieron el emplazamiento de los batolitos de la cordillera Oriental y principalmente de la cordillera Real de Bolivia.

Se atribuye al jurásico superior - cretácico inferior las formaciones Sipin y Muni, aflorantes en la parte sur del altiplano en territorio peruano.

Sedimentitas del cretácico afloran al noroeste del lago Titicaca en el denominado sinclinorio de Putina. La secuencia cretácica de este Sinclinorio, se inicia con la formación Huancané, constituida de areniscas gruesas a conglomerados en la base, areniscas medias, redondeadas, cuarzosas y finalmente areniscas finas bien estratificadas.

En el extremo sur-suroeste del lago Titicaca, en la serranía de Tiwanacu, aflora únicamente el cretácico superior, que se le denomina como formación Lohamann y Branisa en Bolivia.

2.1.3 Terciario

El límite cretácico-terciario es difícil de establecer en la cuenca, como ocurre en general en todos los Andes. En las secuencias sedimentarias de transición no se encontraron aún fósiles que permitan separar a estos dos sistemas.

El período eoceno-oligoceno inferior está bien representado en la cuenca de drenaje y presenta diferentes unidades litoestratigráficas con cambios de fases importantes.

En Bolivia, se asigna a esta edad a las formaciones Tiwanacu, Coniri y Kollu-Kollu. En la serranía de Tiwanacu, esta formación tiene un espesor de 2.200 m. Las formaciones Tiwanacu, Coniri y Kollu-Kollu, se correlacionan con el grupo Puno de Perú, que está formado por conglomerados, areniscas y lutitas rojas en general, mal seleccionadas y con poco transporte.

Hacia el oeste de la cuenca, niveles vulcano-sedimentarios del grupo Puno, están recubiertos por una espesa serie volcánica, calco-alcalina, compuesta de andesitas y basaltos, tobas e ignimbritas que Newell (1949) describió como grupo Tacaza.

2.1.4 Cuaternario

Los depósitos pleistocenos del plio-cuaternario yacen en discordancia sobre el plioceno ligeramente deformado. Como sucede en la región de La Paz, donde los sedimentos pleistocenos infrayacen en discordancia a la formación de La Paz. Los depósitos bien diferenciados en esta región, corresponde a depósitos glaciares, fluvio-glaciares y lacustres.

En diferentes lugares del borde sur y este del lago Titicaca, se encuentran terrazas lacustres, pero no depósitos que corresponden al período lacustre Minchín. Las terrazas más recientes que se encuentran en Taraco, Bolivia y al sur del lago Arapa en el Perú, a una altura de 3.815 m.s.n.m. representan el nivel superior del lago Tauca (Servant y Fontes 1978).

Los depósitos holocenos y recientes están representados por depósitos en el actual Lago Titicaca, de los ríos que llegan al mismo y de las últimas glaciaciones.

2.1.5 Tectónica

Considerando los fenómenos **tectónicos** se puede decir que los sedimentos paleozoicos del altiplano, fueron intensamente plegados, durante el devónico superior, carbónico y pérmico, por la orogénesis hercínica. Las cuencas de sedimentación, típicas del altiplano recién se individualizan a fines del cretáceo inferior. El período de subsidencia termina en el plioceno con una fase de plegamientos y un período de erosión que origina una extensa planicie.

En la segunda fase tectónica de los Andes se acentuaron las deformaciones de la primera, se estrechan los sinclinales y anticlinales y se ampliaron los volcamientos. Las sedimentitas del oligoceno al plioceno son deformadas en ondulaciones sencillas, muy amplias, acompañadas por movimientos de fallas inversas y fenómenos de desarmonía.

Luego de la fase de plegamiento pleistocénico, sobre la nueva superficie de erosión, se deposita un flujo de ignimbritas pleistocénicas, a las que sucede una continua deposición de capas conglomerádicas; a esta misma fase corresponde la individualización del lago Ballivián.

Posteriormente estos depósitos fueron afectados por la erosión y la consiguiente deformación de las superficies. Durante el holoceno, este lago disminuyó su superficie, dando lugar al lago Minchin y posteriormente al lago Tauca, actualmente ubicado en la parte norte del lago Titicaca.

Al pie de la cordillera Oriental, los depósitos de edad pliocena, como consecuencia de una deformación tectónica en extensión, provocaron el levantamiento relativo de la cordillera con relación al altiplano. Esta deformación en extensión facilitó, por hundimiento, la formación de los lagos Mataro y Cabana. En esta época de extensión pleistoceno, se creó realmente la fosa donde se encuentra el lago Titicaca que es el punto más bajo del altiplano. La profundidad del lago actual alcanza 284 metros cerca de la Isla Soto en el Perú.

2.2 CLIMATOLOGIA

2.2.1 Estudios realizados

Los objetivos de los estudios climatológicos fueron: definir la climatología general que caracteriza a todo el sistema T.D.P.S., servir de apoyo a estudios sectoriales de hidrología, aprovechamientos y de acciones contra la problemática de inundaciones, sequías, heladas, granizo, etc.

Se ha estudiado la circulación general de la atmósfera, considerando la circulación de masas de aire sobre América del Sur, y luego ciñéndose al ámbito de la región andina. Se analizaron, entre otros, la oscilación del anticiclón del Pacífico (ACP), del anticiclón del Atlántico (ACA), de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), y masas de aire frío de origen polar entre otros.

El estudio analítico y descriptivo de las distintas variables climáticas: precipitación (lluvia, granizo y nieve), temperaturas (oscilaciones térmicas, heladas), vientos, humedad relativa, presión atmosférica, radiación e insolación, evaporación, sobre la base de datos registrada en las estaciones meteorológicas operantes en el área de los estudios, permitió, para cada una de estas variables plasmar mapas de isolíneas, con el fin de presentar su distribución espacial en la región. Con el resultado de los anteriores elementos se tiene una base de informaciones que contribuyó al análisis y determinación de la evapotranspiración potencial calculada a través de metodologías de Thornthwaite, Turc y Penman y la caracterización y clasificación climática dentro del sistema T.D.P.S.

Del inventario de las Estaciones Meteorológicas con base en un reconocimiento y constatación de su funcionamiento, se identificó que, la red meteorológica del área en estudio está compuesta de 133 estaciones de distinto tipo: Sinóptica Principal-SP(4), Climatológica Principal-CP (8), Climatológica Ordinaria-CO (44), Pluvio - Evaporimétricas-PLU/EVA (8), Termo pluviométricas-TP (11), Pluviométrica-PLU (58). Se evaluaron las características de su ubicación, los instrumentos utilizados y se verificó el estado de los mismos, así como la capacidad de los observadores que los operan. Se concluye que la **Red** es deficiente, tiene baja densidad, mala distribución y muchos instrumentos en mal estado. La anterior información ha permitido, identificar sectores insuficientemente cubiertos o deficiencias de funcionamiento, y por último proponer correcciones, complementos e instalaciones de nuevas estaciones que lleve a la implementación de un red meteorológica básica para todo el sistema.

Los análisis de consistencia y homogeneidad de los registros pluviométricos, se han realizado a partir de su estructuración dentro de zonas con afinidad meteorológica. En la descripción del proceso de análisis, se detalla para cada grupo las estaciones que lo componen y las utilizadas como apoyo de grupos vecinos. Posteriormente se ha caracterizado el régimen pluviométrico y geográfico de la zona como indicadores preliminares, para inferir la calidad de las correlaciones y la identificación de errores en función de su variabilidad. Para cada estación se ha descrito la consistencia y homogeneidad de sus series históricas, anotándose las anomalías y observaciones detectadas a lo largo del período y luego se han seleccionado las series consistentes.

En cuanto al análisis de precipitaciones máximas en 24 horas, se ha hecho un análisis preliminar, para definir los eventos de tormenta, en base a los registros diarios, y posteriormente se ha realizado un análisis regional de precipitaciones extremas de 24 horas, y un mapeamiento de isomáximas, para cada tiempo de retorno.

2.2.2 Diagnóstico climatológico

a) Circulación atmosférica y su relación con el sistema TDPS

La circulación general de la atmósfera sobre América del Sur, básicamente está determinada por los tres sistemas semipermanentes de alta presión: (Figuras 4, 5 y 6) Atlántico y Pacífico Sur, con una circulación anticiclónica (contraria a las agujas del reloj), la alta del Atlántico Norte con una circulación también anticiclónica (mismo sentido de las agujas del reloj) y por una zona de depresión denominada "Zona de convergencia intertropical" (ZCIT) que está situada entre los dos núcleos de alta presión.

La ZCIT se desplaza durante el año, colocándose más o menos en el lugar que recibe más radiación solar.

La diferencia de presión entre los sistemas de alta presión y la ZCIT, produce un movimiento superficial de aire desde los trópicos hacia el Ecuador. El movimiento de rotación de la tierra, desvía este flujo hacia la izquierda y da origen a los vientos alisios que soplan del sector sur-este en nuestro continente.

Durante los meses del verano (Figura 5), los anticiclones semipermanentes situados en los océanos, canalizan la circulación de masas de aire al centro del continente y el extremo sur es influenciado por la zona de baja presión circunpolar.

Debido al fuerte calentamiento terrestre, se produce una depresión térmica que obliga a la zona de convergencia intertropical a descender aproximadamente hasta el paralelo 15° a lo largo de la longitud 60° oeste. Esta situación provoca fuertes movimientos convectivos y, añadiendo la fuerte humedad producida por la evaporación del lago Titicaca, da como resultado la formación de grandes cúmulus y cumulonimbos sobre la región. En consecuencia llueve en todo el sistema.

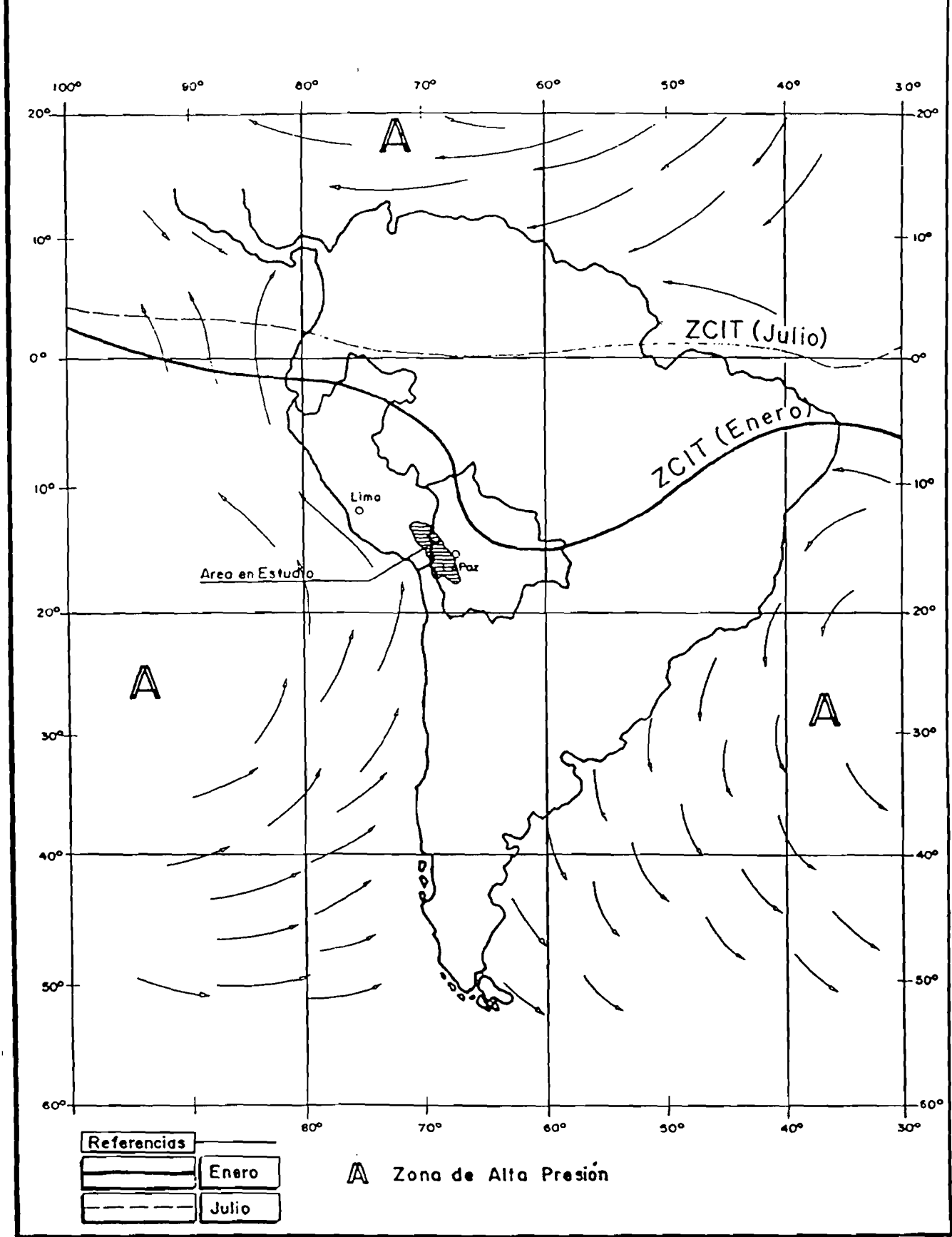
Durante el invierno, la ZCIT se desplaza hacia el norte (Figura 6); es decir que llueve al norte del Ecuador y se produce la estación seca en Perú y Bolivia.

En el hemisferio sur, los dos anticiclones están mucho más desarrollados y crean un fuerte gradiente de presión en el continente, produciéndose fuertes vientos del sur, en particular a lo largo de la costa del Pacífico.

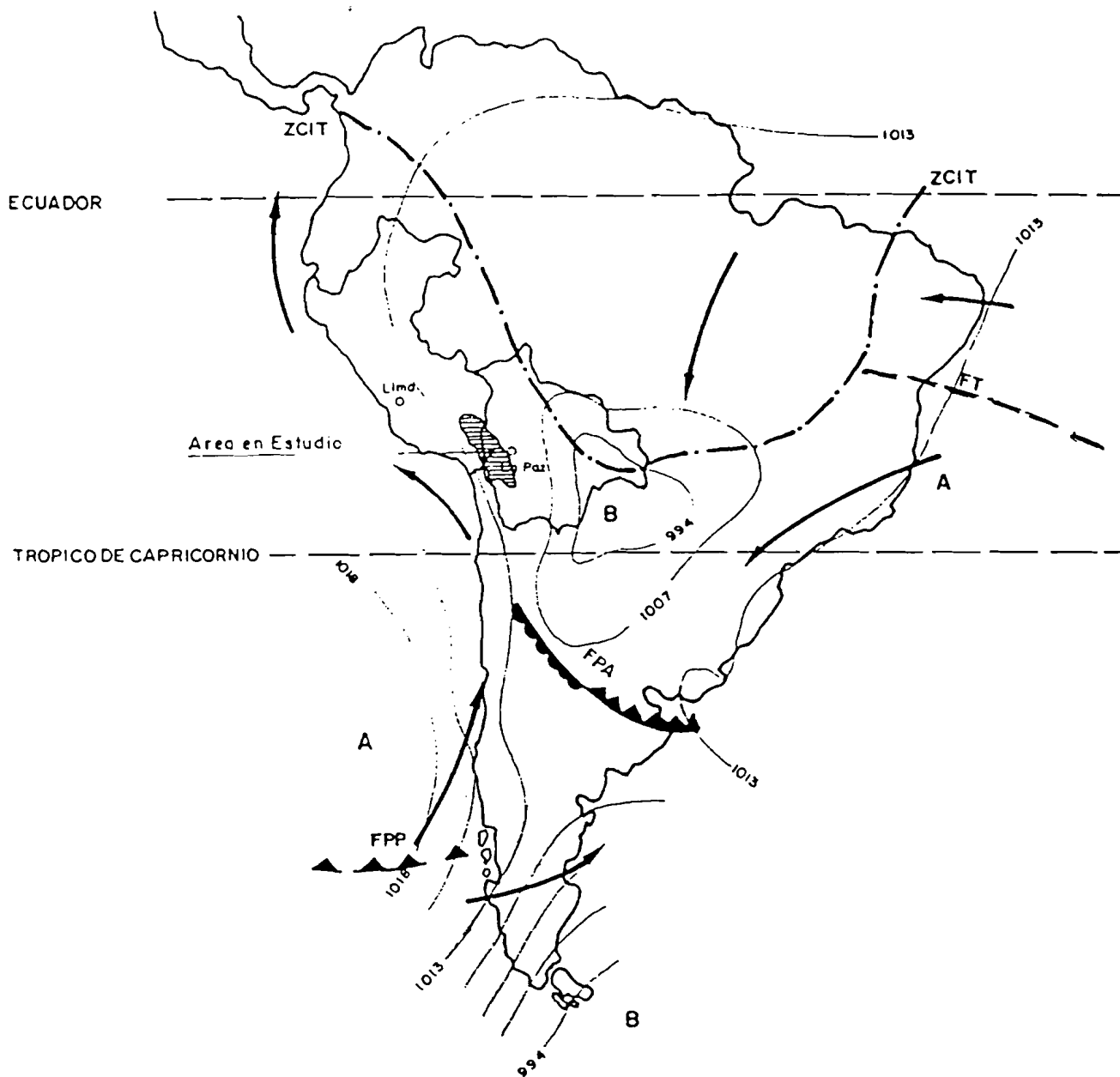
Al final de la estación de invierno, el frente polar antártico inicia su repliegue hacia el sur de la Argentina, mientras que el ciclón ecuatorial avanza hacia el centro del continente llevando consigo una gran masa de aire caliente y húmedo. En estas circunstancias se inician las lluvias, las cuales alcanzan su máxima intensidad en el verano.

La circulación de la atmósfera explica el régimen anual de las lluvias, y también explica, en parte, la distribución espacial de las lluvias en la región.

FIGURA 4: POSICION MEDIA DE LA ZCIT EN ENERO Y JULIO.



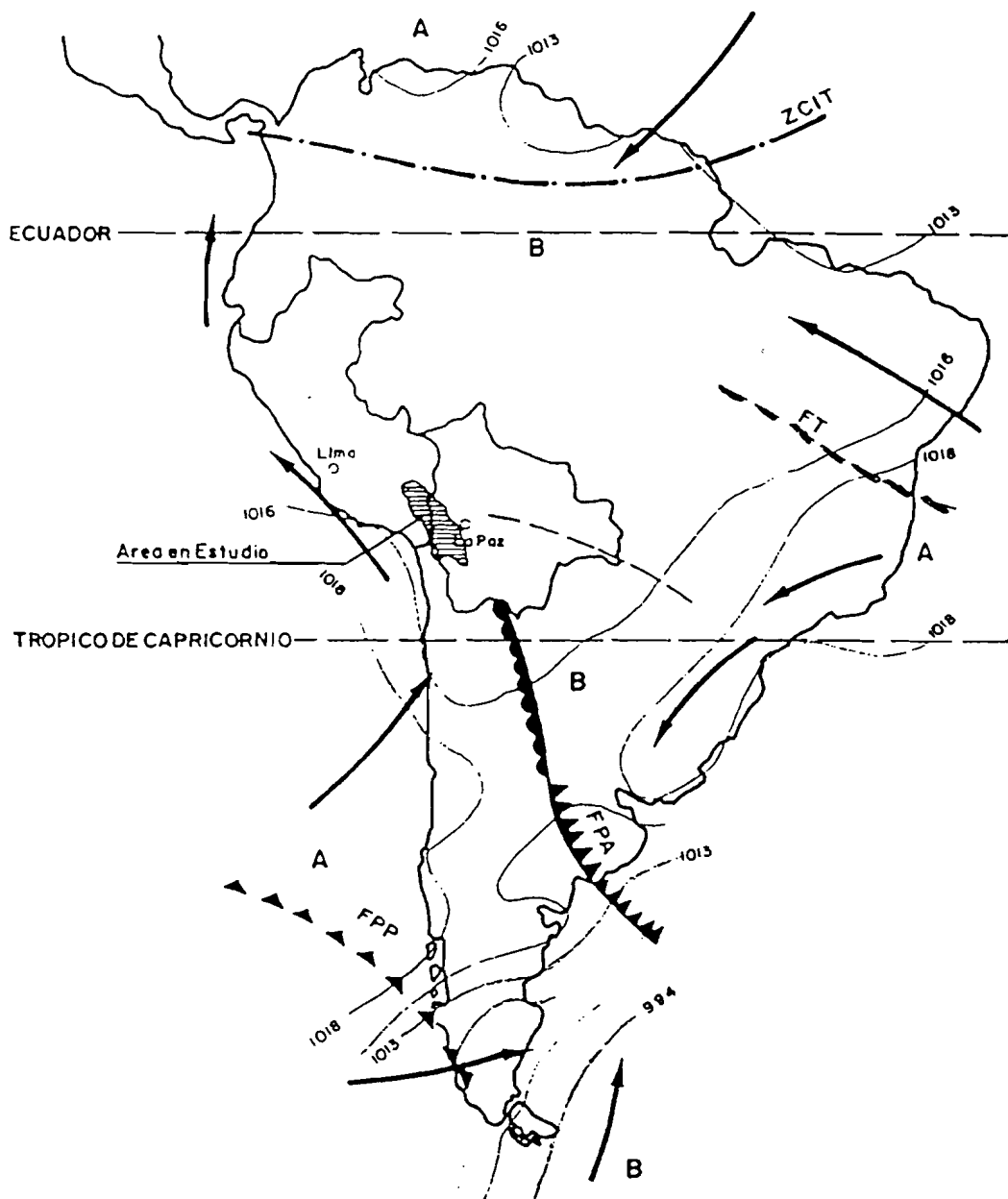
**FIGURA 5 : CIRCULACION GENERAL DE LAS MASAS DE AIRE EN AMERICA DEL SUR
(SITUACION ATMOSFERICA EN VERANO)**



REFERENCIAS

| | |
|-----------|------------------------------------|
| — 1013 — | ISOBARA EN mb |
| ZCIT: | ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL |
| FPA : | FRENTE POLAR DEL ATLANTICO |
| FPP: | FRENTE POLAR DEL PACIFICO |
| FT : | FRENTE TROPICAL |
| A: | ZONA DE ALTA PRESION |
| B: | ZONA DE BAJA PRESION |

**FIGURA 6 : CIRCULACION GENERAL DE LAS MASAS DE AIRE EN AMERICA DEL SUR
(SITUACION ATMOSFERICA EN INVIERNO)**



REFERENCIAS

| | |
|--------------|---|
| | ISOBARA EN mb |
| ZCIT: | ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL |
| FPA : | FRENTE POLAR DEL ATLANTICO |
| FPP : | FRENTE POLAR DEL PACIFICO |
| FT : | FRENTE TROPICAL |
| A : | ZONA DE ALTA PRESION |
| B : | ZONA DE BAJA PRESION |

La parte norte del sistema T.D.P.S. más afectada por la ZCIT, es la que recibe más lluvia, o sea que existe en la cuenca un gradiente norte-sur de precipitaciones, pero también existe otro gradiente este-oeste, con menos lluvias en el altiplano que en los llanos, debido a que la cordillera oriental, resguarda la zona altiplánica de los vientos húmedos, y también porque la capacidad higrométrica del altiplano (aire frío) es menor a la de los llanos (aire caliente).

La circulación atmosférica de la región se ve afectada con frecuencia, por el llamado fenómeno de "El Niño". Se suele designar como "El Niño", a una extensión anormal y prolongada hacia el sur, por encima de los 2° de latitud sur, de una corriente marina.

Se han realizado estudios que demuestran la relación entre el citado fenómeno y las perturbaciones de la circulación atmosférica que originaron un reforzamiento del anticiclón sur atlántico y su desviación hacia el norte, en determinadas épocas; situación que generó, por ejemplo, las sequías de 1982 y 1983.

En 1985 y 1986, sucedió lo contrario, la región soportó un período de fuertes lluvias, posiblemente a causa de la perturbación producida por "El Niño" en la circulación atmosférica. Es decir, durante ese período el Índice de Oscilación Sur (IOS), bajó, provocando un debilitamiento de las zonas de altas presiones. Paralelamente, la zona de convergencia intertropical (ZCIT) se trasladó hacia los 5°-10° S, produciendo una masa de aire ecuatorial húmeda e inestable, que ocasionó las lluvias en el sistema.

El sistema T.D.P.S. está limitado por las cadenas montañosas de los Andes y se la puede dividir en 3 regiones morfoestructurales diferentes: la cordillera Occidental, la región Interandina y la cordillera Oriental.

El año se divide en cuatro estaciones en función de la actividad atmosférica y de la circulación de masas de aire, no obstante desde el punto de vista climatológico, la región tiene una estación húmeda (noviembre a marzo) y otra seca (mayo a agosto).

En verano (de noviembre a febrero), el viento dominante de altura (500 mb) viene del sureste. Al inicio del mes de marzo, la entrada del otoño es marcado por un cambio brusco de dirección: el viento sopla del nor-este hasta el mes de mayo, de junio a agosto, el viento es del oeste, mientras que en la primavera (septiembre a octubre) el viento toma una componente noroeste.

Otro aspecto localizado sobre el norte del sistema es la anomalía depresionaria provocada por el fuerte calentamiento del suelo árido. En efecto, la altitud media está en torno a 4000 m.s.n.m. y la presión media es de 624 mb. Esta situación provoca fuertes movimientos convectivos y, añadiendo la fuerte humedad producida por la evaporación del lago Titicaca, da como resultado la formación de grandes cúmulus y cumulonimbos sobre la región.

Del lado oriental de los Andes, los vientos orográficos producen igualmente situaciones convectivas que, mezcladas a las masas de aire caliente y húmedo,

se introducen por el norte y noroeste produciendo así lluvias intensas sobre toda la región oriental de los Andes y las tierras bajas cerca del macizo.

En el mes de abril, al nivel del suelo, se observa todavía cierta inestabilidad atmosférica, pero las masas de aire del noroeste más secas y frías dan un cielo claro y azul, típico de "Otoño del altiplano", la circulación del noroeste persiste en altitud.

En agosto la atmósfera es seca y fría a nivel del suelo, el cielo está sin nubes (a excepción cuando hay una introducción del frente polar del Pacífico).

En octubre (primavera), la situación atmosférica es parecida al mes de abril, pero se observa una capa húmeda entre la superficie y los 450 mb.

b) Clasificación Climática - Tipos de Clima

De acuerdo con los criterios de clasificación climática sugeridos por W. Thornthwaite, se pueden distinguir en el sistema T.D.P.S., los siguientes tipos de clima:

- BF' = Lluvioso y Polar
- B (o,i,p) D' = Lluvioso y semifrío, con otoño, invierno y primavera secos.
- B (o,i,p) C' = Lluvioso y frío, con otoño, invierno y primavera secos.
- C (o,i,p) C' = Semilluvioso y frío, con otoño, invierno y primavera secos.
- C (d) c' = Semilluvioso y frío, con todas las estaciones secas.
- D (d) c' = Semiárido y frío, con todas las estaciones secas.

Cuadro 1. Tipos de Climas en el Sistema T.D.P.S.

| Características | BF' | B(o,i,p) D' | B(o,i,p) C' | C(o,i,p) C' | C(d) c' | D (d) c' |
|---------------------------------------|--------|-------------|-------------|-------------|-----------|----------|
| Altura (m) | > 5000 | 4400 - 5000 | < 4200 | < 4000 | < 4200 | < 4000 |
| Temperatura media (°C) | < 0° | 2° - 5° | 6° - 8° | 7° - 8° | 5° - 8° | 5° - 8° |
| Temperatura mínima (media) (°C) | - | < - 4° | > 0° | > 0° | 0° - - 4° | < 0° |
| Días de helada | - | > 150 | < 150 | < 150 | 180-300 | 150-300 |
| Precipitación media anual (mm) | > 600 | 700-1000 | 700-1000 | 600-800 | 600-400 | 400-200 |
| ETP Evapotranspiración media anual | - | 1000 | 1100 | 1050 | 1350 | 1500 |

La clasificación climática y un mapa en las estaciones climatológicas del sistema se presentan en las figuras 7 y 8 los gráficos de la figura 9 muestran la variación de la precipitación, temperatura, ETP en estaciones seleccionadas del sistema, características de cada tipo de clima.

c) **Precipitaciones**

El régimen anual de lluvias en el sistema TDPS es variable debido a diferentes factores; a su latitud geográfica (al norte con precipitaciones totales moderadas, disminuyendo hacia el sur con características de clima semidesértico a desértico); a las condiciones orográficas ya que al este la cordillera oriental tiene un efecto de barrera, en cambio al oeste la cordillera occidental causa un aumento de la precipitación puesto que produce la descarga del resto de humedad que pasa la barrera oriental, más la humedad generada por el lago Titicaca.

La altitud también tiene su influencia en la precipitación no sólo en cuanto a la cantidad de precipitación, menor influencia al este que al oeste, sino en cuanto a que se produzca en forma líquida o sólida. Finalmente, la influencia de la proximidad al lago Titicaca que es una fuente de humedad extraordinaria a alturas en que las masas de aire no reciben normalmente ningún nuevo aporte.

La distribución anual de la precipitación media se presenta en la figura 10, donde se observa que los valores de precipitación en el sistema varían de 200 a 1400 mm. Los valores más altos se registran en el lago Titicaca, entre 800 y 1400 mm. La alta radiación, vientos generalmente mas fuertes que a niveles más bajos, originan una intensa evaporación del lago, favoreciendo la formación de masas nubosas que se precipitan en el lago o en zonas cercanas, (cabeceras de la cuenca del río Ramis y cuenca del río Coata).

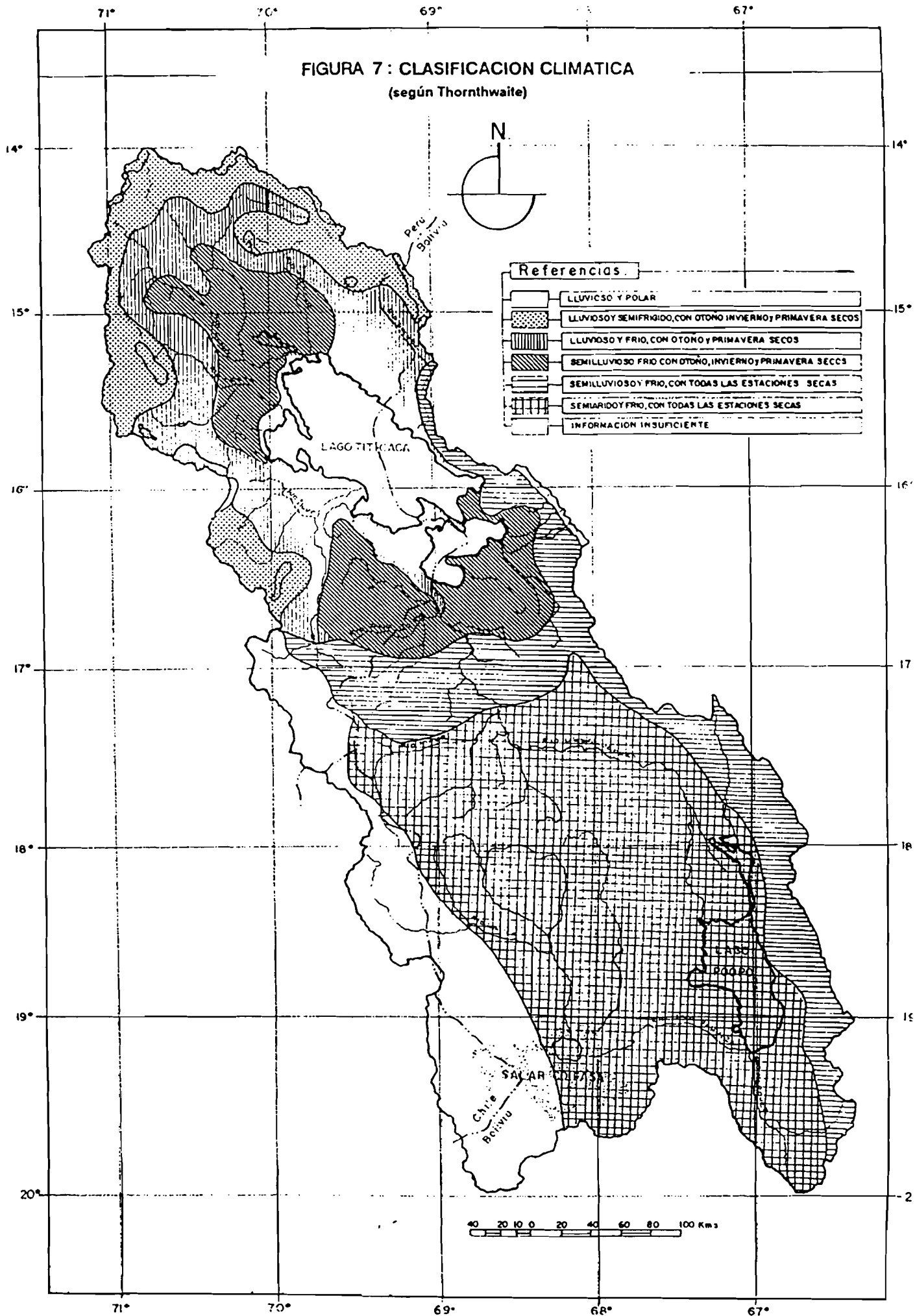
Cuanto más alejados del Lago Titicaca, los volúmenes de precipitación van disminuyendo progresivamente desde Nuñoa al norte, hasta aproximadamente la zona de Jesús de Machaca al sur donde la precipitación anual oscila entre 800 y 600 mm. El sector de menor precipitación se encuentra en la parte sur del sistema, zona de Socabaya y Salar de Coipasa, con registros próximos a 200 mm.

El número de días de lluvia promedio oscila entre 150 en la cabecera de Coata y menos de 40 en el Salar de Coipasa. En general, disminuye de norte a sur.

Las características estacionales del clima en el sistema TDPS se reflejan principalmente en la variación del régimen de las precipitaciones.

En las figuras 11 y 12 se presentan la distribución mensual de la precipitación en una serie de estaciones. Se puede apreciar el carácter eminentemente estacional de la misma; y en todo el sistema se presentan dos períodos, uno más lluvioso, localizado en el verano (debido al descenso de la zona de convergencia

FIGURA 7 : CLASIFICACION CLIMATICA
(según Thornthwaite)



71°

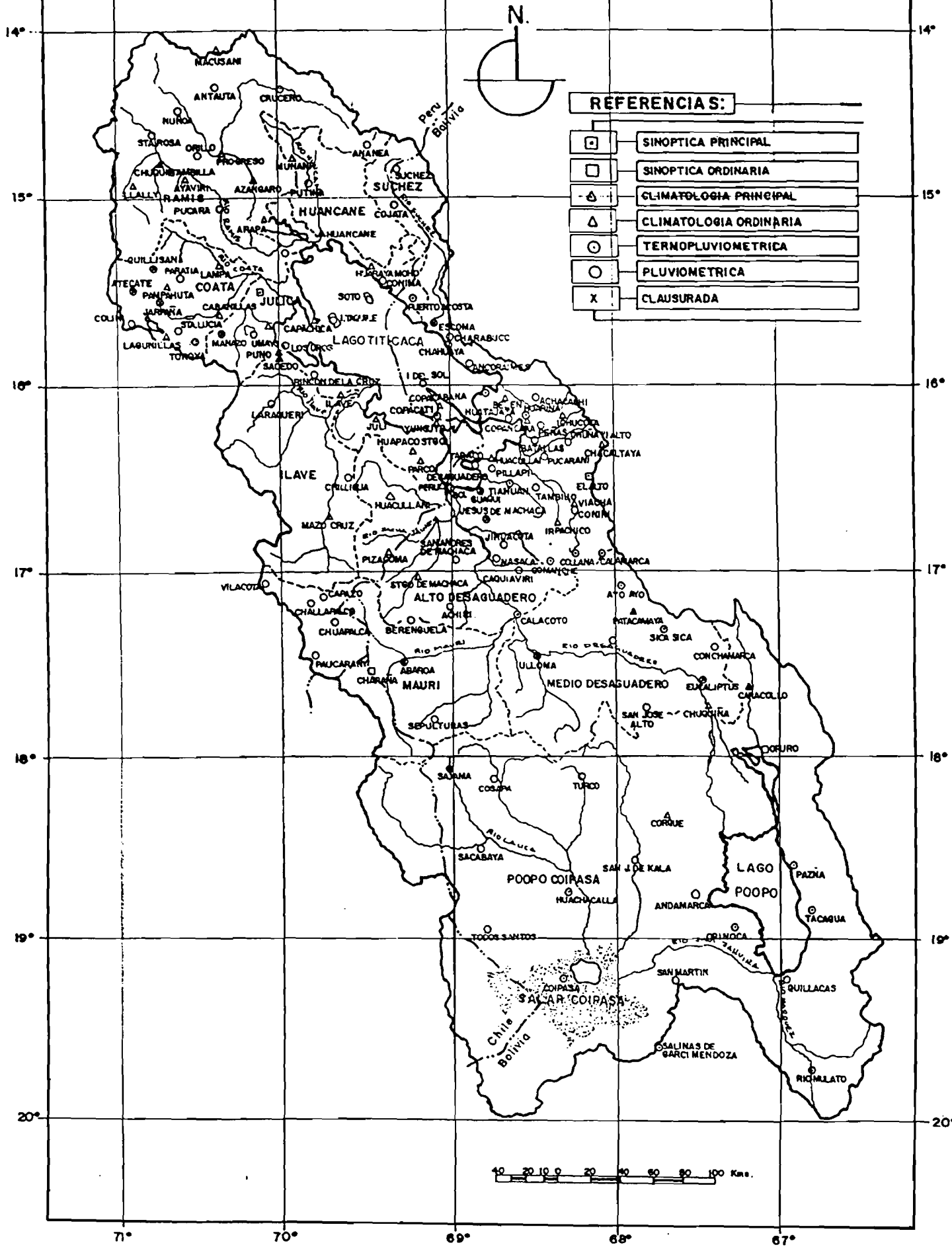
70°

69°

68°

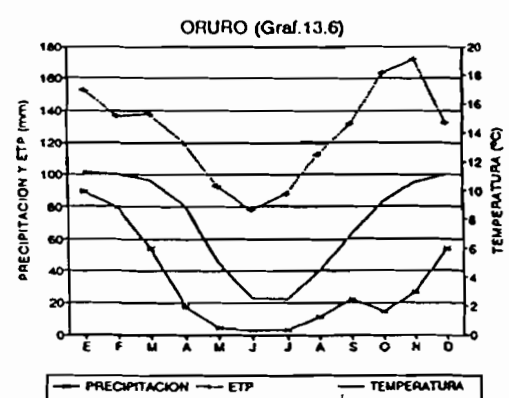
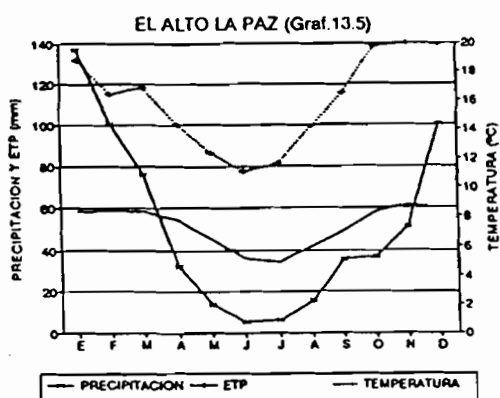
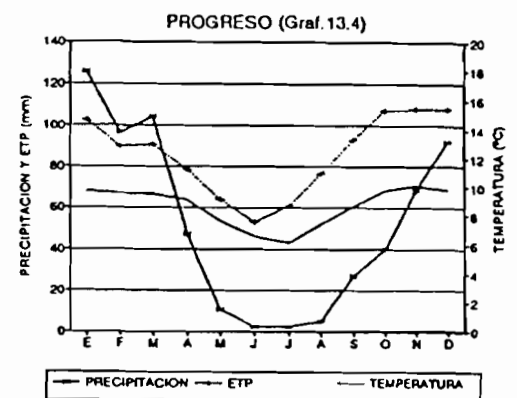
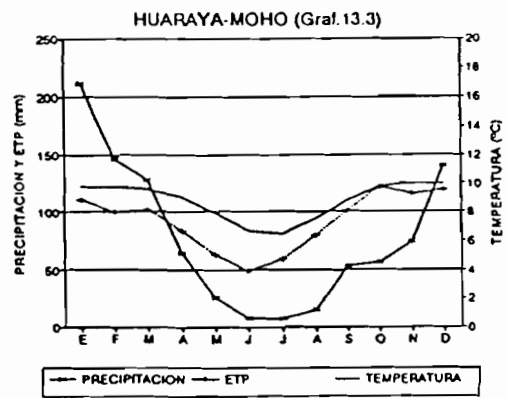
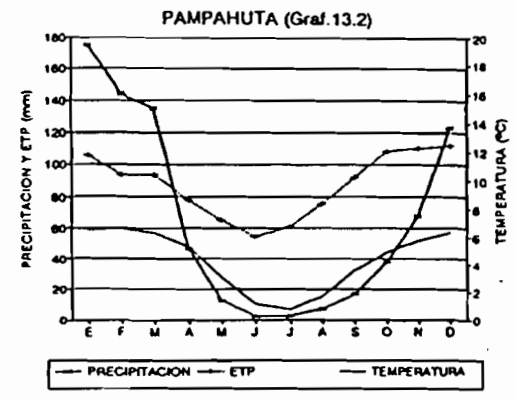
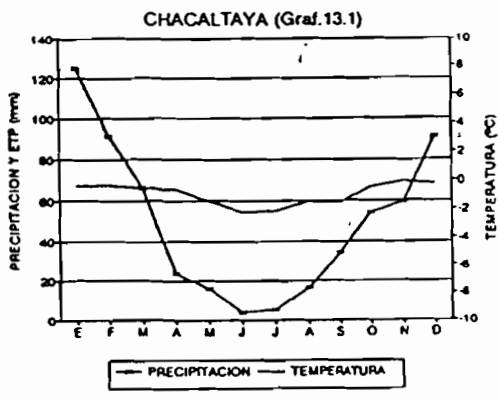
67°

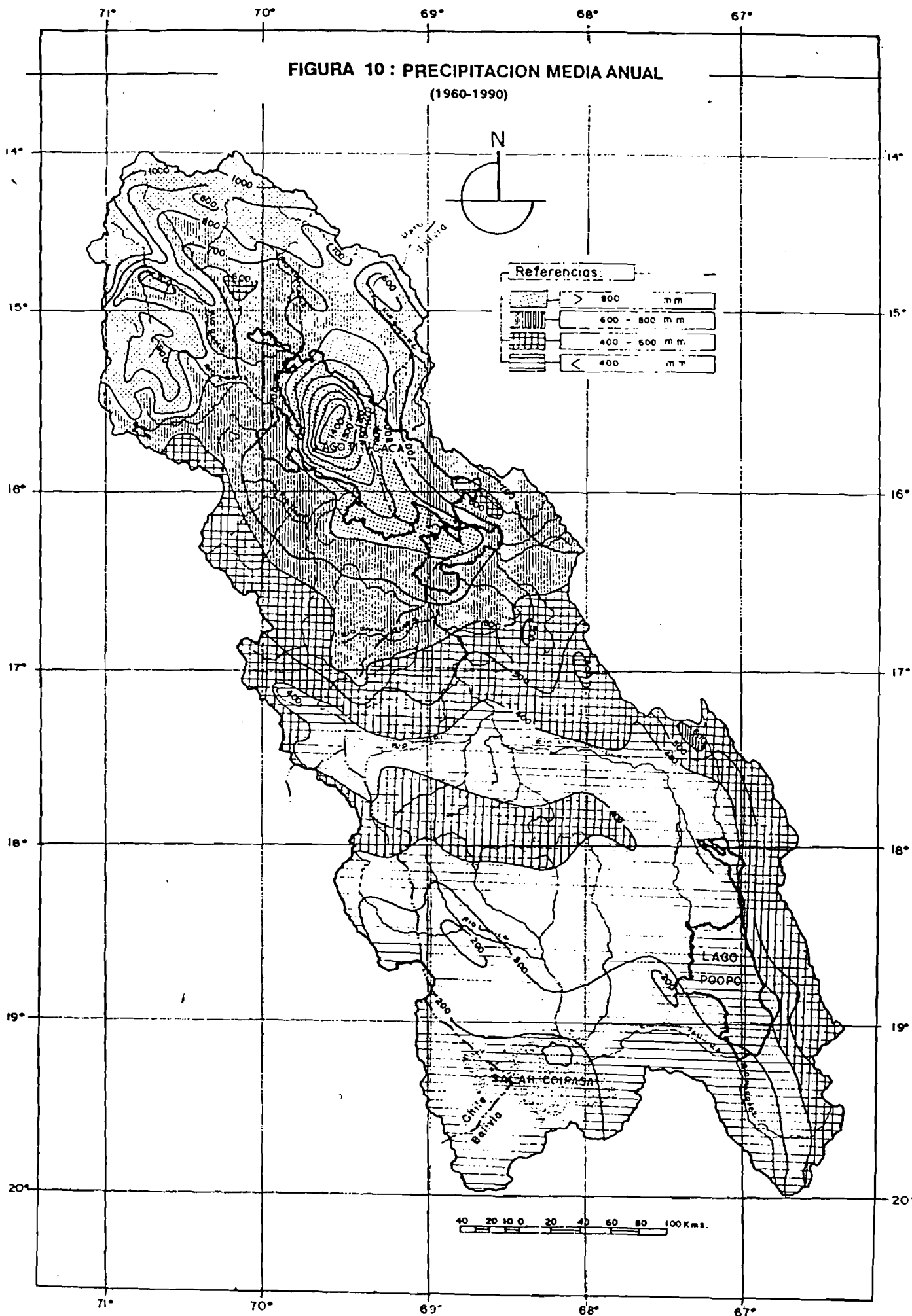
FIGURA 8 : RED DE ESTACIONES METEOROLOGICAS



40 20 10 0 20 40 60 80 100 Kms.

FIGURA 9 : REGIMEN MENSUAL DE LA PRECIPITACION, ETP Y TEMPERATURA PROMEDIO.





**FIGURA 11 : REGIMEN DE DISTRIBUCION TOTAL MENSUAL DE LAS PRECIPITACIONES
(PERIODO: 1960-1990)**

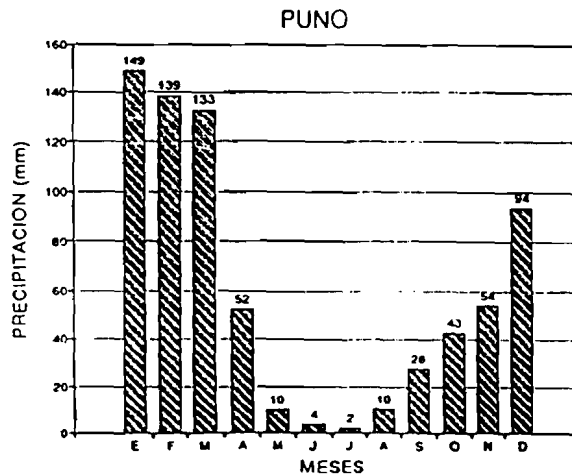
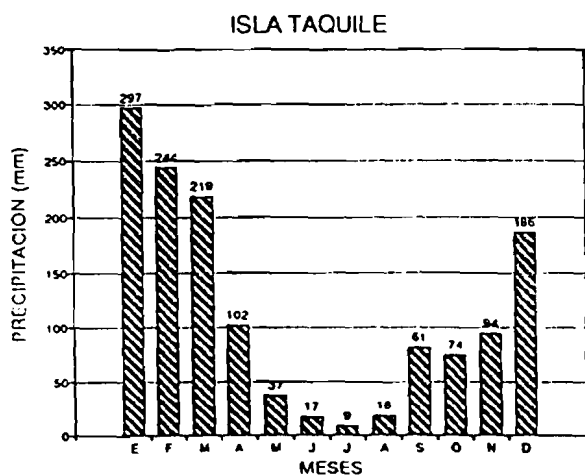
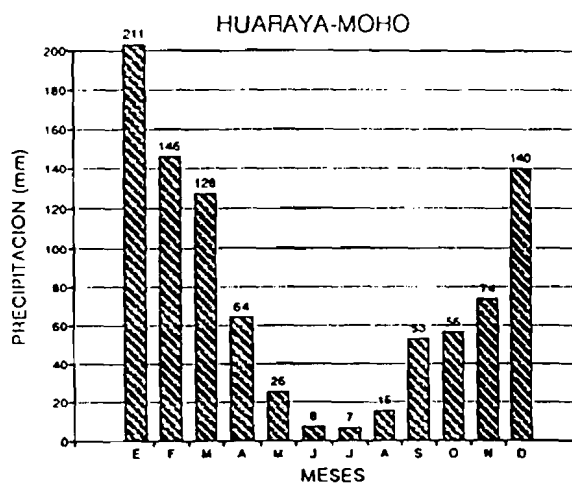
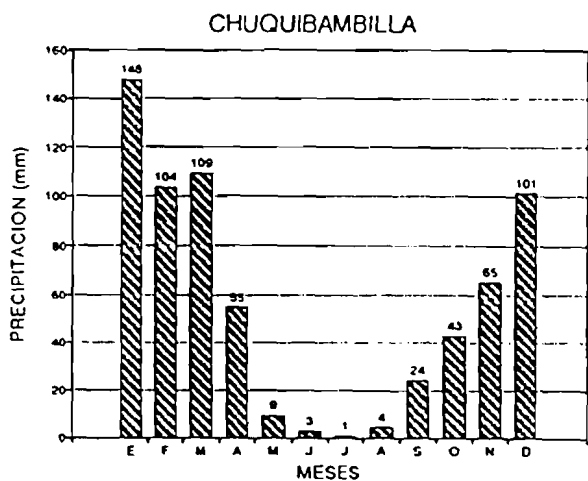
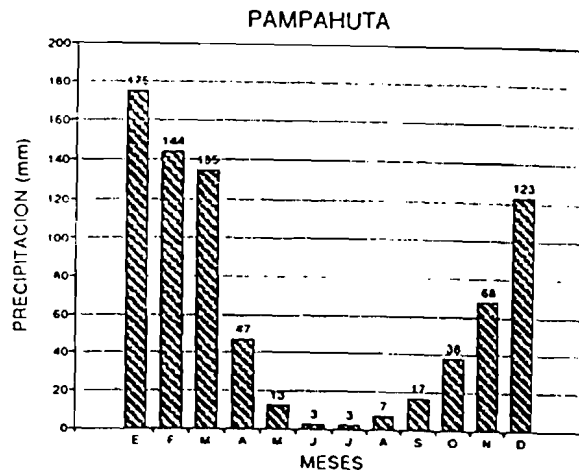
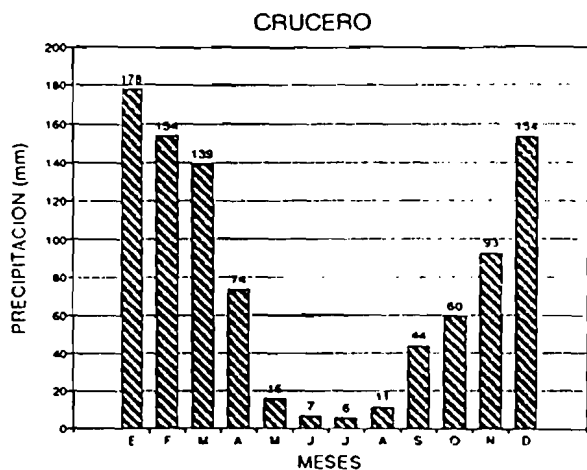
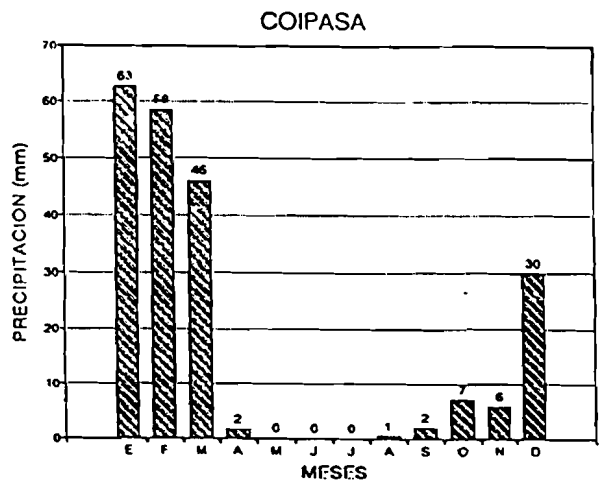
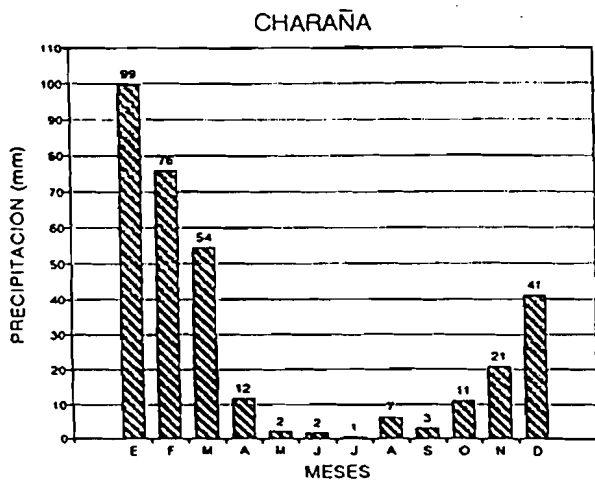
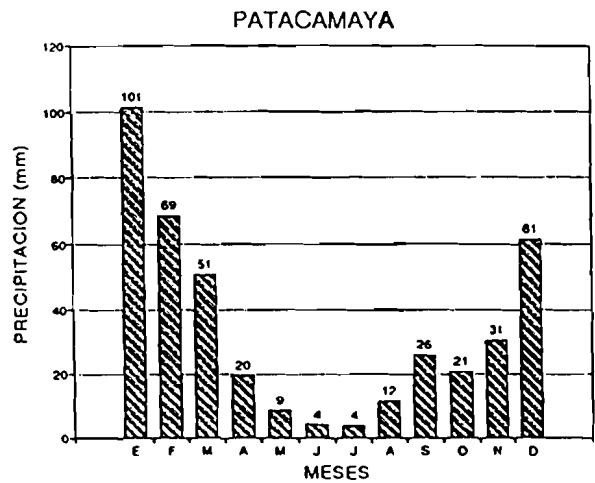
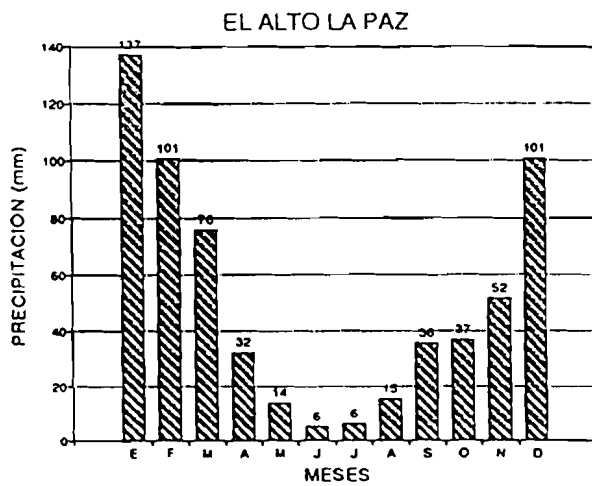
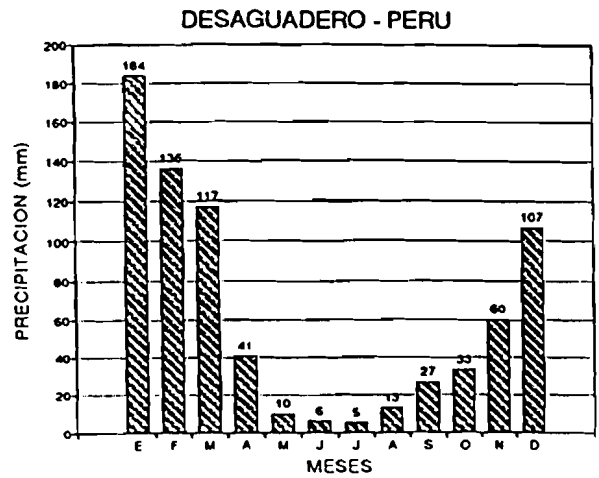
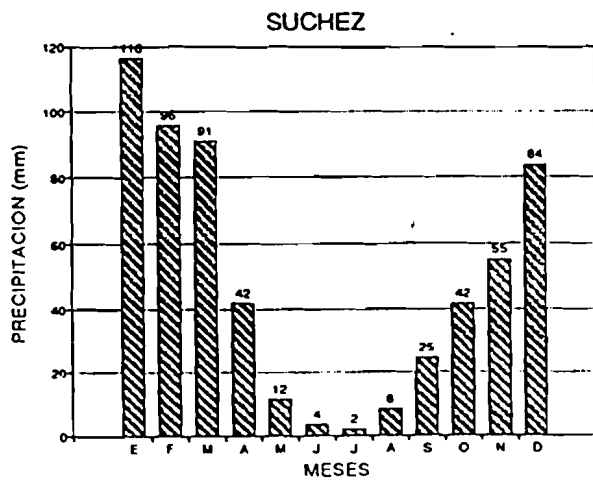


FIGURA 12 : REGIMEN DE DISTRIBUCION TOTAL MENSUAL DE LAS PRECIPITACIONES
(PERIODO: 1960-1990)



intertropical), y otro con precipitaciones menores en el invierno (la dislocación hacia el norte de la zona de convergencia intertropical ocasiona un movimiento de aire muy seco y estable).

d) Número de días con granizo

La gran irradiación solar existente en la zona en estudio, produce una dilatación del aire próximo al suelo y éste se hace más liviano, como consecuencia se forma un movimiento de aire ascendente que originan frecuentemente cumulonimbos de mucha altura, y cuanto más altos estén los extremos superiores de las nubes, tanto más probabilidad de granizada existe.

La importancia del estudio de las granizadas reside en los daños considerables que producen en la agricultura, debido a que normalmente este tipo de precipitación tiene una gran intensidad, más que duración o volumen de agua que proveen.

Normalmente resulta muy difícil detectar la frecuencia de las granizadas, ya que su ocurrencia es función de una variedad de condiciones atmosféricas.

De acuerdo a los datos disponibles, las zonas con más de 20 días de granizo por año, se presenta normalmente a altitudes de 4800 m.s.n.m. aproximadamente, o superiores, es decir, en toda la parte norte del sistema (cabeceras de la cuenca del río Ramis, río Suchez y cuenca del río Coata) y sector oeste (cabeceras de la cuenca del río llave). El mayor número de días con granizo en todo el sistema, se registra en Quillisani con 63 días (período 1971-1979 y altitudes de 4600 m.s.n.m.).

Conforme disminuye la altitud y nos acercamos al lago Titicaca, el número de días con granizo disminuye paulatinamente hasta llegar a valores menores de 5 días por año.

Para el sector sur del sistema, la información disponible es insuficiente, pero por los datos disponibles, se puede suponer que los valores están por debajo de los 5 días de granizo por año (debido seguramente a la baja humedad y a las condiciones orográficas).

Las características estacionales de las granizadas, son similares a las de la lluvia, es decir, que se presentan con mayor frecuencia en el verano (noviembre-marzo).

e) Evaporación

La evaporación en el sistema es muy elevada puesto que, el aire seco, los vientos, las temperaturas máximas del día, la duración del período seco con cielos totalmente despejados, la alta radiación solar y la baja presión atmosférica, son, factores predominantes en el altiplano que favorecen la evaporación.

Según los datos de altura mensual de evaporación registrada con tanques clase "A" en 33 estaciones dentro del sistema, se advierte que, los valores promedios

de evaporación anual varían entre 1200 mm y 1700 mm en las cercanías o en el mismo lago y conforme se alejan de él en dirección sur la evaporación aumenta hasta alcanzar valores que fluctúan entre 1800 mm y 2000 mm. Estas diferencias reflejan, de nuevo, la influencia del lago, el cual por efecto de la evaporación continua, satura el ambiente de humedad que lleva a la disminución del poder de evaporación en su proximidad.

En general en todo el sistema T.D.P.S. se observa que los índices de evaporación mínima se registran durante los meses de junio y julio (100 mm/mes a 140 mm/mes) y en los meses de octubre y noviembre se dan los valores máximos (180 mm/mes a 200 mm/mes).

En estos meses el "efecto de oasis" es máximo a causa de la falta de humedad del suelo después de la estación seca.

f) Evapotranspiración Potencial

La ETP en el sistema T.D.P.S., calculada por la fórmula de Penman se presenta en el cuadro 2 para algunas estaciones representativas. Sus valores medios anuales fluctúan entre 1000 mm y 1500 mm.

g) Temperatura

La temperatura dentro del sistema está influenciada en forma simultánea por diversas variables que determinan el régimen térmico: latitud (más frío al sur que al norte por la proximidad al ecuador); longitud (más frío al oeste que al este por la influencia de las masas de aire amazónicas); altitud (por la conocida propiedad de la tropósfera de que la temperatura disminuye con la altura) y finalmente el efecto termoregulador del lago (la influencia de la imponente masa de agua se hace sentir por una reducción de las amplitudes de temperaturas y, en menor medida, sobre los valores de las temperaturas medias con relación a lo que deberían ser a estas altitudes).

Las isotermas medias anuales, figura 13, indican que la región más fría es el sector suroeste, zona de Sajama, con valores medios próximos a -8°C; siguen en orden de regiones frías, los sectores oeste y noroeste, cabeceras de los ríos llave, Coata y Ramis. Por el contrario las regiones más cálidas se encuentran en el sector este, zona de Eucaliptus y Chuquiña, y alrededor del lago Titicaca, con temperaturas promedio en torno de 9°C.

En lo que se refiere al régimen de temperaturas máximas promedio, (figura 14) se puede decir que el sector sureste es la zona más cálida que se aproxima a los 20 °C (Caracollo-Chuquiña). También se puede ver que en las planicies del sector meridional se registran valores altos, que varían entre 17°C y 18 °C. Asimismo, y como se vio en las temperaturas medias, se nota claramente la atemperación de las regiones cercanas al lago; esta influencia del lago se pone claramente en evidencia mediante la comparación de las temperaturas de Capachica (cerca del lago y a 3838 m.s.n.m. de altitud) y Juliaca (3826 m.s.n.m.). Aunque Capachica

CUADRO 2 : LA ETP EN EL SISTEMA T.D.P.S. SEGUN LA FORMULA DE PENMAN

| COD. | ESTACION | ALT. (m) | LAT. (S) | LONG. (W) | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | AÑO |
|------|---------------------|-------------|-------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 778 | PROGRESO (1) | 3970 | 14° 42' | 70° 22' | 103 | 90 | 91 | 78 | 64 | 53 | 60 | 76 | 93 | 109 | 108 | 110 | 1036 |
| 764 | CHUQUIBAMBILLA | 3970 | 14° 48' | 70° 44' | 108 | 93 | 97 | 78 | 60 | 48 | 54 | 69 | 85 | 103 | 105 | 108 | 1008 |
| 786 | HUANCANE (2) | 3890 | 15° 12' | 69° 45' | 112 | 99 | 99 | 83 | 65 | 50 | 57 | 78 | 95 | 117 | 119 | 118 | 1093 |
| 787 | HUARAYA-MOHO (2) | 3890 | 15° 23' | 69° 28' | 110 | 100 | 102 | 84 | 63 | 49 | 59 | 80 | 101 | 122 | 116 | 119 | 1105 |
| 763 | LAGUNILLAS (2) | 4200 | 15° 46' | 70° 39' | 111 | 98 | 99 | 80 | 60 | 50 | 53 | 72 | 87 | 107 | 112 | 114 | 1042 |
| 708 | PUNO | 3812 | 15° 50' | 70° 01' | 129 | 111 | 112 | 93 | 76 | 67 | 73 | 90 | 109 | 133 | 138 | 138 | 1269 |
| ELB | EL BELEN | 3820 | 16° 04' | 68° 40' | 139 | 125 | 129 | 108 | 86 | 73 | 82 | 104 | 125 | 149 | 150 | 145 | 1415 |
| 879 | ILAVE (2) | 3880 | 16° 06' | 69° 38' | 141 | 123 | 126 | 103 | 87 | 71 | 79 | 99 | 123 | 149 | 153 | 152 | 1406 |
| ICH | ICHUCOTA | 4460 | 16° 10' | 68° 22' | 133 | 119 | 122 | 105 | 94 | 85 | 86 | 102 | 121 | 144 | 143 | 145 | 1399 |
| ELA | EL ALTO | 4038 | 16° 31' | 68° 11' | 132 | 115 | 118 | 100 | 87 | 77 | 81 | 100 | 116 | 138 | 140 | 139 | 1344 |
| 878 | MAZO CRUZ (3) | 4050 | 16° 45' | 69° 43' | 139 | 119 | 117 | 92 | 72 | 60 | 62 | 78 | 101 | 125 | 135 | 141 | 1241 |
| SAM | SANTIAGO DE MACHACA | 3980 | 17° 04' | 69° 12' | 156 | 132 | 129 | 111 | 100 | 80 | 88 | 112 | 127 | 150 | 165 | 167 | 1516 |
| PAT | PATACAMAYA | 3789 | 17° 15' | 67° 55' | 128 | 120 | 128 | 101 | 81 | 73 | 78 | 109 | 127 | 142 | 148 | 145 | 1381 |
| CAR | CARACOLLO | 3770 | 17° 38' | 67° 13' | 145 | 133 | 131 | 120 | 102 | 86 | 93 | 119 | 136 | 157 | 166 | 117 | 1505 |
| ORU | ORURO (4) | 3702 | 17° 58' | 67° 04' | 152 | 137 | 138 | 120 | 93 | 78 | 88 | 112 | 131 | 163 | 172 | 132 | 1516 |

Nota :

- (1) La radiacion global fue calculada a partir de la duracion de insolacion de la estacion de Chuquibambilla
- (2) La radiacion global fue calculada a partir de la duracion de insolacion de la estacion de Puno
- (3) La radiacion global fue calculada a partir de la duracion de insolacion de la estacion de Santiago de Machaca
- (4) La radiacion global fue calculada a partir de la duracion de insolacion de la estacion de Caracollo

FIGURA 13 : TEMPERATURA MEDIA ANUAL

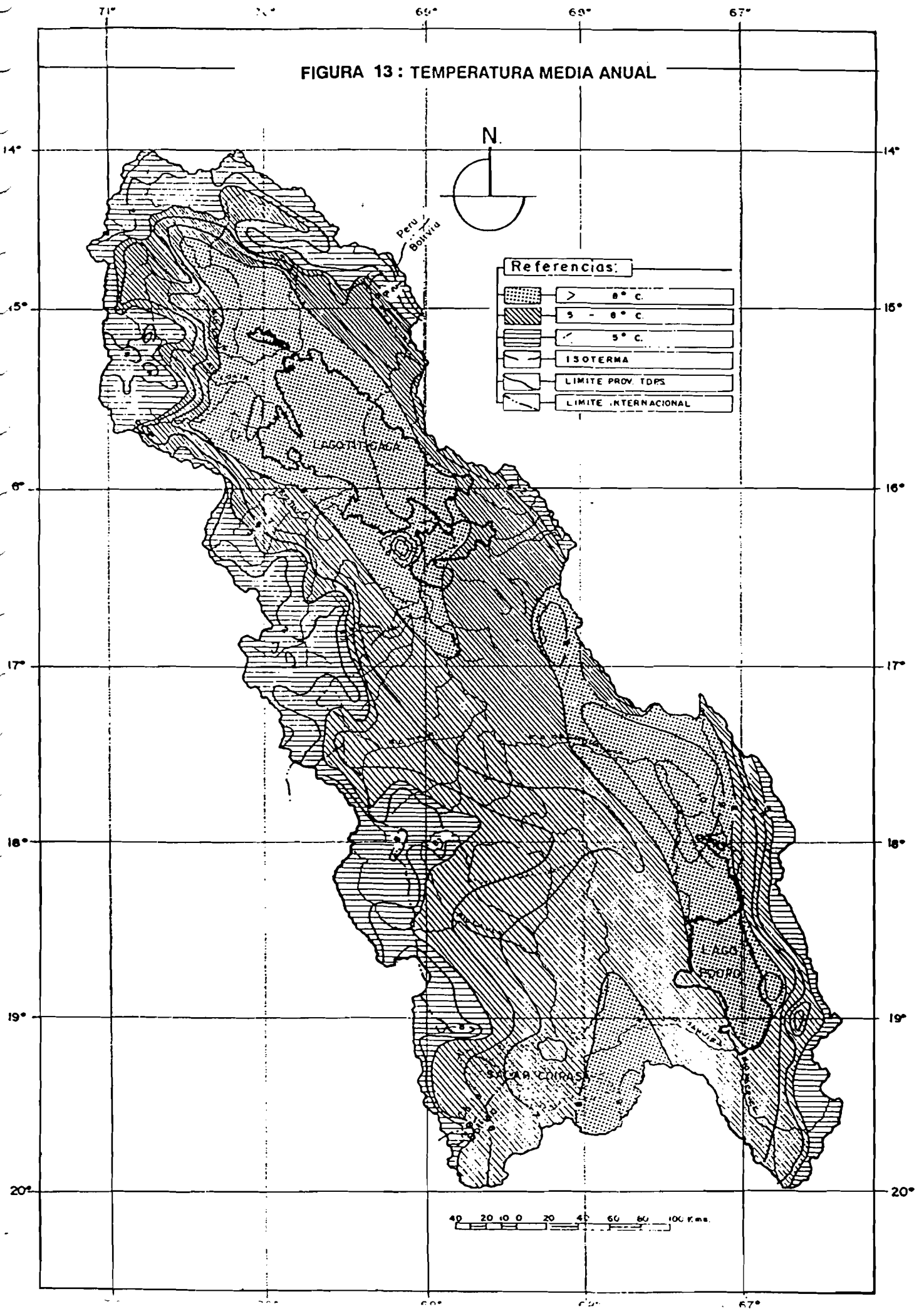
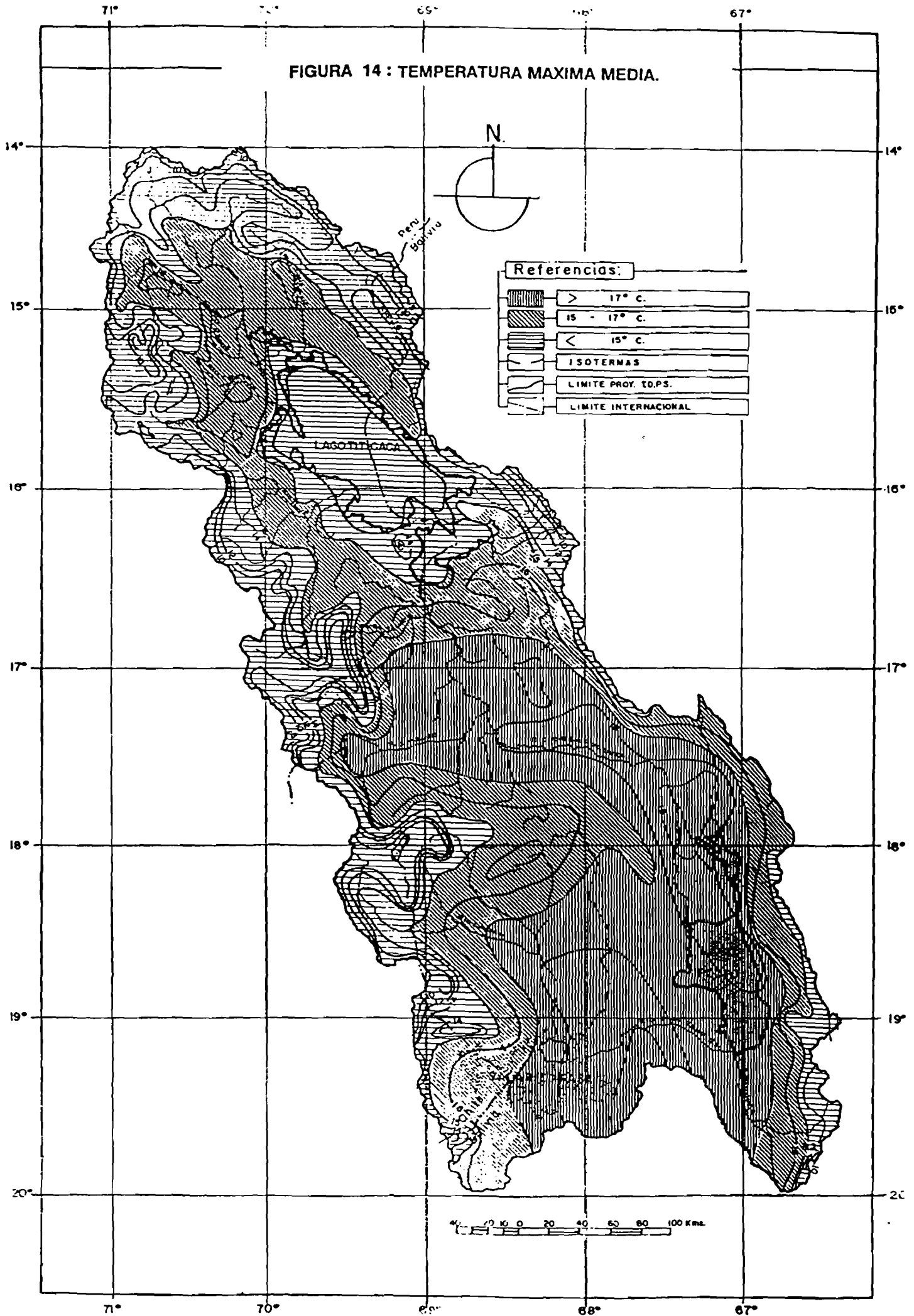


FIGURA 14 : TEMPERATURA MAXIMA MEDIA.



está solamente 12 metros por encima del lago, muestra una temperatura máxima promedio anual de 3,7 °C por debajo de la de Juliaca. Finalmente, las temperaturas más bajas se presentan en la periferia del sistema T.D.P.S. (cabecera de cuencas) con valores que oscilan entre 12°C y 10°C (y de 3°C para las zonas de glaciares).

De forma general, se observa que las máximas del sector oriental son algo inferiores a las del meridional; esto podría deberse al carácter más árido (casi desértico) de este último y su proximidad al desierto de Atacama. De todas formas examinando el plano de temperaturas máximas medias se constata, que por lo general, la variación de las mismas no presenta grandes contrastes dentro del sistema.

En cuanto a temperaturas mínimas promedio, (figura 15), se puede decir que la temperatura mínima absoluta registrada fue en Macusani (-28°C), aunque hay que tener en cuenta que las series registradas en el sector meridional - el más frío - son de duración muy inferior. La latitud parece perder importancia en el control de las temperaturas mínimas, siendo el principal condicionante la altitud.

Las temperaturas mínimas promedio alcanzan valores superiores a 0°C en el lago y en sus inmediaciones, es decir desde las proximidades de la zona de Progreso-Muñani en el norte hasta la zona de Jesús de Machaca en el sur. También en la parte este (eje: Calamarca - Patacamaya - Eucaliptus), las temperaturas mínimas medias alcanzan valores por encima de 0 °C y en el sector suroeste varía desde -10 °C cerca de la frontera con Chile hasta - 4 °C en las inmediaciones de Turco y Curahuara de Carangas.

De modo indicativo se presentan gráficos de temperaturas medias, máximas y mínimas de diferentes estaciones climáticas seleccionadas, típicas del sistema (figuras 16 y 17).

h) Heladas

Para definir las heladas en la región, se definió el criterio de indicar el número de días con temperaturas iguales o inferiores a 0°C. En la figura 18 se presenta el número de días total de heladas en el año, sin pretender que esta muestra sea definitiva, porque se sabe que existen microclimas que debido a otros factores, pueden no estar incluidos dentro de los límites señalados.

Las isolíneas indican que: en las zonas cercanas al lago, los días con heladas son inferiores a 100 días, debido al efecto termo-regulador del lago. En la faja ribereña del río Azángaro y en el sector sudeste, (entre Patacamaya y Eucaliptus), los días medios con heladas se incrementan en relación al lago (isolínea de 150 días). Esta isolínea es un índice agroclimático de gran importancia, debido a que aproximadamente marca, el límite por encima del cual la agricultura se ve afectada por las primeras y últimas heladas.

FIGURA 15 : TEMPERATURA MINIMA MEDIA

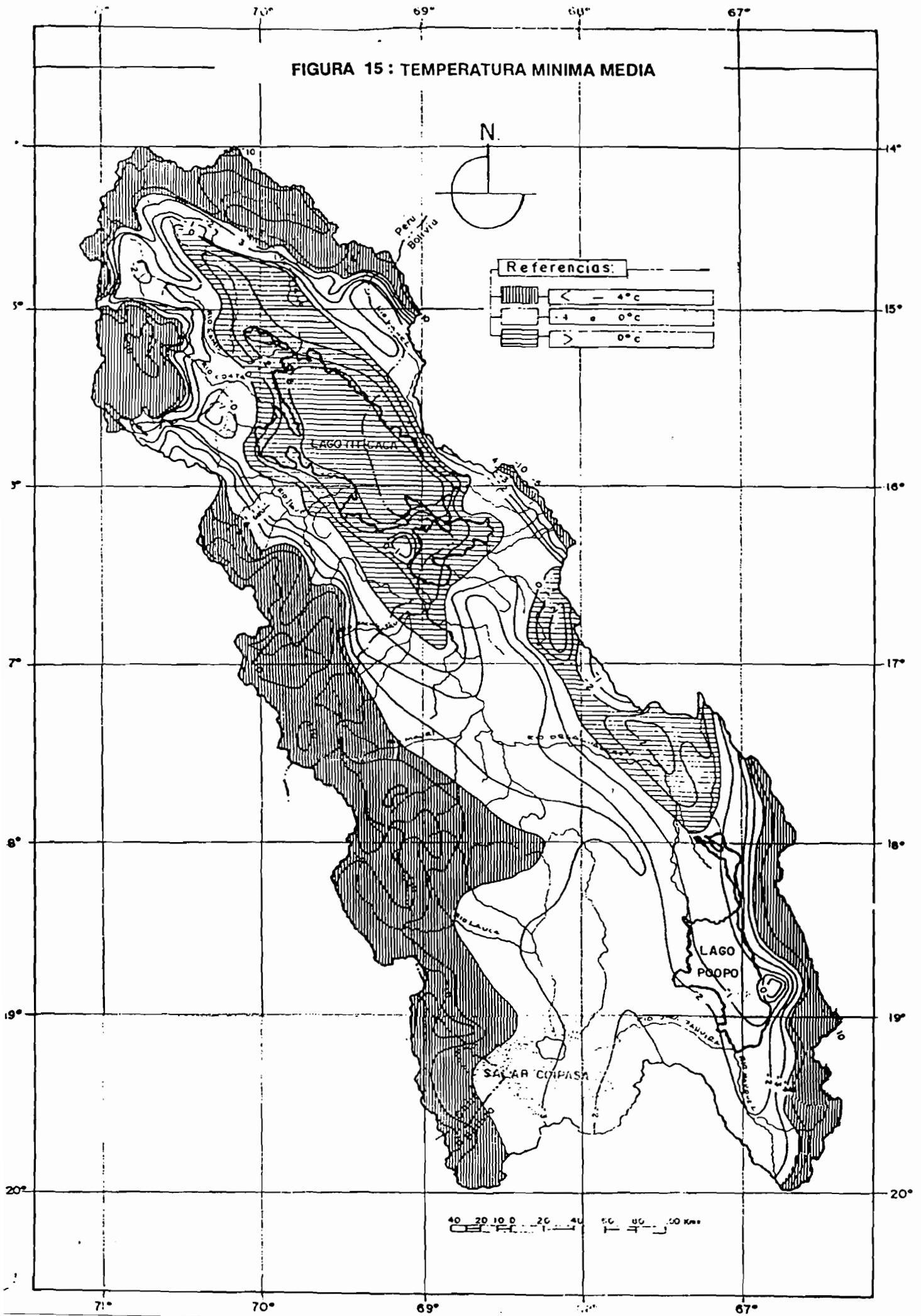


FIGURA 16 : REGIMEN DE TEMPERATURAS MEDIAS Y ABSOLUTAS.

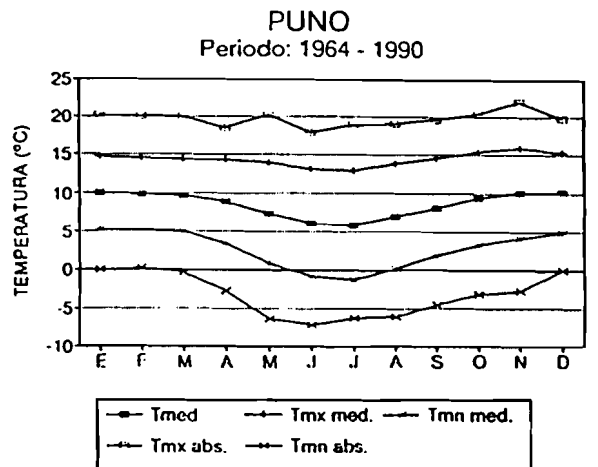
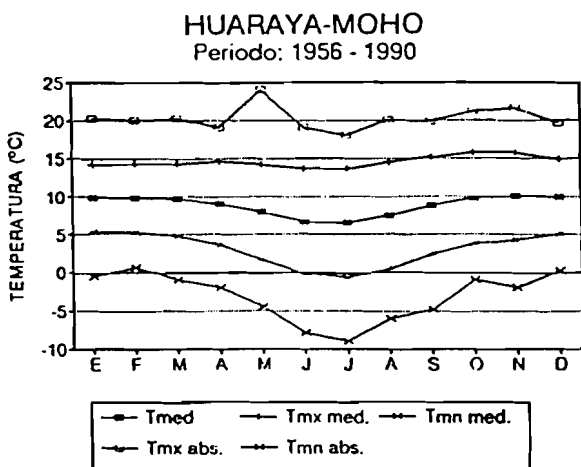
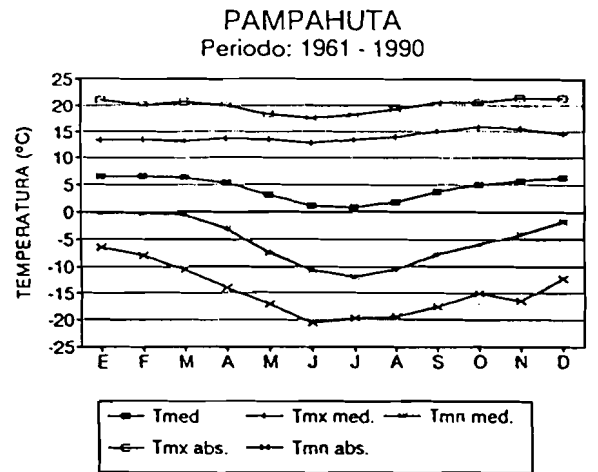
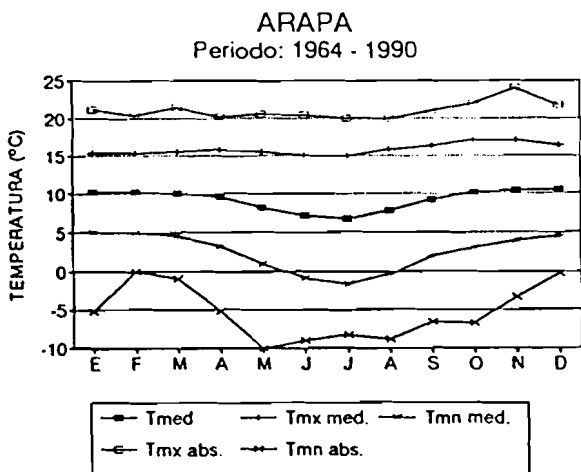
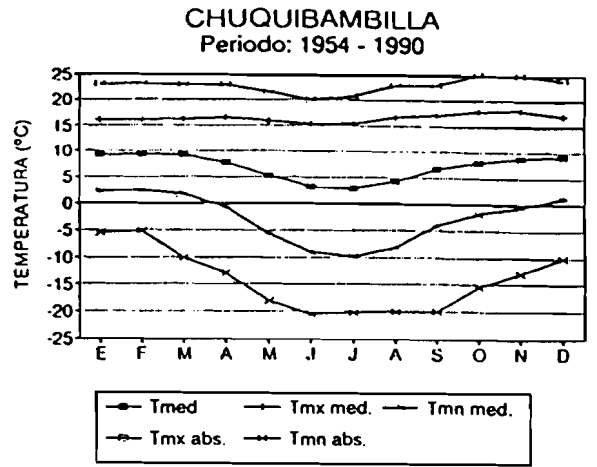
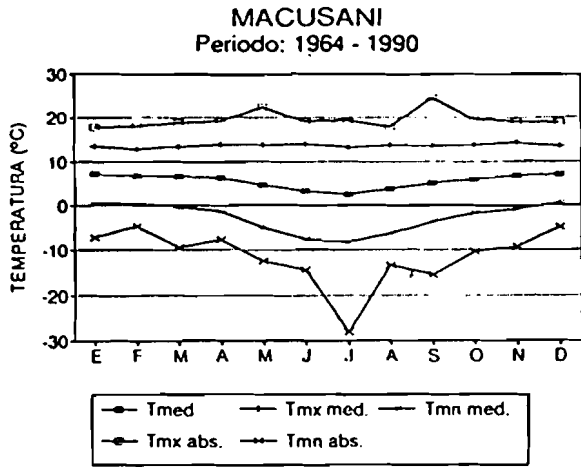
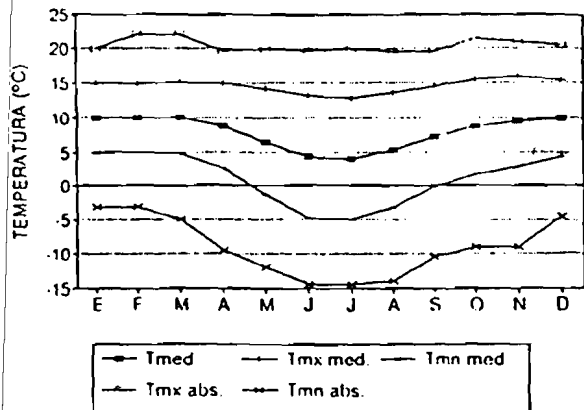
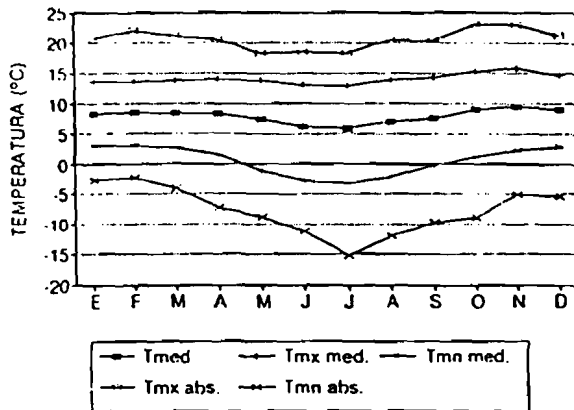


FIGURA 17 : REGIMEN DE TEMPERATURAS MEDIAS Y ABSOLUTAS.

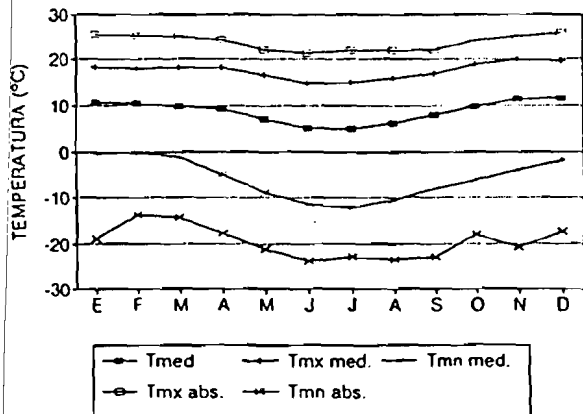
DESAGUADERO-PERU
Periodo: 1961 - 1990



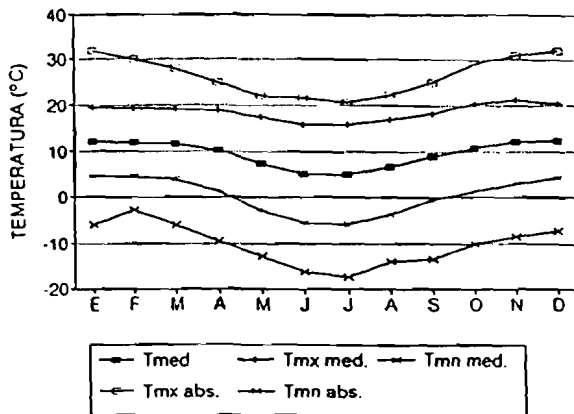
EL ALTO LA PAZ
Periodo: 1943 - 1990



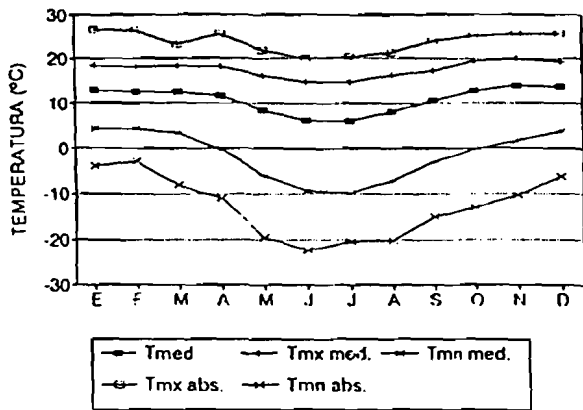
CHARAÑA
Periodo: 1968 - 1990



PATACAMAYA
Periodo: 1958 - 1990



ORURO
Periodo: 1943 - 1990



HUACHACALLA
Periodo: 1975 - 1985

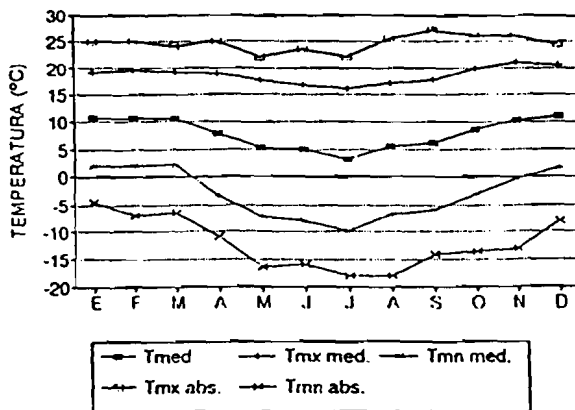
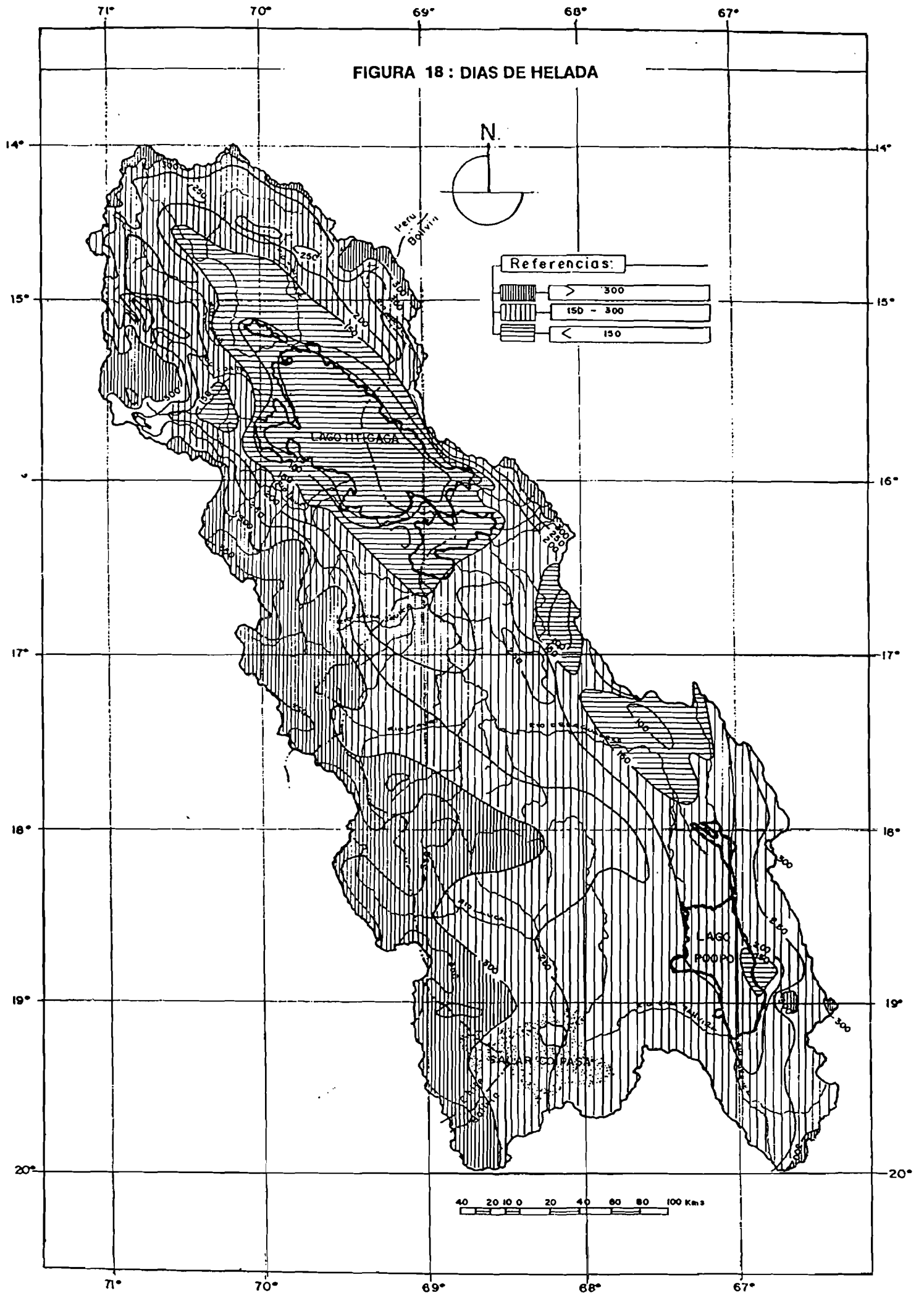


FIGURA 18 : DIAS DE HELADA



Alejándose del lago y/o aumentando la altitud, se nota un considerable incremento de días de helada, aumento que es mucho mayor en dirección suroeste. La ocurrencia de heladas en estas zonas es prácticamente durante todo el año (los valores están por encima de 300 días), lo que naturalmente indica que la agricultura en estas zonas es casi imposible, si no es en condiciones muy protegidas.

i) Presión atmosférica

Los valores de la presión atmosférica media anual varían entre 656 Mb en Uyuni y 536 Mb en Chacaltaya.

j) Radiación Solar

No se cuenta con medidas directas de radiación solar. A partir de correlaciones entre radiación global y duración de la insolación ha sido evaluada la radiación solar para las estaciones de Puno, El Alto y Patacamaya que se presentan en el cuadro 3, donde se observa que los valores medios anuales fluctúan entre 462 calorías/cm²-día y 534 calorías/cm²-día.

k) Vientos

La distribución de los vientos en el altiplano es extremadamente inestable y sufre variaciones durante el día y a lo largo del año. En forma general se pueden comentar los siguientes aspectos:

En Puno, a orillas del lago Titicaca los vientos dominantes a lo largo del año son del este, con un rango de velocidad de 3 m/s a 4 m/s.

En la parte oriental del sistema, la dirección noroeste es predominante y las velocidades registradas varían entre 2 m/s y 5 m/s. La parte sur de la región (sector del lago Poopó) los vientos del sur alcanzan mayor frecuencia y registran velocidades relativamente bajas, menores a 2 m/s. Finalmente en la zona de Coipasa, y tomando como referencia las estaciones de Huachacalla y Salinas de Garci Mendoza, las calmas son dominantes.

l) Humedad relativa

La humedad ambiental es relativamente elevada en las cercanías al lago Titicaca (60%-65%), debido a la extensa superficie de agua, y luego disminuye rápidamente hacia el sur hasta alcanzar valores bajos característicos de climas áridos (40%).

El valor promedio anual de la humedad relativa para todo el sistema es de 54%.

En los meses de junio a octubre la humedad del aire es muy baja (menor o igual a 50% para la mayoría de las localidades) y aumenta un poco en la época de lluvias (diciembre a marzo), sin todavía rebasar los 70% (excepto en las localidades de Pampahuta, Macusani, Salcedo, Huancané y Charaña).

CUADRO 3 : ESTIMACION DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL

| ESTACION: PUNO | | LAT. : 15° 50' S | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ALT. : 3812 m | | LONG. : 67° 55' W | | | | | | | | | | |
| | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEP. | OCT. | NOV. | DIC. |
| RG (Cal/Cm2-Dia) | 492.0 | 452.0 | 456.0 | 469.0 | 390.0 | 394.0 | 390.0 | 447.0 | 485.0 | 522.0 | 549.0 | 501.0 |
| RGo (Cal/Cm2-Dia) | 966.7 | 936.8 | 872.8 | 767.9 | 671.7 | 622.2 | 642.4 | 724.8 | 827.6 | 908.0 | 952.7 | 968.2 |
| n (Horas) | 6.0 | 6.5 | 6.7 | 8.3 | 9.3 | 9.3 | 9.6 | 9.4 | 9.0 | 8.9 | 8.5 | 7.2 |
| N(Horas) | 12.8 | 12.5 | 12.1 | 11.6 | 11.3 | 11.1 | 11.2 | 11.5 | 11.9 | 12.3 | 12.7 | 12.9 |
| RG/RGo | 0.51 | 0.48 | 0.52 | 0.61 | 0.58 | 0.63 | 0.61 | 0.62 | 0.59 | 0.57 | 0.58 | 0.52 |
| n/N | 0.47 | 0.52 | 0.55 | 0.72 | 0.82 | 0.84 | 0.86 | 0.82 | 0.76 | 0.72 | 0.66 | 0.55 |
| ECUACION : $R_g = R_{go}(0.344 + 0.323(n/N))$ Coef. correlacion : 0.92 | | | | | | | | | | | | |

| ESTACION: EL ALTO | | LAT. : 16° 31' S | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ALT. : 4038 | | LONG. : 68° 11' W | | | | | | | | | | |
| | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEP. | OCT. | NOV. | DIC. |
| RG (Cal/Cm2-Dia) | 535.3 | 550.1 | 557.8 | 498.7 | 488.0 | 459.8 | 504.4 | 499.5 | 555.5 | 555.2 | 611.9 | 588.1 |
| RGo (Cal/Cm2-Dia) | 970.3 | 938.6 | 870.5 | 763.0 | 664.4 | 613.7 | 634.4 | 719.2 | 824.2 | 908.1 | 955.1 | 972.8 |
| n (Horas) | 5.1 | 5.5 | 5.5 | 8.1 | 9.3 | 9.5 | 9.3 | 9.0 | 8.0 | 8.2 | 7.6 | 5.9 |
| N(Horas) | 12.9 | 12.5 | 12.1 | 11.6 | 11.2 | 11.0 | 11.1 | 11.5 | 11.9 | 12.4 | 12.8 | 13.0 |
| RG/RGo | 0.55 | 0.59 | 0.64 | 0.65 | 0.73 | 0.75 | 0.80 | 0.69 | 0.67 | 0.61 | 0.64 | 0.60 |
| n/N | 0.40 | 0.44 | 0.46 | 0.70 | 0.82 | 0.86 | 0.84 | 0.78 | 0.68 | 0.66 | 0.59 | 0.45 |
| ECUACION : $R_g = R_{go}(0.419 + 0.378(n/N))$ Coef. correlacion : 0.89 | | | | | | | | | | | | |

| ESTACION: PATACAMAYA | | LAT. : 17° 15' S | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ALT. : 3789 m | | LONG. : 67° 55' W | | | | | | | | | | |
| | ENE. | FEB. | MAR. | ABR. | MAY. | JUN. | JUL. | AGO. | SEP. | OCT. | NOV. | DIC. |
| RG (Cal/Cm2-Dia) | 531.9 | 503.8 | 530.8 | 538.2 | 482.2 | 457.0 | 487.3 | 494.6 | 480.0 | 585.2 | 596.0 | 529.8 |
| RGo (Cal/Cm2-Dia) | 974.3 | 941.3 | 867.8 | 758.0 | 656.1 | 604.1 | 625.5 | 712.8 | 819.6 | 908.7 | 957.8 | 978.1 |
| n (Horas) | 5.4 | 6.3 | 6.6 | 7.9 | 8.8 | 8.8 | 8.8 | 8.5 | 7.8 | 7.7 | 7.5 | 6.3 |
| N(Horas) | 12.9 | 12.5 | 12.1 | 11.6 | 11.2 | 11.0 | 11.1 | 11.4 | 11.9 | 12.4 | 12.8 | 13.0 |
| RG/RGo | 0.55 | 0.54 | 0.61 | 0.71 | 0.73 | 0.76 | 0.78 | 0.69 | 0.59 | 0.64 | 0.62 | 0.54 |
| n/N | 0.42 | 0.50 | 0.55 | 0.68 | 0.78 | 0.80 | 0.80 | 0.74 | 0.65 | 0.62 | 0.58 | 0.48 |
| ECUACION : $R_g = R_{go}(0.251 + 0.623(n/N))$ Coef. correlacion : 0.93 | | | | | | | | | | | | |

2.2.3 Base de datos hidrometeorológicos

Se ha elaborado una Base de Datos Hidrometeorológicos de todo el sistema T.D.P.S., que incluye un Programa Gestor.

La red meteorológica está conformada por 133 estaciones y la hidrométrica por 44 estaciones.

El programa permite actualizar el banco de datos, seleccionar las estaciones y período de tiempo que se desee y consultar estos datos en pantalla o sacarlos por impresora en listados que incluyen resultados estadísticos.

Por último permite generar unos ficheros ASCII que contienen series de datos con una estructura distinta a la original y apta para algunos paquetes informáticos con posibilidades de representación gráfica como QPRO, LOTUS 1-2-3, STATGRAPH, etc.

El programa fuente ha sido desarrollado en lenguaje FOXPRO. Asimismo se utilizan bases de datos propias del FOX y otras ASCII. El núcleo del programa lo constituyen seis ficheros de programas, doce ficheros de formato de pantalla y diecinueve para listados por impresora.

2.3 HIDROLOGIA

2.3.1 Estudios realizados

Los estudios hidrológicos comprendieron en una primera etapa los estudios generales de caracterización hidrológica del sistema, para después realizar estudios específicos de aportaciones y avenidas.

Inicialmente se procedió a la zonificación hidrológica del área estudiada. El sistema TDPS fue dividido en un total de 10 zonas y 8 subzonas, que posteriormente fueron caracterizadas en función de una serie de parámetros físicos relativos a su cuenca y red de drenaje. La discretización se realizó sobre la base de unidades hidrológicas de rasgos diferenciados y que permitieran cumplir con los objetivos prefijados para el proyecto. De cualquier forma, y dado que dichas unidades debían lógicamente disponer de información hidrométrica para la realización de los análisis ulteriores, la definición de sus límites (coincidentes con divisorias hidrográficas) ha estado condicionada por la ubicación de las estaciones de aforo en funcionamiento.

El estudio de aportaciones, se inició con un análisis funcional de la totalidad de las estaciones de aforo existentes. El estudio como tal se centró en doce estaciones que han sido consideradas como básicas en razón de su ubicación, datos históricos y adecuación a los objetivos del proyecto. En cada una de ellas se ha procedido a la reinterpretación a nivel diario de las series históricas, tras un análisis exhaustivo de la evolución de las respectivas curvas de gastos.

Dichas series han sido posteriormente homogeneizadas a nivel mensual mediante el uso de modelos de simulación determinista y estocástica, con el objeto de obtener series continuas de duración suficiente para su utilización con fines de planificación y gestión

de los recursos hídricos del sistema. Por último, el empleo de técnicas de generación y desagregación ha permitido producir una serie sintética de 5000 años de aportes mensuales al lago Titicaca, cuyas características estadísticas son en todo punto asimilables a las de la serie histórica.

La última parte del estudio hidrológico trata de las avenidas e inundaciones. Las avenidas probables fueron analizadas mediante métodos estadísticos en un total de 12 cuencas que disponen de información foronómica suficiente. En cuanto al método hidrometeorológico ha sido aplicado en las cuencas de los ríos llave, Coata y Huancané, únicas en las que la información disponible permite la utilización de modelos de simulación precipitación escorrentía con una representación adecuada de los procesos que controlan el régimen de crecidas. La problemática de las inundaciones en los tributarios del lago Titicaca (las del Desaguadero han sido motivo de un estudio independiente) está particularmente representada en los deltas de la cuenca baja de los ríos llave y Ramis; el último punto de los estudios trata de esta problemática, e incluye la simulación hidrodinámica del tramo final del río llave, en el que levantamientos cartográficos recientes suministran una correcta definición de la topografía en el entorno del cauce.

En la elaboración de los estudios hidrológicos se han utilizado modelos informáticos refinados, que incluyen la simulación diaria para el estudio de aportaciones y avenidas, se justificaron por la necesidad de afinar al máximo, en la medida de lo posible, los resultados alcanzados, para no incurrir en el sobredimensionamiento de las obras.

Las características de los principales modelos utilizados se detallan a continuación:

a) Modelo SSMA - 2: Simulación hidrológica conceptual a nivel diario

El modelo SSMA-2, es una versión modificada por INTECSA del S.S.M.A. (Sacramento Soil Moisture Accounting Model). Este último fue desarrollado en el Departamento de Recursos Hidráulicos del estado norteamericano de California en la ciudad de Sacramento. Dicho modelo forma parte del grupo de modelos de simulación hidrológica derivados del "Stanford Watershed Model", cuyo objetivo común es reproducir el comportamiento de una cuenca utilizando para ello una representación conceptual del ciclo hidrológico y una esquematización de la misma. El modelo está preparado para tratar datos diarios y horarios, si bien las evaporaciones pueden ser suministradas en forma de medias mensuales.

En líneas generales consiste en un conjunto de programas que permiten simular el ciclo hidrológico en una cuenca, de forma a obtener los hidrogramas de salida correspondientes a series meteorológicas registradas o hipotéticas.

En su versión actual el modelo consta de tres programas informáticos:

1. Un programa de carga de datos (CARGA)
2. El modelo de simulación propiamente dicho (SIMUL)

3. Un programa de integración de los resultados correspondientes a los sectores permeable e impermeable (GLOBAL).

Se ha empleado en los estudios para el cálculo de aportaciones y máximas avenidas.

b) Modelo CRUE: Simulación de flujo no permanente en ríos y canales

Desarrollado por CNR, este modelo matemático, simula el comportamiento hidráulico de un río, y está basado en una integración numérica de las ecuaciones de Barre de Saint-Venant aplicadas a lo largo de trechos fluviales, separados por secciones transversales.

Este modelo ha sido empleado para cálculo de propagación de caudales y avenidas, y ha sido la herramienta principal para construcción del Modelo Global hidráulico T.D.P.S.

c) Modelo SIM-V: Simulación y optimización de sistemas de embalse

Se trata conceptualmente de un modelo de simulación de la explotación mensual de un sistema de recursos hidráulicos. Por tanto, dado un conjunto de nudos (embalses, confluencias, tomas o vertidos) y arcos (ríos o conducciones) que representan esquemáticamente el sistema real, el modelo permite asignar los recursos disponibles a las demandas deseadas, respetando diversos condicionantes físicos y según una estrategia de explotación predefinida.

Sin embargo, el programa no se limita a tantear una solución viable para cada mes, sino que emplea un método interno de optimización de grafos que permite la máxima flexibilidad en la simulación.

El modelo ha sido empleado en el estudio de gestión del agua en los afluentes al lago Titicaca

d) Modelo MIKE-11: Simulación hidrodinámica, transporte y calidad de aguas en ríos, canales y estuarios

MIKE 11 es un paquete de programas desarrollado por el Danish Hydraulic Institute (DHI, Instituto Danés de Hidráulica) y por el Water Quality Institute (VKI, Instituto de Calidad de Aguas) para la simulación de flujos, transporte de sedimentos, y estudio de calidad de aguas en estuarios, ríos, sistemas de irrigación, y cursos de agua.

El sistema de simulación está compuesto por 4 módulos:

- Un módulo hidrodinámico - HD - que calcula caudales y variaciones de los niveles de agua en ríos y planicies de inundación.
- Un módulo de transporte de sedimentos - ST -que permite elegir entre varias teorías de transporte de sedimentos para la simulación del

transporte de fondo y en suspensión, formación de dunas y resistencia hidráulica.

- Un módulo de transporte-dispersión - TD - que calcula el transporte y dispersión de material disuelto y en suspensión, incluyendo sedimento cohesivo.
- Un módulo de calidad de aguas - WQ (water quality) - que es una extensión del módulo TD, y el cual simula concentraciones de parámetros físicos, químicos y biológicos relacionados con el sistema ecológico y la calidad de aguas.

El módulo hidrodinámico del modelo ha sido empleado en el estudio de propagación de onda, transporte de caudales y consecuente estudio de líneas de nivel de agua en el río llave.

2.3.2 Diagnóstico hidrológico

2.3.2.1 Red hidrográfica

Los principales ríos que desembocan en el lago Titicaca están en territorio peruano y según su ubicación se distinguen: Ramis y Huancané al norte, Coata e Illpa al oeste, e llave y Zapatilla al suroeste.

El sistema de tributarios del río Ramis lo conforman el río Crucero, que en las cercanías de la población de Progreso, confluye con el río Quenamari-Grande, formando el río Azángaro, que a su vez recibe las aguas del río Santa Rosa-Ayaviri-Pucara. La unión de los ríos Azángaro y Pucara dan como resultado el río Ramis.

Los afluentes del río Huancané son el Huanaco-Putina, que confluye con el río Quellocarca-Tuyto. La unión de ambos constituye el río Huancané.

Los afluentes del Coata son el Cañuma-Cabanillas que recibe por su margen izquierda las aguas del río Quillisane-Verde, posteriormente aporta sus aguas al río Palca-Lampa y pasan a conformar el río Ayabacas-Coata, cerca de Juliaca.

El río Illpa nace con el nombre de Mayotinco, para luego denominarse Conaviri y finalmente Illpa.

El río llave está constituido por la unión de los ríos Coypa-Huenque, con el río Blanco-Azufrini-Aguas Calientes.

El río Zapatilla nace en las cercanías de la localidad de Churu, con el nombre de Camellaque para luego denominarse río Zapatilla.

En territorio boliviano tenemos al norte y este, los ríos Huaycho, Suhez y Keka; y al sur los ríos Catari y Tiahuanacu.

El río Huaycho nace en territorio peruano cerca de Ancollo con el nombre de Acojahuipa.

El río Keka nace en las cercanías del Nevado Chachacomani, con el nombre de Chachacomani para luego denominarse Kekajahuira y finalmente Keka.

El río Catari nace en las cercanías del Cerro Jarrotani, con el nombre de Jachajahuira para luego denominarse Colorado y Catari, confluye con el río Pallina.

El río Tiahuanacu en su origen se denomina Guaquira para luego ingresar al lago con el nombre de Tiahuanacu.

Todos los ríos citados aportan sus aguas al lago Titicaca.

El lago Titicaca esta conformado por los lagos Mayor y Menor este último también denominado laguna de Huiñay Marca. En la parte sur de esta laguna se halla la desembocadura natural del lago que está constituida por el río Desaguadero.

El río Desaguadero recibe como principal afluente por su margen derecha al río Mauri, para luego continuar en su recorrido noroeste a sureste hasta las cercanías de Chuquiña, donde se bifurca en dos brazos, derecho e izquierdo, el primero encamina sus aguas directamente al lago Poopó. El brazo izquierdo del Desaguadero desemboca en el lago Uru Uru que esta también conectado al Poopó. Este lago también recibe las aguas de los ríos Caracollo por el norte y Marquez por el sur.

En épocas de excedencia el lago Poopó vierte sus aguas a la laguna de Coipasa a través del río Laca Jahuira. A esta laguna también aportan los ríos Lauca, Turco, Sajama y Barras.

2.3.2.2 Aportaciones

Una evaluación de los recursos hídricos, puede ser realizada a partir del conocimiento de las aportaciones en los diferentes ríos del sistema.

Estas aportaciones de referencia son utilizadas para el análisis y comparación de las distintas alternativas propuestas para la gestión de los recursos disponibles, tanto en el marco del presente Estudio, también podrá ser utilizado como en los de proyectos ulteriores.

El cuadro 4 presenta a modo de resumen los aportes fluviales de doce estaciones de aforo básicas. De su consulta pueden extraerse múltiples conclusiones, algunas de las cuales son:

- De los cinco tributarios mayores al lago Titicaca destaca por su volumen de aportación anual el río Ramis, con casi 2400 hm³. Le siguen por orden de magnitud los ríos Coata (1308 hm³), llave (1214 hm³), Huancané (631 hm³) y Suche (334 hm³). Por lo tanto, los aportes conjuntos de los tres afluentes principales suponen casi un 85% de la escorrentía total, de la que sólo el río Ramis suministra un 40%.

CUADRO 4 : RESUMEN ESTADISTICO DE LAS APORTACIONES FLUVIALES EN LAS PRINCIPALES ESTACIONES DE AFORO

| CODIGO | ESTACION | LUGAR | AÑOS COMPLETOS | | APORTACION ANUAL (hm ³) | | | | | APORTACION MENSUAL (hm ³) | | | | |
|--------|-------------|----------------------|----------------|-----------|-------------------------------------|--------|--------|---------|----------|---------------------------------------|-----|----------|-----|-------|
| | | | Nº | PERIODO | MEDIA | MAXIMA | MINIMA | D.T (2) | C.V. (3) | MAX.MED. | MES | MIN.MED. | MES | R (4) |
| RAMI | Ramis | Puente Ramis | 31 | 1960 - 90 | 2383 | 4111 | 768 | 796 | 0.33 | 584 | Mar | 25.3 | Sep | 23.1 |
| HUAN | Huancane | Puente Huancane | 31 | 1960 - 90 | 631 | 1223 | 218 | 248 | 0.39 | 153 | Feb | 7.1 | Ago | 21.5 |
| ESCO | Suchez | Escoma | 31 | 1960 - 90 | 334 | 596 | 126 | 120 | 0.36 | 80 | Feb | 2.7 | Ago | 29.6 |
| COAT | Coata | Puente Maravillas | 31 | 1960 - 90 | 1308 | 2380 | 76 | 549 | 0.42 | 352 | Feb | 7.4 | Sep | 47.6 |
| ILAV | Ilave | Puente Ilave | 31 | 1960 - 90 | 1214 | 3045 | 158 | 630 | 0.52 | 344 | Feb | 20.5 | Sep | 16.8 |
| PTEI | Desaguadero | Puente Internacional | 26 (1) | 1965 - 90 | 1105 | 5882 | -110 | 1455 | 1.32 | 160 | Abr | 60.2 | Nov | 2.7 |
| CALD | Desaguadero | Calacoto | 25 | 1965 - 89 | 1636 | 7305 | 195 | 1587 | 0.97 | 200 | Mar | 72.8 | Nov | 2.7 |
| ABAM | Mauri | Abaroa | 26 | 1965 - 90 | 156 | 309 | 74 | 62 | 0.40 | 32 | Feb | 6.3 | Oct | 5.1 |
| ABAC | Caquena | Abaroa | 26 | 1965 - 90 | 88 | 176 | 27 | 40 | 0.45 | 22 | Feb | 1.8 | Oct | 12.2 |
| CALM | Mauri | Calacoto | 25 | 1965 - 89 | 586 | 1003 | 179 | 215 | 0.37 | 121 | Mar | 15.9 | Oct | 7.6 |
| ULLO | Desaguadero | Ulloma | 25 | 1965 - 89 | 2433 | 8914 | 621 | 1782 | 0.73 | 361 | Feb | 103.2 | Nov | 3.5 |
| CHUQ | Desaguadero | Chuquiña | 25 | 1965 - 89 | 2807 | 10070 | 632 | 2020 | 0.72 | 463 | Feb | 109.6 | Nov | 4.2 |

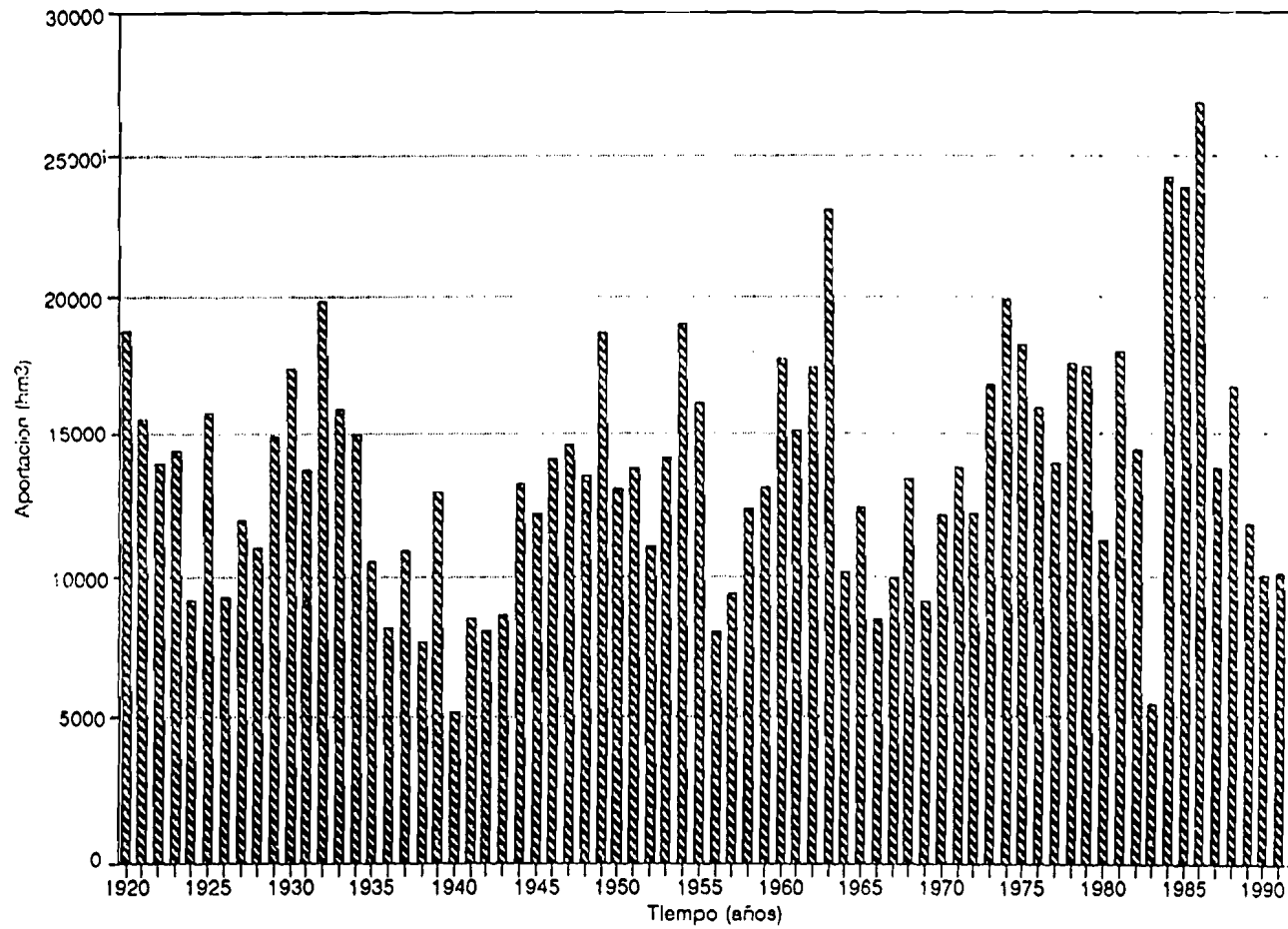
(1) : Faltan 6 meses

(2) : Desviación típica

(3) : Coeficiente de variación

(4) : Relación entre las aportaciones medias de los meses máximo y mínimo

FIGURA 19 : APORTES TOTALES AL LAGO
(PERIODO: 1920-1992)



- El río Coata supera en aportaciones al llave, a pesar de que su cuenca vertiente es sólo un 60% de aquella. Esto es debido a las precipitaciones mucho más cuantiosas, siendo a nivel medio la cuenca con mayor precipitación de todas las que vierten sus aguas al lago.
- Por otra parte, y relacionado parcialmente con su dependencia de la estación húmeda, los estiajes del río Coata son muy pronunciados, lo que trae como consecuencia que en el mes de máxima aportación (febrero) circule casi 50 veces más agua que en el mes mínimo (septiembre). Esta misma relación oscila en el resto de los tributarios entre 17 (llave) y 30 (Suchez).
- En toda la cuenca vertiente al lago Titicaca, el mes de mayores aportes es febrero, con excepción del río Ramis cuyo máximo se sitúa en marzo. En cuanto a los mínimos se presentan en septiembre en los tres afluentes mayores, y un mes antes en los ríos Huancané y Suchez.
- A nivel interanual, de los cinco ríos el que presenta mayor variabilidad es el llave, con un coeficiente de variación de 0,52, mientras que el Ramis se manifiesta como el más regular (0,33).
- Los aportes medidos en Puente Internacional (punto de desagüe del lago Titicaca) superan apenas los 1100 hm³ anuales (35 m³/s de caudal medio), frente a los casi 6000 hm³ que entran por los cinco tributarios principales.
- Sin embargo esta cifra media tiene escasa significación, ya que la variabilidad inter-anual en Puente Internacional es la más elevada de todas las estaciones (coeficiente de variación de 1,32). Sirva de muestra que en el año más húmedo (1986) se registraron en torno a 5900 hm³, mientras que en 1972 la aportación fue negativa (-110 hm³) debido a que los bajos niveles del lago determinaron una entrada neta de recursos originados en la cuenca intermedia entre Puente Internacional y Aguallamaya. Este aspecto, unido a la fuerte inercia del lago (puesta de manifiesto en otros estudios del presente proyecto), tiene especial relevancia para la gestión de los recursos hídricos del sistema.
- Por otra parte, dada la mencionada inercia, el efecto estacional de las aportaciones alcanza en Puente Internacional su mínima expresión, ya que la relación entre los meses extremos (abril y noviembre) es de sólo 2,7. Es de señalar asimismo que el retardo producido por el lago a las aportaciones es del orden de dos meses.
- Aguas abajo de Puente Internacional, el río Desaguadero va incrementando sus recursos debido a los aportes laterales que recibe. Así la aportación media sube en Calacoto (antes de la confluencia con el Mauri) a 1636 hm³/año, en Ulloma 2433 hm³/año y en Chuquiña 2807 hm³/año. En este mismo sentido, es decir de aguas arriba hacia aguas abajo, los caudales que se incorporan al Desaguadero tienen el efecto de reducir la variabilidad interanual (el coeficiente de variación disminuye desde 1,32 en Puente Internacional hasta 0,72 en Chuquiña) y de aumentar la mensual (la relación entre los meses extremos sube desde 2,7 hasta 4,2). Un efecto adicional que se observa es que el mes de máxima aportación

se adelanta hasta situarse en febrero, respondiendo al período de aguas altas de los afluentes laterales, mientras que el mes de mínima aportación se mantienen en noviembre debido a la influencia del lago Titicaca.

- Las cifras relativas a la evolución de los aportes del río Desaguadero a lo largo de su recorrido entre Puente Internacional y Chuquiña ponen en evidencia que en términos de valores promedio se produce un incremento neto de 1700 hm³/año, o expresado de otra forma, el caudal pasa de 35 a casi 90 m³/s. De esta ganancia total, el río Mauri es sólo responsable de algo menos de un 35% (586 hm³), el Alto Desaguadero entre Calacoto y Puente Internacional (tramo en el que confluyen los ríos Callaccame, Llinqui y Jacha-Mauri) de un 31%, la intercuenca entre las dos estaciones de Calacoto y la de Ulloma (cuyo tributario principal es el río Caranguilla) de un 12%, y el 22% restante corresponde a la aportación de la cuenca intermedia entre Ulloma y Chuquiña.

En lo referente a las aportaciones totales al lago Titicaca (incluida la precipitación directa), en el período 1920-1992 (Figura 19), la aportación media interanual es de 13759 hm³, lo que equivale a un caudal de 436 m³/s. Dicha aportación media es inferior en un 7% a la correspondiente al período 1960-1990 (14858 hm³).

Los meses de mayor aportación total son los de febrero, enero y marzo con 3057, 2902 y 2416 hm³ respectivamente (ó 1252, 1083 y 902 m³/s).

En el extremo opuesto se sitúan julio, junio y agosto por este orden, con 155, 182 y 191 hm³ (ó 58, 70 y 71 m³/s). Por lo tanto la relación de aportaciones entre meses extremos se puede cifrar, a nivel medio, en torno a un valor de 20.

2.3.2.3 Sequías fluviales

En cuanto a los estiajes anuales que ocurren en los cursos fluviales del sistema, se han evaluado considerando los estiajes anuales promedio de 1 día, 7 días consecutivos y 15 días consecutivos respectivamente (Cuadro 5):

- Tanto para períodos de retorno elevados como para tiempos de retorno menores, los estiajes anuales más importantes - desde 1 día hasta 15 días consecutivos - corresponden al río Coata, seguidos por el Ramis. Estas conclusiones han de ser tomadas con cierta cautela ya que las series de caudales máximos históricos en Puente Maravillas son notablemente más cortas (16 años frente a 26-27) y menos fiables.
- Los estiajes del río Ramis en la estación de Puente Ramis, en particular para duraciones de 15 días consecutivos, tienen valores de caudales mínimos relativamente reducidos que, para una recurrencia de 100 años supone en torno a un 150% de los del río llave y nueve veces los del río Coata. Estos resultados se justifican plenamente por la enorme capacidad de retención de su cuenca, verificado mediante un reconocimiento aéreo. Esta capacidad de retención se debe en parte a los extensos bofedales y zonas de inundación existentes en la cuenca (sectores de Progreso, Azángaro, Ayaviri...).

CUADRO 5 : CAUDALES MINIMOS DE 1,7 Y 15 DIAS CONSECUTIVOS PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

CAUDALES MAXIMOS DIARIOS (m³/s)

| CODIGO | CUENCA | ESTACION | N° AÑOS | PERIODO DE RETORNO (AÑOS) | | | | | AJUSTE |
|--------|----------|------------------|------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| | | | | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | |
| ESCO | SUCHEZ | ESCOMA (SUCHEZ) | 10 | 0.331 | 0.198 | 0.144 | 0.118 | 0.110 | EXT - III - SD |
| HUAN | HUANCANE | PUNTE HUANCANE | 26 | 0.909 | 0.741 | 0.637 | 0.554 | 0.518 | EXT - III |
| RAM | RAMIS | PUNTE RAMIS | 26 | 2.781 | 1.888 | 1.388 | 1.056 | 0.919 | EXT - III |
| COAT | COATA | PUNTE MARAVILLAS | 17 | 0.662 | 0.483 | 0.371 | 0.280 | 0.237 | EXT - III |
| ILAV | ILAVE | PUNTE CARRETERA | 26 | 2.550 | 1.946 | 1.550 | 1.215 | 1.050 | EXT - III |
| MAUR | MAURI | CALACOTO | 11 | 1.933 | 1.439 | 1.102 | 0.804 | 0.651 | EXT - III |

CAUDALES MINIMOS 7 DIAS CONSECUTIVOS (m³/s)

| CODIGO | CUENCA | ESTACION | N° AÑOS | PERIODO DE RETORNO (AÑOS) | | | | | AJUSTE |
|--------|----------|------------------|------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| | | | | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | |
| ESCO | SUCHEZ | ESCOMA (SUCHEZ) | 10 | 0.657 | 0.536 | 0.489 | 0.467 | 0.461 | EXT - III - SD |
| HUAN | HUANCANE | PUNTE HUANCANE | 26 | 1.013 | 0.785 | 0.65 | 0.532 | 0.46 | EXT - III |
| RAM | RAMIS | PUNTE RAMIS | 26 | 3.351 | 2.561 | 2.165 | 1.915 | 1.825 | EXT - III |
| COAT | COATA | PUNTE MARAVILLAS | 17 | 0.734 | 0.535 | 0.407 | 0.3 | 0.249 | EXT - III |
| ILAV | ILAVE | PUNTE CARRETERA | 26 | 2.806 | 2.175 | 1.761 | 1.411 | 1.239 | EXT - III |
| MAUR | MAURI | CALACOTO | 11 | 2.922 | 2.271 | 1.748 | 1.191 | 0.848 | EXT - III |

CAUDALES MINIMOS 15 DIAS CONSECUTIVOS (m³/s)

| CODIGO | CUENCA | ESTACION | N° AÑOS | PERIODO DE RETORNO (AÑOS) | | | | | AJUSTE |
|--------|----------|------------------|------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| | | | | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | |
| ESCO | SUCHEZ | ESCOMA (SUCHEZ) | 10 | 0.739 | 0.634 | 0.595 | 0.579 | 0.574 | EXT - III - SD |
| HUAN | HUANCANE | PUNTE HUANCANE | 26 | 1.063 | 0.830 | 0.673 | 0.536 | 0.476 | EXT - III |
| RAM | RAMIS | PUNTE RAMIS | 26 | 3.620 | 2.753 | 2.306 | 2.014 | 1.905 | EXT - III |
| COAT | COATA | PUNTE MARAVILLAS | 17 | 0.791 | 0.561 | 0.407 | 0.275 | 0.208 | EXT - III |
| ILAV | ILAVE | PUNTE CARRETERA | 26 | 3.018 | 2.338 | 1.880 | 1.480 | 1.278 | EXT - III |
| MAUR | MAURI | CALACOTO | 11 | 3.331 | 2.644 | 2.075 | 1.449 | 1.051 | EXT - III |

- Un rasgo común a todos los afluentes principales del lago Titicaca es la persistencia de sus estiajes y sequías; los períodos de aguas bajas son bastante sostenidos en el tiempo. Dada la diferencia de área y de retención entre las diferentes cuencas, el carácter generalizado de este aspecto revela que su origen está en el régimen de precipitaciones extremas mínimas, que responde asimismo a situaciones duraderas.
- En el río Suchez no se presentan estiajes importantes en el sector de Escoma; debido a la enorme capacidad de retención del sector Layune-Jautuma-Chejullo frente a la magnitud de los recursos que recibe.
- Los estiajes extremos del Bajo Desaguadero son producidos principalmente por la reducción del nivel del lago Titicaca. Estos estiajes prolongados afectan la supervivencia de los lagos Poopó y Uru-Uru, pues no llegan a ellos los aportes de agua requeridos para preservar los niveles necesarios a estos almacenamientos.

2.3.2.4 Avenidas

Se han evaluado los caudales máximos que se producen en los cursos fluviales del sistema T.D.P.S., con duración de 1, 2, 3 y 7 días y para distintos períodos de retorno (Cuadro 6); en lo relativo a avenidas se puede indicar:

- Para períodos de retorno elevados, las avenidas más importantes corresponden al río Coata, seguidas de las del río llave; el orden se invierte para eventos de tiempos de retorno menores. Este efecto en el río Coata, a pesar de que su cuenca vertiente hasta la estación de aforos en Puente Maravillas representa sólo un 31% de la del río Ramis y un 59% de la del llave, está ligado fundamentalmente con su régimen de precipitaciones (es la cuenca más lluviosa), su inferior tiempo de concentración (la mitad que el del llave y la tercera parte que el del Ramis) y su menor capacidad de laminación. De cualquier forma estas conclusiones han de ser tomadas con cierta cautela ya que las series de caudales máximos históricos en Puente Maravillas son notablemente más cortas (16 años frente a 26-27) y menos fiables.
- Las avenidas del río Ramis en la estación de Puente Ramis, tienen valores de caudales máximos relativamente reducidos que, para una recurrencia de 1000 años, suponen en torno a un 50% de los de los ríos Coata e llave. Estos resultados, se deben a la enorme capacidad de laminación de su cuenca, La capacidad de laminación se debe por una parte a los extensos bofedales y zonas de inundación existentes (sectores de Progreso, Azángaro, Ayaviri...) y, por otra parte, a la limitada capacidad de conducción del cauce, con caudales que desbordan y no retornan al mismo (por ejemplo, los que son transferidos a la laguna de Arapa). Por lo tanto, las avenidas que tienen su origen en aguaceros intensos tienen gran incidencia en la cuenca media del Ramis, mientras que en la cuenca baja las situaciones más dañinas se deben a inundaciones debidas, en los peores casos, a la coincidencia de caudales importantes del río y niveles altos del lago Titicaca.

CUADRO 6: CAUDALES MAXIMOS DE 1,2,3 Y 7 DIAS PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

CAUDALES MAXIMOS DIARIOS (m3/s)

| COD. | ESTACION | N° AÑOS | PERIODO DE RETORNO (Años) | | | | | | AJUSTE (1) | |
|------|------------------------|---------|---------------------------|-----|-----|------|------|------|------------|------------|
| | | | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 500 | | 1000 |
| RAMI | PUENTE RAMIS | 27 | 462 | 518 | 581 | 624 | 664 | 748 | 782 | LP (-0.30) |
| HUAN | PUENTE HUANCANE | 26 | 104 | 235 | 290 | 331 | 374 | 478 | 525 | LP (0.00) |
| COAT | PUENTE MARAVILLAS | 16 | 498 | 635 | 823 | 973 | 1130 | 1534 | 1723 | LP (0.00) |
| ILAV | PUENTE ILAVE | 26 | 626 | 772 | 943 | 1060 | 1168 | 1402 | 1491 | LP (-0.60) |
| ESCO | ESCOMA (SUCHEZ) | 10 | 72 | 80 | 90 | 96 | 103 | 117 | 123 | LP (0.00) |
| PTEI | PUENTE INTERNACIONAL | 23 | 112 | 178 | 277 | 360 | 447 | 671 | 789 | LP (-0.60) |
| ABAM | ABAROA MAURI | 22 | 58 | 72 | 91 | 106 | 120 | 153 | 166 | LP (-0.40) |
| ABAC | ABAROA CAQUENA | 12 | 46 | 60 | 78 | 91 | 105 | 135 | 148 | G |
| CALM | CALACOTO MAURI | 9 | 185 | 234 | 295 | 341 | 388 | 490 | 535 | G |
| CALD | CALACOTO DESAGUADERO | 21 | 181 | 246 | 340 | 420 | 507 | 745 | 862 | LP (0.00) |
| ULLO | ULLOMA | 11 | 423 | 502 | 602 | 677 | 753 | 933 | 1013 | LP (0.00) |
| | INTERCUENCIA CALD-PTEI | 18 | 184 | 255 | 362 | 453 | 555 | 838 | 981 | LP (0.00) |

CAUDALES MAXIMOS 2 DIAS CONSECUTIVOS (m3/s)

| COD. | ESTACION | N° AÑOS | PERIODO DE RETORNO (Años) | | | | | | AJUSTE (1) | |
|------|------------------------|---------|---------------------------|-----|-----|-----|------|------|------------|------------|
| | | | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 500 | | 1000 |
| RAMI | PUENTE RAMIS | 27 | 446 | 497 | 555 | 595 | 631 | 708 | 739 | LP (-0.30) |
| HUAN | PUENTE HUANCANE | 26 | 185 | 225 | 277 | 317 | 358 | 457 | 502 | LP (0.00) |
| COAT | PUENTE MARAVILLAS | 16 | 478 | 610 | 791 | 935 | 1087 | 1476 | 1659 | LP (0.00) |
| ILAV | PUENTE ILAVE | 26 | 575 | 716 | 882 | 997 | 1104 | 1336 | 1425 | LP (-0.60) |
| ESCO | ESCOMA (SUCHEZ) | 10 | 68 | 76 | 85 | 92 | 98 | 112 | 118 | LP (0.00) |
| PTEI | PUENTE INTERNACIONAL | 23 | 109 | 174 | 272 | 354 | 440 | 662 | 760 | LP (-0.60) |
| ABAM | ABAROA MAURI | 22 | 52 | 67 | 86 | 100 | 113 | 145 | 159 | LP (-0.40) |
| ABAC | ABAROA CAQUENA | 12 | 42 | 55 | 71 | 84 | 96 | 124 | 136 | G |
| CALM | CALACOTO MAURI | 9 | 158 | 200 | 240 | 285 | 322 | 407 | 444 | G |
| CALD | CALACOTO DESAGUADERO | 21 | 169 | 227 | 311 | 381 | 457 | 662 | 762 | LP (0.00) |
| ULLO | ULLOMA | 11 | 404 | 481 | 579 | 652 | 726 | 902 | 981 | LP (0.00) |
| | INTERCUENCIA CALD-PTEI | 18 | 173 | 239 | 337 | 421 | 513 | 770 | 898 | LP (0.00) |

CAUDALES MAXIMOS 3 DIAS CONSECUTIVOS (m3/s)

| COD. | ESTACION | N° AÑOS | PERIODO DE RETORNO (Años) | | | | | | AJUSTE (1) | |
|------|------------------------|---------|---------------------------|-----|-----|-----|------|------|------------|------------|
| | | | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 500 | | 1000 |
| RAMI | PUENTE RAMIS | 27 | 438 | 488 | 545 | 584 | 620 | 696 | 726 | LP (-0.30) |
| HUAN | PUENTE HUANCANE | 26 | 176 | 214 | 264 | 303 | 342 | 438 | 481 | LP (0.00) |
| COAT | PUENTE MARAVILLAS | 16 | 456 | 583 | 759 | 899 | 1047 | 1428 | 1607 | LP (0.00) |
| ILAV | PUENTE ILAVE | 26 | 532 | 659 | 810 | 914 | 1010 | 1219 | 1299 | LP (-0.60) |
| ESCO | ESCOMA (SUCHEZ) | 10 | 66 | 73 | 82 | 89 | 95 | 109 | 115 | LP (0.00) |
| PTEI | PUENTE INTERNACIONAL | 23 | 107 | 171 | 268 | 349 | 435 | 656 | 753 | LP (-0.60) |
| ABAM | ABAROA MAURI | 22 | 50 | 64 | 83 | 97 | 110 | 142 | 155 | LP (-0.40) |
| ABAC | ABAROA CAQUENA | 12 | 40 | 52 | 68 | 80 | 92 | 119 | 130 | G |
| CALM | CALACOTO MAURI | 9 | 150 | 187 | 234 | 269 | 303 | 363 | 418 | G |
| CALD | CALACOTO DESAGUADERO | 21 | 163 | 217 | 295 | 360 | 431 | 619 | 711 | LP (0.00) |
| ULLO | ULLOMA | 11 | 376 | 446 | 534 | 600 | 666 | 824 | 893 | LP (0.00) |
| | INTERCUENCIA CALD-PTEI | 18 | 167 | 230 | 323 | 402 | 490 | 732 | 853 | LP (0.00) |

CAUDALES MAXIMOS 7 DIAS CONSECUTIVOS (m3/s)

| COD. | ESTACION | N° AÑOS | PERIODO DE RETORNO (Años) | | | | | | AJUSTE (1) | |
|------|------------------------|---------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------------|------------|
| | | | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 | 500 | | 1000 |
| RAMI | PUENTE RAMIS | 27 | 414 | 462 | 517 | 554 | 588 | 662 | 691 | LP (-0.30) |
| HUAN | PUENTE HUANCANE | 26 | 152 | 185 | 228 | 261 | 294 | 376 | 413 | LP (0.00) |
| COAT | PUENTE MARAVILLAS | 16 | 391 | 497 | 641 | 757 | 878 | 1187 | 1332 | LP (0.00) |
| ILAV | PUENTE ILAVE | 26 | 438 | 545 | 672 | 759 | 841 | 1018 | 1086 | LP (-0.60) |
| ESCO | ESCOMA (SUCHEZ) | 10 | 61 | 67 | 75 | 80 | 86 | 98 | 103 | LP (0.00) |
| PTEI | PUENTE INTERNACIONAL | 23 | 104 | 166 | 262 | 341 | 426 | 643 | 740 | LP (-0.60) |
| ABAM | ABAROA MAURI | 22 | 42 | 54 | 69 | 81 | 92 | 118 | 130 | LP (-0.40) |
| ABAC | ABAROA CAQUENA | 12 | 32 | 43 | 56 | 66 | 76 | 99 | 109 | G |
| CALM | CALACOTO MAURI | 9 | 119 | 147 | 184 | 210 | 237 | 299 | 325 | G |
| CALD | CALACOTO DESAGUADERO | 21 | 150 | 202 | 278 | 340 | 409 | 593 | 684 | LP (0.00) |
| ULLO | ULLOMA | 11 | 328 | 390 | 469 | 529 | 589 | 733 | 797 | LP (0.00) |
| | INTERCUENCIA CALD-PTEI | 18 | 152 | 209 | 293 | 365 | 444 | 663 | 772 | LP (0.00) |

(1) LP: Log Pearson III ; G: Gumbel ; (n): Coeficiente de asimetrica de logaritmos.

- En el río Suchez no se generan crecidas importantes en el sector de Escoma; la razón primordial reside en la enorme capacidad de laminación del sector Layune-Jautuma-Chejullo frente a la magnitud de los recursos que recibe.
- Un rasgo común a todos los afluentes principales del lago Titicaca es la persistencia de sus avenidas; los episodios de aguas altas son sostenidos en el tiempo. Dada la diferencia de tamaño y de tiempos de concentración entre las diferentes cuencas, el carácter generalizado de este rasgo revela que su origen está en el régimen de precipitaciones extremas, que responde asimismo a situaciones duraderas.
- El río Mauri no es un gran generador de avenidas, y su contribución a los eventos extremos que sufre el bajo Desaguadero no es determinante. El caudal máximo diario del río Mauri en Calacoto para un período de retorno de 1000 años apenas sobrepasaría los 500 m³/s, lo que supone aproximadamente una tercera parte de los correspondientes a los ríos Coata e llave, y ello a pesar de que su cuenca vertiente (próxima a los 10.000 Km³) es muy superior. Además, el contraste con los valores que se tienen en las dos estaciones de Abaroa sugiere que las principales crecidas del río en la confluencia con el Desaguadero tienen su origen en la subcuenca del río Blanco. Estas conclusiones confirman la influencia que sobre el régimen de avenidas del río Mauri tienen los fenómenos de laminación en bofedales y de infiltración en acuíferos aluviales.
- Más significativa que la contribución del río Mauri a las crecidas del Desaguadero es la de la intercuenca entre Puente Internacional y la estación de Calacoto en la que confluyen los ríos Callaccame, Llinqui y Jacha Mauri. A pesar de que los valores obtenidos han de ser considerados como aproximaciones por defecto (por tratarse de caudales laminados en las lagunas de Aguallamaya y Nazacara), éstos muestran que las avenidas de dichos ríos pueden ser particularmente violentas, aproximándose a los 500 m³/s para un período de retorno de 50 años y a 1000 m³/s para 1000 años. De hecho, en la serie histórica, con sólo 18 años de registro, ya se ha producido un evento de caudal máximo superior a 400 m³/s. En este punto, conviene recordar que dado que en la época en que tienen lugar las crecidas de estos ríos (enero-febrero-marzo) el lago Titicaca no se encuentra aún en sus niveles máximos, una parte de los caudales pueden penetrar en el propio lago, produciendo flujos negativos que han superado ampliamente los 100 m³/s.
- Los valores de avenidas estimados en Puente Internacional (en torno a 770 m³/s para T = 1000 años) son puramente orientativos, dadas las características estadísticas de la muestra utilizada para su evaluación (autocorrelación positiva).
- No sucede lo mismo con las estaciones ubicadas aguas abajo (Calacoto-Desaguadero y Ulloma), cuyos valores pueden considerarse como aproximaciones válidas ya que los caudales máximos registrados en las mismas dependen fundamentalmente del régimen de avenidas en los tributarios (Callaccame, Llinqui, Mauri, Caranguilla...). Este hecho es el que explica la aparente incongruencia entre los valores en Puente Internacional y Calacoto-Desaguadero, donde se produce un incremento poco sustancial en los caudales

máximos a pesar de que entre ambas estaciones se incorporan las avenidas de importantes afluentes.

Estas últimas y no los caudales desaguados por el lago (cuyos máximos se dan algunos meses más tarde) son los que justifican los valores alcanzados en la estación de aforos de Calacoto.

- Las avenidas extremas del Bajo Desaguadero son producidas por las crecidas de los tributarios. Sin embargo, dada la gran extensión de los lagos Poopó y Uru-Uru, dichas avenidas no transportan el volumen de agua requerido para llevar a estos almacenamientos a una situación límite, efecto que si consigue el carácter sostenido de las descargas del lago Titicaca en período de aguas altas.

2.4 HIDROGEOLOGIA

2.4.1 Estudios realizados

El estudio hidrogeológico ha tenido como objetivo principal la interpretación de las relaciones que condicionan la circulación hídrica subterránea en el sistema TDPS, así como la evaluación de los recursos hídricos del subsuelo.

Durante el estudio se han desarrollado:

- Investigaciones bibliográficas de documentos hidrogeológicos en el área de los estudios.
- Misiones de campo y trabajos de gabinete para control de parámetros hidrogeológicos, por medio de una serie de mediciones directas (niveles de agua, caudales y conductividad eléctrica) en 882 puntos oportunamente elegidos, de los cuales 132 fueron utilizados en la red de control de los acuíferos.
- Elaboración de los mapas hidrogeológicos del sistema T.D.P.S. a escala 1:250.000, que han permitido definir los siguientes elementos:
 - . Comportamiento del flujo hídrico, direcciones y gradiente.
 - . Potencialidad de los acuíferos
 - . Calidad de las aguas
 - . Delimitación de los acuíferos, acuitardos y acuíclados así como la evaluación de los recursos.

También se ha elaborado un mapa que agrupa las diferentes formaciones geológicas en función de su permeabilidad (capacidad de absorción, almacenaje y restitución de aguas), representándose no sólo las características litológicas, sino también el volumen relativo (espesor y superficie) y la posición estratigráfica y morfológica de las formaciones aflorantes. Este estudio ha sido utilizado también como herramienta de trabajo en los estudios geomorfológicos.

En los mapas elaborados se han identificado las siguientes unidades:

- Terrenos del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico y sus correspondientes subdivisiones.

En estos terrenos la escorrentía superficial es importante y la red hidrográfica está bien desarrollada. Los flujos hídricos subterráneos, por la presencia de las evaporitas, pueden estar cargados de sales disueltas con valores elevados de conductividad.

- Terrenos de edad mesozoica, cenozoica y cuaternaria, constituidos por rocas tal vez muy fracturadas (areniscas, calizas, lavas, tobas volcánicas y rocas intrusivas) con afloramientos de superficies importantes. Estos terrenos pueden representar acuíferos continuos aunque, tal vez, de espesor limitado.
- Terrenos de edad plio-pleistocénica y recientes que generalmente rellenan los valles y las planicies aluviales.

Estos terrenos constituyen acuíferos continuos generalizados que, por la fuerte variabilidad de las características de permeabilidad, pueden estar fraccionados en subacuíferos aislados, libres y confinados.

Durante el estudio se inventariaron, a partir de la documentación existente y de investigación directa, 822 fuentes de agua, es decir: pozos someros a tajo abierto, perforaciones o pozos tubulares, manantiales y manifestaciones de aguas termales (Geotermia).

Las manifestaciones termales se encuentran a lo largo de la Cordillera Oriental y las aguas están muy mineralizadas, con temperaturas que alcanzan hasta 75°C.

Como final de los estudios hidrogeológicos se ha realizado un inventario de fuentes de aguas subterráneas, control y evaluación de fuentes, pruebas de bombeo y control de calidad.

2.4.2 Diagnóstico hidrogeológico

La morfología de las napas, establecida a partir de las curvas de hidroisohipsas, muestra que los flujos subterráneos, siguen sentidos impuestos por las configuraciones de los reservorios acuíferos, la localización de las áreas de recarga y sus niveles de base. Así en las cuencas de los ríos Huancané, Ramis, Coata, Illpa, llave, Parco (sector Peruano) y Tiwanacu, Catari, (sector Boliviano), las napas escurren hacia el lago Titicaca con gradientes hidráulicos promedios de 1% a 0,1%.

A lo largo del río Desaguadero las napas, de menor importancia, escurren hacia el río.

Se puede afirmar que todos los sistemas hídricos subterráneos escurren hacia la red hidrográfica y que desde un punto de vista hidrogeológico el sistema T.D.P.S. es endorreico. Ni el lago Titicaca ni los otros elementos del sistema tienen fugas. Los acuíferos en general, representan una parte muy limitada del total de la cuenca.

En períodos de aguas altas puede verificarse, en tramos particulares, una transferencia de aguas desde el Desaguadero hacia los acuíferos subterráneos.

El agua que circula en los acuíferos y que se mueve hacia la red hidrográfica se pierde en parte por evaporación. El volumen total de agua que desde el subsuelo pasa al sistema, no supera los 3 m³/s.

La calidad del agua subterránea en los acuíferos, del sector peruano varía entre regular a muy buena. Sin embargo en algunas zonas por condiciones geológicas localizadas las aguas presentan calidades con ciertas características restrictivas para consumo humano e irrigación, como sucede en la cuenca del río Illpa.

En la actualidad los mayores volúmenes de explotación del agua subterránea corresponden a los pozos tubulares destinados al abastecimiento de agua de localidades o ciudades como es el caso de las ciudades de El Alto y la ciudad de Oruro en Bolivia; siguiendo en orden de importancia los de uso industrial, agrícola y doméstico-pecuario familiar en las comunidades campesinas.

Los estados de confinamiento o semi-confinamiento que se presentan en uno o más niveles de profundidad de los acuíferos, determinan niveles piezométricos que alcanzan la superficie del suelo o la superan hasta más de 2,0 m de altura como ocurre en la cuenca del río Catari en el sector boliviano.

Las características hidrodinámicas de los acuíferos explorados, determinadas a partir de las pruebas de bombeo realizadas, muestran que en algunos acuíferos del sector peruano las transmisividades alcanzan valores del orden de 120 a 5.600 m²/día ($1,4 \times 10^{-3}$ a $6,5 \times 10^{-2}$ m²/s), mientras que en el sector boliviano se tiene un rango de 1 a 750 m²/día (10^{-5} a $8,7 \times 10^{-3}$ m²/s).

Los valores de coeficientes de almacenamiento, establecidos para las cuencas del sector boliviano, corresponden a acuíferos, de confinados a semiconfinados, y también libres con un rango de 10^{-2} a 10^{-10} .

Con los resultados de los ensayos a caudal variable se han determinado los rendimientos óptimos de los acuíferos y sus capacidades específicas. En el sector peruano, los valores varían, desde 4 a más de 100 l/s con capacidades específicas de 0,3 a 5 l/s/m. En el sector boliviano de 2 a 75 l/s con capacidades específicas de 0,3 a 4 l/s/m.

En el cuadro 7 se dá un resumen de las principales características hidrogeológicas de las zonas exploradas en el sistema T.D.P.S.

La conductividad eléctrica varía entre 120 a 1300 micromhos/cm a + 25° y en sectores localizados alcanza valores de 2000 a 5900 micromhos/cm a + 25° C.

En el sector boliviano la calidad del agua es también variable en el espacio, dependiendo de las condiciones geológicas de cada cuenca, y de las características de las fuentes de recarga de los acuíferos. Existen aguas con calidades que van desde aceptables a muy buenas para consumo humano, agrícola y otros usos sobre todo en los pozos profundos;

CUADRO 7: PRINCIPALES CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LAS ZONAS EXPLORADAS

| ZONA | NOMBRE | MAPA HIDRO- GEOLOGICO | ESTADO DE LAS NAPAS | ESPESOR DE LOS ACUIFEROS (m) | PROF. DEL NIVEL DEL AGUA EN REPOSO (m) | CONDUCT. ELECT. DEL AGUA (m mhos/cm a +25°C) | TRANSMISI- BILIDAD (m ² /días) | POROSIDAD EFICAZ/COEF. DE ALMAC. | CAUDAL NAT. CIRCUL. EN LOS ACUIFEROS (l/s) |
|------|--|-----------------------------|---------------------------|---|---|--|---|--|---|
| 1 | CUENCA BAJA DEL RIO RAMIS | EHG - 003 | LIBRE | 40 - 60 | 2 - 13.5 | 200 - 1.800 | 112 - 1.123 | --- | 110 |
| 2 | CUENCA MEDIA Y BAJA DEL RIO COATA | EHG - 003 | LIBRE | 30 - 85 | 2.5 - 4.5 | 160 - 1.300 | 198 - 1.115 | --- | 10 |
| 3 | CUENCA MEDIA Y BAJA DEL RIO ILLPA | EHG - 003 | LIBRE | 22 - 76 | 2 - 9 | 1.600 - 2.700 | 259 - 1.495 | --- | 25 |
| 4 | SECTOR ACORA - PLATERIA - AZIRUNI | EHG - 003 | LIBRE * A PRESION | 50 - 100 | 2 - 5 -0.20 | 340 - 850 | --- | --- | 5 |
| 5 | CUENCA ALTA Y MEDIA DEL RIO ILAVE | EHG - 003 | LIBRE | 30 - 100 | 2 - 19 | 170 - 880 | 550 - 1.040 | --- | 200 |
| 6 | CUENCA BAJA DE LOS RIOS ILAVE Y ZAPATILLA | EHG - 004 | LIBRE | 40 - 70 | 1.5 - 4.5 | 130 - 620 | 536 - 5.616 | --- | 24 |
| 7 | CUENCA TITICACA - KEKA SECTOR ACHACACHI | EHG - 004 | LIBRE * A PRESION | Prof. Expl. 311 m | -1.30 2 - 3 | 180 - 460 | 303 | 2.3 E-3 | 80 |
| 8 | CUENCA TITICACA - PEÑAS | EHG - 004 | LIBRE * A PRESION | 85 - 130 | 0 - 8 -1 a -3 | 125 - 410 | 80 - 120 | 2 E -4 a 1 E -2 | 20 |
| 9 | SECTOR ANCOPUTO - PATACOLLO | EHG - 005 | LIBRE * A PRESION | 50 - 130 ** | 2 - 8 | 170 - 200 | 32 - 337 | 1 E -3 | 14 |
| 10 | SECTOR CCALLACAME-JACHA MAURI | EHG - 005 | LIBRE | --- | 0 - 4 | 200 - 4.300 | --- | 1 E-3 a 5 E-2 | 32 |
| 11 | SECTORES PUCARANI - EL ALTO - VIACHA | EHG - 006 | LIBRE A PRESION | 160 - 316 | 0.5 - 30 -0.6 a -2.6 | 90 - 450 | 30 - 355 | 3.6 E -10 a 8 E -3 | 750 |
| 12 | CUENCA MEDIA Y BAJA DEL RIO CATARI | EHG - 006 | LIBRE A PRESION | --- | -1 a -2 1 a 2 | 210 - 1.000 | 469 | 2.7 E -7 | 31 |
| 13 | CUENCA BAJA DEL RIO TIWANACU | EHG - 006 | LIBRE A PRESION | Prof. Expl. 311 m | 0 1 a 2 | 610 - 1.000 | 133 - 252 | 3.7 E -5 | 60 - 70 |
| 14 | CUENCA MEDIA DEL RIO DESAGUADERO MARGEN IZQUIERDA | EHG - 006 | LIBRE | --- | 1 - 13 | 180 - 1.900 | --- | --- | 10 - 90 |
| 15 | SUBCUENCA RIO JACHA JAHUIRA | EHG - 006 | LIBRE | --- | 1 - 2 | 430 - 920 | --- | --- | 10 - 15 |
| 16 | CUENCA ALTA DEL RIO DESAGUADERO MARGEN IZQUIERDA | EHG - 006 | LIBRE | --- | 3 - 10 | 870 - 2.350 | --- | --- | Escasas decenas de l/s |
| 17 | CUENCA MEDIA DEL RIO DESAGUADERO MARGEN DERECHA | EHG - 009 | LIBRE | --- | 1 - 9 | 1.120 - 5.200 | 16 - 35 | --- | Escasas decenas de l/s |
| 18 | CUENCA POOPO-COIPASA SECTOR ORURO | EHG - 010 | LIBRE A PRESION | 60 - 65 | -0.2 3.5 a 11 | 820 - 2030 | 0.4 - 183 | 2.5 E -6 a 4.1 E -2 | Menor de 200 l/s |

(*) : Estados de presion localizados

(**) : Espesores estimados con prospeccion geofisica.

pero también en algunas cuencas se tienen aguas con ciertas limitaciones para su uso, como sucede en algunos sectores del río Desaguadero. La conductividad eléctrica (CE) varía entre 80 y 5200 micromhos/cm a + 25°C.

Todas las zonas meridionales tienen aguas muy salobres con valores que alcanzan fácilmente los 10.000-15.000 micromhos/cm a + 25°C de conductividad.

Un incremento de la explotación del agua subterránea es aceptable porque, aún con una explotación más intensiva, se pueden reducir las pérdidas por evaporación y se puede aumentar la recarga de los acuíferos.

Los acuíferos importantes se localizan en las cuencas bajas del Coata, Ramis e llave, en las cercanías de Copacabana junto al lago y en las estribaciones de la Cordillera Oriental desde el lago Titicaca (Huatajata y Batallas) hasta Oruro. Una sobre-explotación de aguas subterráneas en las zonas junto al lago será beneficiosa a la explotación global de los recursos hídricos por dos motivos:

- Reducirán las pérdidas por evaporación; al estar el acuífero muy superficial parte de las aguas se evaporan.
- Al bombear aguas subterráneas el nivel freático disminuirá, consiguientemente las aguas de lluvia se infiltrarán al no estar el acuífero saturado, con lo cual se aumentará la recarga de los mismos.

En las zonas de Huatajata y Batallas los pozos podrán ser artesianos, ya que existen acuíferos surgentes.

Las zonas cercanas a la cordillera oriental, no influirán en la gestión de recursos hídricos superficiales por estar alejadas de las zonas de gestión de estos recursos.

2.5 GEOMORFOLOGIA

2.5.1 Estudios realizados

Los estudios se han desarrollado en dos niveles:

- Investigación regional de toda la cuenca, con una superficie total de 143.900 Km² (de los cuales 12.000 están ocupados por el agua). Los resultados se reflejan en mapas a escala 1:250.000
- Investigación local, en la cuenca del río Desaguadero, con una superficie total de 26.000 Km², y preparación de un mapa geomorfológico a escala 1:100.000.

Los documentos de base utilizados en la fotointerpretación han sido:

- Imágenes de satélite, de todo el sistema TDPS
- Fotografías aéreas, de la cuenca del río Desaguadero
- Mapas topográficos

Las imágenes utilizadas son las de satélite LANDSAT 5, elegidas entre las disponibles en el "Instituto de Pesquisas Espaciais" (INPE) de San Pablo (Brasil), considerando la cobertura de nubes y la fecha en que fueron obtenidas. Dado que las mismas imágenes debían utilizarse para los mapas de la cobertura del suelo, se procuró seleccionar las que habían sido obtenidas durante los meses en que la vegetación está más desarrollada (verano-otoño). La cobertura del área en estudio está constituida por 12 láminas. Las imágenes utilizadas son las obtenidas por medio del sensor Thematic Mapper (TM) del Landsat. Se trata de un barredor multiespectral, con resolución geométrica de 30 m. al nivel del suelo, que toma las imágenes con 7 canales espectrales separados, en lo visible y en el infrarrojo cercano, con un canal en el infrarrojo térmico. El producto elegido para el trabajo fue el de composición a colores, sobre un soporte fotográfico de los canales 4, 5 y 3, representados, respectivamente, por el rojo, el verde y el azul.

Se utilizaron fotografías aéreas para el estudio más detallado de la cuenca del río Desaguadero. La cobertura del área está constituida por un total de 2.039 fotografías, de las cuales:

1.315 en Bolivia, de la década de los '60, a escala 1:60.000

372 en Bolivia, de 1983, a escala 1:45.000

351 en Perú, de 1955, a escala 1:50.000

Como puede observarse, aproximadamente el 80% de las fotografías aéreas tienen más de 20 años y el resto alrededor de 10. No obstante, las imágenes Landsat han permitido obviar gran parte de los inconvenientes derivados de la edad de las fotos. De hecho, para todas las unidades geomorfológicas sujetas a cambios en tiempos breves, por ejemplo, los cursos y cuerpos de agua, bofedales, salares y áreas susceptibles de ser inundadas, la interpretación de las fotografías aéreas ha sido confrontada e integrada con las imágenes Landsat.

En particular, la confrontación con las imágenes de satélite ha sido indispensable para analizar el curso del río Desaguadero, aguas abajo de La Joya un tramo que ha sufrido variaciones importantes en tiempos relativamente recientes, y para los lagos Uru-Uru y Poopó y zonas de bofedales asociadas. Por lo que respecta a estos lagos, los límites de extensión de las aguas son los correspondientes al 28 de marzo de 1990, a excepción de las zonas de bofedales situadas en la ribera norte del lago Uru-Uru, donde la presencia de agua en las imágenes ha sido considerada ocasional.

Los mapas topográficos, constituyen la mejor referencia para posicionar correctamente los datos interpretados a partir de fotografías aéreas e imágenes de satélite. En los trabajos han sido utilizados mapas a escala 1:250.000, que cubren el área de estudio con 16 hojas de 1° x 1°30'. Estas hojas han sido reproducidas y reemsambladas con el objetivo de construir la base topográfica en formato A1: 12 hojas. En el estudio de la cuenca del Desaguadero han sido utilizados los mapas topográficos a escala 1:50.000 de Bolivia, y a escala 1:100.000 de Perú, todos de buena calidad.

Dado que los objetivos principales del proyecto hacen referencia sobre todo a los recursos hídricos, la dinámica de las aguas superficiales, la defensa contra las inundaciones y la erosión, en la elaboración de los mapas geomorfológicos se ha dado mayor importancia a los factores que influyen los fenómenos que tienen que ver con los problemas mencionados y que, por lo tanto, condicionan las respectivas evaluaciones. Dentro de esta óptica, los dos mapas geomorfológicos, a escala 1:250.000 para el sistema TDPS y a escala 1:100.000 para la cuenca del río Desaguadero, se diferencian sólo por el grado de detalle de sus leyendas y, en consecuencia, por el modo de representar los datos que, no obstante, son coherentes entre sí.

La definición de las unidades geomorfológicas, que sintéticamente se definen como resultado de la historia evolutiva, y de la influencia continuada de varios factores, se ha expresado con una coherencia de paisaje fácilmente observable y diferenciable con la visión sinóptica que han ofrecido las fotografías aéreas y las imágenes de satélite.

Los factores que han sido considerados con particular atención en la diferenciación de las unidades geomorfológicas han sido:

Substrato geológico, erosión, formas de relieve y clima.

En la cuenca del río Desaguadero las unidades diferenciadas son:

- Unidades relacionadas con los depósitos de cobertura y con los procesos fluviales actuales y recientes.
- Unidades relacionadas con la terraza fluvio-lacustre.
- Unidades de colina.
- Unidades de la meseta volcánica.
- Unidades de la montaña media
- Unidades de la montaña alta

2.5.2 Diagnóstico geomorfológico

El altiplano y las cordilleras que lo rodean son el resultado de una evolución estructural larga e intensa, que llega hasta tiempos muy recientes, con fenómenos de levantamiento y vulcanismo aún activos.

En particular, el altiplano es el resultado del relleno de una fosa tectónica que puede ser localizada incluso en el cretáceo, que ha recibido grandes cantidades de materiales clásticos, en gran parte continentales y vulcano-sedimentarios, acumulados en espesores fuertes y poco cementados.

La actividad estructural reciente ha deformado estos depósitos, creando las serranías que se encuentran en el interior del altiplano, constituidas por materiales fácilmente

erosionables, y zonas endorreicas de acumulación, sujetas a inundaciones y embalses de agua.

La actividad de levantamiento reciente y todavía en curso ha determinado una dinámica laboriosa de la hidrografía superficial, con variaciones en la forma y localización de las zonas deprimidas; en consecuencia, los depósitos recientes, poco consolidados, se ven expuestos a un ataque erosivo intenso. La misma actividad de levantamiento ha favorecido el desarrollo de un retículo de drenaje bien organizado y muy denso, a lo largo del cual se realizan los fenómenos tanto erosivos como de deposición. En efecto, a lo largo de todos los tramos fluviales se notan trazas de una acción erosiva continua, asociadas con áreas de depósitos y embalse de agua. Esta situación es consecuencia del régimen fluvial, el cual, durante la estación húmeda, presenta crecidas que determinan el transporte veloz de grandes cantidades de materiales, mientras que en la estación seca el agua tiende a embalsarse en las zonas llanas, incluso en el interior de los valles.

El clima de todo el altiplano contribuye a acentuar los efectos de los fenómenos vinculados a la dinámica fluvial y a los procesos erosivos. En efecto, las lluvias son breves y violentas, concentradas en un período de poco más de tres meses. Esto determina una fuerte erosión y transporte sólido en los relieves e, igualmente, inundaciones y depósitos en las áreas deprimidas, resultado de eventos a menudo catastróficos. Durante el resto del año el clima es seco y frío, con heladas nocturnas, que favorecen la disgregación de las rocas, y viento fuerte y frecuente. Los efectos de estos fenómenos se ven acentuados por la ausencia casi total de una cobertura forestal.

Las unidades geomorfológicas se reparten en el sistema tal y como se indica en el Cuadro 8.

2.5.3 Problemática de la geomorfología del sistema T.D.P.S.

Una situación constante en el sistema es la que presentan las zonas llanas o deprimidas, ocupadas por cuerpos de agua y bofedales o simplemente sujetas a inundaciones y embalses periódicos.

Las zonas del fondo de los valles, frecuentes sobre todo a lo largo de los principales cursos tributarios del lago Titicaca (Coata, Ramis, Huancane) o en la parte alta de la cuenca del Mauri, aparentemente aptas para la utilización por parte del hombre, presentan dos importantes tipos de riesgo:

- Durante la estación húmeda están sujetas a aluviones destructivos que, a pesar de que aportan sedimentos, lavan el suelo, empobreciendo su contenido orgánico y destruyendo el uso que se le esté dando.
- El embalse que sigue a las inundaciones limita el uso de estas zonas y la evaporación intensa durante la estación seca contribuye al depósito de sal. En ausencia de una regulación de las aguas, estas áreas están destinadas a un aumento progresivo de la salinidad de los suelos.

Cuadro 8.- Unidades Geomorfológicas en el Sistema T.D.P.S

| SUPER-UNIDAD | Km ² | % del área total | UNIDAD | Km ² | % del área total |
|-------------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|-----------------|------------------|
| AGUA | 12020 | 8,4% | TITICACA | 8310 | 5,8% |
| | | | POOPO-URU URU | 3191 | 2,2% |
| | | | OTRAS | 519 | 0,4% |
| DEPRESIONES | 7288 | 5,1% | SALAR DE COIPASA | 2225 | 1,6% |
| | | | OTRAS | 5063 | 3,5% |
| DEPOSITOS FLUVIO-LACUSTRES | 16240 | 11,3% | VALLES ALUVIALES | 11223 | 7,8% |
| DEPOSITOS DE VERTIENTE | 7696 | 5,3% | LLANURA | 5017 | 3,5% |
| | | | PIEDEMONTE | 7696 | 5,3% |
| EOLICO | 1345 | 0,9% | EOLICO | 1345 | 0,9% |
| TERRAZA FLUVIO-LACUSTRE | 23455 | 16,3% | TERRAZA CONSERVADA | 20448 | 14,2% |
| | | | TERRAZA DEGRADADA | 3007 | 2,1% |
| COLINA DE SEDIMENTARIO | 18374 | 12,8% | COLINA SE.REDONDEADA | 13125 | 9,1% |
| | | | COLINA SED.DISECTADA | 5249 | 3,7% |
| COLINA DE VOLCANICO | 3830 | 2,6% | COLINA VOLC. REDONDEADA | 3106 | 2,1% |
| | | | COLINA VOLC. DISECTADA | 724 | 0,5% |
| MESETA VOLCANICA | 5815 | 4% | MESETA CONSERVADA | 4555 | 3,1% |
| | | | MESETA DISECTADA | 830 | 0,6% |
| | | | MESETA DE TOBAS | 430 | 0,3% |
| MONTAÑA DE SEDIMENTARIO | 21362 | 14,9% | MONTAÑA SED. REDONDEADA | 9005 | 6,3% |
| | | | MONTAÑA SED. DISECTADA | 12357 | 8,6% |
| MONTAÑA DE VOLCANICO | 26196 | 18,2% | MONTAÑA VOLC. REDONDEADA | 22475 | 15,6% |
| | | | MONTAÑA VOLC. DISECTADA | 3721 | 2,6% |
| NIEVE PERENNE | 279 | 0,2% | NIEVE PERENNE | 279 | 0,2% |
| TOTAL SISTEMA TDPS | 143900 | 100% | | | |

Las zonas de terraza o llanura fluvio-lacustre, por ejemplo la llanura de Juliaca, la del Catari, las terrazas de la cuenca del Desaguadero al norte del Mauri, la llanura del río Kheto y la llanura fluvio-lacustre de Oruro, presentan vastas zonas sujetas a inundaciones y al sucesivo embalse, lo cual, también en este caso, evoluciona hacia un enriquecimiento del contenido salino de los suelos. El Salar de Coipasa constituye un ejemplo de estado avanzado de esta evolución.

Otra situación difusa en el altiplano es la que concierne a la capacidad de los suelos para ser utilizados. Las áreas en las que es posible un desarrollo antrópico, en particular agro-forestal, son escasas y se limitan a las zonas de valle aluvial, llanura o terraza fluvio-lacustre y a pocas áreas de glacis. En estas zonas, además de los problemas ya anotados en el sentido de empobrecimiento de los suelos, actúa también el factor climático, limitando fuertemente el desarrollo de la vegetación. Esto significa que la agricultura es extremadamente pobre, pero, sobre todo, que el umbral de sobre-explotación de las zonas de pastoreo es muy bajo. Por lo demás, la sobre-explotación misma contribuye a que este umbral baje progresivamente.

a) Cuenca del Lago Titicaca

En esta zona del sistema TDPS, las áreas de mayor valor, desde el punto de vista del desarrollo territorial, están representadas por las llanuras de la orilla occidental y septentrional del lago, que corresponden a la parte terminal de algunas de las cuencas mayores, como llave, Ilpa, Coata y Ramis. En estas áreas, además de los problemas de inundación, embalse y sobre-explotación mencionados en el punto anterior, existe también el riesgo vinculado a las oscilaciones del mismo Titicaca, sobre cuya evolución el análisis morfológico aún no permite plantear ninguna previsión. La recuperación de las áreas de las orillas del lago y de las zonas de llanura situadas detrás no puede prescindir de una regulación de los cursos de agua que atraviesan dichas áreas. Por lo demás, la regulación también es indispensable si se quieren salvaguardar las zonas del fondo de valle de los mismos ríos.

b) Cuencas del río Desaguadero y del Lago Poopo

Las dos cuencas pueden considerarse un sistema único, pero pueden dividirse en cuatro sub-áreas, con características y problemas particulares.

La sub-área al norte de la confluencia Mauri-Desaguadero presenta dos problemas principales:

- Zonas de terraza lacustre sujetas a inundaciones y embalses de agua, también como consecuencia de los desbordamientos del Desaguadero, con todas las implicaciones ya descritas.
- La vertiente oriental de la cuenca (Serranía de Calacoto), con relieve disectado, drenaje denso y, por lo tanto, fuerte ataque erosivo en los terrenos sedimentarios poco competentes. En esta zona, la tendencia es hacia una degradación cada vez más acentuada, con reducción progresiva de las áreas utilizables.

La sub-área del Mauri presenta las zonas de mayor riesgo en la parte baja de la cuenca, aguas abajo de General Pérez, donde el río Mauri y sus afluentes drenan a través de la meseta volcánica degradada y el sedimentario terciario poco consolidado. Dada la extensión de la cuenca, en presencia de lluvias fuertes, la masa de agua que alcanza velozmente la parte baja, la más vulnerable, es notable y, por lo tanto, las consecuencias son importantes, además del efecto inmediato sobre el curso del Desaguadero, aguas abajo.

La sub-área denominada Desaguadero Central corresponde a una zona de rejuvenecimiento morfológico reciente, por lo que el ataque erosivo es particularmente intenso. La mayor parte del área está constituida por terraza lacustre degradada, sobre un estrato sedimentario terciario poco competente. La tendencia es a una degradación acelerada y difundida a lo largo de un retículo hidrográfico denso y, por lo tanto, difícilmente controlable. Además, esta sub-área influye directamente en la sub-área de la llanura fluvio-lacustre con aportes de materiales que, en ocasión de las avenidas, resulta masivo.

La sub-área de la llanura fluvio-lacustre, correspondiente en gran parte a la altipampa de Oruro y que comprende los lagos Uru Uru y Poopó, presenta problemas ligados esencialmente a la regulación de las aguas. La extensión de los dos lagos y de las áreas inundadas, observable en las imágenes Landsat del 28 de marzo de 1990 y mapeada en el Mapa Geomorfológico, representa probablemente un límite superior de la inundabilidad de la llanura. Ahora bien, la morfología de la llanura, tal y como ha sido levantada en las fotografías aéreas, muestra que el riesgo de inundación, en términos de los límites observados en las imágenes Landsat, es real. Además, la escasísima profundidad de los dos lagos, Uru Uru y Poopó, provoca que las inundaciones de los mismos sean siempre notables desde un punto de vista de la superficie que llegan a abarcar.

A esto se añade que el río Desaguadero, que llega a la llanura con un fuerte caudal sólido, tiende a depositar en el cauce, levantándolo y, por lo tanto, haciendo más fáciles tanto los desbordes en caso de avenidas como los desplazamientos del mismo cauce.

Las áreas inundables por ambos lagos resultan, en efecto, inutilizables y su tendencia es hacia una concentración salina cada vez mayor. Considerando los datos existentes sobre la evolución del sistema lacustre del altiplano meridional, se puede prever que los lagos residuales del Tauca se convertirán en salares, como ya sucedió con el Coipasa, cuyo aporte de agua superficial es inferior al del Poopó.

La importancia que el brazo izquierdo del Desaguadero ha asumido con respecto al derecho sugiere que el puede ser estabilizado y regulado, justamente a lo largo del brazo izquierdo, facilitando así la recuperación de las zonas inundables de la llanura de Oruro y el control de las inundaciones, en particular del Uru Uru. En efecto, la llanura fluvio-lacustre, protegida de las inundaciones y saneada en las zonas de embalse y de depósito salino, representa una de las áreas más interesantes desde el punto de vista de la recuperación para usos antrópicos.

En un contexto similar, áreas que presentan problemas de inundaciones periódicas y tendencia a la salinización de los suelos son la llanura de Soledad y el valle del río Kheto. Para estas áreas valen las mismas consideraciones hechas anteriormente. Debe tenerse en cuenta que, además de los factores morfológicos y de dinámica de las aguas superficiales, es probable que, durante la estación húmeda, en las zonas de llanura, las oscilaciones del nivel freático contribuyan a crear condiciones de embalse de agua en la superficie.

c) **Cuenca del Salar de Coipasa**

La situación de esta cuenca, por lo que muestra la geomorfología, aparece ser relativamente estable. Los aportes del retículo hidrográfico al Salar son modestos y la tendencia es hacia una concentración salina cada vez mayor. La zona de terraza fluvio-lacustre que se extiende entre el Salar y el lago Poopó, parece ser el área más favorable para la utilización antrópica.

2.6 SUELOS, COBERTURA DEL SUELO Y EROSION

Los objetivos principales de los estudios de suelo, cobertura del suelo y erosión han sido la preparación de mapas e informes concernientes a:

- Cobertura y uso actual del suelo identificando las áreas agrícolas, las pasturas, los bosques, los cuerpos de agua, los bofedales y las zonas drenadas;
- Capacidad de uso del suelo con la evaluación edáfica a nivel de reconocimiento, con base en el levantamiento de toda la información de suelos disponible en el área del proyecto y la clasificación de acuerdo a la capacidad de uso, considerando los factores limitantes que inciden en la productividad de los suelos;
- Clasificación de suelos según su aptitud para regadío, empleando como referencia los criterios básicos del Bureau Reclamation del U.S.D.A.
- Diagnóstico sobre la erosión en el sistema, y propuestas de conservación y corrección, identificando las áreas críticas y elaboración de propuestas de acciones de manejo y conservación.

Cada uno de los cuatro puntos arriba indicados fue desarrollado en estudios separados.

2.6.1 Estudios realizados

2.6.1.1 Cobertura y uso actual del suelo

El mapa de cobertura y uso actual del suelo fue elaborado por la interpretación visual de imágenes Landsat TM., escala 1:250.000, apoyada con observaciones de campo.

Se estructuró la leyenda del mapa de cobertura y uso actual del suelo sobre la base de 5 tipos de información:

- Tipo de cobertura y uso actual del suelo
- Grado de cobertura de la vegetación
- Condición de humedad edáfica
- Grado de pendiente topográfico
- Tipo de Suelos

las cuales se detallan a continuación:

a) Tipo de cobertura y uso actual del suelo

Se han considerado las siguientes unidades:

- Unidades de arbustos (a): Corresponden en su gran mayoría a los llamados tholares.
- Unidades de bosque (b): Corresponden exclusivamente a bosques nativos de Queñua. Los bosques introducidos con especies exóticas Eucaliptos, y Pinos, no han podido ser discriminados en las imágenes de satélite.
- Unidades de cultivos (c): Corresponden a áreas con cultivos e incluyen también tierras en descanso y barbecho.
- Unidades de depósitos arenosos (d).
- Unidades de depósitos de grava (g).
- Unidades de tierras salinas (h).
- Unidades de tierras inundables (i).
- Unidades de mal país (m).
- Unidades de pasto (p).
- Unidades de afloramientos rocosos (r).
- Unidades salares (s), cuerpos de agua (w), áreas urbanas (u) y nieve (n).
- Unidad vegetación acuática (t).
- Unidades de pasto y arbustos indiferenciados (x).

b) Grado de cobertura de la vegetación

Densa (1): Más del 60% del terreno cubierto de vegetación.

Rala (2) : Menos del 60% del terreno cubierto de vegetación.

c) Condición normal de humedad edáfica

Humedad (h): Se presenta en suelos que por sus características topográficas y de suministro de agua, mantienen mayor humedad y normalmente una vegetación más densa y vigorosa.

Seca (s) : Suelos normalmente secos.

d) Grado de pendiente topográfica

Débil a moderada (1): Pendientes menores al 6%.

Moderada a fuerte (2): Pendientes superiores al 6%.

e) Tipo de Suelos

Se basan en una clasificación preestablecida con fines hidrológicos.

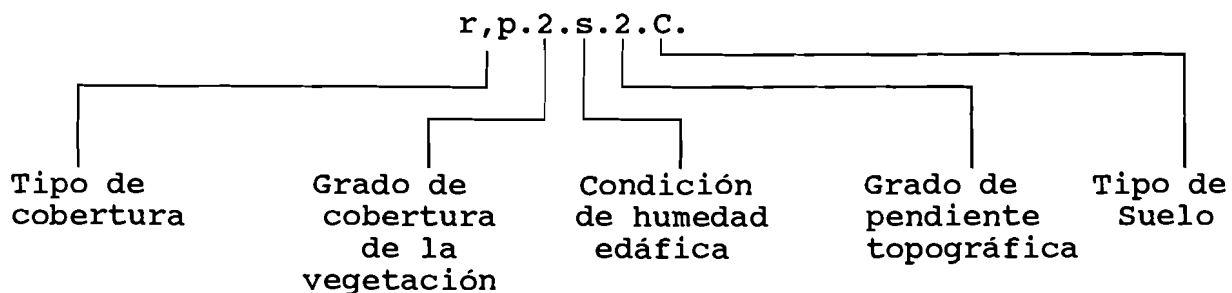
A. Arenosos profundos, loess profundos, limos agregados.

B. Loess poco profundos, franco arenosos.

C. Franco arcillosos, franco arenosos poco profundos, suelos con bajo contenido de materia orgánica y suelos usualmente altos en arcilla.

D. Suelos que se hinchan significativamente cuando húmedos, arcillosos plásticos muy duros, y suelos ciertamente salinos.

Los cinco tipos de información se representan mediante un símbolo combinado formado por cinco grupos de caracteres alfanuméricos separados por un punto y que corresponden cada grupo a cada tipo de información. Los caracteres pertenecientes a un mismo grupo están separados por coma. Por ejemplo:



indica:

Tipo rocoso (r) con abundancia de pastos (p)
Con vegetación vala (2)
Suelo normalmente seco (s)
Pendiente superior al 6% (2)
Suelo franco arcilloso, poco profundo (c)

El tipo de cobertura y uso actual del suelo puede contener más de una categoría en aquellas unidades de mapeo, donde junto a la primera letra que corresponde a la categoría dominante, le acompañan otras categorías subordinadas, pero cuya presencia es importante.

2.6.1.2 Capacidad de uso y aptitudes al riego del suelo

La zona del estudio ha sido evaluada desde el punto de vista agrológico, a partir del análisis de numerosos estudios de suelos, ejecutados a diferentes niveles y escalas de publicación y con diferentes finalidades.

Se ha realizado una minuciosa labor de interpretación y homogeneización de estos estudios.

La metodología empleada comprendió tres fases:

Fase preliminar

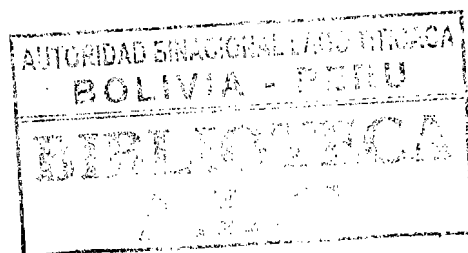
Selección, evaluación y clasificación de la documentación existente. Se evaluaron 65 informes técnicos de los cuales se seleccionaron 27.

Fase de interpretación y correlación

Tomando en consideración las características ecogeográficas del área de estudio, la descripción morfológica de los perfiles de suelos representativos y de la interpretación de los análisis fisicoquímicos de los suelos, se ha realizado una descripción generalizada de la génesis de los suelos y se les ha clasificado en la misma forma de acuerdo a los criterios del Soil Taxonomy U.S. de 1976 y sus ampliaciones de 1985.

Considerando los factores limitantes que inciden en la productividad de los suelos identificados en el área de estudio, se les ha clasificado de acuerdo a su **capacidad de uso**. Para ello se ha tomado en cuenta el sistema de clasificación elaborado por el Servicio de Conservación de Suelos del U.S.D.A. y cuya descripción se halla descrita en el Manual N° 210 del Centro regional de ayuda técnica del A.I.D.

Asimismo, aplicando los criterios básicos definidos por el Bureau of Reclamation del U.S.D.A., se han clasificado los suelos de acuerdo a su **aptitud para el riego**.



Fase de elaboración final

Esta fase comprende básicamente la elaboración de la memoria y de los mapas de la capacidad de uso y aptitud para el riego.

Dentro de la clasificación de los suelos de acuerdo a su capacidad de uso, se han distinguido dentro del sistema 5 clases (clases, II, III, IV, V, VI), de las 7 que considera la clasificación de la FAO. Se ha considerado también hasta 10 asociaciones de clases (dos a dos).

Se han fijado, asociados a las clases, factores limitantes:

- "e" : erosión asociada con pendiente;
- "s" : condición por suelo;
- "h" : condición por drenaje;

La ubicación de las áreas de cada clase o asociación se muestra en los planos correspondientes (Ver Estudio de Suelos y Erosión).

Dentro de la clasificación según aptitud para el riego se han considerado 5 clases (clases 2,3,4,5 y 6), dentro de los 6 posibles, nueve asociaciones de clases (dos a dos) y factores limitantes:

- "s" : deficiencias del suelo;
- "t" : deficiencias de topografía;
- "d" : deficiencias por drenaje;
- "i" : susceptibilidad a la inundación

La ubicación de las área de cada clase o asociación se muestra en los planos correspondientes (Ver Estudios de Suelos y Erosión).

2.6.1.3 Erosión

En este estudio, se ha realizado un diagnóstico de la erosión de los suelos en el área del complejo T.D.P.S., y se han seleccionado áreas críticas, para corrección y manejo de cuencas, así como se han esbozado lineamientos para la creación de un "Programa de conservación del suelo".

Documentación cartográfica utilizada

Para el diagnóstico de la erosión que afecta a los suelos del complejo T.D.P.S. se utilizaron los siguientes documentos:

- Mapas geomorfológicos a escala 1:250.000 y 1:100.000 del proyecto;
- Mapas de cobertura y uso actual de la tierra a escala 1:250.000 del proyecto;
- Mapa de densidad poblacional a nivel distrital - Subregión Puno/Perú ampliado a escala 1:250.000 del proyecto;

- Mapas topográficos a escala 1:250.000 donde se realizó la cartografía de erosión a nivel del Sistema T.D.P.S.;
- Planos por cuencas hidrológicas a escala 1:250.000 donde se realizó la cartografía de la erosión para cuencas críticas; y
- Mapas topográficos a escala 1:100.000 para las áreas críticas de erosión dentro de las cuencas seleccionadas.

Se hizo un acopio, selección y revisión de estudios, informes técnicos y otros documentos relacionados con el inventario y manejo de los recursos naturales en el ámbito del sistema T.D.P.S.

Para ello se recurrió a los centros de documentación del PELT en La Paz y Puno, de la Universidad Nacional Agraria-La Molina (Perú) y Universidad del Altiplano-Puno (Perú).

A fin de verificar las unidades de erosión en los mapas preliminares, se realizaron recorridos de campo. En estos recorridos se visitaron diversos proyectos de conservación de suelos, conducidos por instituciones públicas y privadas, entre las que cabe citar las siguientes:

- . Sartawi (Curva Pucara);
- . Universidad Católica de Bolivia (Tiawanacu);
- . PIWA (Farata y Acora);
- . Plan de rehabilitación de tierras (microcuencas en Puno);
- . Arbol andino (Pomata); y
- . CESA (Ancoraimes).

Los factores que han sido tomados en cuenta para definir las unidades de erosión a la escala de la cartografía empleada 1:250.000 han sido básicamente los siguientes:

- . Substrato geológico;
- . Relieve;
- . Uso actual del suelo;
- . Cobertura de la vegetación; y
- . Presión demográfica.

Se han elaborado clasificaciones de erosión:

| | | |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Erosión hídrica | clases de 0 a 4 (leve a grave) | antrópica ó geológica |
| Erosión eólica | clases de 0 a 4 (leve a grave) | eólica |

A partir de esta clasificación, se definieron las superficies afectadas por cada tipo de erosión, en todo el sistema T.D.P.S., y se localizaron en 12 planos a escala 1:250.000. (Ver Estudio de Suelos y Erosión).

Se establecieron también criterios de selección de áreas críticas, donde iniciar un programa de actuaciones de manejo de cuencas para corrección y conservación de suelos. A partir de estos criterios se han seleccionado determinadas áreas.

Por último se indican normas y metodologías para actuar contra la erosión en las distintas cuencas del sistema, según las características propias de cada una de ellas; y se presenta una propuesta para un "Plan de conservación del suelo".

2.6.2 Diagnóstico sobre suelos, cobertura del suelo y erosión

2.6.2.1 Cobertura y uso actual del suelo

En el sistema T.D.P.S., los pastos cubren, ellos solos, un 29% del área total del estudio, seguidos de los afloramientos rocosos con un 18,4%; las unidades de pastos y arbustos indiferenciados el 13,8%, los cultivos el 10,3%, los cuerpos de agua el 8,4%, los arbustos el 7,6%, y otras áreas menores.

Las unidades de cultivos y de pastos en condiciones edáficas húmedas (donde están incluidos los cultivos y pastos con riego), representan una tercera parte del total de la superficie de cultivos en general.

Las tierras salinas cubren una superficie casi dos veces mayor que la de los salares.

Los depósitos arenosos ocupan una superficie mayor que la de los cultivos y pastos en condiciones edáficas húmedas.

Existe una proporción importante de malas tierras ("bad land"), que supera a la de los salares.

La superficie de los bosques nativos, ubicados principalmente en la zona sur, aunque proporcionalmente pequeña, es más importante que las áreas de nieve permanente y que las áreas urbanas.

2.6.2.2 Capacidad de uso y aptitud para riego del suelo

A partir de estudios existentes, sobre una superficie de 4.466.625 ha, que representa el 31% del área total del sistema, se han identificado:

- 121.387 ha De tierras de clase II apta para cultivos;
- 369.437 ha De tierras de clase III aptas para cultivos y pastos;
- 1.287.362 ha De tierras marginales para cultivo de clase IV;
- 342.997 ha De tierras de la clase V aptas para pastos;

- 1.322.625 ha De tierras de clase VI aptas para pastos.

Además, existen alrededor de 500.000 ha. de áreas de bofedales.

Desde el punto de vista de aptitud para el riego, se tienen:

- 490.824 ha De tierras aptas para el riego;
- 1.287.362 ha De tierras marginalmente aptas;
- 1.665.622 ha De tierras no aptas para la irrigación.

2.6.2.3 Erosión

Se han identificado tres tipos de erosión: geológica, antrópica y eólica. Las acciones antrópicas afectan el 48,6% del área total del sistema, la erosión de tipo geológico afecta el 30%, mientras la eólica se manifiesta con un 6,2%.

Se distinguen cuatro clases de erosión, según su gravedad:

- Clase 1 erosión ligera
- Clase 2 erosión moderada
- Clase 3 erosión severa
- Clase 4 erosión muy severa

La clase de erosión predominante es la clase 2, es decir erosión moderada, que constituye el 31,7% de la erosión total que se presenta en el sistema T.D.P.S.

A nivel de las tres grandes cuencas que conforman el sistema, el diagnóstico de la erosión es el siguiente:

- En la cuenca del lago Titicaca el predominio de la erosión antrópica es muy notorio afectando al 68% de los suelos que constituyen el área total de dicha cuenca. Dentro de ella, la erosión moderada (Clase 2) es la predominante. Esta situación se debe principalmente a la mayor densidad de población que existe en esta zona, sobre todo en las zonas agroecológicas circunlacustre y del altiplano norte, y que ejerce una presión importante sobre los recursos naturales y en particular sobre el suelo.
- En la cuenca del río Desaguadero, la erosión de tipo antrópico y geológico se dan en similar extensión (47% en ambos casos). Sin embargo, a nivel de clases de erosión se observa un predominio de erosión moderada y severa de tipo geológico (44,5%) sobre la antrópica (15,5%). Las causas de esta situación, son por un lado, la susceptibilidad de los suelos y rocas a la degradación, pero también en la menor densidad de población en este frágil ámbito.
- En el complejo de cuencas lago Poopó - Salar de Coipasa, predomina la erosión geológica (38%) sobre la antrópica (28%), siendo sobre todo notoria en la cuenca

alta del Salar de Coipasa. En este ámbito adquiere mayor importancia la erosión eólica (17%) del total de la cuenca.

2.7 FLUVIOMORFOLOGIA

2.7.1 Estudios realizados

El objetivo de estos estudios ha sido presentar toda la problemática sobre la fluviomorfología y los transportes sólidos en los ríos del sistema, y como corolario establecer recomendaciones para el emplazamiento correcto de obras civiles (presas, tomas de agua, etc...), en los cauces de los ríos, y también recomendaciones para el manejo y control futuro de la fluviomorfología del sistema.

Para la elaboración de los estudios, se ha contado con datos hidrológicos, análisis granulométricos de sedimentos, y de mediciones simultáneas de caudales líquidos y caudales sólidos en suspensión, que han sido realizadas en las cinco campañas de aforos efectuadas por el Consorcio en los principales cursos de agua del sistema T.D.P.S. Asimismo se han realizado diversas visitas a locales específicos de la red fluvial, y vuelos de reconocimiento a toda el área del estudio.

Inicialmente se realizó una evaluación morfológica general, enfocando los distintos elementos que forman el sistema: el lago Titicaca, la laguna de Aguallamaya, el río Desaguadero en sus distintos trechos, y finalmente el lago Poopó. En los ríos se evaluaron las características morfológicas de los cauces y del transporte sólido. Como características morfológicas principales de un curso de agua se definieron: anchura, profundidad media y pendiente, estas a su vez son función del caudal líquido máximo, diámetro medio de los sedimentos y caudal sólido aguas arriba del trecho considerado. Se estableció también, según metodología de Lacey, lo que sería el lecho ideal en equilibrio morfológico, el cual se dice que está "en régimen", y con el cual se han comparado los distintos ríos y cauces del sistema.

A partir de mediciones disponibles en la cuenca del Desaguadero durante los años 1965-1989; y de 1960 a 1990 en la cuenca del lago Titicaca, se calcularon para las diferentes estaciones y ríos del sistema las aportaciones líquidas y sólidas (Cuadro 9):

Se hacen consideraciones, desde el punto de vista morfológico sobre la ejecución de obras fluviales en el sistema T.D.P.S., de entre las que se puede destacar:

- Evitar en lo posible la construcción de presas en el propio cauce del río Desaguadero y en los afluentes con importantes aportes de sedimentos por los problemas de colmatación de los embalses y las modificaciones fluviomorfológicas que originarían en los cauces. Tomas directas en esos ríos, aunque inicialmente fueran soluciones más costosas, ofrecerán indudables ventajas a largo plazo.
- Evitar en lo posible, lanzar por el río Desaguadero caudales superiores a 150 m³/s que corresponden en Calacoto a un caudal de tiempo de retorno de aproximadamente 5 años; este valor corresponde con el evaluado como de "régimen" a través de las ecuaciones de Lacey.

CUADRO 9: MEDICIONES DE APORTACIONES LIQUIDAS Y SOLIDAS EN EL SISTEMA T.D.P.S.

CUENCA DEL DESAGUADERO (1965 - 1989)

| ESTACIONES: | VOLUMEN DE AGUA | | | CAUDALES MEDIO | | | APORTES SOLIDOS | | |
|---------------------|--------------------------|--------------------|------------------|-------------------------|------------|---------------|--------------------------|-------------|-----------------|
| | ANUAL (10 ⁶) | | | ANUAL m ³ /s | | | ANUAL (10 ³) | | |
| | Min | Media 1965-1989 | Max. | Min | Media | Max. | Min | Media | Max. |
| Pte. Internacional | | 1.156 | | | 36.6 | | | | |
| Calacoto Desag. (*) | 455 (1983) | 1.636 | 7.035 (1986) | 14.6 (1983) | 52.6 -- | 235 (1986) | 235 (1983) | 546 -- | 3.734 (1986) |
| Calacoto (Mauri) | 179 | 586 | 1.003 | 5.7 | 18.8 | 32.2 | 23 | 29 | 140 |
| Ulloma | 634 | 2.433 | 8.914 | 20.4 | 78.2 | 286 | 861 | 3.187 | 6.187 |
| Chuquiña La Joya | 632 (1983) | 2.807 -- | 10.070 (1986) | 20.3 (1983) | 90.2 -- | 323 (1986) | 1.025 (1983) | 4.037 -- | 8.882 (1986) |

CUENCA DEL LAGO (1960 - 1990)

| RIOS (ESTACIONES): | (10 ⁶ m ³) | | | (m ³ /s) | | | (10 ³ t/a) | | |
|----------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------|---------------------|------------|-----------------|-----------------------|----------|-----------------|
| | Min | Media 1960-1990 | Max. | Min | Media | Max. | Min | Media | Max. |
| Río Suchez (Escoma) | 126 (1983) | 334 -- | 596 (1986) | 4 | 10.7 -- | 19 -- | 17.5 (1983) | 64 -- | 134 (1986) |
| Huancané | 218 (1983) | 631 -- | 1.223 (1986) | 7 | 20.3 -- | 39 | 23.5 | 103 | 240 |
| Ilave | 158 (1983) | 1.214 -- | 3.045 (1986) | 5.1 | 39 | 98 | 6.5 | 143 | 462 |
| Coata | 76 (1983) | 1.308 -- | 2.380 (1986) | 2.4 | 42 | 76.4 | 2.9 | 158 | 320 |
| Ramis | 768 (1983) | 2.383 -- | 3.984 (1986) | 24.7 | 76.6 | 128 | 127 (1983) | 606 | 125 (1986) |
| Total: | 1.346 (1983) | 5.870 | 11.228 (1986) | 43.2 (1983) | 188.6 | 360.4 (1986) | 177 (1983) | 1.074 | 2.412 (1986) |

(*) en Calacoto Desaguadero:

- Mínimo volumen: 195.5x10⁶m³ en 1969
- Mínimo caudal media anual: 6.3 m³/s
- Mínimo aportes sólidos: 184x10³ t/a

- Adecuar los ángulos de incidencia de las desembocaduras de los afluentes al río Desaguadero, para evitar en lo posible la formación de conos de deyección.
- No introducir acciones drásticas de canalización del río Desaguadero aguas abajo de La Joya, ya que se lanzarían grandes cantidades de sedimentos al lago Poopó acelerando la colmatación del mismo.

2.7.2 Diagnóstico fluviomorfológico

Las características fluviomorfológicas del eje Desaguadero-Salares se presentan a continuación:

2.7.2.1 El lago Titicaca

El lago Titicaca, constituye el elemento más importante aguas arriba del sistema hidrográfico del altiplano. Está alimentado por ríos que tienen sus cuencas en las cordilleras oriental y occidental; entre ellos los más importantes son: Suchez, Huancané, Ramis, Coata e llave.

El Lago Menor, separado del lago Mayor por el estrecho de Tiquina, recibe los afluentes Tiwanacu, Catari y Keka. La profundidad del lago hace que la mayor parte de los aportes sólidos al mismo, se depositen en él.

Cuando el nivel de las aguas del lago está suficientemente alto, desagua, con caudales de aguas relativamente claras, por la localidad de Desaguadero.

2.7.2.2 La laguna de Aguallamaya

Aguas abajo de Puente Internacional, en el río Desaguadero existe una laguna que se extiende por unos cuarenta kilómetros hasta Aguallamaya; su profundidad máxima es de 8 metros (bajo la cota 3808 m.s.n.m), pero existe un cierto número de puntos altos en el fondo de la misma que originan puntos de control de los caudales que salen del lago.

El lecho de esta laguna está formado por limos y arenas finas, aportados principalmente por dos importantes afluentes de la margen derecha: el río Cutjira (Ccallaccame) y el río Llinqui; es probable que los conos de deyección de los dos brazos del río Llinqui, constituyan dos de los puntos altos del fondo de la laguna. En esta laguna, los totorales juegan un papel importante en el régimen hidráulico, pues delimitan zonas de hasta 2 ó 3 metros, de profundidad, creando canales bien marcados que constituyen el cauce del Desaguadero. Estos totorales pueden provocar pérdidas de carga adicionales cuando la corriente de agua pasa por las zonas de puntos de control (puntos altos), constituyendo obstáculos al escurrimiento.

Aguallamaya se formó probablemente hacia 5500 años a.J.C., cuando el nivel de las aguas del lago, estaba unos cincuenta metros más bajo que los niveles actuales, lo que permite considerar el lago y el río Desaguadero como dos entidades hidrológicas, netamente separadas ("El lago Titicaca" - ORSTOM - HISBOL - 1991 Capítulo VII 1,a). Esta situación ha permanecido así hasta la época actual cuando los niveles del lago

fueron más bajos que los puntos altos del cauce, como ocurrió durante el período 1940-1950.

Aguallamaya, como las zonas de puntos altos de la laguna, constituye uno de los puntos de control de los caudales que salen del lago.

2.7.2.3 Trecho Aguallamaya - Nazacara (24,15 Km)

Este trecho constituye una zona de transición entre la región lagunar aguas arriba y el cauce del Desaguadero aguas abajo de Nazacara. La declividad de este cauce tiene condiciones adecuadas, para que una nueva zona lagunar aparezca aguas abajo de Puente Nazacara.

En este trecho un obstáculo complementario está constituido por el cono de deyección del río Jacha Jahuirá que avanza muy sensiblemente en el cauce del río Desaguadero y provoca también una pérdida de carga local, que puede ser importante. Este tipo de obstrucciones se encuentran a lo largo de todo el Desaguadero.

El tamaño de los sedimentos en este trecho, de 0,12 a 0,15 mm, es menor que los encontrados en el trecho Nazacara-Calacoto, lo que sin duda se debe a una declividad media más débil. De hecho no hay ninguna razón para que las morfologías de estos dos trechos no sean similares, dada la homogeneidad de los parámetros hidráulicos entre la llegada del Jacha Jahuirá y Nazacara. Dicho de otra forma, una regulación artificial del trecho Aguallamaya - Nazacara, no puede cambiar profundamente su morfología, y solo puede traer beneficios.

2.7.2.4 Trecho Nazacara - Calacoto (65,9) Km.

En este trecho, el cauce del Desaguadero es un lecho único, bien encauzado, con meandros de gran longitud de onda; características propias de cursos de aguas saturadas de sólidos. La pendiente, que es aproximadamente 17 cm por kilómetro, es, desde el punto de vista morfológico, totalmente compatible con la dimensión media de los sedimentos del lecho, del orden de 0,25 mm. Los sedimentos más gruesos, son pequeñas gravas de 8 a 9 mm y aparecen en pequeña cantidad, sin incidencia sobre la morfología.

2.7.2.5 Trecho de la desembocadura del río Mauri a Eucaliptus (148 Km)

Las características del cauce cambian completamente aguas abajo de la confluencia del río Mauri, confluencia que coincide con la del río Lekhe Lekheni. De un lecho único, encauzado, con una pendiente de 17 cm por kilómetro, se pasa a un lecho ancho, constituido por varios brazos y su pendiente aumenta hasta 50 cm por kilómetro prácticamente hasta Eucaliptus.

La dimensión media de los sedimentos arenosos es del orden de 0,4 mm, pero bajo la capa de arena, se detectan siempre sedimentos mucho más gruesos (9 a 10 mm), aportados por el río Mauri y uno de sus afluentes, el río Blanco (10 a 20 mm son las dimensiones de las gravas en la confluencia de los ríos Mauri y Blanco). Estos sedimentos gruesos, son aportados en gran cantidad durante las avenidas, que pueden,

contrariamente a lo que sucede en el trecho Nazacara-Calacoto, influir en las características morfológicas del lecho del Desaguadero y su pendiente.

En este trecho, el transporte sólido se realiza, por una parte por el arrastre de los sedimentos gruesos, y por otra por la suspensión de los sedimentos finos. El transporte en suspensión es mucho más importante que el transporte por arrastre. Los sedimentos arenosos que constituyen el lecho, se juntan a los sedimentos limosos y arcillosos, que son aportados por la erosión intensa de los suelos en las cuencas particularmente denudadas, y que constituyen el "Wash Load". En el "Wash load" los sedimentos tienen una dimensión inferior a 0,05 mm.

2.7.2.6 Trecho aguas abajo de Eucaliptus

Aguas abajo de Eucaliptus, hasta el Puente de la Joya, la pendiente disminuye muy sensiblemente hasta 25 cm por kilómetro. Aguas abajo del puente de La Joya, el cauce se divide en dos brazos, uno sigue hasta el lago Uru-Uru antes de llegar al lago Poopó; el otro, el brazo derecho, se vá directamente al lago Poopó. La pendiente de estos brazos, es de alrededor de 25 cm por Km. La dimensión de los sedimentos varía entre 0,1 y 0,15 mm, donde se encuentran algunos sedimentos gruesos (gravas), pero más raramente que en la zona de aguas arriba.

Toda la región entre La Joya y el lago Poopó, es una zona de depósitos de sedimentos procedentes de aguas arriba., Consecuentemente este escenario hidrográfico es particularmente inestable y la morfología de los cauces muy poco definida (Figura 20). La evaluación de la evolución del cauce señala lo siguiente:

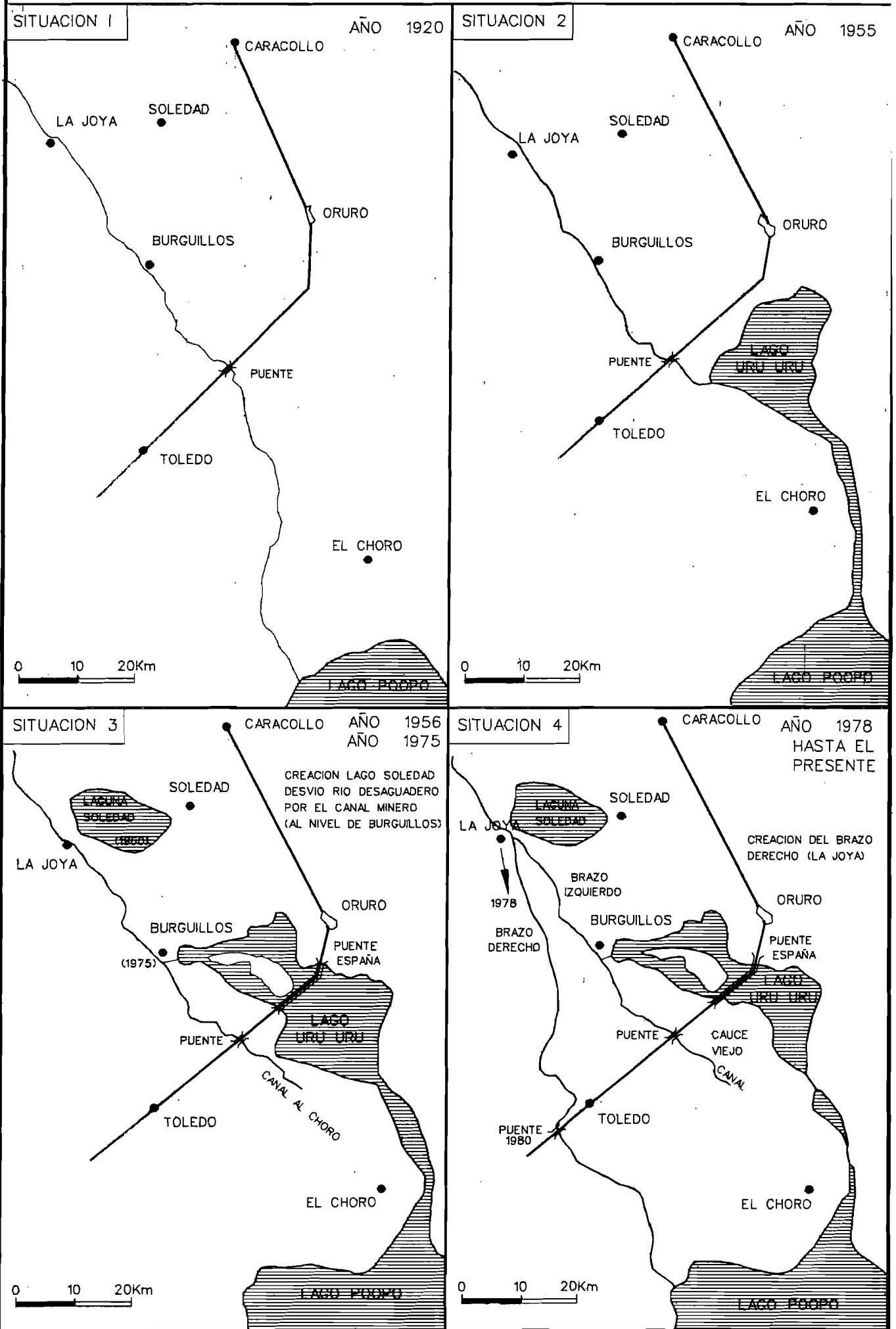
- Los mapas elaborados en 1920 por la "Bolivia Railway Company" solamente muestran un brazo que llega al lago Poopó.
- En 1955 se formó el lago Uru-Uru.
- En 1975 la ejecución de un canal de derivación, modificó sensiblemente el aspecto del lago Uru-Uru.
- Es en 1978 cuando se forma un segundo brazo a partir de La Joya, siguiendo directamente hacia el lago Poopó. Este brazo toma tal importancia, que es posible que en un futuro próximo sea el único en alcanzar al lago Poopó, en detrimento del brazo izquierdo y del lago Uru-Uru que desaparecería, si no se toma alguna medida correctora.

Así en tres cuartos de siglo, el Desaguadero aguas abajo de La Joya, habrá divagado en un ancho de más de 50 Km en una distancia aproximada de 80 Km que separa La Joya de la entrada al lago Poopó. Es pues, sobre una superficie del orden de 4000 Km², que se están depositando gran parte de los sedimentos aportados por el Desaguadero.

2.7.2.7 El lago Poopó

El lago Poopó está alimentado, al norte por el río Desaguadero y al sur por el río Márquez, y tiene un emisario, el río Laca Jahuirá que lo comunica con el salar de Coipasa. Es

FIGURA 20: ESQUEMAS DE EVOLUCION DEL LECHO DEL DESAGUADERO AGUAS ABAJO DE LA JOYA, DESPUES DE 1920



necesario indicar que la desembocadura del río Márquez en el Poopó, y la salida del río Laca Jahuirá, están tan próximos, que es muy probable, si no se toman providencias, que el río Márquez alimente directamente el Laca Jahuirá y consecuentemente el Salar, cuando ocurra una fuerte crecida.

Se puede ver en ciertos mapas de 1855 (Museo del Litoral Boliviano de la Paz), que las orillas del lago llegan hasta Toledo o más allá. Como Toledo está situado aproximadamente a 40 Km al norte, y la pendiente media del lecho de los brazos derecho e izquierdo del río, está en el orden de 25 cm/Km, hace suponer que el nivel del lago era 10 m más alto que el nivel actual, lo que parece poco real. Sin duda estas cartas indican límites de zonas inundables por el Desaguadero en épocas de grandes avenidas. De cualquier forma se puede hablar de una regresión eventual del lago, que se puede atribuir a un déficit de aportaciones de agua, o a una colmatación por aportes sólidos del Desaguadero.

Los aportes sólidos medios anuales que llegan a La Joya son del orden de 5 millones de m³, o sea 690 millones de m³ desde 1855. Suponiendo una profundidad del lago de 2 metros, y que todos los aportes sólidos llegan al mismo, tendremos una superficie de 345 millones de m² (18,6 Km x 18,6 Km), afectada por la colmatación durante el período considerado de 138 años, o sea una superficie media colmatada de 2,5 Km²/año. Sin embargo, de hecho estos aportes sólidos se depositan en la zona de divagación del lecho antes de su desembocadura en el lago. Una parte de los aportes sólidos son probablemente esparcidos sobre grandes superficies, fuera del área de divagación, por transporte eólico, que en esta región parece importante (dunas y viento cargado de arena son frecuentes), por lo que este fenómeno debe contribuir a disminuir los aportes sólidos al lago por "transporte hidráulico".

2.8 HIDROQUIMICA Y CONTAMINACION

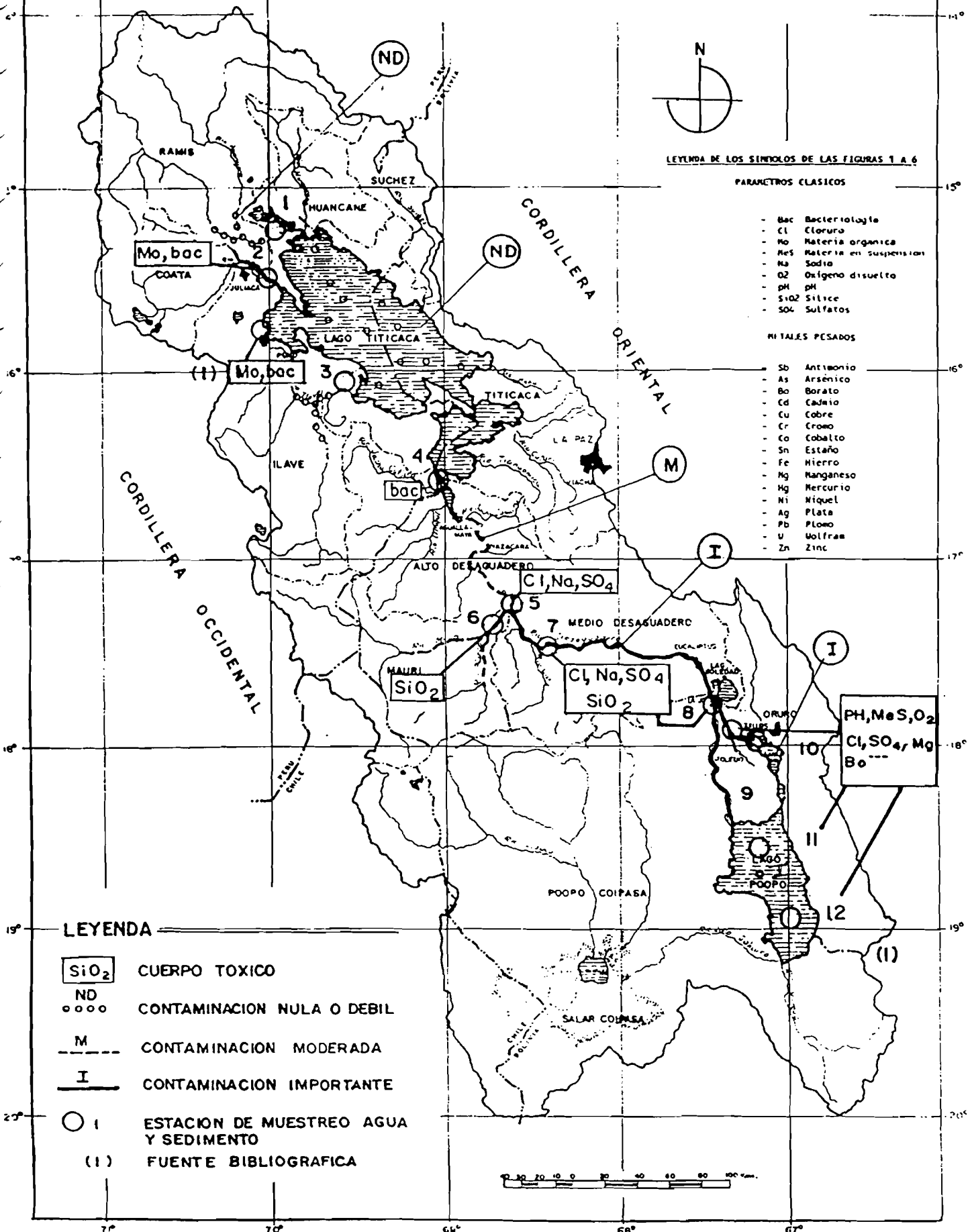
2.8.1 Estudios realizados

Los objetivos del estudio, de acuerdo con los Términos de Referencia, fueron:

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

Con base en el análisis de las informaciones disponibles, se seleccionaron los lugares de muestreo. El número y época de los muestreos realizados fue:

FIGURA 21 : ESTACIONES DE MUESTREO PARA EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL Y DE LA CONTAMINACION DE SEDIMENTOS Y PARAMETROS CRITICOS.



| | Fin lluvias Feb/Mar92 | Estiaje Jul/Ag92 | Inicio lluvias. Dic 92 | Lluvias Feb 93 |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------|
| Agua superficial (Figura: 21) | 12 | 12 | 12 | -- |
| Agua subterránea | -- | -- | -- | 37 |
| Lodos (Figura 21) | -- | 12 | -- | -- |

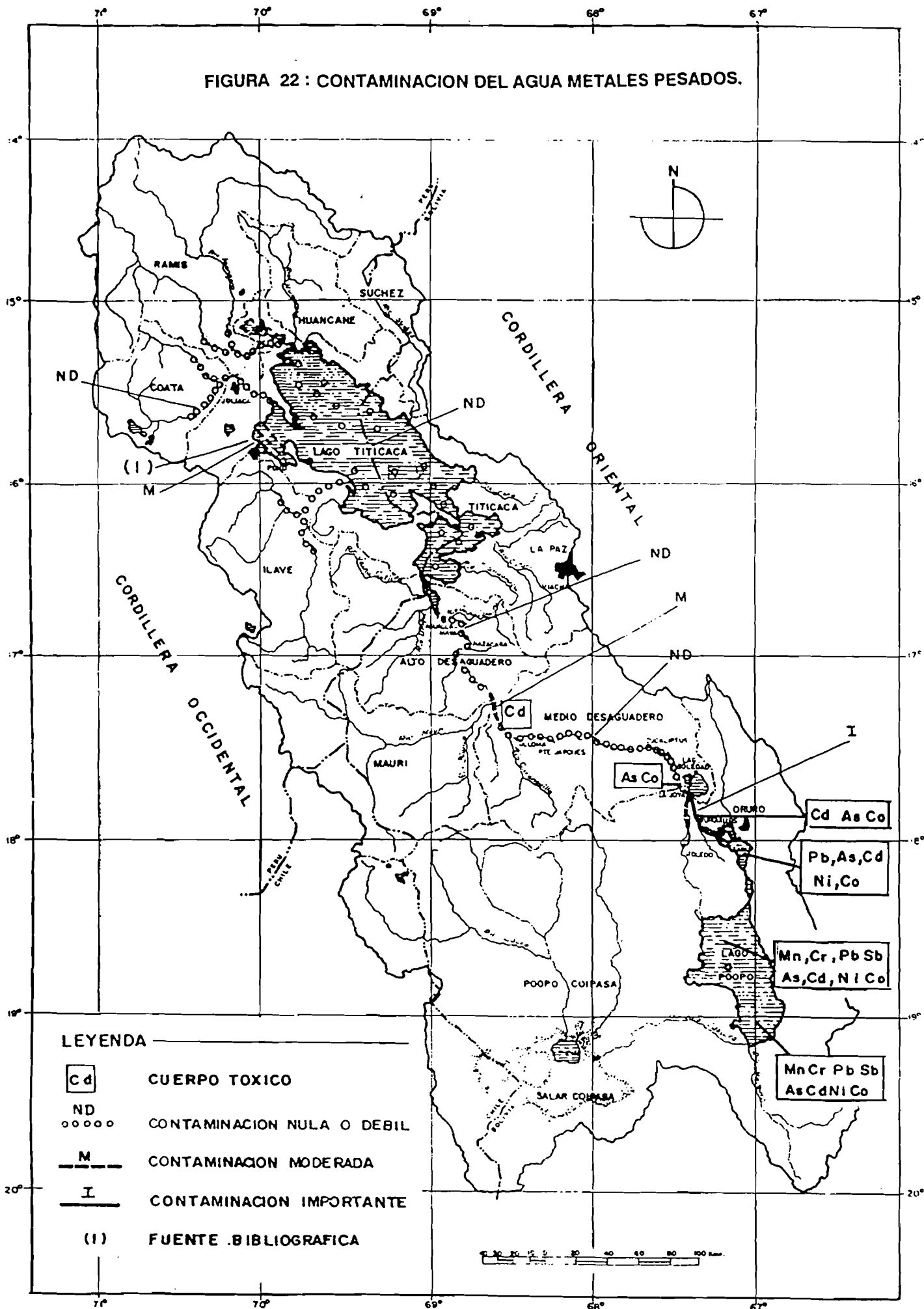
Por cada muestra de agua se analizaron 40 parámetros, totalizando 1440 análisis fisico-químicos de aguas superficiales. Adicionalmente se recopilaron los datos existentes, en 8 de los puntos de muestreo, de campañas realizadas entre 1990 y 1991.

Se realizaron los siguientes análisis químicos en muestras, de aguas superficiales, subterráneas y de lodos:

- Determinación del PH
- Determinación de la temperatura (°C)
- Conductividad (ms/cm)
- Determinación de color (Pt.Co)
- Determinación de turbidez (FTU)
- Sólidos en suspensión (MES)
- Sólidos disueltos (TDS)
- Oxígeno disuelto
- Determinación de Sílice disuelta
- Determinación de la Alcalinidad (Carbonatos y Bicarbonatos)
- Determinación de CO₂ libre
- Determinación de Cromo Hexavalente
- Determinación de Dureza Total (°d)
- Determinación de Sulfatos, Cloruros, Fosfatos, Nitratos, Nitritos, Cianuros
- Determinación de Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, Hierro, Cobre, Zinc, Plomo, Arsénico, Boro, Manganeso, Mercurio, Antimonio, Estaño, Cadmio, Níquel, Cobalto, Wolfram (Tungsteno) y Plata.

Para el caso de conductividad eléctrica, además de los datos colectados durante la ejecución del estudio, se recopilaron los datos existentes en otros estudios y campañas anteriores (efectuadas entre 1976 y 1992), y con una previa depuración de los datos poco confiables, se totalizaron 1000 mediciones, con las que se han preparado **mapas de conductividad eléctrica**. Estos mapas (EHC 001/005) representan los siguientes rangos de variación de la conductividad: 0-500 μ mhos/cm; 500-1000 μ mhos/cm; 1000-2000 μ mhos/cm; 2000-3000 μ mhos/cm; y >3000 μ mhos/cm. Los datos utilizados se refieren tanto a aguas superficiales como subterráneas (pozos) y abarcan afluentes del lago Titicaca y del Desaguadero, del Desaguadero mismo, los lagos Uru-Uru y Poopó, los afluentes de éstos y el río Lacka Jahuira, efluente del Poopó; además de la información del altiplano adyacente a estos cuerpos de agua donde existen pozos.

FIGURA 22 : CONTAMINACION DEL AGUA METALES PESADOS.



LEYENDA

- Cd CUERPO TOXICO
- ND CONTAMINACION NULA O DEBIL
- M --- CONTAMINACION MODERADA
- I — CONTAMINACION IMPORTANTE
- (I) FUENTE BIBLIOGRAFICA

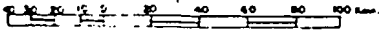
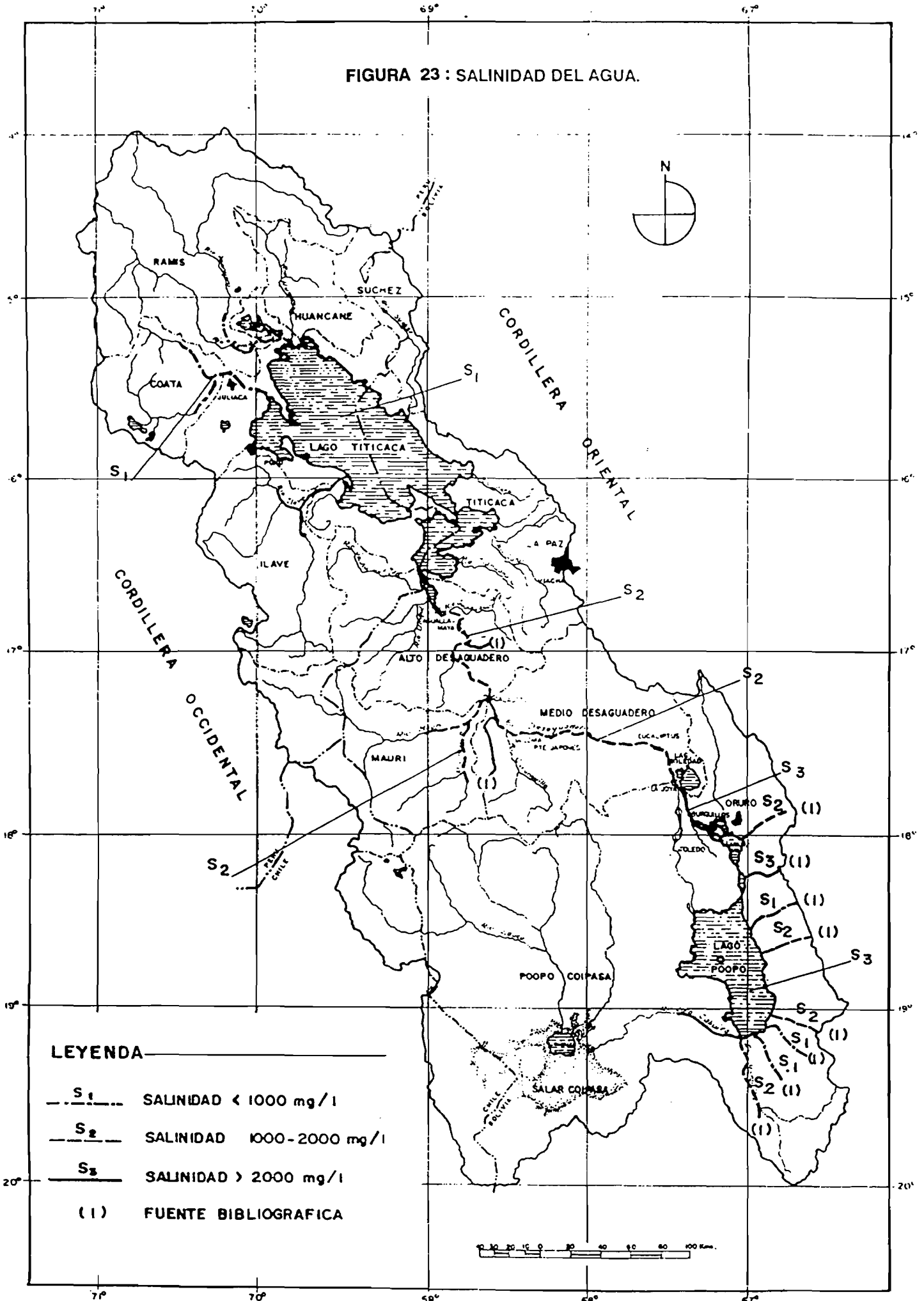


FIGURA 23 : SALINIDAD DEL AGUA.



LEYENDA

- S₁ --- SALINIDAD < 1000 mg/l
- S₂ — SALINIDAD 1000-2000 mg/l
- S₃ — SALINIDAD > 2000 mg/l
- (I) FUENTE BIBLIOGRAFICA

0 20 40 60 80 100 Km.

2.8.2 Diagnóstico hidroquímico y de contaminación

La calidad del agua del sistema T.D.P.S. es muy variable y presenta problemas bien diferenciados.

Así, en el lago Titicaca prácticamente no existen problemas, a no ser de eutrofización por algas en la bahía de Puno, debido a los efluentes de aguas residuales no depuradas de la ciudad; en algunos ríos hay problemas graves por contaminación minera: como en la cuenca del Coata y en la cuenca sur del altiplano a partir de La Joya. Se tiene por otro lado contaminación puntual por vertidos domésticos en el Desaguadero y en Oruro; y finalmente problemas de salinización, gran parte de estos originados naturalmente.

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

- Salinización natural, gradual desde Puente Japonés hacia el sur de la cuenca, haciéndose más grave en los lagos Uru-Uru y Poopó cuyo proceso natural de transformarse en salares, se acelera cuando ocurren años secos.
- Contaminación natural, particularmente con arsénico, cuyos valores altos se detectaron desde Eucaliptus hacia el sur de la cuenca, debido probablemente a la salinización del medio.
- Contaminación antrópica, sobre todo en el área urbana: Puno, Viacha, El Alto y Oruro, con problemas de contaminación bacteriológica debida a los desechos domésticos (basuras y aguas servidas), y defectos en sus redes de alcantarillado (a veces inexistentes); esto debido a una falta de planificación e implementación de un programa de saneamiento ambiental y el incumplimiento de las reglamentaciones sobre lanzamiento de desechos líquidos y sólidos en cuerpos de agua, que ocasionan además contaminación inorgánica.

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

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

2.8.2.1 Aguas superficiales

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

Las ocurrencias de periodos lluviosos en el sistema ejercen una influencia directa y rápida en la calidad de las aguas, pues por efectos de la dilución resultante, se modifican

notablemente las características físico-químicas de las mismas, tanto a lo largo del año como entre años secos y años húmedos.

Del análisis de los resultados obtenidos (desde un punto de vista físico-químico), las aguas superficiales de los ríos en varios puntos de muestreo, no son aptas para consumo humano, principalmente por sus contenidos de wolfram y estaño (si bien se debe tomar en cuenta que estos elementos ocurren naturalmente en la cuenca) así como por sus contenidos de cloro, sodio y sílice en el caso de los ríos Mauri y Desaguadero. Adicionalmente se tienen restricciones físicas (como color, turbidez y material en suspensión), características que con un tratamiento primario se podrían eliminar sin dificultad.

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

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

- (C₁) Aguas sin peligro de salinidad
- (C₂) Aguas con peligro de salinidad medio: En esta categoría están las muestras de los ríos Ramis, Coata, e llave.
- (C₃) Aguas con peligro de salinidad alta: Pertenecen a este grupo: las muestras de los ríos Mauri y Desaguadero en Puente Internacional y Puente Japonés.
- (C₄) Aguas con peligro de salinidad muy alta: Conformadas por: las muestras de Calacoto, Chuquiña y Puente Español (sobre el río Desaguadero).

Los lagos Uru-Uru y Poopó tienen valores muy superiores a la clase C₄.

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

- (S₁) Baja peligrosidad sódica - Pertenecen: las muestras de los ríos Ramis, Coata, e llave.
- (S₂) Mediana peligrosidad sódica - En este grupo están los ríos Mauri y Desaguadero en Puente Internacional, y en Puente Japonés.
- (S₃) Alta peligrosidad sódica - donde se ubican las muestras del río Desaguadero en Calacoto, en Chuquiña y en Puente Español.

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

Del análisis de la figura 6.1 del Estudio de Hidroquímica y Contaminación, Anexo 7 al Plan Director, donde se muestra la distribución y tendencia de la calidad de las aguas superficiales con fines de riego, se señala que:

- Se pueden utilizar para riego sin problemas: las aguas de los ríos Ramis, Coata, e Ilave (C₂S₁)
- Se pueden utilizar para riego con limitaciones: los ríos Mauri y Desaguadero en Puente Internacional y Puente Japonés (C₃S₂).
- Se pueden utilizar para riego con adecuadas acciones de manejo de agua y de suelo: las aguas del río Desaguadero en Calacoto y Chuquiña (C₄S₃).

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

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

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

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

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

2.8.2.2 Aguas subterráneas

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

La aptitud para consumo humano, en la mayoría de las fuentes, se halla dentro de los límites de potabilidad (aceptables, regulares, buenas y muy buenas), salvo en muy pocos casos, en algunas zonas donde por sus características de dureza, composición química,

y por el grado de contaminación, se restringe su uso, clasificándose como mediocres y malas.

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

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

La **conductividad eléctrica (CE)** en el contexto general del sistema, como un indicador del contenido total de sales disueltas en el agua, evoluciona en el espacio con tenores que siguen una tendencia creciente del norte al sur entre $500 < CE < 5.000$ micromhos/cm a $+25^{\circ}\text{C}$. Según este rango de conductividad las aguas tienen una salinidad baja, media, alta y muy alta. Asimismo se distingue otra tendencia general de conductividad en el sentido nor-este hacia sur-oeste, en las cuencas hidrogeológicas cuyas fuentes de recarga provienen de los deshielos de la Cordillera oriental, con un rango de $500 < CE < 1.000$ micromhos/cm a $+ 25^{\circ}\text{C}$.

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

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

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

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

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

(*) El número de los pozos es el asignado en el Estudio de Hidrogeología.

2.8.2.3 Uso del agua para proyectos de riego

La potencial utilización de las aguas para riego, en particular de las aguas superficiales, en el sistema T.D.P.S. deberá considerar, que si bien los niveles de salinidad se incrementan en la dirección aguas abajo, en el río Desaguadero, por lo que toca al uso de agua para riego con relación a su contenido de sales, en cada caso o proyecto específico, aparte de sus propias características, además de tener en cuenta la calidad del agua, será necesario considerar otras variables como son: las características de los suelos a irrigar (salinidad y drenaje), el tipo de riego a emplear, los cultivos a desarrollar, y sobre todo las condiciones de manejo del agua de riego, del drenaje y de los suelos a emplearse, lo que llevará, en cada caso, a la posible implementación o no del proyecto.

2.8.2.4 Lodos (sedimentos)

De los 12 puntos muestreados (figura 24), los lugares más contaminados están en el río Coata (aguas abajo de Juliaca) y en el lago Uru-Uru. Los contenidos de cadmio, cobre, manganeso, mercurio y plomo observados en el Coata son superiores a los límites admisibles por las normas vigentes, especialmente a la altura de Juliaca. En el recorrido hacia el pueblo de Coata, el contenido de contaminantes disminuye ligeramente, pero no llega a situarse por debajo del límite admisible.

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

El lago Poopó muestra concentraciones elevadas de cadmio (en Huari), cobre, manganeso y zinc, también producto de las actividades mineras de la región (ingenios de Poopó y Bolívar).

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

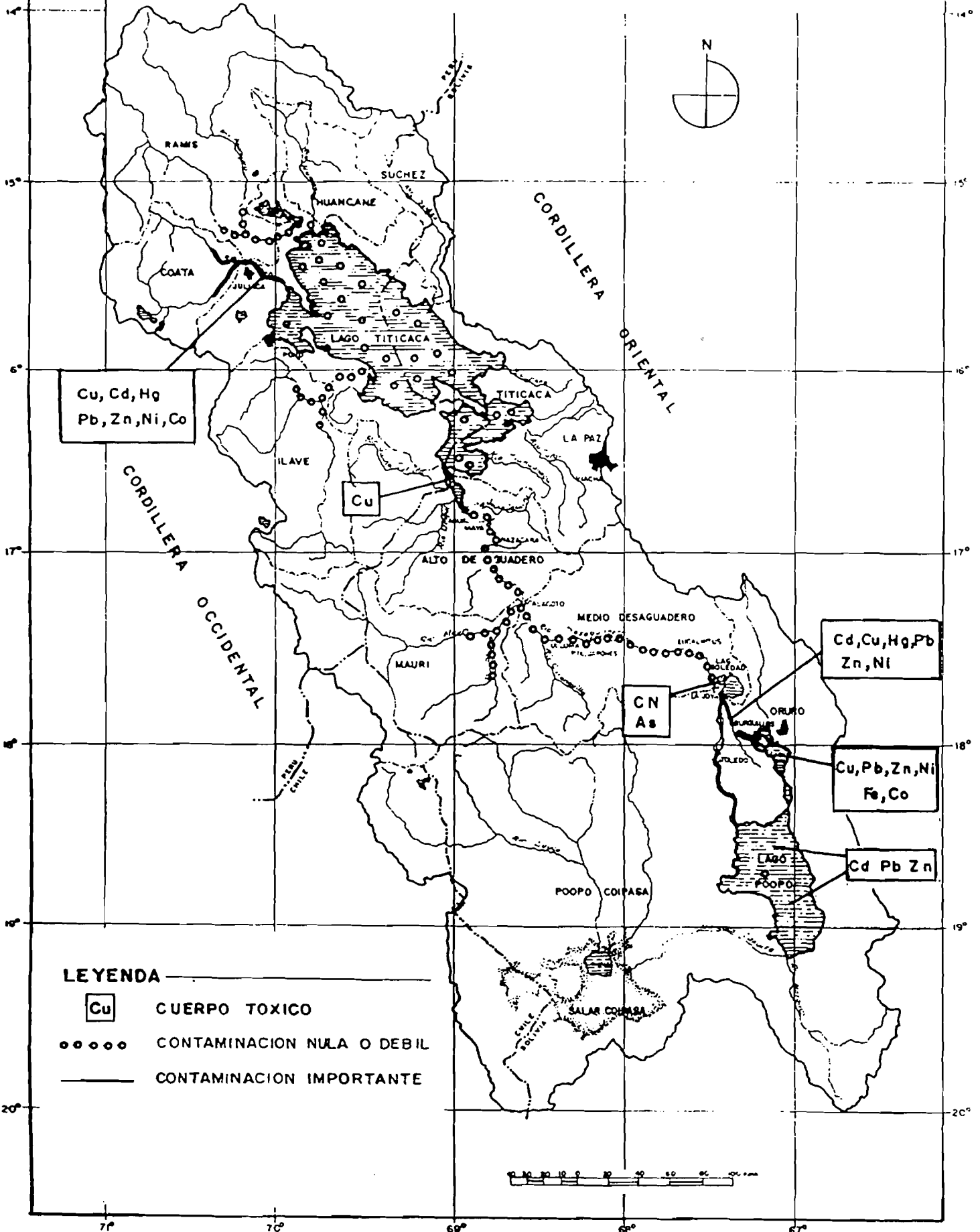
En los lodos no se han detectado problemas de contaminación por arsénico, cobalto, cromo, níquel o plata.

2.9 MEDIO NATURAL

Los objetivos principales de los estudios realizados han sido:

- Analizar la situación medio ambiental actual;

FIGURA 24 : CONTAMINACION DE LOS SEDIMENTOS METALES PESADOS.



- Proponer una estrategia de preservación y restauración de los ecosistemas degradados; y
- Proponer un esquema de gestión de los recursos naturales.

a) Flora y fauna acuática del lago.

Si bien la correlación del binomio flora-fauna del lago no se conoce en detalle (plancton, bentos, peces), del mismo modo que el funcionamiento del lago (sedimentación, producción primaria), se puede señalar que las extracciones vegetales provocan una reducción de la superficie de llachu y totora (principales asociaciones vegetales del lago), cuyas consecuencias repercuten sobre la fauna piscícola y la avifauna.

b) Contaminación del agua y del aire

Dentro de la problemática medio ambientalista del sistema T.D.P.S, se identificaron las características de la contaminación en el sistema señalándose:

- Contaminación de aguas superficiales por materia orgánica (Puno-Juliaca, Desaguadero, Oruro); en la bahía de Puno se encuentran coliformes fecales (1000/100 ml).
- Contaminación (en gran parte natural), por sales agua abajo de la confluencia con el río Mauri, alcanzando las tasas más altas 2,50 gr/l en el lago Poopó; y
- Contaminación de aguas superficiales por metales pesados, en particular en los alrededores de Oruro.

Contaminación de sedimentos por metales pesados en:

- El río Coata, aguas abajo de Juliaca, y
- El río Desaguadero, lago Uru-Uru y lago Poopó.

Todas estas circunstancias inciden en una contaminación de la cadena trófica en particular de los peces.

Se han identificado como principales fuentes de contaminación:

- Los efluentes urbanos;
- Los efluentes de las industrias mineras;
- La contaminación del aire en el sector de Oruro.

c) Equilibrio biológico del lago

La evaluación del equilibrio biológico del funcionamiento del lago Titicaca, identificó la vulnerabilidad del lago y estableció los principales factores limitantes para la gestión del mismo. Estos factores son:

- La sedimentación del lago, y su evolución;
- Los aportes disueltos, y
- La productividad primaria: el plancton, y las macrofitas.

No se puede explicar con certeza la evolución observada de algunos elementos, en particular el desarrollo de las cianofíceas, que podrían explicar el fenómeno de eutrofización, que sucede en algunos locales del lago (bahía de Puno).

Los elementos a considerar en el futuro, reagrupan numerosos aspectos; entre los que se puede mencionar:

- Gestión de la vegetación, y
- Gestión de la pesca,

Estas acciones necesitan una fase de estudios complementarios antes de una planificación de las extracciones sustentables.

Otros factores a tener en cuenta son:

- Desarrollo de la acuicultura,
- Desarrollo de la población y de la industrialización, que demandan:
 - . Un abastecimiento de agua de calidad
 - . Un tratamiento de las aguas servidas, principalmente en Puno y Oruro, además de un estudio urgente de la contaminación de la bahía de Puno;
 - . Una gestión de los desechos sólidos; y
 - . Una descontaminación de los efluentes mineros

El estudio llega a diferentes conclusiones, entre ellas:

- La flora y la fauna terrestres sufren sobreexplotación (caza, pastos).

Cinco especies animales están en vía de desaparición (chinchilla, flamenco jamesi, flamenco andino, suri, karachi) en el sistema y doce especies en situación vulnerable (zorro colorado, vicuña, guanaco, cóndor andino, ajojay roma del lago, tres especies de karachi y tres de boga, suche y mauri).

Existen áreas protegidas en el sistema T.D.P.S, pero tanto en Bolivia como en Perú la política de preservación es poco incentivada y no permite una protección efectiva del patrimonio silvestre.

- La tendencia actual de la evolución del medio natural corresponde, casi siempre, a una agravación de los fenómenos de degradación.

No existen medidas suficientemente fuertes para reducir la contaminación o restaurar los lugares alterados por la erosión o el sobrepastoreo.

Por último se sugieren elementos y estrategias para la gestión de los ecosistemas en el futuro.

2.9.1 Diagnóstico del medio natural

Se presentan a continuación las características de la flora y fauna lacustre, fluvial y terrestre del sistema T.D.P.S.

A) **Flora y fauna lacustre y fluvial**

En la cuenca altiplánica, la flora y la fauna lacustre y fluvial, son particularmente conocidas en el lago Titicaca y en menor escala en los otros cuerpos de agua.

- **Flora**

La composición planctónica del lago agrupa principalmente algas verdes y diatomeas, pero también cianobacterias fijadoras de nitrógeno.

Las **diatomeas** del lago son conocidas desde los trabajos de Frenguelli (1939). Trabajos más recientes (1987), abordan este aspecto de la flora acuática del lago. Las diatomeas agrupan un número pequeño de taxones.

Ittis (1991) ha realizado una síntesis de la flora de algas en general y también un estudio del aspecto cuantitativo. Finalmente, Richerson (1986), ha desarrollado una investigación de la producción primaria y de la biomasa de algas.

La flora del lago Titicaca se caracteriza por un predominio de clorofitas y de clorococales. Ittis señaló que en su estado actual la flora algal no puede considerarse como exhaustiva.

Desde el punto de vista cuantitativo el fitoplancton se caracteriza por una abundancia de cloroficeas y cianoficeas. La población algal se encuentra hasta una profundidad de 80 a 100 metros.

Las **macrofitas**, están representadas por, aproximadamente, quince especies; se destacan:

- El "llachu": *Elodea potamogetum* ("Yana" o "Chancco llachu"); *Myriophyllum elatinoides* ("Hinojo" o "Waca llachu") y *Potamogeton Strictus* ("Huichi huichi" o "Chilka llachu").
- La "totora verde" o "totora tierna" : Género *Scirpus*.

Las comunidades de macrofitas ocupan todas las zonas poco profundas. Colleot (1980), define 6 tipos de asociaciones a partir de la profundidad

de agua. La asociación de *Schoenoplectus totora* (totora) es muy importante y se ha observado de 2,5m hasta 4,5m (ver figura 25).

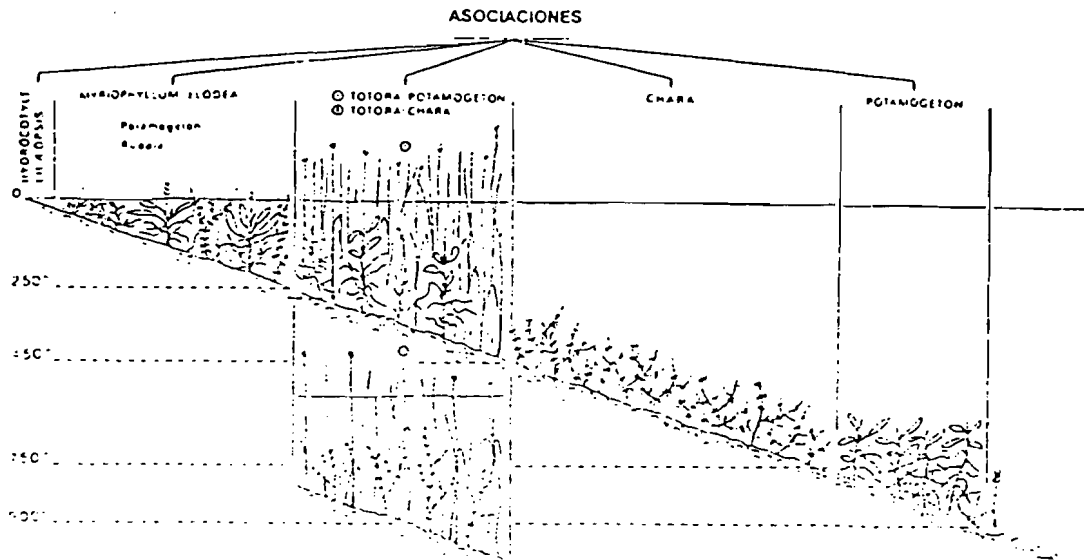


Figura 25. Las asociaciones vegetales del Lago Titicaca (Colleot 1979-1990)

Las carofíceas se observan en los sectores más profundos y tienen importancia en el ecosistema lacustre; su capacidad de adaptación a la salinidad parece bastante elevada (10-12 g/l).

La población de totora de la bahía de Puno corresponde a la mitad de la población total del lago Titicaca.

- **Fauna**

En cuanto a la fauna lacustre podemos distinguir:

- Zooplanctón
- Fauna béntica
- Fauna piscícola

a) **Zooplancton**

Con excepción del inventario sistemático de algunos grupos en una parte del lago Titicaca, el conocimiento del zooplanctón es aún muy limitado, en particular la ecología y la biología de las especies existentes.

Entre los grupos principales que constituyen el zooplanctón, los copepodos son ampliamente dominantes sobre la población de cladoceros y su reproducción es continua todo el año. Un pez, *Orestia lpsi*, tiene influencia sobre la distribución de poblaciones del zooplancton.

b) Fauna béntica

Globalmente, más del 95% de la población béntica se halla en los primeros 15 metros de profundidad en el lago menor y en los primeros 25 metros en el lago mayor. La zona ribereña es una zona de desarrollo de la fauna béntica (ver figura 26).

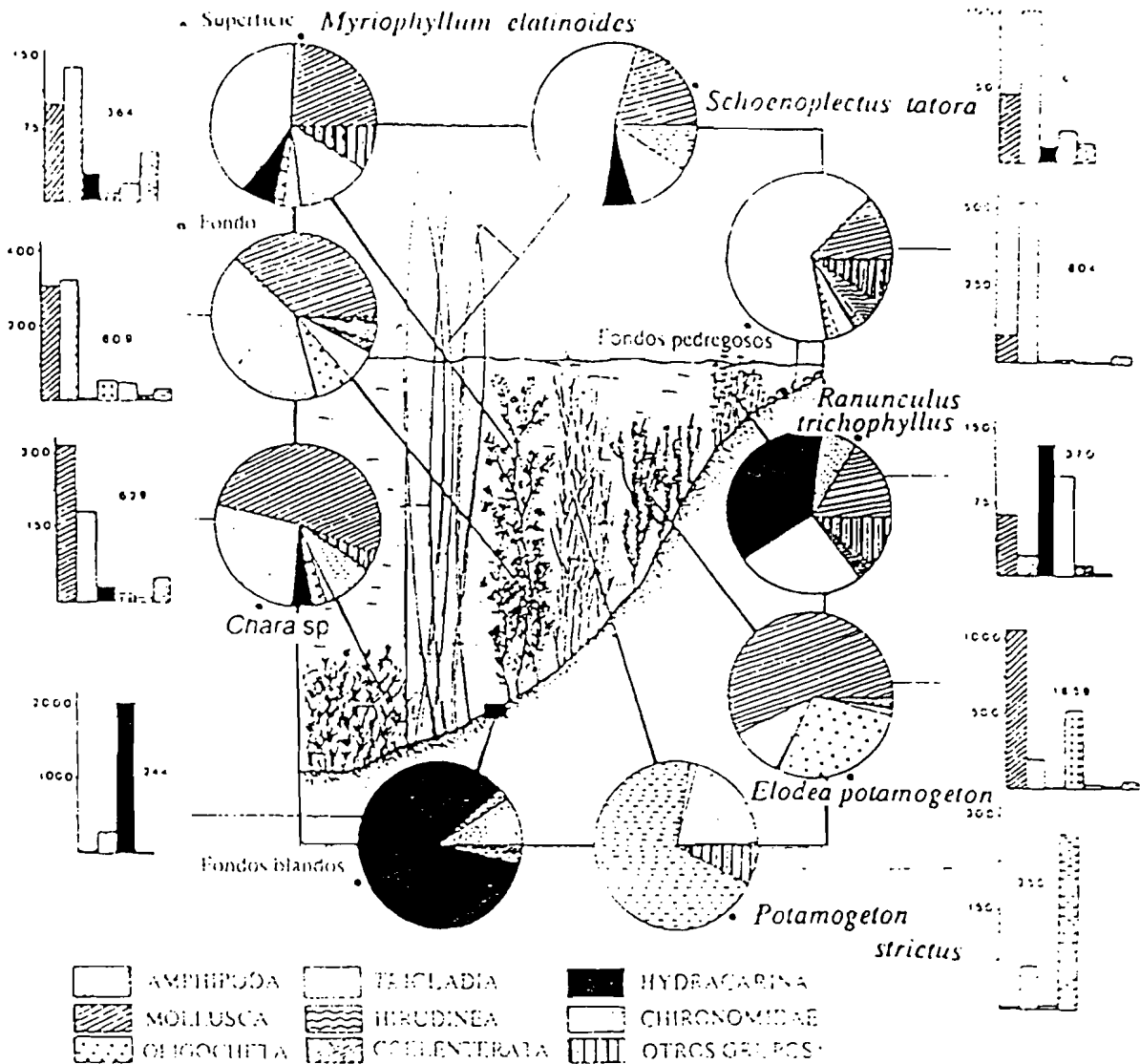


Figura 26. Distribución de los principales grupos de invertebrados bénticos (C. Dejoux 1991)

Dejoux, subraya que los moluscos y anfipodos representan los grupos faunísticos predominantes en el conjunto del lago. La fauna béntica es insuficientemente conocida.

c) Fauna piscícola

La cuenca endorreica del altiplano es rica en especies piscícolas, distribuidas en varias unidades hidrológicas: lago Titicaca (lago Mayor y Menor), lago Poopó, laguna Soledad y río Desaguadero, y lagunas y ríos menores.

La mayor concentración de recursos se encuentra en los lagos Titicaca y Poopó, de los cuales se indican las principales especies comerciales (Fuente: IMARPE y MACA-Centro de Desarrollo Pesquero C.D.P.):

| <u>NOMBRE COMUN</u> | <u>NOMBRE CIENTIFICO</u> |
|-------------------------|---------------------------------|
| Pejerrey | Basilichtys bonariensis |
| Trucha (arco iris) | Salmo gairdneri |
| Trucha (marrón) | Salmo trutta |
| Trucha (salmón) | Salvelinus namaycush |
| Trucha (arroyo) | Salvelinus fontinalis |
| Mauri | Trichomycterus rivulatus |
| Boga | Orestias pentlandii |
| Karache amarillo | Orestias luteus, albus, jussiei |
| Ispi | Orestias ispi, forgeti |
| Karache negro (béntico) | Orestias agassii |

De éstos, la especie Orestia (karache e ispi) y el Mauri, suche y boga son nativas y representaron tradicionalmente la producción local. Con la introducción de las especies exóticas - la trucha en 1942 y el pejerrey en 1955 - éstas asumieron una mayor importancia comercial.

En cuanto al lago Titicaca, Lauzanne (1991), lo divide en dos zonas muy desiguales:

- una zona provista de vegetación acuática
- una zona desprovista de vegetación acuática

La figura 27 ilustra la distribución de los peces en el lago.

PESCA
(ARTE)

ESPECIES

FACES

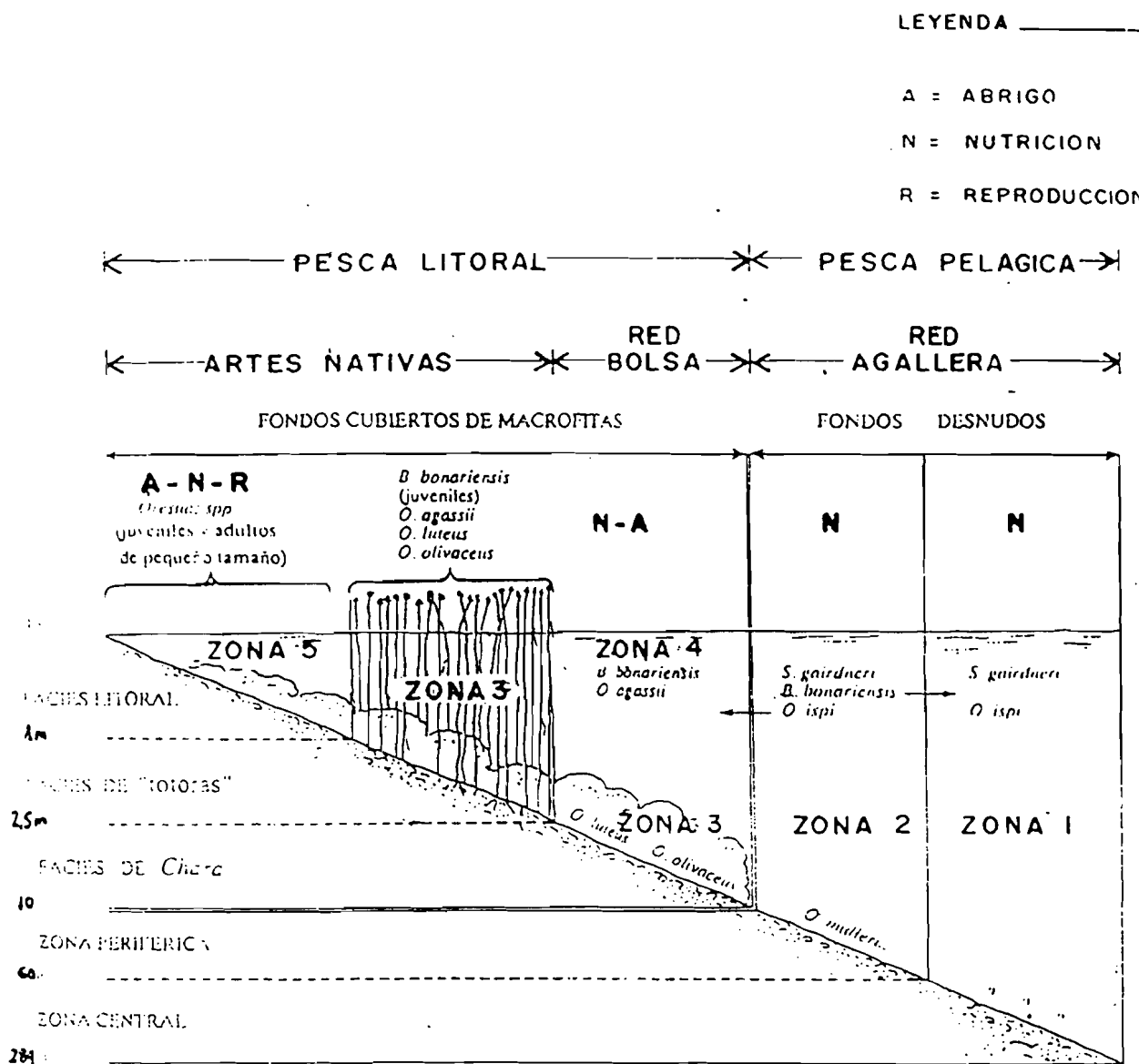


Figura 27. Medios acuáticos, especies ícticas y modos de pesca

La población pelágica es conocida. Hay una repartición de la población piscícola en las zonas vegetales en función de la diversidad vegetal. La vegetación juega un papel muy importante, el llachu en particular, pero también la totora como zona de abrigo y de nutrición.

B) Flora y fauna terrestre

- Flora

Las condiciones climáticas existentes en el altiplano, son las causas principales del escaso desarrollo, tanto de la vegetación arbórea como arbustiva.

La vegetación leñosa natural o nativa, está constituida principalmente por:

Quinales o queñoales o lampayo (género *polylepsis*); existe:

- La especie **P. incana**, que se ubica generalmente en terrenos pedregosas con pendientes de hasta 70% (como en los bosques de Pampas de Capazo, de Santa Rosa de Juli y de Queñoapacheta - Pizacoma en el sector peruano).
- La especie **P. Tomentella**, es de porte bajo y alcanza alturas promedio de 1,0 a 1,5 m por lo que se le considera en algunos casos como arbustos.

A los queñoales se les encuentra principalmente en las faldas de los conos volcánicos del oeste del sistema (como en el Parque Nacional de Sajama en el sector boliviano) y en la zona sur-occidental de Puno, 2.516 ha., y en la cuenca del Ramis, 1.400 ha, entre Lampa y Pucará, en el sector peruano. Los queñoales tienen alta resistencia a las sequías y a las heladas (mínimo promedio anual de menos 22°C y período libre de heladas de 30 días).

Tholares o tolares (*Baccharis tricuneata* y *Parastrephia lepidophilla*), se encuentran en muchos casos formando asociaciones con el ichu y la festuca. Esta vegetación arbustiva baja se ubica en las laderas y recodos (las dos primeras) y en las grandes pampas alejadas de la zona circunlacustre (en particular la última especie, que es más rústica y soporta temperaturas más bajas y menor humedad).

Se encuentran principalmente en el sector boliviano, particularmente en la sub-cuenca Poopó y Salares (796.863 ha., de las cuales se encuentran densamente pobladas 99.992 ha.), y en la zona sur-occidental (Chucuito-Yunguyo) con una extensión de 45.000 ha. (pampas de Marcollo, Lancamayo y Capazo) y en la cuenca de llave, con una extensión de 5.500 ha. en el sector peruano.

Q'olle o quishuar (*buddleia*), que se presenta formando pequeños bosques residuales así como formando arborizaciones ornamentales en cercos o en algunos caminos principales. Existen dos tipos bien diferenciados: Q. negro, que se desarrolla con predominancia en un sólo tronco, y el Q. blanco, que se desarrolla con gran ramificación. Se desarrolla en zonas con temperaturas promedio anuales de 7,5°C a 10°C. y soporta temperaturas mínimas de hasta menos 17°C..

Quishuara (*Chuquiraga*), que se desarrolla en terrenos con pendientes mayores de 25%, con suelos de textura gruesa (franco arenoso). Se le encuentra con distanciamientos diversos, llegando a tener alturas mayores de 1 m, y asociada con la queñoa.

Se han realizado en el altiplano plantaciones forestales en los últimos años con relativo éxito (en pequeña escala).

En las áreas circundantes al lago Titicaca se plantaron especies exóticas como eucaliptos (*Eucalyptus globulus*), pinos (*Pinus radiata*) y cipreses (*Coppresus*), como especies nativas como q'ueñoales y q'olles. Sin embargo, en las pocas experiencias en las zonas alejadas del lago, las plantaciones inicialmente han presentado un gran porcentaje de extinción llegando sólo algunas plantas a sobrevivir afectadas por los factores climáticos adversos y daños por animales. Se han identificado algunas áreas posibles (relativamente extensas) para desarrollo forestal como las zonas de Huancané (16.000 ha.), llave (5.500 ha.), Chucuito-Yunguyo (9.700 ha.) e islas del lago Titicaca en el sector peruano, donde por su aptitud forestal se propone la plantación de especies exóticas y/o nativas. Existen algunas áreas con resultados positivos: distritos de Moho, Conima, Chucuito y península de Capachica en la sector peruano, donde se han identificado (en Moho y Conima) la existencia de 128 ha. con especies exóticas, así como también en la península de Taraco en el sector boliviano.

- **Fauna**

Dentro de la fauna terrestre se distinguen:

- Batracios y reptiles
- Aves
- Mamíferos

a) **Batracios y reptiles**

Los batracios están constituidos por cuatro géneros, de los cuales el **Telmatobius** es el representante más característico de los batracios andinos en las aguas del lago Titicaca. La sistemática de los batracios no está definida con precisión.

El género **Telmatobius**, reagrupa un cierto número de especies derivadas.

El género **Pleurodena**, presenta 2 especies. *P. marmorata* y *P. cinerea*.

El género **Gastrotheca** y en particular, la especie *G. boliviana*, sin ser abundante, tiene una dispersión amplia en todos los alrededores del lago Titicaca.

El género **Bufo spinolosus**, es una especie típicamente andina y presenta varias formas, según su localización geográfica. La del lago Titicaca es la forma tipo *Bufo spinolosus spinolosus*.

Una especie de serpiente se encuentra en las orillas del lago Titicaca: *Tachymenis peruviana*. Es una pequeña culebra que no sobrepasa los 40 a 50 centímetros.

La literatura señala otras dos especies en el piso húmedo montano: *Liolaenus multiformes*, y *Proctoporus boliviano*.

b) Aves

Existen más de 13 grupos, 25 familias y 50 especies diferentes de aves, constituyendo la avifauna del altiplano. Las orillas del lago representan una zona de atracción para numerosas especies de pájaros. 10 especies son formas inherentes al medio acuático, aunque no constituyen un grupo permanente y denso.

La avifauna permanente del lago agrupa una docena de especies; cinco especies de patos pueblan regularmente el lago. Como en la mayoría de los medios lacustres profundos, la zona litoral es la más frecuentada y soporta las mayores concentraciones de pájaros; la vegetación juega de nuevo un papel importante.

Los pájaros que viven en el lago Titicaca, efectúan diferentes tipos de migraciones, algunas especies llegan hasta Norteamérica (Canadá) o al extremo sur de la cadena andina.

En realidad el lago Titicaca no constituye un ecosistema aislado con una avifauna particular. Las especies existentes habitan prácticamente todo el altiplano.

Entre los principales géneros podemos citar:

- Tinamiformes : Codorniz
- Columbiformes : Paloma, Tortola
- Gruiformes : Gallineta común, Tika, Gallineta de agua, Ajuya, Choka, Gallareta americana, Gallareta gigante
- Podicepediformes : Zambullidor, Patito Pumpún, Maca común, Nimra, Maca alicorto
- Charadriiformes : Gaviota andina, Gaviota menor, Chorlito
- Ciconiformes : Cuervillo de la puna, Puna ibis, Zonzon, Pájaro bobo, Martineta
- Anseriformes : Ganso andino, Pato del lago, Pato cola aguda Ita, Pato barcino, Pato piojoso, Pato Puna, Pana, Pato zambullidor
- Pelecaniformes : Mehke
- Falconiformes : Cuervo, Matamico, Aguila, Cernicalo, Malcom, Kilincho
- Psittaciformes : Kitaloro, Catita andina
- Apodiformes : Picaflor gigante

| | | |
|--------------|---|---|
| Piciformes | : | Pito, Carpintero de las piedras |
| Paseriformes | : | Kiti-Kiti, Pampero común, Mirlo acuático, Dormilona corona castana, Negrito, Siete colores, Chiguengo, Golondrina andicola, Ruiz senior, Chicurico, Bisbitos, Jilguero, Cabecita negra oscura, Kelluncho, Pichisanka, Totorero. |
| Otros | : | Suri (ñandú americano), parihuana o flamenco. |

c) Mamíferos

Entre los mamíferos se han aclimatado perfectamente al altiplano, formando ya parte integrada del mismo: ovinos, vacunos, asnos, porcinos, canes, caballos, chinchillas, vizcachas, venados (taruca), etc.,etc.

Los mamíferos nativos más frecuentes se reagrupan en las especies siguientes:

Conepatus rex: Zorrino
 Dusicyon calpaeus andinus : Zorro
 Pyllotis pictus : Ratón de campo
 Cavio sp : Tokoro
 Punomis lemninus y Phyllaris pictus : Ratones de campo

Mención especial merecen los camélidos; tienen su habitat entre los 3800 y 4200 msnm, en las regiones ecológicas del altiplano y valles altos (bofedales). Entre los camélidos sudamericanos podemos distinguir la llama: (Lama lama), alpaca (Lama pacos), guanaco (Lama guanicoe) y vicuña (Vicugna vicugna); las dos primeras son domésticas y las dos últimas silvestres en vías de desaparición.

2.10 CARTOGRAFIA, TOPOGRAFIA Y BATIMETRIA

Cartografía

Se ha recogido en los Servicios Geográficos de los dos países toda la cartografía topográfica del área de los estudios a diferentes escalas.

Se han recopilado fotografías aéreas e imágenes satelitales; así como en diversas instituciones, cartografía temática de diferentes aspectos (suelos, geología, vegetación, cobertura vegetal, etc.).

Batimetría y Topografía

Los objetivos de este estudio han sido:

- Determinar las relaciones cotas-superficies de agua-volúmenes del lago Titicaca;

- Determinar, por medio de un levantamiento batimétrico, la geometría del canal principal del río Desaguadero en sus primeros 40 Km., a partir de la salida del lago;
- Levantar las secciones transversales del río Desaguadero a lo largo de su recorrido; y
- Conectar con una línea de nivelación las estaciones limnimétricas ubicadas a lo largo del Desaguadero.

Las zonas de actuación son presentadas en la figura 28.

a) **Batimetría de las riberas del lago Titicaca**

Las curvas cota - superficie - volumen del lago han sido definidas a partir de la batimetría realizada por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina del Perú y el Servicio de la Hidrografía Naval de la Armada Boliviana en el año 1977-79, durante el cual la cota del espejo del agua estaba a 3.808,65 m.s.n.m. referida al Sistema Nacional de Bolivia y a 3.809,04 m.s.n.m. en el Sistema de la Red Nacional del Perú.

La delimitación de los contornos del espejo del lago, a las cotas superiores a los 3.808,65 m.s.n.m. hasta las 3.815,00 m.s.n.m., se determinaron utilizando imágenes de satélite y la cartografía existente a la escala 1:100.000 de la parte de Bolivia y 1:50.000 de la de Perú.

Las imágenes utilizadas fueron:

- WRS 001/071 fecha 20/04/90; nivel del lago 3.810,54 m.s.n.m.
- WRS 002/071 fecha 20/04/90; nivel del lago 3.810,54 m.s.n.m.
- WRS 002/071 fecha 31/03/86; nivel del lago 3.812,14 m.s.n.m.
- WRS 001/071 fecha 09/10/73; nivel del lago 3.809,19 m.s.n.m.

Los controles de campo se realizaron con una campaña topográfica, durante la cual se realizaron, a lo largo de las riberas del lago, 15 perfiles con una longitud total de 56 Km.

Las curvas de nivel han sido dibujadas con intervalos de 25 metros, a partir de la cota más baja (3.532,66 m.s.n.m.) hasta la curva de cota 3.800 m.s.n.m; y de la cota 3.805 m.s.n.m. hasta la curva de cota 3.815 m.s.n.m., la equidistancia ha sido de 1 metro.

Las curvas de nivel, dibujadas y presentadas sobre los planos EBT-BT 001/007 a la escala 1:50.000, están conectadas a la red nacional de nivelación de Bolivia.

El lago Mayor y el lago Menor son las dos partes en las que está dividido el lago Titicaca.

El lago Mayor incluye también la laguna de Arapa, que se une al lago Titicaca a partir de la cota 3.810 m.s.n.m.. Se calcularon los valores de las superficies y de los volúmenes en función de las cotas; valores que pueden ser vistos en los Estudios Batimétricos y Topográficos. (Figuras 29 y 30).

FIGURA 28 : ZONAS DE ACTUACION DEL ESTUDIO DE BATIMETRIA Y TOPOGRAFIA

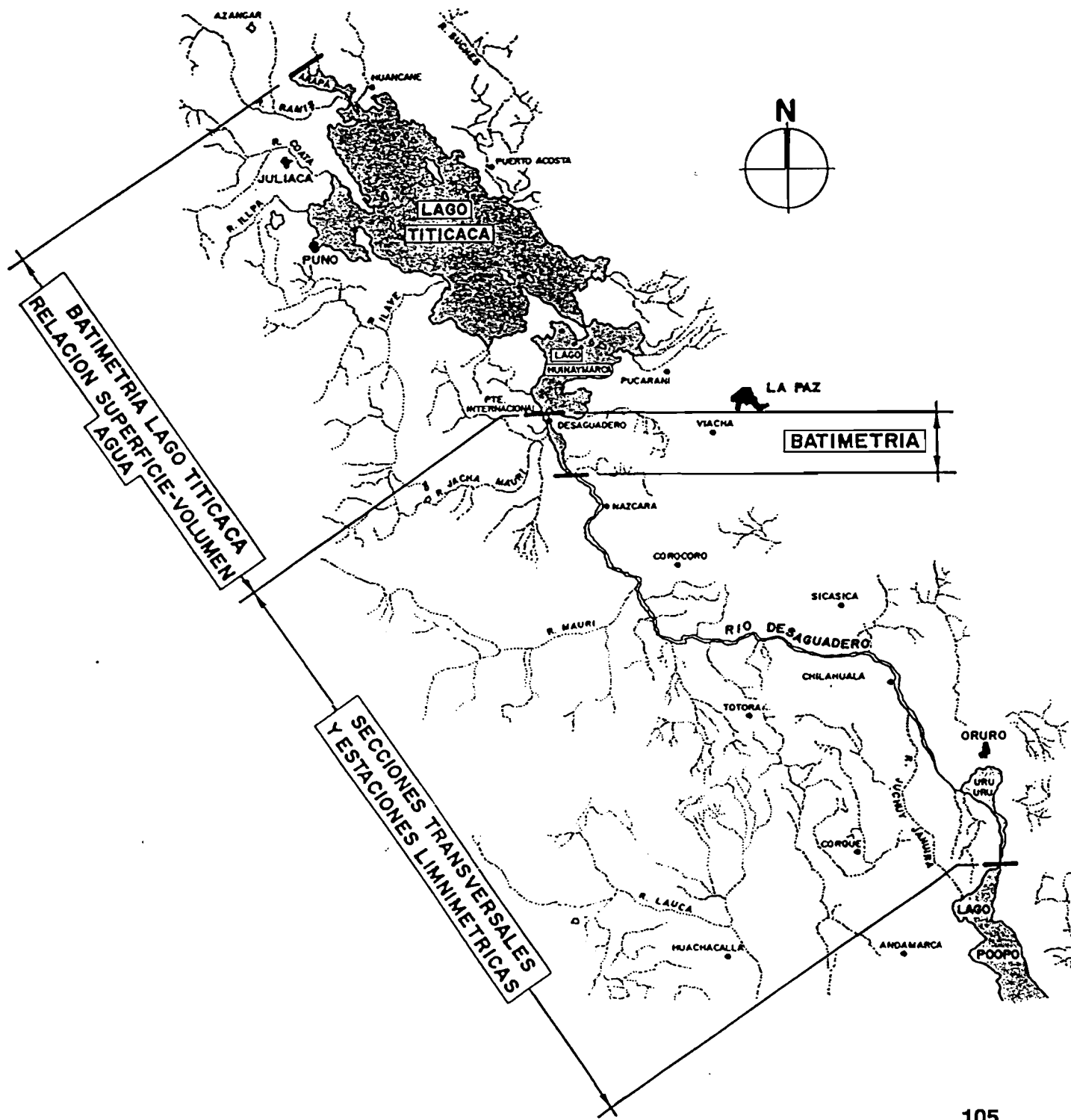


FIGURA 29 : CURVAS DE LAS SUPERFICIES Y VOLUMENES EN FUNCION DE LA COTA.

- LAGO TITICACA INCLUIDA LAGUNA DE ARAPA -

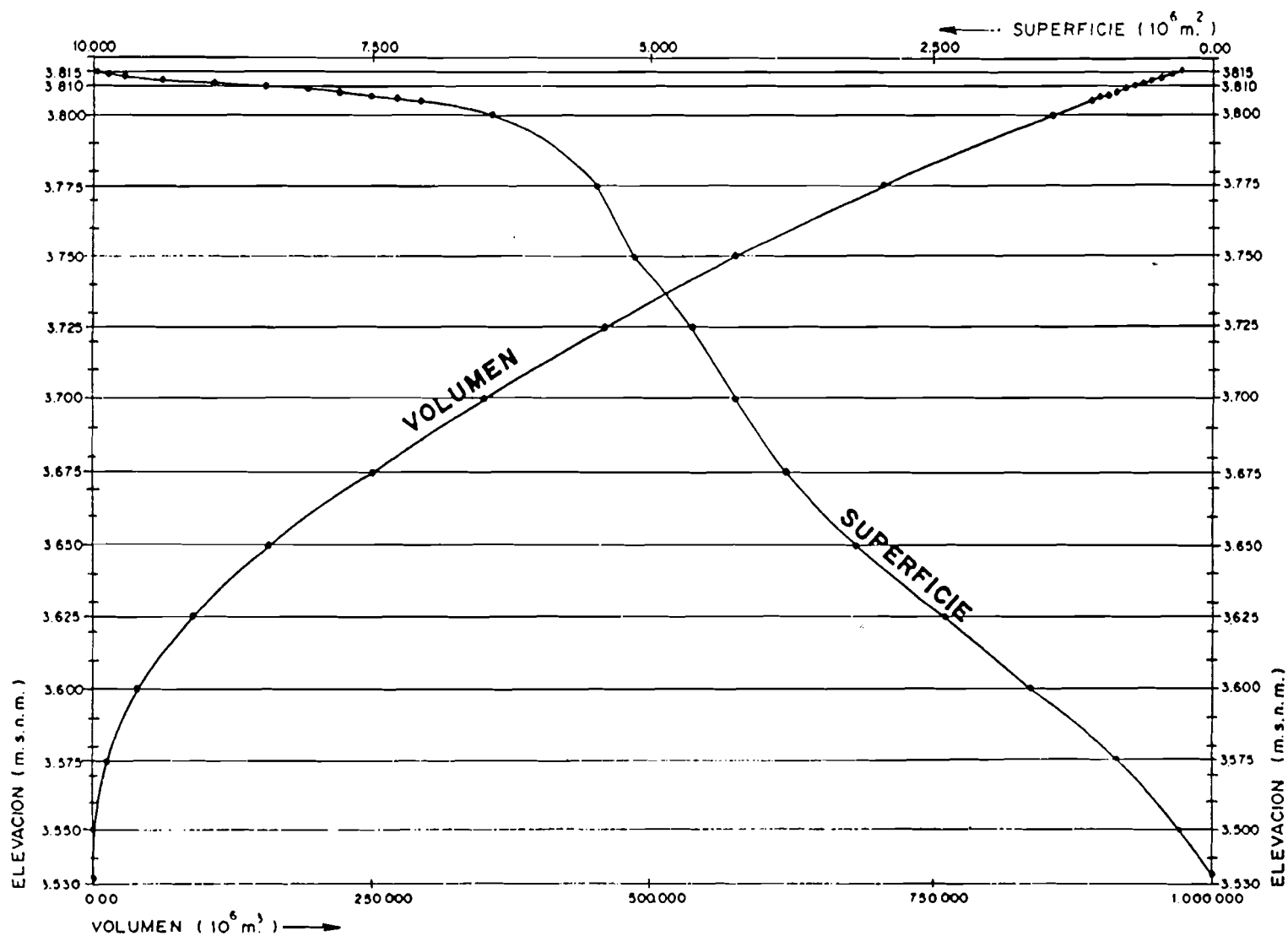
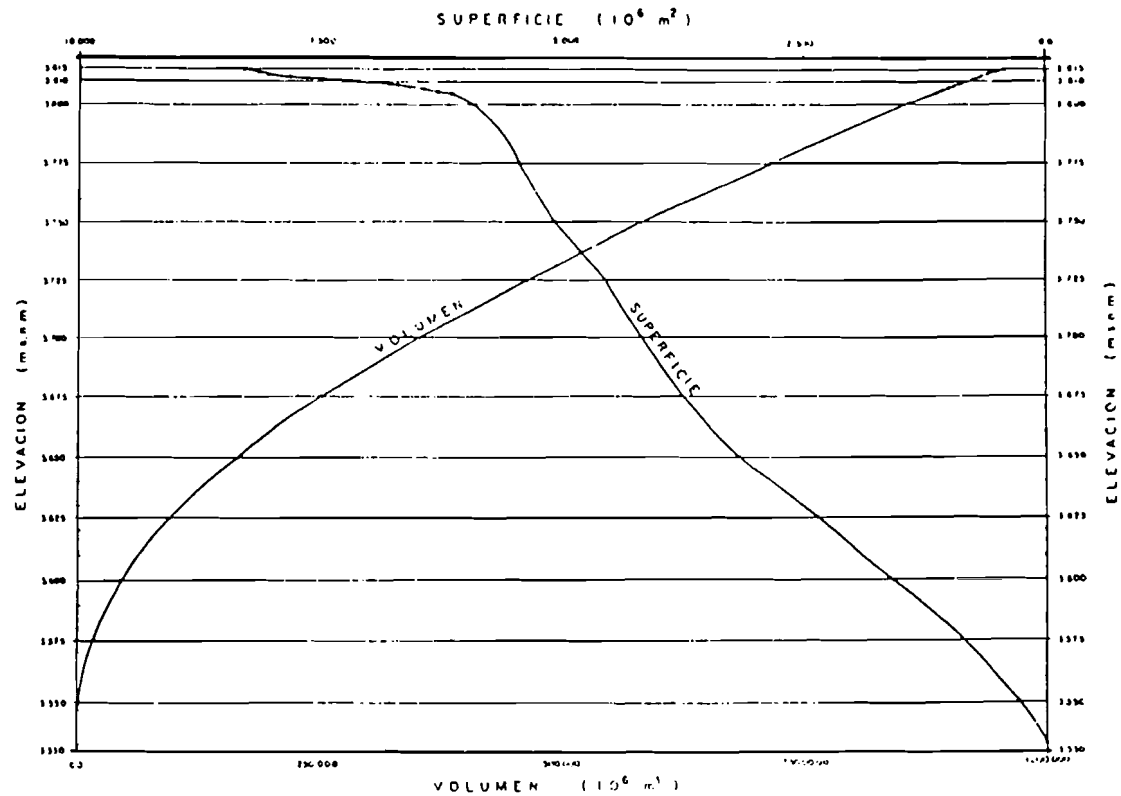
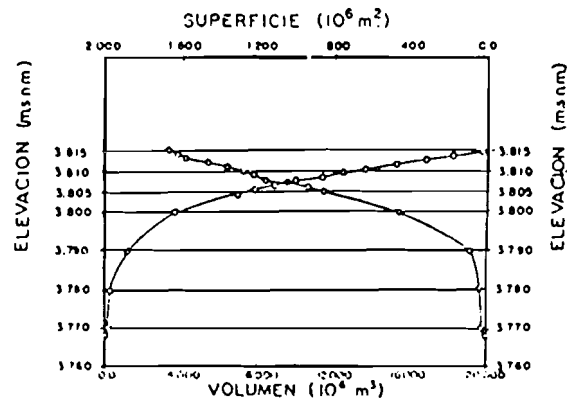


FIGURA 30 : CURVAS DE LAS SUPERFICIES Y VOLUMENES EN FUNCION DE LA COTA.
 —PARTE LAGO MAYOR—



—PARTE LAGO MENOR—



b) Batimetría y topografía del río Desaguadero

El primer tramo del Desaguadero, aguas abajo del Puente Internacional, hasta el puente peatonal de nueva construcción en la localidad de Aguallamaya, tiene las características de laguna delimitada por los estrechos donde están ubicados los dos puentes; tiene una longitud aproximada de 39,3 Km.

Con el fin de definir un canal en la parte más profunda, fue previsto un levantamiento batimétrico de una faja de ancho 100 m. con una longitud de alrededor 30 Km., pero la presencia de totorales y la característica misma del río han llevado al levantamiento de toda el área inundada del tramo arriba descrito.

La batimetría ha sido realizada por el Servicio de Hidrografía Naval de la Armada Boliviana.

Las modalidades técnicas empleadas en la realización de dicho levantamiento fueron las siguientes:

- líneas de sondaje longitudinales, en aquellos lugares donde el río presentaba canales angostos
- líneas de sondaje transversales en sectores con ancho mayor a los 100 m.
- sondaje con una regla graduada, o sea método de batimetría de contorno, en los sectores donde la profundidad, la totora y las algas no han permitido el uso de la ecosonda.

En el Estudio de Batimetría y Topografía se presenta la descripción de la campaña batimétrica y una serie de fotografías que documentan las dificultades encontradas y justifican la metodología utilizada.

El apoyo a la batimetría se efectuó por medio de puntos de una poligonal realizada a lo largo de la margen izquierda del río Desaguadero.

La poligonal fue conectada a la Red Básica Nacional de Bolivia, establecida por el Instituto Geográfico Militar -IGM en el año 1969. La longitud total de la poligonal fué de 79 Km.

El control vertical de las estaciones de apoyo se realizó con una línea de nivelación geométrica conectada a la Red Nacional de Nivelación.

Los ecogramas batimétricos fueron leídos según criterios técnicos aplicados en aguas con presencia de plantas acuáticas.

Para definir el nivel del agua se establecieron tres diferentes niveles de reducción como se indican a continuación:

- nivel de reducción a 3.808,65 m.s.n.m (sistema Boliviano), llevando en cuenta el mínimo desnivel de las aguas en los primeros 6 Km, cuyo valor promedio es de 1 cm por kilómetro. Este nivel de reducción corresponde al mismo que fue establecido para el lago Titicaca;
- nivel de reducción a 3.808,54 m.s.n.m. (sistema Boliviano) para el subtramo desde la Comunidad de Vituncani hasta las proximidades de Irohito (15 Km aproximadamente). Este nivel de reducción está 11 cm más bajo que el del primer sub-tramo (3.808,65 m.s.n.m.);
- nivel de reducción a 3.808,47 m.s.n.m. para el sub-tramo de Irohito hasta Aguallamaya.

Los niveles de reducción fueron establecidos por medio de la instalación de dos estaciones limnimétricas: una en la Comunidad de Vituncani y la otra en la Comunidad de Irohito.

Los valores fueron definidos por lecturas diarias de los niveles del río en las estaciones: Puente Internacional, Vituncani e Irohito.

El esquema del cálculo de la reducción del sondaje se representa en la figura 3.13 del Estudio de Batimetría y Topografía, (Anexo 12 al Plan Director).

c) Mapas batimétricos

Los puntos levantados con ecosondas y con regla graduada se presentan sobre mapas a escala 1:1.000 (Ver Estudio de Batimetría y Topografía).

Como fue explicado más arriba, en los sectores donde el río presenta un canal estrecho, se levantaron secciones transversales y se correlacionaron, por medio de un programa de restitución taquimétrica, con los puntos del canal para presentar una faja ancha 100 m.

Los puntos interpolados son presentados en los mapas con una densidad de 1 punto cada 1 cm² a escala 1:1.000.

En los sectores con ancho mayor a los 100 m se han presentado solo los puntos levantados directamente en el campo.

Los puntos son presentados en cotas absolutas y los números representan las cotas disminuidas de 3.800, o sea 5,40 se debe leer 3.805,40 m.s.n.m.

En total se levantaron en el campo, con ecosonda o con regla, 38.000 puntos sobre una superficie de 5,1 Km².

Sobre los mapas se presentan aproximadamente 60.000 puntos en una superficie de alrededor 6,5 Km².

El trabajo final de batimetría se presenta en 59 planos a escalas 1:100 de EBT.BD 002 a EBT.BD 060; el plano EBT.BD 001 a escala 1:50.000 presenta el esquema de la poligonal de apoyo, el trazado del canal principal y el cuadro de unión de los planos.

d) Red de nivelación

El control vertical de todos los levantamientos (batimetría, estaciones limnimétricas y secciones transversal) se realizó con una red de nivelación conectada a la red de Nivelación Nacional Boliviana realizada por el I.G.M. (Instituto Geográfico Militar).

La línea de nivelación tiene una longitud total de 398 Km (Estudio de Batimetría y Topografía).

e) Estaciones limnimétricas

A lo largo del río Desaguadero están instaladas 8 estaciones limnimétricas. Las reglas de las estaciones han sido relacionadas con la línea de nivelación y se ubicaron dos mojones de control en cada estación para la verificación vertical.

Los perfiles de las estaciones del río en correspondencia con las estaciones, se representan en los planos EBT.EL 001/002, mientras la localización se recoge en mapas a escala 1:50.000: EBT.ST 001/013.

f) Secciones transversales

A lo largo del Desaguadero desde el Puente Internacional hasta el lago Poopó, se levantaron, además de las secciones en correspondencia con las estaciones limnimétricas, 46 secciones transversales (de S1 a S44 mas S1' y S41').

Las secciones se ubicaron en los puntos característicos del río para representar fielmente el cauce; la longitud de cada sección está condicionada a la topografía del lugar.

Cada sección ha sido materializada con dos mojones de hormigón colocados en las riberas, de modo que, en cualquier momento se pueda recuperar el alineamiento.

La ubicación de las secciones están representadas en los mapas a escala 1:50.000: EBT.ST 001/013, mientras los perfiles están presentados en los planos EBT.ST 014/0.28.

De un análisis de las cotas de los mojones, se observa que la línea de nivelación desde el Puente Internacional en el Desaguadero hasta Nazacara se ha colocado a la izquierda; de Nazacara hasta el puente de La Joya a la derecha, de La Joya al puente de Karasila, sobre la carretera Oruro-Toledo, a la izquierda y el último tramo hasta la confluencia con el lago Poopó, a la derecha.

Esto quiere decir que, la nivelación ha sido efectuada a lo largo de los caminos transitables.

En el último tramo, aguas abajo de La Joya, las secciones se levantaron a lo largo del brazo izquierdo, dado que este brazo presenta la forma de un canal, mientras el brazo derecho tiene la forma de un delta. El levantamiento de este último ha sido realizado por CORDEOR.

La longitud total de los perfiles de las secciones transversales alcanza 37.531,85 metros, con un promedio de 815,91 metros por sección.

La longitud total del río Desaguadero, desde Puente Internacional hasta la confluencia en el lago Poopó es de 397,63 Km, con una pendiente que varía de 0,12 a 0,49 ‰. El primer tramo del río, con una longitud de 22,53 Km, tiene una contra pendiente del 0,34 ‰.

g) Levantamiento taquimétrico

Además de los levantamientos topográficos más arriba descritos, se realizaron levantamientos taquimétricos de los 8 puentes existentes.

Los gráficos de estos levantamientos están presentados en los planos EBT.LT 001/008.

h) Señalización

La señalización de los puntos característicos de la poligonal de apoyo de la batimetría del Desaguadero, de los puntos de referencia de las estaciones limnimétricas, y de los extremos de las secciones transversales, se realizó con los siguientes tipos de mojones:

- Mojones de forma de tronco de pirámide de sección cuadrada:
 - . base superior 10 cm x 10 cm
 - . base inferior 20 cm x 20 cm
 - . longitud 40 cm

- Mojones de sección longitudinal constante y corte transversal cuadrado:
 - . corte transversal 10 cm x 10 cm
 - . longitud 80 cm

La elección de instalación, de uno de los dos tipos, ha sido en función de las características del suelo.

Todos los mojones están numerados en la parte superior y cuentan con hierro de construcción de 10 mm de diámetro, en toda su sección longitudinal sobresaliendo 2 cm en la cara superior.

La identificación de los mojones es como sigue:

- Poligonal de apoyo a la batimetría letra "P" con pintura roja;
- Línea de nivelación de tercer orden letra "N" con pintura amarilla;
- Referencia estaciones limnimétricas letra "SL" con pintura blanca;
- Secciones transversales: letra "S" con pintura blanca;
("S..I" mojones a la izquierda, "S...D" mojones a la derecha del río).

Además todos los mojones llevan la escritura TDPS (Titicaca, Desaguadero, Poopó, Salar).

Los monumentos instalados son:

| | |
|---|-----|
| - Poligonal de apoyo (de P01 a P40 mas AUX 1 y 2) | 42 |
| - Red de nivelación 12 (de TDPS N 01 e TDPS N 07, mas SHN 01, 02, 06, 07, 08) | |
| - Estaciones limnimétricas | 14 |
| - Secciones transversales (de TDPS S1 e TDPS S44 mas S1' y S41') | 92 |
| TOTAL | 160 |

De estos monumentos se presentan, las respectivas monografías (Estudio de Batimetría y Topografía).

3. DIAGNOSTICO SOCIO-ECONOMICO

3.1 RECURSOS HUMANOS

La población total del área del proyecto se ha estimado, (según datos de 1990) en cerca de 2,1 millones de habitantes, de los cuales se considera que unas 680 mil personas viven en los centros urbanos; el resto corresponde a una población rural de 1,41 millones aproximadamente, (70,5% del total), de la cual 600 mil viven en la parte peruana y alrededor de 810 mil en la boliviana.

Los centros urbanos más importantes son Puno (99600 hab) y Juliaca (134.700 hab) en la parte peruana y Oruro (183.422 hab) en Bolivia.

Entre la cordillera de La Paz y el altiplano se encuentran las ciudades de El Alto (404.369 hab) y La Paz (711.034 hab), que por sus características geopolíticas y socio-económicas quedarán fuera de la problemática del sistema T.D.P.S.

Las tasas de crecimiento de la población son sensiblemente inferiores a los promedios nacionales correspondientes. En el altiplano boliviano, éstas quedan bastante por debajo de la población total nacional, si bien son superiores a las de otras zonas rurales del país; mientras que en la parte peruana, se tiene reducción de la población rural entre 1981 (Censo: 649 mil personas) y 1990 (proyección: 604 mil). Esto puede ser consecuencia de importantes flujos migratorios (muchos de ellos definitivos) que ocurren hacia centros extra-regionales (en el caso peruano: Arequipa, Tacna y Lima; y en el caso boliviano: La Paz y El Alto, y hacia centros urbanos en las mismas áreas (Perú: Puno y Juliaca; y Bolivia: Oruro). Estos flujos migratorios generalmente se incrementan con la ocurrencia de eventos extremos como sequías e inundaciones. También ocurren flujos migratorios temporales en busca de trabajo, especialmente desde las áreas más áridas o desde la zona circunlacustre y que representan una forma de complemento al ingreso familiar.

La población económicamente activa (PEA) en el área de los estudios, se encuentra altamente concentrada en las actividades agropecuarias. Así, se ha estimado que en 1990, en la subregión de Puno, 58% de la población se dedicaba a la agricultura y ganadería; y en 1988, en los departamentos de La Paz y Oruro, el 72% y 39,8% de sus pobladores se dedicaban a dichas actividades respectivamente. Predominan en el área como fuente principal de empleo las pequeñas unidades económicas de carácter familiar, que generalmente absorben mano de obra de los miembros de la familia en forma no asalariada. Existe una subindustrialización en el área, con un sector primario fuerte, un sector terciario importante, inexistiendo prácticamente un sector secundario, teniéndose así una economía desequilibrada.

La tasa bruta de participación de la población activa rural, sobre la población rural total, resulta más baja en la parte peruana que en la parte boliviana; estimándose en 1981 un 33% y 36,6% para cada parte respectivamente. Estas diferencias pueden deberse a diferentes formas de evaluación, ya que las estadísticas disponibles de la PEA para las dos partes del área de estudio, no se presentan con criterios uniformes. En la parte peruana se cuenta la PEA a partir de los 15 años y en Bolivia se considera que menores de edad ya trabajan en el campo y también fuera de éste, por lo que en las estadísticas bolivianas se bajan los límites de la PEA a 7 años (1976) y 10 años (1988).

Gran parte del área del proyecto ha sido clasificada como zona con uno de los menores niveles de vida (habiéndose identificado una prevalencia de mala nutrición infantil). El ingreso familiar en las zonas rurales es uno de los más bajos de ambos países.

3.2 ASPECTOS SOCIALES

Salud

La infraestructura de salud en el sistema T.D.P.S muestra un excesivo grado de concentración en sus zonas urbanas y un bajo grado de atención a la población rural, traduciéndose en los siguientes indicadores:

- Elevados índices de morbi-mortalidad, sobre todo en madres y niños.
- Baja expectativa de vida al nacer, que es menor que el promedio nacional.
- Ocurrencia de alta incidencia de enfermedades infecciosas, especialmente del tipo respiratorias agudas y diarreas agudas.

En 1988, la subregión Puno contaba con 252 establecimientos de salud, donde se brindaba atención médica a la población, de los cuales 12 correspondían a hospitales, 41 a centros de salud y 199 a puestos sanitarios. Relacionando estos valores con el número de habitantes, se contaba en promedio con 2,5 establecimientos médicos por 10.000 habitantes. Asimismo, en ese año se disponía en Puno de un promedio de 7,7 camas de hospital por 10.000 habitantes.

El personal médico era igualmente limitado, con un reducido personal de apoyo y de equipos sanitarios.

En general estos centros se encontraban concentrados en los principales núcleos urbanos. Los índices de salud eran marcadamente diferenciados de los promedios nacionales. Así existían:

| | |
|------------------|-----------------------------|
| 1,8 médicos | / 10.000 hab (Nac.: 4,6) |
| 0,20 odontólogos | / 10.000 hab (Nac.: 0,60) |
| 3,10 enfermeras | / 10.000 hab (Nac.: 3,90) |
| 7,7 camas | / 10.000 hab (Nac.: 16,60). |

Las enfermedades transmisibles de mayor incidencia en la subregión, según las estadísticas disponibles, son:

| | |
|--|-------|
| · gastroenteritis, enteritis y otras enfermedades diarreicas | 25,1% |
| · influenza | 16,0% |
| · tosferina | 5,6% |
| · resfrío común | 7,9% |

sarampión

7,6%

En el caso de Bolivia, la información sanitaria del área rural contenida en el último anuario estadístico del país corresponde al año 1987. En ese año se tenía la siguiente disponibilidad de camas en hospitales:

| | <u>La Paz-Altiplano</u> | <u>Oruro</u> | <u>Total</u> |
|---------------------------|-------------------------|--------------|--------------|
| Dotación normal de camas | 141 | 145 | 286 |
| Promedio diario de camas | 127 | 145 | 272 |
| Días de camas disponibles | (45.045) | 50.976 | (96.021) |
| | 33.365* | 50.976 | 84.341 |
| Días de camas ocupadas | 765* | 6.118 | 9.883 |
| Porcentaje de ocupación | 11,3 | 12,0 | 11,7 |

* establecimientos con información disponible

El porcentaje de demanda de atención hospitalaria se presenta más bien bajo; no es posible decir si eso se debe a la resistencia de acudir a los servicios hospitalarios, o a no estar difundidas en el mundo rural muchas enfermedades que requieren hospitalización.

En cuanto al personal sanitario, sólo se tiene información sobre la situación rural en el departamento de Oruro, en el cual se tenía la disponibilidad siguiente:

- . 1,30 médicos / 10.000 habitantes.
- . 0,32 odontólogos / 10.000 habitantes.
- . 0,27 enfermeras / 10.000 habitantes.
- . 4,42 aux. enfermeras/ 10.000 habitantes.

Las enfermedades más frecuentes son: gastroenteritis, gripe-influenza y en tercer lugar la sarcoptosis en ambos departamentos.

Educación

La existencia de una elevada tasa de analfabetismo es uno de los problemas más significativos que se mantiene en el sistema T.D.P.S., a pesar de las significativas reducciones logradas en los últimos años. La situación de la alfabetización en el conjunto del área se resume (como porcentaje de población analfabeta) en:

| | <u>Puno</u> | <u>Altiplano Boliviano</u> |
|--------------------|-------------|----------------------------|
| 1976 | | |
| (> 10 años) Total | | 40% |
| 1981 | | |
| (> 15 años) Total | 40% | |
| 1988 | | |
| (> 5 años) Total | | 26% |
| 1990 | | |
| (> 15 años) Total | 22% | |

Como se puede ver, a pesar de que los datos no son totalmente comparables (en el Perú se ha considerado a la población de 15 años o más; en cambio en Bolivia se ha considerado a la población de 10 años en 1976 y de 5 años en 1988), se observa en ambos casos una significativa reducción del analfabetismo en los últimos años. Debe tomarse en cuenta que en muchos casos la asistencia escolar comienza a menudo algunos años después del tiempo establecido oficialmente.

Vivienda

La situación de la vivienda en el área altiplánica es, generalmente, deficiente en servicios básicos; aunque en el caso peruano la información es limitada. El número de habitaciones construidas anualmente permite estimar una mejora bastante significativa de las mismas. En todo el sistema T.D.P.S. se nota una tendencia a la desaparición de las chozas así como considerables progresos en la calidad de los materiales utilizados. La disponibilidad de servicios de agua potable por tubería, desagües y servicios higiénicos se vienen incrementando a pesar de la caída de los ingresos en la década pasada por causa principalmente de las heladas, sequías e inundaciones. Parte de esos cambios se deben a intervenciones públicas, pero también ha intervenido la acción de los particulares. La ejecución de obras (mejoras domésticas y otras) que requieren fuerza de trabajo, es proporcionada en buena parte por la propia familia.

3.3 SECTOR AGROPECUARIO

El sector agropecuario tiene una gran preponderancia en la economía de la región, si bien se encuentra orientado principalmente a la producción de materias primas. El reducido desarrollo de las actividades de transformación, no permite la utilización de excedentes de los productos para generar un valor agregado que beneficie al productor nativo. Predominan porcentualmente las actividades ganaderas en el sector peruano y las actividades agrícolas en el sector boliviano.

Las severas condiciones climáticas que se presentan en el área y que originan frecuentes sequías, inundaciones y heladas crean un alto grado de incertidumbre en la producción y desincentivan la capitalización del agro. Adicionalmente a lo anterior, la incipiente tecnología empleada en la producción y la escasa proporción de las tierras cultivables, configuran en el área una economía agropecuaria tradicional y deprimida. Sin embargo, por los niveles totales de producción de los principales cultivos, así como de las

principales especies pecuarias que en el área se desarrollan, tienen importante relevancia en la producción nacional en ambos países.

Se tienen diferentes tipos de organizaciones campesinas, siendo las principales: el ayllu, la comunidad campesina, y la parcialidad. La sayaña y la aynoca, entre otras, son áreas de terreno de uso común o individual.

El sistema de grandes haciendas y propietarios, impuesto desde la época colonial en el altiplano, se mantuvo hasta tiempos muy recientes. Para modificar este estatus, acciones de reforma agraria para redistribuir la tenencia de la tierra se han ejecutado en Bolivia desde 1953 y en Perú desde 1969, así como de reestructuración de las empresas asociativas en Perú desde 1987. Se estima que en el área peruana, hasta fines de 1991, se habían adjudicado alrededor de 1.970.000 hectáreas, de las cuales el 51% se encontraba, en esa fecha, en manos de comunidades campesinas y el 18% con empresas asociativas. Asimismo se ha estimado que en el área boliviana resultaron afectadas por la reforma agraria hasta 1980 un total de 5.179.221 ha. en el departamento de La Paz y 909.568 ha. en el departamento de Oruro, beneficiando a 144.151 campesinos individualmente y 21.810 grupos colectivos, con un promedio de 31 ha. por beneficiario en el departamento de La Paz, y a 6.693 beneficiarios individuales y a 5.508 beneficiarios colectivos, con un promedio de 74 ha. por beneficiario en el departamento de Oruro. Sin embargo, en los últimos años, existe una tendencia a la fragmentación de la propiedad (minifundismo).

a) Producción agrícola

Las extensiones posibles de labranza representan porcentajes relativamente pequeños con relación a las áreas totales; así, se estima que en el área peruana se tienen 242.100 ha. de labranza (4,96% del área agrícola total de la subregión), de las cuales en los últimos 12 años se han cosechado en promedio 110.000 ha. (100.000 en seco y 10.000 bajo riego), lo que representa el 2,25% del área de grupos de uso del sector peruano del proyecto. Asimismo, se estima que en el área boliviana se tienen 780.000 ha. de labranza (10% del total), de las cuales en los últimos 12 años se han utilizado en promedio 167.000 ha. (152.000 en seco y 15.000 bajo riego), lo que representa 2% del área boliviana del proyecto.

Las actividades agrícolas se desarrollan principalmente en las zonas circunlacustres, aprovechándose de los efectos termoreguladores de los lagos, mientras que las actividades ganaderas se desarrollan en las zonas alejadas de los lagos, aprovechando los pastos naturales que allí se desarrollan.

La cédula de cultivos típica está compuesta de: papa, quinua, cebada (grano y forrajera), otros tubérculos y forrajeras, más algunas leguminosas (sobre todo haba) y hortalizas. Posiblemente por efecto del crecimiento del número de cabezas de ganado y la pérdida de la soportabilidad y de la capacidad nutritiva de los pastos naturales, se han difundido las especies forrajeras, perdiendo en cambio importancia relativa los tubérculos, cuyo mercado está en paulatina reducción. Los cultivos forrajeros (incluyéndose la cebada grano) corresponden a gran parte de las superficies cultivadas (50% en Bolivia y 42% en Perú).

Los rendimientos son relativamente bajos, en comparación con los promedios nacionales, sin embargo han tenido algunos progresos en la última década.

La evolución de las superficies cosechadas y de los rendimientos, ha sido muy influenciada en este período por la ocurrencia de eventos meteorológicos graves, pero se nota una tendencia de largo plazo a la ampliación de las superficies cultivadas. Por otro lado, las técnicas de cultivo ("tecnología tradicional"), si bien son las más aptas para aprovechar los recursos nativos, sin o con un mínimo uso de insumos "modernos", utilizan en forma muy limitada semillas mejoradas, fertilización y maquinaria agrícola, lo cual no permite grandes progresos en los rendimientos.

La producción de tubérculos y de cereales en general se destina en su mayor parte al consumo de los mismos productores.

b) Producción pecuaria

En la ganadería se observan diferencias grandes entre las dos partes del área del proyecto. La población ganadera es más numerosa en la parte peruana - los vacunos son más del doble, las alpacas el décuplo; los ovinos y las llamas tienen aproximadamente el mismo nivel. En términos de unidades ovinas equivalentes (UU.OO), el altiplano puneño disponía, en promedio en el trienio 1986-88, de 11,7 millones de cabezas (vacunos, ovinos, llamas y alpacas) mientras que en el altiplano boliviano se llegaba a 7,8 millones de cabezas.

Las pérdidas provocadas en el altiplano central boliviano por la sequía de 1983 fueron mucho más graves que en Puno (no sólo de animales faenados y/o vendidos, sino también de animales muertos). No se tiene información sobre la distribución de los rebaños por tamaño de las explotaciones, pero la posesión de algunas cabezas de ganado es muy común, pues permite la utilización de sub-productos y desechos de la agricultura, los bovinos aseguran fuerza de tracción para las labores agrícolas y de cualquier modo el rebaño representa una fuente suplementaria de ingresos y una reserva convertible en efectivo en caso de mala cosecha o de dificultades de otra naturaleza.

Considerando conjuntamente agricultura y ganadería, la importancia relativa es muy diferente en las dos partes geopolíticas. En términos porcentuales, referidos al trienio 1986 - 88 (último para el cual se tiene información sobre pecuaria en el altiplano boliviano) y al valor bruto de la producción, se tiene que:

Porcentaje del valor bruto de la producción

| | <u>Depto. Puno</u> | <u>Altiplano Boliviano</u> |
|-------------|--------------------|----------------------------|
| | % | % |
| Agricultura | 31,4 | 83,9 |
| Ganadería | <u>68,6</u> | <u>16,1</u> |
| | 100,0 | 100,0 |

La preponderancia de la ganadería en Puno y de la agricultura en la parte boliviana es evidente. La ganadería del altiplano central en particular, todavía no se había recuperado las pérdidas de la sequía de 1983, pero aún en el comienzo del período para el cual los datos están disponibles (1980 - 1982), el valor bruto de producción de la ganadería no representaba mucho más del 20% del total agropecuario en la parte boliviana.

La parte peruana, se beneficia de condiciones ecológicas más favorables por la disponibilidad de pastos más húmedos (más apropiados para las alpacas), por mayores precipitaciones que en el altiplano boliviano, sobre todo el central, donde la escasez de lluvias dificulta la expansión de la ganadería y provoca pérdidas graves, como las de 1983.

c) Producción forestal

La producción forestal actual es muy reducida en el altiplano, sin embargo existe una potencialidad de ampliación de la producción con vegetación arbórea y arbustiva (natural y/o exótica, según el caso).

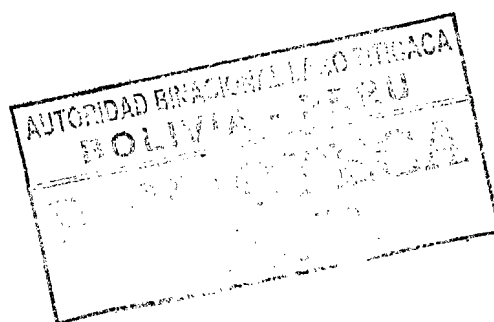
d) Servicios de apoyo a la producción

Los servicios de investigación y extensión agropecuaria, no han sido implementados en forma efectiva y permanente, estando en la actualidad paralizados o desactivados.

La comercialización de los productos agrícolas se hace en gran parte en las ferias, de donde los "rescatistas" los llevan a las ciudades. El funcionamiento de los canales de mercadeo no es adecuado en toda el área de estudio; la multiplicación de los intermediarios, cada uno de los cuales incide en una cuota del precio final, y el hecho de que el campesino no está en condiciones de conocer la situación del mercado final desalientan la producción para la venta. Las transacciones basadas en el trueque son comunes y en esos casos el productor está por lo menos en condición de saber cuanto da y cuanto recibe.

En el caso de la ganadería, también las ventas se realizan en las ferias, pero los animales menores (ovinos) se venden a menudo ya faenados, por lo menos en el altiplano central, lo que no suele suceder con los vacunos. En la parte peruana, donde la cría es actividad preponderante, los vacunos son vendidos y llevados a zonas más bajas (p. ej. Arequipa) para engorde y consumo local o enviados a Lima u otros mercados de consumo.

El pequeño agricultor o ganadero tiene poco acceso al crédito, ya sea por la dificultad de cumplir con los trámites necesarios, ya sea por la preferencia de las entidades otorgadoras de préstamos por otros sectores de actividad. Por ello, el agricultor o ganadero recurre a canales informales como son los rescatistas, transportistas, comerciantes u otros.



3.4 RECURSOS HIDROBIOLOGICOS

El aprovechamiento de los recursos hidrobiológicos del altiplano no manifiesta gran dinamismo, a pesar de los considerables recursos pesqueros y de vegetación acuática que existen (principalmente en el lago Titicaca). En el aprovechamiento de recursos destaca la pesca artesanal y la explotación de la vegetación acuática.

3.4.1 Recursos pesqueros

La pesca, que se realiza en la zona litoral del lago, representa una fuente de ingreso para un número relativamente pequeño de personas. En la parte peruana existen 3826 pescadores, entre permanentes y eventuales, y en la parte boliviana, entre el lago Titicaca y lago Poopó se cuentan 1380.

El lago Titicaca se caracteriza como la principal fuente de extracción.

Los recursos hidrológicos del lago Poopó son muy dependientes de los niveles que este llega a alcanzar naturalmente. Así:

| Nivel (m.s.m.m.) | Superficie (Km ²) |
|---------------------|----------------------------------|
| 3.684 | 791 |
| 3.685 | 1.350 |
| 3.686 | 1.723 |
| 3.687 | 2.130 |

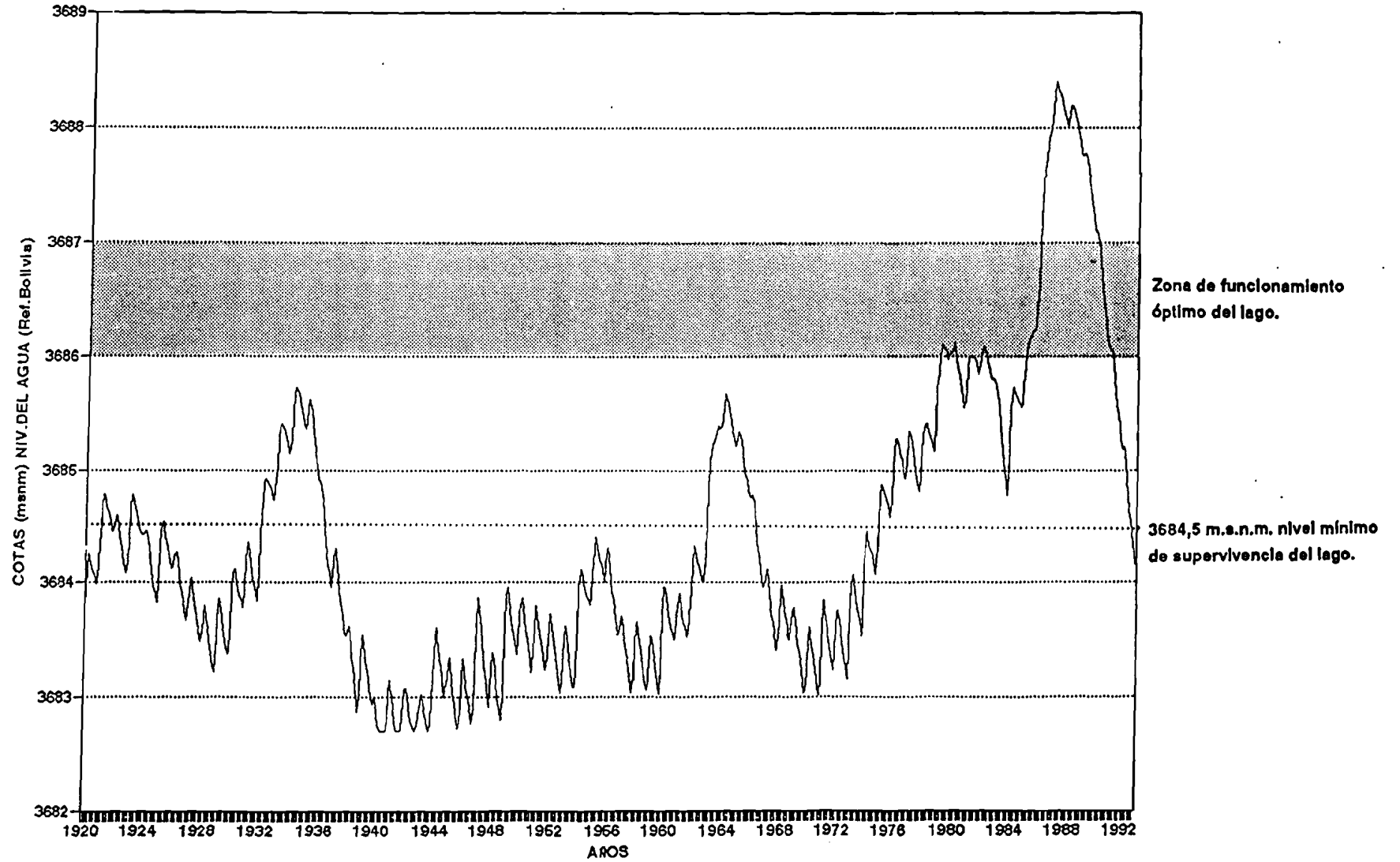
El nivel mínimo de supervivencia (considerando 2,00 metros de profundidad a partir de una cota mínima), sería 3.684,50 m.

En los últimos catorce años (de 1979 a 1993), el lago Poopó llegó a niveles extraordinariamente altos (en particular entre 1987 y 1991) como resultado de una secuencia de años húmedos en la cuenca, los cuales no son representativos en el conjunto de los niveles de los pasados 70 años (obtenidos con el modelo de simulación), como puede verse en la figura 31 Se debe señalar que entre 1939 y 1943 los niveles alcanzados en el lago fueron muy bajos, y que según referencias, corroboran los resultados de la simulación.

Como resultado de lo anterior, el lago Poopó tuvo una producción pesquera extraordinariamente alta entre 1988 y 1991 (según los datos disponibles), que contribuyeron en 1990, por ejemplo, con el 40% de la producción pesquera de Bolivia. Sin embargo, en 1993 están bajando a sus niveles normales y como consecuencia con niveles de salinidad elevados, que sobrepasan los límites de tolerancia de las especies ícticas (pejerrey).

Los organismos administrativos, que tienen la responsabilidad sobre la pesca, hasta la fecha no disponían de medios suficientes tanto en Bolivia como en el Perú, para evaluar adecuadamente la biomasa acuática, lo que se traduce en una falta de información pesquera con bases estadísticas.

FIGURA 31 : NIVELES DE AGUA DEL LAGO POOPO EN ESTADO NATURAL.



La explotación de los recursos pesqueros, con métodos inadecuados, no permite realizar una gestión racional de la pesca. La aplicación de leyes de control es ineficiente en ambos países.

La fauna íctica, está constituida por especies nativas, principalmente el género *Orestias* y *Trichomycterus* (*mauri* y *suches*) y especies exóticas (*trucha* y *pejerrey*).

Desde hace 10 años, se ha ido observando la disminución muy preocupante de las especies nativas, algunas de las cuales se encuentran en una franca etapa de extinción y otras ya desaparecidas (*O. Cuvieri*).

La trucha, que alcanzó su apogeo en la década del 60, ha sufrido una disminución catastrófica en sus poblaciones, al contrario del pejerrey que parece desarrollarse con más éxito que las especies nativas.

La mayoría de la fauna íctica depende de la zona litoral de los lagos para realizar su ciclo biológico, sin embargo es en esta zona donde se practica la más fuerte presión de extracción, incluso durante los períodos de reproducción.

La pesca en la zona pelágica es una alternativa para una mejor explotación sin alterar los ciclos vitales de las especies.

Una evaluación sobre la biomasa piscícola en la zona pelágica del lago Titicaca, efectuada por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) en 1990, reveló una potencialidad de 91.000 t, que está sub-explotada aparentemente por falta de embarcaciones y aparejos adecuados.

Se ha identificado cualitativamente que los eventos extremos, particularmente los de los últimos años, han afectado significativamente la distribución de la biomasa en el lago Titicaca, lo que requiere su confirmación con estudios de evaluación correspondientes.

La extracción se efectúa, principalmente, con redes agalleras.

La extracción anual en el lago Titicaca en la parte peruana (6060 t), es más fuerte que en la parte boliviana (917 t).

La comercialización del pescado, está a cargo del pescador o frecuentemente de su esposa.

No existen sistemas adecuados de desembarque, acopio, transporte y conservación del pescado. Las pérdidas son muy importantes (hasta un 70%). La transformación es pequeña, siendo esta actividad de exclusividad de las empresas privadas, en especial con la especie trucha; sin embargo la producción de transformación no sobrepasa las 5 t anuales entre los dos países.

La venta del producto en mercados populares no presenta las mínimas condiciones de higiene.

La acuicultura se emplea principalmente, para producir trucha con un volumen anual, para toda la cuenca, de alrededor de 200 t. La acuicultura de las especies nativas se encuentra, en la actualidad, en una fase experimental.

3.4.2 Recursos vegetales acuáticos

En cuanto a los recursos vegetales acuáticos, en las áreas ribereñas del lago Titicaca se desarrollan más de quince especies de macrofitas, plantas de raíces acuáticas, que se caracterizan por su gran producción de biomasa (200 a 10.000 gr de materia seca por m²).

Por su importancia económica, se destacan:

- El "llachu" formado por tres sub-especies, la Elodea potamogeton ("Yana" o "Chancco llachu"); el Myriophyllum elatinoides ("Hinojo"o "Waca llachu"); y el Potamogeton strictus ("Huichi huichi" o "Chilka llachu").
- La totora verde o totora tierna (Género Scirpus).

Estas especies, en muchos casos, son la base de la alimentación del ganado (de carne y leche) en las zonas circunlacustres, y en pequeña magnitud se emplea para la alimentación humana, como material de construcción (casa y embarcaciones), y como abono orgánico para la agricultura.

El "llachu", se caracteriza por tener de 7% al 10% de materia seca, de las cuales del 15% al 29% son proteínas.

La "tatora verde", crece generalmente en zonas con profundidades entre 2,5 m a 4,5 m., es bastante digestible por el ganado, siendo su contenido de proteínas un poco más bajo que el llachu: de 9% al 15% de materia seca.

En evaluaciones realizadas (Collot, 1981; y Levieil, et.al.,1989) se ha identificado que la totora predomina en la bahía de Puno, el llachu se encuentra en proporciones semejantes en la bahía de Puno y en el lago Menor. Sin embargo el llachu tiene un papel dominante en la producción neta de materia seca por día, pues produce de cuatro a cinco veces más materia seca por día por km² que la totora.

Se ha estimado que la extracción de totora amarilla en la bahía de Puno está entre 1.200 t/año a 2.000 t/año, y que la extracción de totora verde es de 50.000 t/año, fundamentalmente para la alimentación del ganado.

Si bien no se disponen de estimaciones de la extracción de llachu, se ha indicado que su potencial es muy importante y superaría largamente al aprovechamiento actual, habiéndose estimado que podría lograrse una capacidad de soporte de hasta dos millones de cabezas de ganado.

3.5 OTRAS ACTIVIDADES ECONOMICAS

La actividad industrial y particularmente la agroindustrial es muy reducida en el área del proyecto.

En el sector peruano la actividad ha aportado en 1989 sólo el 8,6% del PBI subregional; el mayor número de empresas industriales se encuentra localizado en la ciudad de Juliaca; la rama más importante es la textil, existiendo en la región una serie de pequeñas industrias que actúan, aparte de la fabricación de tejidos, en la producción de bebidas (gaseosas), y minerales no metálicos. La fábrica de cementos "Rumi", dentro de la línea de industrias de minerales no metálicos, es la más importante de la región.

En el altiplano boliviano existe una pequeña industria bastante diversificada, localizada principalmente en las ciudades de El Alto y Oruro; y una fábrica de cemento en Viacha.

Existe una incipiente industria pesquera, principalmente en Puno y Tiquina, donde se preparan envasados, en lata y sobres al vacío, principalmente de trucha. Se han hecho algunos intentos de exportación.

La artesanía ocupa más de 50.000 personas, si bien la mayor parte de este tipo de establecimientos están ubicados en el medio urbano; la más significativa de las actividades artesanales es la textilera, especialmente la derivada de la fibra de alpaca.

La producción artesanal se orienta también hacia los enseres domésticos de arcilla, para el poblador rural. La zapatería artesanal, proporciona, asimismo rústicos zapatos para el abastecimiento local, que se preparan sobre la base de la utilización de neumáticos de vehículos.

La industria téxtil tiene una relativa importancia en el Altiplano, tanto en Bolivia como en Perú.

En la parte peruana las provincias de San Román y Puno ocupan los primeros lugares en la producción textil, procesándose en ellas el 80% de la producción regional, seguidas de Azángaro y Chucuito.

La industria de textiles boliviana, se localiza principalmente en la ciudad de La Paz, aunque se puede distinguir un sector hilandero, con marcada presencia en Oruro, produciéndose hilo con mezcla de fibras de alpaca y lana de oveja, y un sector de tejidos en alpaca y lana dentro del cual podemos distinguir:

- Una industria campesina (familiar), que produce chompas a palillo, frazadas, alfombras y bufandas con telares verticales y horizontales.
- Una industria de pequeñas empresas, que fabrican de 500 a 1.000 prendas/año, y trabajan con telón mecánico y manual, o con telares mecánicos rectilíneos.
- Industrias modernas, en pequeño número, que fabrican con telares circulares y rectilíneos.

Las prendas se destinan en un 80% a la exportación, enviándose aproximadamente 300 t de prendas anualmente, desde los dos sectores, peruano y boliviano.

La actividad **minera** en el sector peruano está caracterizada por tener un nivel de tecnificación y de equipamiento mediano, con volúmenes de producción relativamente importantes, destacándose la empresa minera Minsur que opera las minas Santa Bárbara y San Rafael; la pequeña minería que comprende un conjunto de pequeñas empresas mineras con equipamiento menor y altamente vulnerables a la variación de los precios internacionales, y los micromineros o mineros individuales que emplean tecnología artesanal. Esta actividad se ha retraído fuertemente a partir de 1990 y en muchos casos ha colapsado como consecuencia de la crisis minera peruana. Existe un potencial de explotación a corto plazo (prospecciones en fase de ejecución) en el yacimiento petrolífero de Pirín.

La minería del altiplano tiene una contribución significativa en la producción de Bolivia, con una gran participación en las exportaciones del país. Las principales actividades mineras en el sector boliviano del complejo T.D.P.S. se encuentra en el departamento de Oruro, donde se tienen:

- Diversas minas entre las que se destacan: Inti Raymi en La Joya y la mina de estaño San José, una de las más antiguas de Bolivia, y la mina Huanuni, que es actualmente una de las más grandes y productivas del país.
- El complejo metalúrgico de Vinto (situado a 10 Km de Oruro), el cual está constituido por tres plantas industriales: la fundición de estaño de media y alta ley, la fundición de antimonio, y la fundición de estaño de baja ley.

En el sur del altiplano boliviano existe un conjunto de **salares** con un gran potencial económico entre los que destaca el salar de Uyuni y el salar de Coipasa. Ballivián y Risacher calcularon en el salar de Uyuni un volumen de sal cristalizada (halita) de 32 km³ y un volumen de la salmuera de 13 Km³, además de reservas de 9.000.000 de t de litio, y cuya explotación comercial está siendo considerada en los últimos años. Adicionalmente, en varios afluentes en la cuenca del Desaguadero, existen **explotaciones salinas** en vertientes con contenido salino muy alto. Dichas explotaciones aprovechan las aguas salinas, en forma artesanal, para la producción de sal común de óptima calidad para uso doméstico e industrial, que se comercializa en todo el departamento de La Paz.

Los servicios y el comercio (particularmente el informal), se están incrementando en las áreas urbanas y en las ferias rurales.

El turismo, aún cuando la región cuenta con un marco geográfico y socio-cultural folclórico atrayente, está poco desarrollado. En Perú, los centros turísticos más importantes están localizados en las ciudades de Juliaca y Puno, que cuentan con una adecuada infraestructura turística (hotelería y hospedaje), y a partir de las cuales se canalizan los flujos turísticos a otros centros, tales como Juli (la ciudad de las cuatro catedrales), Lampa, Huancané, Ayaviri, las ruinas precolombinas de Sillustani, etc. La ciudad de Puno es el centro de mayor atracción turística del altiplano peruano, y es el segundo en importancia, a nivel nacional, después de Cuzco.

En el altiplano boliviano, ocupa sin lugar a dudas el primer lugar la ciudad de La Paz, con su singular ubicación entre montañas y valles en las estribaciones de los Andes presididas por la presencia del majestuoso Illimani. Otra ciudad altiplánica, famosa en época de Carnaval es Oruro. Hay que destacar como centro de atracción turística las ruinas de Tiawanacu, cuna de civilizaciones y punto de referencia de la cosmovisión andina; los impresionantes Andes, la estación de deportes de invierno de Chacaltaya (la más alta del mundo a 5.000 m.s.n.m.), y los salares de Coipasa y Uyuni, este último el mayor salar del mundo con más de 12.000 Km² de superficie, y sobre todo el lago Titicaca, un lago a 3.800 m de altura con islas habitadas por pobladores de antiguas razas Aymaras, Quechuas y Urus.

3.6 USOS Y DEMANDAS DE AGUA

Los principales usos de agua identificados en el sistema son: agua potable, riego, consumo industrial y posibles trasvases de recursos hídricos hacia cuencas fuera del sistema. Si bien no siempre se tienen cuantificados los volúmenes de agua empleados en cada uno de estos usos, se puede señalar que la falta de infraestructuras adecuadas hace que no se efectúe una utilización racional de los recursos hídricos disponibles, tanto en aguas superficiales como en subterráneas.

Los principales aprovechamientos (existentes y potenciales) en los afluentes del lago Titicaca se concentran en las cuencas de los ríos llave, Coata y Ramis, con una demanda actual de 2,43 m³/s y una futura posible de 30,90 m³/s. Es obvio que estas demandas no podrán ser atendidas y que deberán ser revisados y priorizados los proyectos.

Los principales aprovechamientos (existentes y potenciales) en la cuenca del Desaguadero se concentran a lo largo del cauce principal. El caudal anual medio natural disponible del río Desaguadero es en Ulloma 77,17 m³/s y el del Mauri, su principal afluente, en Calacoto 18,57 m³/s. Si bien las demandas actuales en su cuenca son de 1,00 m³/s y la futura estimada de 19,45 m³/s, en principio parecería posible ser atendidas, pero esto dependerá fundamentalmente de la posibilidad de regular dichos caudales, y de aprovechar los caudales no regularizados al máximo.

Los recursos hídricos en la parte sur del sistema, lagos Poopó, Uru-Uru y Soledad, deberán ser usados para tratar de resolver problemas ecológicos y de calidad de agua (mantenimiento de los recursos hidrobiológicos).

3.7 INFRAESTRUCTURAS HIDRAULICAS

Las principales infraestructuras hidráulicas existentes son:

- Sistemas de abastecimiento de agua
- Sistemas de saneamiento básico
- Sistemas de riego y drenaje

3.7.1 Sistema de abastecimiento de agua y saneamiento básico urbano

- Ciudad de Puno

En la actualidad para el abastecimiento de agua de Puno, con una población de 99600 habitantes (1990), se utilizan dos fuentes de suministro: el lago Titicaca y dos manantiales denominados El Manto y Totorani.

En la bahía de Puno, en el lugar denominado Chimú, opera una captación con bombeo de agua del lago, que extrae aproximadamente 150 litros por segundo, con un régimen de 4 horas/día. Las aguas extraídas del lago son conducidas a la planta de tratamiento de Aziruni y posteriormente son distribuidas a la ciudad.

Las aguas captadas del manantial El Manto, también son tratadas en la planta de Aziruni y la del manantial Totorani, por su calidad aceptable no son tratadas, enviándose directamente a la red de distribución.

Cabe señalar que antes de que entrara en operación la captación Chimú, se utilizaban los pozos tubulares ubicados en el sector de Aziruni, en las inmediaciones de la planta de tratamiento. En la actualidad los pozos se encuentran inactivos y abandonados (5 pozos).

En lo que se refiere a saneamiento básico, la red de alcantarillado atiende solamente al 70% de la ciudad; el tratamiento de los efluentes domésticos son realizados en una laguna de oxidación y despejados finalmente en el lago Titicaca (bahía de Puno).

- Ciudad de Juliaca

La única fuente que se utiliza para el abastecimiento de la ciudad, que cuenta con una población de 134.700 hab (1990), es una captación por bombeo en el río Coata, ubicada a la altura del puente de Ayabacas en la ruta Juliaca-Taraco.

Con esta captación se extrae aproximadamente 300 litros por segundo. El agua captada es tratada en una planta cercana a la toma y luego distribuida a la ciudad.

El alcantarillado atiende un 90% de la ciudad, el punto final es una laguna de oxidación y despeje final en el río Coata, afluente al lago Titicaca.

- Ciudades de La Paz y El Alto

El abastecimiento a estas dos ciudades con una población en 1992 de 1.118.870 hab, se realiza a través de cuatro sistemas (3 de aguas superficiales y uno de aguas subterráneas).

a) Sistema El Alto, que tiene como fuentes: embalse Tuni y los canales derivadores de Condoriri y Huayna Potosí. El agua de deshielo es de buena calidad (excepto

la de Tuni), y se la conduce a la planta de tratamiento de El Alto por una tubería de aducción de 34,6 Km de longitud y una capacidad de 1.100 (l/seg).

De la planta se suministra agua potable a la mayor parte de la ciudad de El Alto y barrios de La Paz por encima de la cota 3750 msnm, (un ramal de la red se bifurca a la ciudad de La Paz, dotando de agua a la línea periférica de Villa de La Cruz y Alto Miraflores).

La longitud total de la red de distribución es de 467 Km, abarcando un área de 4.326 ha, suministra 4370 m³/día (50,58 l/s), y tiene una cobertura de servicio del 76% sobre una población total de 522.000 habitantes.

b) Sistema de aguas subterráneas (pozos) de El Alto

Este sistema atiende la demanda de agua en El Alto (1991). Cuenta como fuente de suministro de una batería de 30 pozos de 90 m de profundidad aproximadamente y un diámetro de 250 mm. La tubería de distribución tiene una longitud, desde su planta de tratamiento, de 2,35 Km; el área a atenderse es de 2.656 ha y suministra 33000 m³/día (382 l/s).

c) Sistema Achachicala, cuenta con tres fuentes: Embalse Milluni, canal derivador del río Choqueyapu y es posible utilizar las aguas del embalse Tuni.

La red de distribución tiene una longitud de 223,5 Km abarcando un área de 1.950 ha, y suministra 56.000 m³/día (648,15 l/s), la población servida es el 80% del total (400.000 hab.).

Esta red cubre las necesidades de las zonas: central, norte, nor-este y Miraflores.

d) Sistema Pampahasi, con los embalses de Incachaca, Hampaturi y otros pequeños en las citadas cuencas (Incachaca y Hampaturi). Se lleva el agua cruda a la planta de tratamiento de Pampahasi, de donde se la distribuye a las zonas este y sur de La Paz.

La red de distribución, en buen estado, tiene una longitud de 233 Km, cubre un área de 2.400 ha y suministra un volumen de 28.600 m³/día (331,02 l/s). Se abastece al 80% de la población, en su totalidad 290.000 hab.

e) Aguas servidas

En lo que se refiere al sistema de colecta y tratamiento de aguas servidas, la ciudad de La Paz (1991), tiene un sistema de alcantarillado constituido de una red de colectores de aguas servidas y colectores para aguas pluviales.

La red de colectores de aguas servidas atiende 1.975 ha y la de aguas pluviales 1.800 ha. Ambas redes tienen una longitud aproximada de 600 Km encaminadas hacia pequeñas quebradas, y 30 Km hacia canalizaciones de ríos afluentes de los principales ríos de La Paz: Choqueyapu, Orkojahuirá e Irpavi. Según estimaciones, el servicio de alcantarillado alcanza al 60% de la población. No existen plantas de tratamiento de aguas negras.

En la ciudad de El Alto, desde 1987, se construyeron 150 Km de colectores de relleno, también se construyó el emisario hacia las lagunas de oxidación de Ruchucollo y otra muy reducida hacia las de El Kenko.

- **Ciudad de Oruro**

El sistema de abastecimiento de agua de Oruro con una población de 204000 hab (1992), utiliza dos fuentes: las vertientes de Cala Cala, los pozos de Challapampita y Cala Cala. Las primeras se encuentran a 23 Km de la ciudad con una capacidad de 34 l/s. El campo de pozos de Challapampita a 8 Km de la ciudad, cuenta con cuatro pozos con una capacidad de 79 l/s. El campo de pozos de Cala Caja localizado a 15 Km al noreste de la ciudad, consta de 10 pozos con un rendimiento de 300 l/s. El agua de los tres sistemas se reúne en la planta de bombeo y cloración.

La red de distribución, en mal estado de conservación, tiene una longitud de 120 Km con una dotación de 100 l/hab/día.

La ciudad de Oruro tiene problemas importantes de contaminación por aguas servidas domésticas e industriales. Actualmente estas aguas llegan por un canal ribereño al lago Uru-Uru, sin tratamiento. La Corporación de Oruro (CORDEOR), tiene un proyecto de restauración de la red de alcantarillado y la construcción de un sistema de tratamiento de efluentes por lagunas de oxidación.

3.7.2 Suministro de agua y saneamiento básico en el altiplano

No se ha identificado la existencia de estudios específicos (salvo excepciones), sobre el abastecimiento de agua potable a los poblados del sistema, que cuantifiquen los suministros.

El abastecimiento a las viviendas a través de redes públicas es relativamente bajo en el altiplano (19% en el sector peruano y 24% en el sector boliviano (Ver cuadro 10). Asimismo la disponibilidad de servicios sanitarios en las viviendas también es bajo (20% en el sector peruano y 13% en el sector boliviano).

Cuadro 10: AGUA Y SANEAMIENTO BASICO - INDICADORES

| Altiplano Peruano (Datos del año 1990) | VIVIENDAS | ABASTECIMIENTO DE AGUA | | AGUAS SERVIDAS | |
|--|-----------|------------------------|---------------|---------------------------|------------------------------|
| | | RED PUBLICA | OTRAS FUENTES | TIENEN SERVICIO SANITARIO | NO TIENEN SERVICIO SANITARIO |
| Subregión III: Puno, Chucuito, Yunguyo, Collao | 98.209 | 13.880 | 84.329 | 16.081 | 82.118 |
| Subregión IV: Lampa, San Román, Huancané, San Antonio de Putina, Mocho | 79.477 | 23.710 | 55.767 | 23.974 | 55.503 |
| Subregión V: Melgar, Azángaro, Carabaya | 56.611 | 6.734 | 49.877 | 7.616 | 48.995 |
| TOTAL | 234.297 | 44.324 | 189.973 | 47.671 | 186.626 |

| Altiplano Boliviano (Datos 1992) Excluyendo las principales ciudades La Paz, El Alto y Oruro. | VIVIENDAS | ABASTECIMIENTO DE AGUA | | AGUAS SERVIDAS | |
|--|-----------|------------------------|---------------|---------------------------|------------------------------|
| | | RED PUBLICA | OTRAS FUENTES | TIENEN SERVICIO SANITARIO | NO TIENEN SERVICIO SANITARIO |
| Departamento de La Paz | 184.274 | 43.659 | 140.615 | 27.799 | 156.475 |
| Departamento de Oruro | 32.961 | 7.697 | 25.264 | --- | --- |
| TOTAL | 217.235 | 51.356 | 165.879 | 27.799 | 156.475 |

En cuanto al consumo industrial; la mayor parte de las industrias utilizan el agua potable de los sistemas de distribución de las ciudades donde se encuentran situadas. En algunos casos, las industrias poseen fuentes propias, principalmente pozos.

3.7.3 Sistemas de riego y drenaje

De los principales proyectos de riego identificados, en el sistema T.D.P.S., 29 se encuentran ubicados en el sector peruano y 21 en el sector boliviano. Las principales características de los proyectos se indican en los cuadros 11 y 12, de cuyo análisis se pueden señalar los siguientes comentarios:

- El área potencial de los proyectos varía entre 80 ha y 66.659 ha, que de acuerdo a su cobertura se pueden categorizar en pequeños, medianos y grandes proyectos. Se puede notar que predominan éstos últimos, es decir aquellos que tienen áreas mayores de 1.000 ha.
- El número de familias beneficiadas o por beneficiarse depende del área de cada proyecto y de la tenencia de la tierra por cada familia campesina. Así por ejemplo, para el proyecto de menor cobertura (80 ha) se tendrían 50 familias beneficiadas y para otro proyecto de mayor área (26.660 ha) los beneficiarios se han estimado en 7.880 familias rurales.

CUADRO 11: PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS PROYECTOS DE RIEGO INVENTARIADOS - PERU

| COD. | NOMBRE DEL PROYECTO | CUENCA | AREA POTENCIA (Ha) | FAMILIAS BENEFIC. N° | FUENTE DE AGUA | CAUDAL ABAST. DE AGUA | TIPO DE CAPTACION | METODO DE RIEGO | MASA ESTIMADA DEMANDADA (10 6 m3/año) | COMPONENTES PRINCIPALES DE OBRA DEL PROYECTO |
|------------|---|----------------------|--------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|-----------------|---------------------------------------|--|
| PERU | | | | | | | | | | |
| P-1 | ASILLO | RAMIS | 10800 | 1820 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 119.00 | BOC+SIF+V.R+CENT.HID.+CP+CL+OPS+OA |
| P-2 | TARACO | RAMIS | 1800 | 812 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 18.80 | ESTAC. DE BOMBEO+CP+CL |
| P-3 | PIRAPI | TITICACA | 310 | 812 | SUPERFICIAL | CON REG. | BOMBEO | GRAVEDAD | 3.80 | CP+CS |
| P-4 | HUATAQUITA | COATA | 800 | 220 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 9.00 | BOC+CP+COMP+ACUED+TOM LAT+OA+SD |
| P-5 | CABANILLAS | COATA | 1200 | 400 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 13.20 | BOC+CP+CL+OA |
| P-6 | PROYECTO DE IRRIG. INTEGRAL DE LAGUNILLAS | COATA | 68659 | 4850 | SUPERFICIAL | CON REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 733.30 | EMBAL+PRE+RIO GAB+8 SRD INDEP |
| P-7 | CANTERIA | COATA | 2077 | 410 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 24.20 | BOC+CP+CL+SD |
| P-8 | CABANA | COATA | 7540 | 1500 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 53.00 | BOC+CP+CL+SD |
| P-9 | ILLPA | ILLPA | 8007 | 1200 | SUPERFICIAL | CON REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 88.10 | SIST REG+ SIST RIEG PRINC+SIST RIEG SECUNO. |
| P-10 | PROYECTO DE IRRIG. INTEGRAL HUENQUE-ILAVE | ILAVE | 26880 | 7880 | SUPERFICIAL | SIN Y CON REG. | BOMB. Y GRAV. | GRAVEDAD | 293.30 | OBRA RIEGO CON Y SIN REGULACION |
| P-11 | PILCUYO | ILAVE | 2715 | 300 | SUPERFICIAL | SIN REG. | BOMBEO | GRAVEDAD | 23.00 | ESTAC. DE BOMBEO+CP+CL+SD |
| P-12 | CAMICACHI | ILAVE | 4700 | 1500 | SUPERFICIAL | SIN REG. | BOMBEO | GRAVEDAD | 84.00 | ESTAC. DE BOMBEO+CP+CL+SD |
| P-13 | CHUQUIBAMBILLA | RAMIS | 12000 | 5000 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 132.00 | BOC+CP+CS+SD |
| P-14 | LLALLI | RAMIS | 240 | 33 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 2.80 | BOC+CP+CS |
| P-15 | ORURILLO | RAMIS | 1500 | 275 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 17.00 | BOC+CP |
| P-16 | AZANGARO | AZANGARO | 2500 | 729 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 29.00 | BOC+CP |
| P-17 | ARAPA | AZANGARO | 23122 | 5200 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | - | CP+CS+SRD |
| P-18 | PUCARA | RAMIS | 25637 | 5000 | SUP. Y SUBTERR. | SIN REG. | BOMB. Y GRAV. | GRAVEDAD | - | BOC+CP+CS+SD |
| P-19 | COLLINI | COLLINI | 90 | 40 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 0.40 | BOC+CP |
| P-20 | CCOTOS | TITICACA | 200 | 90 | SUPERFICIAL | CON REG. | BOMBEO | GRAVEDAD | 2.30 | ESTAC. DE BOMBEO+CP+CL |
| P-21 | QUILCA | TICANI | 450 | 87 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 5.25 | BOC+CP |
| P-22 | CHAJANA | ILAVE | 300 | 90 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 1.03 | BOC+CP+CS |
| P-23 | CCALLACAME | CCALLACAME | 1000 | 500 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 11.80 | BOC+CP |
| P-24 | SORAS | AYAVIRI | 500 | 200 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 8.83 | BOC+CP+CL |
| P-25 | COROCA | AZANGARO | 190 | 83 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 2.20 | BOC+CP+CL |
| P-26 | ICHU | ILAVE | 200 | 100 | SUBTERRANEA | BOMBEO | POZO TUB. | GRAVEDAD | 2.20 | POZO TUB EQUIP+CP |
| P-27 | PROGRAMA DE PERFORACION Y EQUIPAMIENTO DE 60 POZOS TUBULARES PARA RIEGO EN PUNO | COAT/RAM/ILAV/PATAC. | 3500 | 2334 | SUBTERRANEA | BOMBEO | POZO TUB. | GRAV.Y ASPER. | 38.90 | POZO TUB EQUIP+SRD |
| P-28 | ORAY JARAN | COATA | 90 | 90 | SUBTERRANEA | BOMBEO | POZO TUB. | GRAVEDAD | 1.00 | POZO TUB EQUIP+POZA DISIP+CP |
| P-29 | PAMPA DE SUCHIS | COATA | 80 | 50 | SUBTERRANEA | BOMBEO | POZO TUB. | GRAVEDAD | 0.90 | POZO TUB EQUIP+POZA DISIP+CP |
| SUBTOTAL : | | | 202887 | | | | | | 1882.51 | Hm3/año |

Nota: BOC: BOCATOMA
 CP : CANAL PRINCIPAL
 CS : CANAL SECUNDARIO
 CL : CANAL LATERAL
 CO : CANAL DE DERIVACION

CENT. HID : CENTRAL HIDROELECTRICA
 OPS : DRENES PRINCIPALES SECUNDARIOS
 SRD : SISTEMA DE RIEGO Y DRENAJE
 PRESA DERIV. : PRESA DERIVADORA
 ESTAC. BOMBEO : ESTACION DE BOMBEO

COMP. : COMPUERTA
 ACUED. : ACUEDUCTOS
 EMB. : EMBALSE
 CAP. : CAPTACION

SD : SISTEMA DE DRENAJE
 VR : VASO REGULADOR
 OA : OBRAS DE ARTE
 VERT. : VERTEDERO

CUADRO 12: PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS PROYECTOS DE RIEGO INVENTARIADOS - BOLIVIA

| COD. | NOMBRE DEL PROYECTO | CUENCA | AREA POTENCIA (Ha) | FAMILIAS BENEFIC. N° | FUENTE DE AGUA | CAUDAL ABAST. DE AGUA | TIPO DE CAPTACION | METODO DE RIEGO | MASA ESTIMADA DEMANDADA (10.6 m3/año) | COMPONENTES PRINCIPALES DE OBRA DEL PROYECTO |
|---------|--|----------------------------------|--------------------|----------------------|------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|---------------------------------------|--|
| BOLIVIA | | | | | | | | | | |
| B-1 | TACAGUA | POOPO/COIPASA | 8000 | - | SUPERFICIAL | CON REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 78.0 | REPR.+VERT.+CC+CD |
| B-2 | HUANCAROMA | DESAGUADERO | 800 | - | SUPERFICIAL | CON REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 8.83 | REPR.+VERT.+CC+CD |
| B-3 | HUARINA-PEÑAS (KHARA-KHOTA) | TITICACA | 3800 | 1800 | SUPERFICIAL | CON REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 49.4 | PRESA TIERRA+PRESA DERIV.+CP(2)+CD |
| B-4 | PATAMANTA-PALCOCO | CATARI | 3500 | 1320 | SUPERFICIAL | CON REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 43.5 | OBRA TOMA+CP+CS |
| B-5 | PARIA | POOPO/COIPASA | 500 | 300 | SUP. Y SUBTERR. | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 0.5 | MEJOR. OBRA TOMA+DESAR.+CP+CD+POZO EQU. |
| B-6 | CHILAHUALA-RIO DESAGUADERO | DESAGUADERO | 30000 | 7000 | SUPERFICIAL | CON REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 468.0 | PRESA+REPRES. DERIV.+CC+CD+SD |
| B-7 | EL CHORO | POOPO/COIPASA | 10600 | 2300 | SUPERFICIAL | REG. COMPUERT. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 138.0 | OBRA REG. COMPUERTA+OBRA TOMA+CP+CD |
| B-8 | ESCOMA (SUCHEZ-AGUAS ABAJO) | SUCHEZ | 730 | 430 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 9.5 | CAPT+CONDUCT.+DIST.+DRENAJE |
| B-9 | ESCOMA (SUCHEZ-AGUAS ARRIBA) | SUCHEZ | 500 | 300 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 8.5 | CAPT+CONDUCT.+DIST.+DRENAJE |
| B-10 | TARACO | TITICACA | 4000 | 3000 | SUPERF. TITICACA | BOMBEO | BOMBEO | GRAVEDAD | 92.0 | ESTAC. BOMBEO+EST.REBOM+CC+CD |
| B-11 | MAURI | MAURI | 300 | 50 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | | TOMA DIRECT.+DESAR.+CC+CD+OA |
| B-12 | RIO BLANCO | MAURI | 100 | 50 | SUPERFICIAL | CON REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | | PRESA+VERT.EXC+OBR.DERIV.+CC+CD+OA |
| B-13 | JUNTHUTA | POOPO/COIPASA | 180 | 60 | SUPERFICIAL | CON REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 2.4 | PRESA+VERT.EXC+CP+CS+SD |
| B-14 | CONDORIRI | POOPO/COIPASA | 1200 | 500 | SUPERFICIAL | CON REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 15.0 | PRESA+VERT.EXC+OBR.DERIV.+CC+CD+OA |
| B-15 | LEQUEPALCA | POOPO/COIPASA | 300 | 100 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 3.0 | OBRA TOMA+CP+CS |
| B-16 | BURQUILLOS | DESAGUADERO | 1000 | 72 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | - | BOC+CC+SD |
| B-17 | TRES CRUCES | DESAGUADERO | 600 | 118 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | - | BOC+CC+SD |
| B-18 | LAUCA | POOPO/COIPASA | 2500 | 380 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 32.5 | OBRA TOMA+DESAR.+CC+CD |
| B-19 | TODOS SANTOS | POOPO/COIPASA | 2500 | 600 | SUPERFICIAL | CON REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 32.5 | MICRO PRESA+OBRA DER.+CC+CD |
| B-20 | SAN PEDRO DE CONDO | POOPO/COIPASA | 300 | 300 | SUPERFICIAL | SIN REG. | GRAVEDAD | GRAVEDAD | 4.0 | GALER. FILT.+DESAR.+CC+CD+SD |
| B-21 | PROYECTO DE DESARROLLO DE LOS RECURSOS DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL ALTIPLANO | TITICACA/CATARI POOPO/COIPASA | 8840 | - | SUBTERRANEA | BOMBEO | POZO TUB. | GRAVEDAD | 89.0 | POZO EQUIP.+CC+CD |
| | | SUBTOTAL: | 62250 | | | | | | SUBTOTAL: 1041.13 Hm3/año | |

Nota: BOC: BOCATOMA
 CP: CANAL PRINCIPAL
 CS: CANAL SECUNDARIO
 CL: CANAL LATERAL
 CD: CANAL DE DERIVACION

CENT. HID: CENTRAL HIDROELECTRICA
 DPS: DRENES PRINCIPALES SECUNDARIOS
 SRD: SISTEMA DE RIEGO Y DRENAJE
 PRESA DERIV.: PRESA DERIVADORA
 ESTAC. BOMBEO: ESTACION DE BOMBEO

COMP.: COMPUERTA
 ACUED.: ACUEDUCTOS
 EMB.: EMBALSE
 CAP.: CAPTACION
 CC: CANAL DE CONDUCCION

SD: SISTEMA DE DRENAJE
 VR: VASO REGULADOR
 OA: OBRAS DE ARTE
 REPR.: REPRESA
 VERT.: VERTEDERO

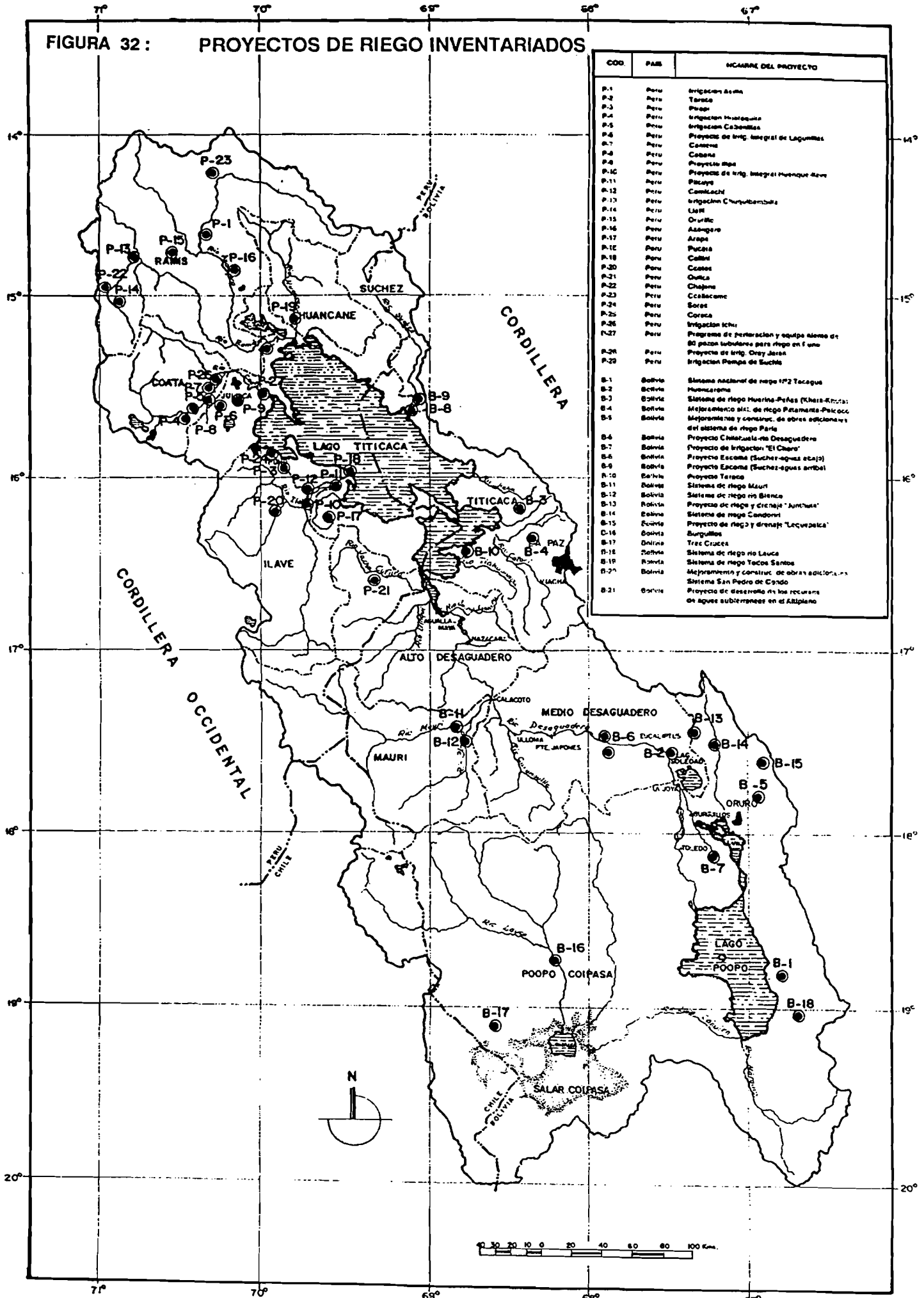
- Existen proyectos que contemplan planteamientos hidráulicos sin regulación y otros con regulación mediante obras de almacenamiento, los cuales incluyen la infraestructura complementaria requerida.
- En los proyectos sin regulación, se ha considerado principalmente obras de captación por gravedad consistentes en tomas directas ó bocatomas aunque existen algunos con captación a través de estaciones de bombeo pero en menor escala.
- En casi todos los proyectos se han planteado esquemas hidráulicos y métodos de irrigación por gravedad. Sólo el proyecto de aprovechamiento de aguas subterráneas mediante pozos tubulares ha contemplado riego por gravedad y a presión utilizando la potencia del equipo de bombeo y en algunos casos específicos complementado con bombas auxiliares para aumentar la presión de los sistemas de riego, sin embargo su costo es alto.
- Los datos de demandas de agua de los proyectos, sólo se ha obtenido de los proyectos que cuentan con estudios de factibilidad y/o definitivos a nivel constructivo; mientras que en la mayoría de los proyectos no se tiene ésta información debido al nivel de los estudios (nivel de identificación, o perfil de proyecto).

La localización de los proyectos se presenta en la figura 32.

La situación actual de los proyectos de riego se ha resumido en los cuadros 13 y 14 de donde se desprenden los siguientes resultados:

- En el sector de Perú, de los 29 proyectos inventariados, 11 se encuentran en funcionamiento parcial, irrigando áreas que van desde 40 hasta 3.000 ha, 3 en ejecución de obras, incluyendo los subproyectos de Pilcuyo y Cantería del proyecto Lagunillas e llave respectivamente que se encuentran a nivel de obra, y uno inoperativo por desperfectos mecánicos de los equipos de bombeo y la falta de financiamiento para su operación. En total se tienen 5.304 ha irrigadas en beneficio de 2.562 familias rurales.
- En el sector de Bolivia de los 21 proyectos identificados, 5 se encuentran funcionando de los cuales 3 operan con obras del proyecto y 2 con sistemas de riego tradicionales (rústicos) mayormente ejecutados por los mismos usuarios. Con estos proyectos se está irrigando 16.020 ha en beneficio de 6.060 familias aproximadamente.
- Según los datos recopilados en los sistemas tradicionales (rústico) e inclusive en los sistemas de algunos proyectos, por el estado de conservación y la falta de mantenimiento se tienen bajas eficiencias de conducción, distribución y de aplicación a nivel de parcela, con lo cual se tiene una eficiencia global muy baja.

FIGURA 32: PROYECTOS DE RIEGO INVENTARIADOS



| COO. | PAIS | DESCRIPCION DEL PROYECTO |
|------|---------|--|
| P-1 | Peru | Irrigacion Asma |
| P-2 | Peru | Tarata |
| P-3 | Peru | Perop |
| P-4 | Peru | Irrigacion Huatayana |
| P-5 | Peru | Irrigacion Caballitas |
| P-6 | Peru | Proyecto de Irig. Integral de Lagunas |
| P-7 | Peru | Cosena |
| P-8 | Peru | Cosena |
| P-9 | Peru | Proyecto Iloca |
| P-10 | Peru | Proyecto de Irig. Integral Huancay Bani |
| P-11 | Peru | Pacaya |
| P-12 | Peru | Camelach |
| P-13 | Peru | Irrigacion Churubambilla |
| P-14 | Peru | Llari |
| P-15 | Peru | Orullo |
| P-16 | Peru | Azangaro |
| P-17 | Peru | Araza |
| P-18 | Peru | Pucara |
| P-19 | Peru | Callan |
| P-20 | Peru | Cosca |
| P-21 | Peru | Colca |
| P-22 | Peru | Chivay |
| P-23 | Peru | Casacama |
| P-24 | Peru | Sorot |
| P-25 | Peru | Cosca |
| P-26 | Peru | Irrigacion Ichi |
| P-27 | Peru | Programa de penetracion y equipamiento de 80 pozos subterranos para riego en el area |
| B-1 | Bolivia | Proyecto de Irig. Oray Jaran |
| B-2 | Bolivia | Irrigacion Pompa de Suquia |
| B-3 | Bolivia | Sistema nacional de riego TP2 Tacagua |
| B-4 | Bolivia | Huancarene |
| B-5 | Bolivia | Sistema de riego Huaria-Peñas (Hera-Rhua); Mejoramiento sist. de riego Patamarca-Palcoac; Mejoramiento y construc. de obras adicionales del sistema de riego Paria |
| B-6 | Bolivia | Proyecto Chiriquia-rio Desaguadero |
| B-7 | Bolivia | Proyecto de Irrigacion "El Charo" |
| B-8 | Bolivia | Proyecto Escama (Suchez-aguas abaj) |
| B-9 | Bolivia | Proyecto Escama (Suchez-aguas arriba) |
| B-10 | Bolivia | Proyecto Taraca |
| B-11 | Bolivia | Sistema de riego Mauri |
| B-12 | Bolivia | Sistema de riego rio Blanco |
| B-13 | Bolivia | Proyecto de riego y drenaje "Junthana" |
| B-14 | Bolivia | Sistema de riego Candorini |
| B-15 | Bolivia | Proyecto de riego y drenaje "Lequezalca" |
| B-16 | Bolivia | Burguillos |
| B-17 | Bolivia | Trec Cruces |
| B-18 | Bolivia | Sistema de riego rio Lauca |
| B-19 | Bolivia | Sistema de riego Tacos Santos |
| B-20 | Bolivia | Mejoramiento y construc. de obras adicionales |
| B-21 | Bolivia | Sistema San Pedro de Copo |
| B-22 | Bolivia | Proyecto de desarrollo de los recursos de aguas subterranas en el Altiplano |

CUADRO 13 : SITUACION ACTUAL DE LOS PRINCIPALES PROYECTOS DE RIEGO INVENTARIADOS - PERU

| COD. | CUENCA | AREA POTENCIAL (Ha) | SITUACION ACTUAL | | | OBSERVACIONES |
|------|---|---------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| | | | ESTADO | AREA IRRIGADA (Ha) | Nº FAMILIAS BENEFIC. | |
| PERU | | | | | | |
| P-1 | Asillo | Ramla | 10800 | Func. parcial | 3000 | 1820 Func. con obras del proyecto. |
| P-2 | Taraco | Ramla | 1600 | Func. Intermit. | 300 | Func. con obras del proyecto. |
| P-3 | Pirapi | Titicaca | 310 | Func. parcial | 310 | 812 Func. con obras del proyecto. |
| P-4 | Huataquita | Coata | 800 | Func. parcial | 300 | 83 Func. con obras del proyecto. |
| P-5 | Cabanillas | Coata | 1200 | Func. parcial | 400 | 133 Func. con obras del proyecto. |
| P-6 | Proyecto de irrig. Integral de Lagunillas | Coata | 66659 | Ejec. de obras | - | 40000 Func. con obras del proyecto. |
| P-7 | Canterla | Coata | 2077 | Func. parcial | 900 | 180 Func. con obras del proyecto. |
| P-8 | Cabana | Coata | 7540 | Estudio Factibilidad | - | - |
| P-9 | Ilipa | Ilipa | 6007 | En ejecucion | - | Func. con obras del proyecto. |
| P-10 | Proyecto de irrig. Integral Huenque-llave | llave | 26660 | En ejecucion | - | Obras sector Pllcuyo concluidas |
| P-11 | Pllcuyo | llave | 2715 | Func. parcial | - | - |
| P-12 | Camicachi | llave | 4700 | - | - | - |
| P-13 | Chuqubambilla | Ramla | 12000 | Func. parcial | 1359 | 350 Func. con obras del proyecto. |
| P-14 | Llalli | Ramla | 240 | Func. parcial | 240 | 33 Func. con obras del proyecto. |
| P-15 | Orurillo | Ramla | 1500 | A nivel de estudio | - | - |
| P-16 | Azangaro | Azangaro | 2500 | Func. parcial | 200 | 60 Func. con obras del proyecto. |
| P-17 | Arapa | Azangaro | 23122 | Reconocimiento | - | - |
| P-18 | Pucara | Ramla | 25837 | Reconocimiento | - | - |
| P-19 | Collini | Collini | 90 | Func. parcial | 90 | 40 Func. con obras del proyecto. |
| P-20 | Ccotos | Titicaca | 200 | Func. Intermit. | 200 | 90 Func. con obras del proyecto. |
| P-21 | Quilca | Ticani | 450 | Func. parcial | 450 | 87 Func. con obras del proyecto. |
| P-22 | Chajana | llave | 300 | - | - | - |
| P-23 | Ccallacame | Ccallacame | 1000 | A nivel de estudio | - | - |
| P-24 | Soras | Ayaviri | 500 | Func. parcial | 300 | 100 Func. con obras del proyecto. |
| P-25 | Coroca | Azangaro | 190 | Func. parcial | 190 | 83 Func. con obras del proyecto. |
| P-26 | Ichu | llave | 200 | Inoperativo | - | Obras del proyecto concluidas |
| P-27 | Programa de perforacion y equipamiento de 80 pozos tubulares para riego en Puno | Coat/Ram/ llav/Patac. | 3500 | En ejec.-func. parcial | 160 | 106 Func. con obras del proyecto. |
| P-28 | Oray Jaran | Coata | 90 | Func. parcial | 45 | 45 Func. con obras del proyecto. |
| P-29 | Pampa De Suchis | Coata | 80 | Func. parcial | 40 | 25 Func. con obras del proyecto. |
| | | Subtotal : | 202867 | Subtotal : | 8484 | 44047 |

CUADRO 14 : SITUACION ACTUAL DE LOS PRINCIPALES PROYECTOS DE RIEGO INVENTARIADOS - BOLIVIA

| COD. | NOMBRE DEL PROYECTO | CUENCA | AREA POTENCIAL (Ha) | SITUACION ACTUAL | | | OBSERVACIONES |
|----------------|--|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| | | | | ESTADO | AREA IRRIGADA (Ha) | Nº FAMILIAS BENEFIC. | |
| BOLIVIA | | | | | | | |
| B-1 | Tacagua | Poopo/Colpasa | 6000 | En funcionamiento | 4200 | 812 | Func. con obras del proyecto existente |
| B-2 | Huancaroma | Desaguadero | 800 | En funcionamiento | 800 | | Func. con obras del proyecto. |
| B-3 | Huarina-Peñas (Khara-Khota) | Titicaca | 3800 | En funcionamiento | 2800 | 1800 | Func. con obras del proyecto. |
| B-4 | Patamanta-Paicoco | Catari | 3500 | Perf. proyecto | 2700 | 1018 | Func. con obras del proyecto existente |
| B-5 | Paria | Poopo/Colpasa | 500 | Perf. proyecto | 300 | 180 | Funcion. Sist. Riego Tradic.(Rústico) |
| B-6 | Chilahuala-Rio Desaguadero | Desaguadero | 38000 | Estudio Factibilidad | - | | Funcion. Sist. Riego Tradic.(Rústico) |
| B-7 | El Choro | Poopo/Colpasa | 10800 | Estudio Factibilidad | - | | Funcion. Sist. Riego Tradic.(Rústico) |
| B-8 | Escoma (Suchez-aguas abajo) | Suchez | 730 | Estudio de prefact. | - | | |
| B-9 | Escoma (Suchez-aguas arriba) | Suchez | 500 | Perf. proyecto | 60 | 42* | Funcion. Sist. Riego Tradic.(Rústico) |
| B-10 | Taraco | Titicaca | 4000 | Perf. proyecto | - | | |
| B-11 | Mauri | Mauri | 300 | Perf. proyecto | 100 | 40 | Funcion. Sist. Riego Tradic.(Rústico) |
| B-12 | Rio Blanco | Mauri | 100 | Perf. proyecto | - | | |
| B-13 | Junthuta | Poopo/Colpasa | 180 | Estudio Factibilidad | - | | |
| B-14 | Condoriri | Poopo/Colpasa | 1200 | Estudio Prefactibilidad | - | 25* | Func. microsist. riego U.T.O. |
| B-15 | Lequepalca | Poopo/Colpasa | 300 | Estudio Prefactibilidad | - | 100 | Funcion. Sist. Riego Tradic.(Rústico) |
| B-16 | Burgullos | Desaguadero | 1000 | Idea de Proyecto | - | | |
| B-17 | Tres Cruces | Desaguadero | 600 | Idea de Proyecto | - | | |
| B-18 | Lauca | Poopo/Colpasa | 2500 | Idea de Proyecto | - | 43 | Funcion. Sist. Riego Tradic.(Rústico) |
| B-19 | Todos Santos | Poopo/Colpasa | 2500 | Perf. proyecto | - | | |
| B-20 | San Pedro de Condo | Poopo/Colpasa | 300 | Perf. proyecto | - | 40 | Func. con galería filtrante y obras de riego rústicas. |
| B-21 | Proyecto de desarrollo de los recursos de aguas subterráneas en el Altiplano | Titicaca/Catari Poopo/Colpasa | 6840 | Hidr. subter. | - | | |
| | | Subtotal: | 82250 | Subtotal: | 10960 | 4033 | |

Notas: * = Estimado. U.T.O. Universidad Técnica de Oruro

3.7.4 Trasvases de agua hacia los departamentos peruanos de Arequipa y Tacna en la costa del Pacífico

La zona de los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna (Figura 33) comprende una de las zonas económicas más importantes del sur del Perú. En esta zona, las carencias de agua y energía constituyen los principales impedimentos para emprender cualquier posibilidad de desarrollo multisectorial (principalmente en agricultura, industria y comercio). Esta situación, en particular, viene limitando seriamente el impulso de los planes de inversión y expansión de las zonas francas de Tacna e Ilo (incluyéndose la zona franca de Bolivia). Se debe señalar que estas carencias se han agravado significativamente en los últimos años.

La situación deficitaria en el aprovisionamiento de recursos hídricos por la que atraviesan estos departamentos (tanto para uso poblacional y energético como agrícola) se ha visto notablemente agudizada por la presencia de persistentes períodos de sequías en los últimos años como el que se ha presentado en el año 1992.

La situación del año 1992 fue extremadamente crítica pues por los déficits existentes, ha sido necesario efectuar severos racionamientos en los abastecimientos de agua y energía en Arequipa, Moquegua y Tacna (a pesar del trasvase del Uchusuma y de la zona de bombeo de El Ayro), los cuales perjudicaron seriamente las actividades económicas de dichas zonas.

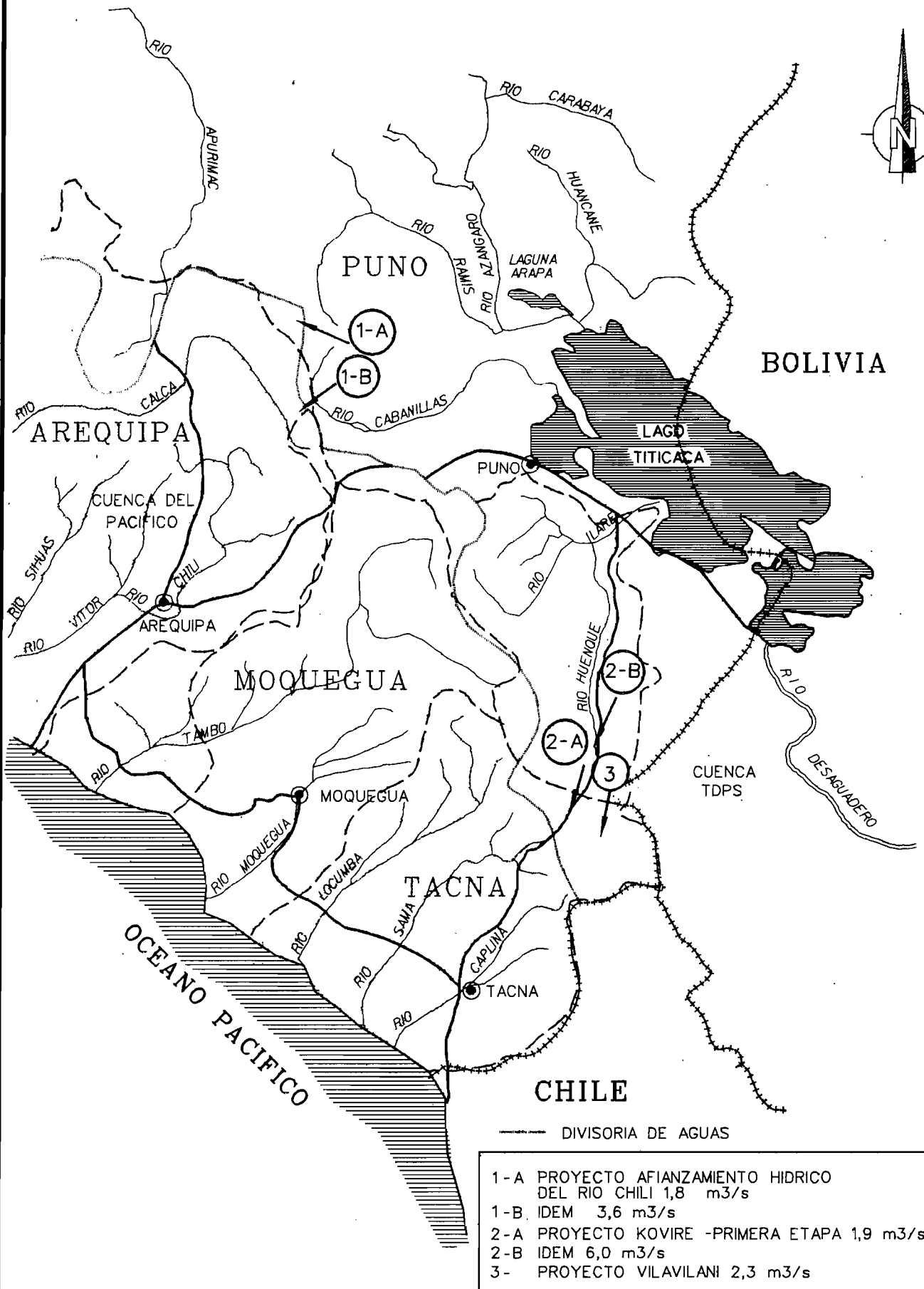
Considerando la infraestructura existente (embalses y centrales hidroeléctricas) en la cuenca del río Chili en Arequipa, el **afianzamiento hídrico del río Chili** es indispensable para atenuar los efectos de las sequías, aliviándose la situación deficitaria de energía y agua de Arequipa y de energía (parcialmente) de Moquegua y Tacna, ya que parte de la energía puede ser conducida mediante el sistema interconectado.

Asimismo, considerando la infraestructura existente en Tacna: (laguna de Aricota y centrales hidroeléctricas) en la cuenca del río Locumba y en la cuenca del río Caplina, el **afianzamiento hídrico de la laguna Aricota** se considera indispensable en una primera instancia para aliviar la situación deficitaria de energía de Tacna y de agua para riego en dicha cuenca y para uso doméstico en el puerto de Ilo; el que posteriormente requerirá complementarse con el proyecto Vilavilani.

El afianzamiento de la laguna Aricota es muy importante, pues debido a la sobreexplotación a la que ha sido sometida la laguna durante los últimos 25 años, para atender la creciente demanda de energía eléctrica de Tacna y Moquegua, ha suscitado que sus reservas de agua originales de 804 hm³ disminuyan a tan sólo 45 hm³ (mayo'92), lo cual significa que su colapso podría producirse a corto plazo, de seguir ELECTROPERU extrayendo 1,5 m³/seg., de no culminarse obra alguna de afianzamiento y de prolongarse la sequía u ocurrir otra en un futuro cercano, dejándose así de atender las demandas de Tacna y Moquegua.

El proyecto **Kovire**, considerado como la alternativa "vital" para el afianzamiento de la laguna Aricota, consiste en la derivación de recursos hídricos de las cabeceras de algunos afluentes del Ilave. El proyecto prevé la derivación de dichos recursos mediante una serie

FIGURA 33 : POSIBLES TRASVASES HIDRICOS A LAS CUENCAS VERTIENTES AL PACIFICO



de obras civiles y electromecánicas, las cuales al final convergerán a un túnel transandino (Túnel Kovire), de 8,2 Kms. de longitud (el cual se encuentra en construcción -a mayo de 1992: 50%) que transvasará dichos recursos hídricos hacia la vertiente Occidental de los Andes; constituyéndose en la ruta óptima para su aprovechamiento en el mejoramiento del riego de los valles de Locumba y Sama, así como la ampliación de la frontera agrícola en tierras hábiles para el cultivo existentes en el Departamento.

Para el afianzamiento hídrico, tanto de la cuenca del río Chili en Arequipa como de la cuenca de la laguna Aricota y la cuenca del río Caplina en Tacna, se han estudiado, por parte de Perú, alternativas que proponen trasvases (derivación) de aguas del complejo T.D.P.S.. Ambos proyectos han sido declarados por el Gobierno Peruano de necesidad y prioridad nacional.

Para priorizar los estudios y obras que se requieran para atenuar inicialmente los impactos de las sequías y posteriormente solucionar las problemáticas hídricas, el gobierno peruano ha declarado en emergencia los territorios afectados por la escasez de recursos hidroenergéticos, así como ha declarado de necesidad y prioridad nacional el afianzamiento de la cuenca del río Chili en Arequipa. Así, se vienen ejecutando los estudios requeridos para el afianzamiento del Chili así como se vienen ejecutando los estudios y obras necesarias para el afianzamiento de la laguna de Aricota en Tacna y entre estos está el túnel.Kovire.

Cabe destacar que aunque los caudales considerados en los proyectos de trasvase son relativamente pequeños:

| | | |
|----------------------------|---|--------------------------|
| Kovire - Primera etapa | : | 1,9 m ³ /s; |
| Kovire - Segunda etapa | : | 6,0 m ³ /s; |
| Chili | : | 5,4 m ³ /s; y |
| Vilavilane - Segunda etapa | : | 2,3 m ³ /s; |

es necesario compatibilizarlos con los proyectos de aprovechamientos en el sistema T.D.P.S., después de estudiados los recursos hídricos reales del sistema, y proceder a un reparto equitativo entre los dos países, llegará la hora para Perú de conocer sus disponibilidades; los posibles trasvases deberán ser compatibilizados, principalmente con proyectos de riego en el lado peruano del sistema, tales como Lagunillas, llave y Chuquibambilla.

El aprovechamiento del río Mauri se realizará sin perjudicar los derechos de Perú ni de Bolivia, para lo cual trabajan un esquema de utilización, en beneficio de ambos países.

3.8 OTRAS INFRAESTRUCTURAS

Energía

La energía eléctrica es usada principalmente en los centros urbanos, en tanto que su utilización es muy limitada en las zonas rurales. Como consecuencia de las grandes distancias que existen en el altiplano y de la diseminación de la población rural, generalmente la electricidad no puede distribuirse económicamente por red en el medio rural, razones por las cuales en la mayoría de los casos se utilizan sólo pequeñas instalaciones térmicas locales para generación de electricidad.

La energía solar es usada en forma muy limitada, a pesar de registrarse en el altiplano elevados niveles de insolación (que en promedio varían de 400 a 725 caloría/cm² con 2.360 a 3.320 horas de sol en el año).

Se encuentra en desarrollo un programa de implementación de sistemas familiares de energía solar con el apoyo del gobierno español (Instituto de Colaboración Iberoamericana) en el sector boliviano del altiplano, y con el apoyo del gobierno alemán (G.T.Z.) en el sector peruano. Por otro lado, la energía eólica es muy poco utilizada, pues las experiencias en la utilización de molinos de viento en el altiplano para bombeo de agua del subsuelo no han sido muy exitosas por la baja velocidad de los vientos, por los cambios bruscos de dirección y la limitada persistencia de los mismos.

La utilización de biomasa (leña y estiércol entre otros) se encuentra muy difundida en las zonas rurales del altiplano, para preparación de los alimentos principalmente en la panificación; el uso de combustibles comerciales (como gas licuado de petróleo u otros) es muy limitado debido a los bajos niveles de ingresos, deficiente comunicación vial y dispersión de las comunidades.

La principal fuente de leña es un arbusto autóctono del altiplano, la thola, y en menor proporción, la yareta, la quishuara y el canlli. La thola (*Lepidophyllum quadrangulare*, *Baccharis dracunculifolia*, *Baccharis heterothalamoides*, *Baccharis microphylla*), que existe en amplias extensiones, tanto en el sector boliviano como en el peruano, tiene un crecimiento que puede ir de 15 a 40 cm/año, dependiendo de las condiciones ambientales. La thola se quema muy rápidamente con un poder calorífico medio de 3.500 kcal/kg. La yareta es una planta (*Laretia compacta*), de crecimiento muy lento (1mm/año), que tiene una forma almohadosa muy compacta y que crece en los bofedales del altiplano, pero está muy depredada; si bien tiene poder calorífico menor (1.650 kcal/kg), arde muy lentamente.

El estiércol (taquia) es usado intensamente en las zonas donde no existe leña (zona circunlacustre y Oruro, entre otras) siendo utilizado en forma prioritaria para combustible de cocina y en el caso de tenerse excedentes se le utiliza como abono natural.

No existen en el altiplano depósitos de carbón económicamente explotables, a pesar de existir depósitos de antracita dispersos entre Copacabana y la Isla del Sol.

Transporte

Los sistemas de transporte se han generado como respuesta directa a las necesidades externas y de las principales ciudades, habiendo quedado con vías muy limitadas las áreas rurales.

En el **sector peruano**, en la subregión Puno se contaba, en 1989, con 4.954 km de carreteras, registrando sólo 0,07 km de carretera por km² de extensión territorial, de las cuales:

| | | | |
|---------|----|------------|---------------------------------------|
| 233,0 | km | o el 4,7% | corresponde a carreteras asfaltadas, |
| 1.195,0 | km | o el 24,1% | corresponde a carreteras afirmadas, |
| 928,0 | km | o el 18,7% | corresponde a carreteras sin afirmar, |
| 2.598,0 | km | o el 52,5% | corresponde a trochas carrozables. |

La red vial de la subregión de Puno, desde el punto de vista funcional, se distribuye en tres sistemas:

- a) Sistema troncal: que establece los nexos extra-subregionales (con Tacna, Moquegua, Cuzco, Arequipa y Madre de Dios), y los internacionales (con la República de Bolivia). Su longitud total es de 1.128 km.
- b) Sistema secundario: que interconecta los distritos y otras áreas productivas a la red troncal, con una longitud de 1.227 km.
- c) Sistema terciario: constituido por pequeños ramales con características de trochas carrozables o caminos vecinales, con una longitud de 2.599 km.

Esta red vial no consigue la articulación adecuada del espacio subregional de acuerdo con las necesidades de la producción. En general, esta red vial continúa con serias deficiencias en cuanto a condiciones de transitabilidad como consecuencia de un sistema de mantenimiento y conservación inadecuado, insuficiente y poco oportuno.

La subregión también cuenta con una red ferroviaria de 445 km, que corresponden a las interconexiones de Puno-Juliaca con Arequipa y Cuzco (vías que enfrentan serios problemas de conservación). Se cuenta con el ferrocarril que vincula Juliaca con Arequipa (121 km en la subregión) y el puerto marítimo de Matarani, y el ferrocarril Puno-Juliaca - Cuzco (324 Km). El servicio ferroviario a cargo de Enafer-Perú no alcanza a cubrir adecuadamente las necesidades de carga y pasajeros, especialmente de estos últimos, a pesar que en los últimos años se ha renovado el material rodante del parque ferroviario sur, pero no así el material de tracción y locomotoras.

El sistema de transporte lacustre posibilita la interconexión de las diferentes islas y algunas centros poblados, así como de éstos con los puertos lacustres bolivianos. Este servicio cuenta con un puerto de atraque directo en Puno y otros menores en diferentes lugares (entre los que destacan los de Chucuito y Juli). El puerto lacustre de Puno, catalogado como Puerto Mayor, posibilita la actividad pesquera, así como la comercialización y exportación. Este puerto es frecuentemente utilizado como medio de transporte con el

puerto boliviano de Guaqui, por el cual se moviliza parte de la producción minera (zinc, estaño, plomo) de dicho país, que posteriormente es trasladada vía ferrocarril a Matarani. La flota lacustre está constituida por tres embarcaciones (Coya, Inca y Ollanta- Mariscal Andrés de Santa Cruz) con capacidad de 1.845 t y un carguero "ferry boat" (Manco Capac) con capacidad de 920 t; sin embargo en la actualidad sólo opera uno de ellos (el Manco Capac).

En general, el transporte lacustre carece de suficientes puertos y atracaderos.

Adicionalmente se cuenta con el aeropuerto de aviación comercial de Juliaca para comunicaciones aéreas y cuya pista de aterrizaje ha sido asfaltada en los últimos años. Este aeropuerto registra, relativamente, adecuados niveles de infraestructura (pista asfaltada) y equipamiento (monitoreo, meteorología, etc) a través del cual la subregión se vincula con las ciudades de Arequipa, Cuzco, Lima, y Madre de Dios. Este aeropuerto movilizó en 1989, 30.856 pasajeros de entrada y 27.492 de salida; 267.658 kg de carga de entrada y 47.442 kg de salida y 18.145 kg de correo de entrada y 5.850 kg de salida.

En el sector boliviano, el sistema vial está dotado de dos carreteras asfaltadas: la que une La Paz con Oruro, y otra la de La Paz a Tiquina. Una carretera afirmada que lleva un buen volumen de tráfico es la de La Paz a Desaguadero, frontera con el Perú, que tiene ya marcada fecha para su asfaltado.

El sistema vial se ramifica en caminos vecinales que integran en forma más o menos permanente poblaciones o zonas secundarias. En el departamento de La Paz en 1989 cerca del 5% de los caminos estaban pavimentados, 36% ripiados y los demás de tierra. La transitabilidad anual se evaluaba en un 74% para todo el sistema (Coprinco y Asociados - Diagnóstico y Perspectivas - Sector Agropecuario Departamento de La Paz). En el caso de Oruro, aparte de la carretera hacia La Paz (87 Km), ya mencionada, y otros tramos hasta Machacamarca (34 Km), Caracollos (39 Km) y Vinto (7 Km), los demás caminos son ripiados en su mayoría (60%) y de tierra, transitables sólo en época seca.

El altiplano boliviano está dotado de un sistema ferroviario de trocha angosta (1m) que conecta el puerto de Guaqui al norte, a La Paz (104 Km) y por Viacha (42 Km de La Paz) a la frontera con Chile (Charaña, 207 Km) y Oruro (194 Km). Desde Oruro hay conexiones para Cochabamba, Potosí, Sucre, Villazón (en la frontera con Argentina) y otras poblaciones menores.

En lo referente al transporte aéreo, el altiplano boliviano tiene un sólo aeropuerto de primer nivel, El Alto, que cuenta con una pista de 4.000 metros de pavimento rígido. Existe además un aeropuerto cerca de Oruro con dos fajas de 2.000 metros de largo, con compactación de grava y arena y capacidad de soportar naves de hasta 40.000 lb. Existen dos pistas de emergencia: en Copacabana (prov. Manco Kapac, 800 metros de largo, tierra natural mejorada) y Laja (prov. Los Andes, 900 metros, igual superficie).

Comunicaciones

Los servicios de comunicaciones se encuentran concentrados en los centros urbanos de mayor nivel, mientras que en los centros poblados menores, en el mejor de los casos,

sólo cuentan con postas y centros comunitarios telefónicos que a veces no tienen una operación permanente.

El sistema de comunicaciones alcanza a pocos centros urbanos y éstos están insuficientemente servidos. Así se contaba:

En la **parte peruana**, se cuenta con 121 oficinas postales y 89 de telégrafo. En 90 de los 94 distritos de la subregión se tienen servicio de correos, aunque sólo el 30% de ellos cuenta con servicio telegráfico, cuya administración está a cargo de Entel-Perú, entidad que cubre dos jurisdicciones (Juliaca y Puno), que funcionan en forma autónoma. De estas jurisdicciones dependen las oficinas telegráficas existentes en provincias puneñas con una cobertura total de 25 distritos.

Aún cuando telefónicamente la subregión está comunicada con todo el país, sólo algunas capitales de distrito cuentan con este servicio, siendo su cobertura total de 26 distritos. El número total de líneas telefónicas en la subregión en 1988, era de 5.200 y el de abonados residenciales de 2.325, concentrándose en Puno y Juliaca la mayor parte de los abonados. Sólo dos oficinas tienen servicios telefónicos automáticos, y están, como los telegráficos, a cargo de Entel-Perú.

En el **sector boliviano**, el sistema de telecomunicaciones está a cargo de la Empresa Nacional de Comunicaciones (ENTEL) con servicio de micro-ondas nacional e internacional. La Dirección de Telecomunicaciones Rurales (DITER) presta servicios análogos a las poblaciones principales del altiplano, operando con el sistema HF radioeléctrico de alta frecuencia y LF telegrafía por línea física.

4. RECURSOS DISPONIBLES Y DEMANDAS POTENCIALES DE AGUA

4.1 CAUDALES REGULABLES EN LOS RIOS AFLUENTES AL LAGO TITICACA. RESULTADOS DEL MODELO SIM-V

Para establecer el potencial de regulación de los afluentes al lago Titicaca, se ha realizado un análisis, mediante modelos de simulación, de la respuesta -en términos de balance- de los ríos llave, Coata y Ramis frente a una selección de aprovechamientos existentes y previstos. Los detalles de este análisis pueden consultarse en el informe elaborado sobre los modelos de gestión. Los recursos de dichos ríos suponen en torno al 80% de las disponibilidades hídricas de todos los afluentes al lago, y en sus cuencas se concentra la práctica totalidad de las demandas existentes y potenciales.

En el cuadro 15 se presentan las aportaciones medias mensuales y anuales en los principales afluentes (obtenidas en los estudios hidrológicos) para el periodo 1960-1990, así como las correspondientes a un 75% de probabilidad de ocurrencia. Estas últimas se han obtenido a partir de la frecuencia de presentación en la serie elaborada.

En cuanto a las demandas, el principal uso del agua en estas cuencas es el riego, siendo también importantes los volúmenes requeridos para trasvases exteriores potenciales. En cada una de las cuencas se han identificado los principales proyectos de irrigación existentes y propuestos, y se han estimado sus demandas correspondientes, diferenciando para los primeros las actuales y las previstas. En el cuadro 16 se incluye un resumen de estas demandas, junto con los caudales considerados para trasvases hacia cuencas del Pacífico y del Atlántico.

Dada la multiplicidad de escenarios posibles que se derivan de la combinación de los distintos aprovechamientos, ha sido necesario proceder a una selección de las hipótesis a simular, de manera que el análisis de los resultados de las mismas permita extraer ciertas conclusiones sobre la potencialidad de las tres cuencas y no sobre las simulaciones concretas, conclusiones que han de ser tomadas en cualquier caso como parciales y preliminares, dado el número limitado de escenarios simulados y las incertidumbres existentes en los datos hidrológicos (especialmente en las áreas de cabecera) y en la evaluación de los retornos de riegos.

En este sentido, hay que señalar que en los modelos de simulación se han considerado como input para los regadíos: las superficies de riego, las dotaciones unitarias, calculadas con una eficiencia del 40%, y una estimación de los retornos previsibles (normalmente entre el 15, 20 y 25% de la dotación suministrada). Esto significa que se están considerando unos consumos que no retornan al sistema, equivalentes al 75-80 y 85% de la dotación suministrada. Como las necesidades de agua para riego y las tasas de retorno son parámetros sujetos a un cierto grado de incertidumbre, es recomendable utilizar siempre los consumos netos o reales como término de referencia, ya que son estos consumos los que afectan directamente al balance del lago y los que son absolutamente necesario controlar rigurosamente para no sobrepasar el límite superior establecido. Si estudios futuros demostraran que los consumos unitarios reales fueran inferiores a los utilizados en los modelos, ello significaría simplemente que con el mismo consumo simulado podría regarse una superficie algo mayor. Así por ejemplo considerando retornos entre 40 y 45% y pérdidas del orden del 20 al 15%.

CUADRO 15 : Volúmenes medios mensuales y volúmenes garantizados en Hm3 (con 75 % de confiabilidad) - Afluentes Lago Titicaca

| | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|
| AFLUENTES LAGO TITICACA (MEDIOS) | SUCHEZ 60-90 | 74.4 | 80.2 | 70.7 | 40.2 | 14.2 | 5.6 | 3.7 | 2.7 | 2.8 | 3.6 | 9.1 | 27.3 | 334.5 |
| | HUANCANE 60-90 | 137.8 | 153.2 | 135.7 | 73.4 | 27.9 | 13.5 | 9.8 | 7.1 | 7.2 | 7.8 | 15.4 | 42.3 | 631.1 |
| | RAMIS 60-90 | 430.8 | 531 | 584.4 | 342.4 | 116.4 | 55.9 | 36.3 | 26.4 | 25.3 | 32.4 | 63.1 | 139.3 | 2383.7 |
| | COATA 60-90 | 260.4 | 351.7 | 331.9 | 159.6 | 50.4 | 22.5 | 13.6 | 9.6 | 7.4 | 8.5 | 25.2 | 67.1 | 1307.9 |
| | ILAVE 60-90 | 235.2 | 343.7 | 282.7 | 108.4 | 41.0 | 28.0 | 24.2 | 21.3 | 20.5 | 21.2 | 27.8 | 59.8 | 1213.8 |
| AFLUENTES LAGO TITICACA (75%) | SUCHEZ 60-90 | 33.2 | 51.3 | 44.0 | 22.8 | 7.7 | 3.7 | 3.1 | 2.1 | 1.8 | 2.2 | 2.4 | 6.8 | 181.1 |
| | HUANCANE 60-90 | 56.0 | 90.3 | 77.3 | 41.2 | 17.1 | 9.5 | 8.0 | 5.4 | 4.7 | 5.5 | 5.9 | 13.2 | 334.2 |
| | RAMIS 60-90 | 239.6 | 322.5 | 378.6 | 194.2 | 76.5 | 40.0 | 26.1 | 18.4 | 15.4 | 22.0 | 26.2 | 71.1 | 1430.4 |
| | COATA 60-90 | 110.5 | 153.3 | 157.6 | 74.1 | 27.0 | 14.4 | 9.3 | 6.4 | 4.5 | 5.2 | 5.2 | 18.9 | 586.3 |
| | ILAVE 60-90 | 80.2 | 123.4 | 117.7 | 52.7 | 26.5 | 20.0 | 18.3 | 15.8 | 15.0 | 13.9 | 12.5 | 24.2 | 520.3 |

**CUADRO 18 : APROVECHAMIENTOS DE RIEGO EXISTENTES Y PROPUESTOS Y TRASVASES PROPUESTOS
EN LOS AFLUENTES DEL LAGO TITICACA**
(Requerimientos actuales, comprometidos, y futuros)

A) APROVECHAMIENTOS DE RIEGO

| CUENCAS | DISPONIB. ANUAL (80-90) | | DEMANDAS ACTUALES | | | DEMANDAS COMPROMETIDAS | | | DEMANDAS FUTURAS | | | DEMANDAS TOTALES |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------|-----------------------------|------------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------|--------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | VOLUMEN Hm ³ | CAUDAL m ³ /s | Proyecto | Area ha. | Caudal m ³ /s | Proyecto | Area ha. | Caudal m ³ /s | Proyecto | Area ha. | Caudal m ³ /s | Q. TOTAL m ³ /s |
| COATA | 1307.8 | 41.47 | Huataquita | 250 | 0.10 | Huataquita | 650 | 0.27 | Yanarico | 2960 | 1.00 | |
| | | | Cabanillas | 600 | 0.25 | Cabanillas | 1000 | 0.41 | Cabanillas-Chatapujio | 1806 | 0.55 | |
| | | | | | | Canteria | 2077 | 1.43 | Cabana | 7540 | 2.75 | |
| | | | | | | Sub-Total | 850 | 0.35 | Sub-Total | 3727 | 2.11 | |
| | | | | | | | | Sub-Total | 28964 | 9.65 | 12.11 | |
| ILAVE | 1213.8 | 38.49 | | | | Pilcuyo | 2440 | 1.83 | Camicachi | 3500 | 2.18 | |
| | | | | | | | | | Totorani | 3370 | 2.01 | |
| | | | | | | Sub-Total | 2440 | 1.83 | Sub-Total | 15326 | 9.27 | |
| RAMIS | 2383.5 | 75.58 | Asillo | 1250 | 0.50 | Asillo | 5500 | 2.14 | | | | |
| | | | Taraco | 230 | 0.10 | Taraco | 1370 | 0.60 | | | | |
| | | | Chuquibambilla | 1359 | 0.47 | Chuquibambilla | 12000 | 4.18 | | | | |
| | | | Sub-Total | 2839 | 1.07 | Sub-Total | 18870 | 6.92 | | | | |
| SUCHEZ | 334.5 | 10.61 | Escoma | 250 | 0.08 | | | | Escoma | 400 | 0.12 | |
| | | | | | | | | | Suchez Alto | 450 | 0.15 | |
| | | | Sub-Total | 250 | 0.08 | | | | Sub-Total | 850 | 0.27 | |
| HUANCANE | 631.1 | 20.01 | | | | | | | | | | |
| OTROS AFL. | 468.0 | 14.84 | Huarina | 950 | 0.20 | Huarina | 1235 | 0.26 | | | | |
| | | | Micro-irrig | 1000 | 0.20 | Illpa | 6007 | 2.34 | | | | |
| | | | Huayna Potosí | | 1.00 | | | | | | | |
| | | | Sub-Total | 1950 | 1.40 | Sub-Total | 7242 | 2.60 | | | | |
| TOTAL | 6338.7 | 201.00 | | 5889 | 2.9 | | 32279 | 13.46 | | 45140 | 18.18 | 35.55 |

B) TRASVASES PROPUESTOS DE LOS AFLUENTES DEL LAGO TITICACA

| DE - A | CUENCA ORIGINARIA | CUENCA A TRASVASAR | CAUDAL DE TRASVASE PROMEDIO m ³ /s |
|--|--------------------------------------|---------------------|--|
| COATA - CHILI COATA-RAMIS - PAÑE RAMIS - PAÑE HUENQUE - TACNA | COATA | CHILI | 2.95 |
| | COATA | CHILI (PAÑE) | 0.47 |
| | RAMIS | CHILI (PAÑE) | 1.83 |
| | HUENQUE | LOCUMBA (TACNA) | 2.56 |
| HUAYNA POTOSI - LA PAZ | CONDORIRI KATARI HUAYNA POTOSI | LA PAZ (CHOQUEYAPU) | 0.80 |

En total, los escenarios contemplados han sido 36, que resultan de la combinación de 3 configuraciones distintas en la cuenca del llave, otras 3 en la del río Coata y 4 en la del Ramis. En cada caso se han considerado, en síntesis, las siguientes informaciones:

- Series de aportaciones en distintos puntos de la cuenca.
- Demandas de riego actuales y previstas.
- Embalses futuros y derivaciones, definidos en estudios y proyectos existentes en el área.
- Posibles trasvases a cuencas exteriores al Sistema T.D.P.S.

También se han tenido en cuenta caudales de servidumbre en algunos tramos, para respetar usos ya existentes o por criterios medioambientales. No se han considerado sin embargo ni abastecimientos urbanos, por ser su cuantía escasamente significativa frente a los otros usos, ni posibles trasvases desde la cuenca atlántica a la del río Ramis para compensar los aquí previstos hacia el exterior del sistema. Esta última posibilidad debería de ser objeto de ulteriores estudios para dictaminar sobre su factibilidad.

Para la simulación matemática de la gestión, realizada a nivel mensual, se ha utilizado el programa informático SIM-V, desarrollado en su versión original por el Departamento de Recursos Hidráulicos del Estado de Tejas (EE UU), que se adapta de forma satisfactoria a la resolución del problema que nos ocupa.

En cuanto a los criterios de garantía, se ha utilizado los siguientes:

- **Garantía total:** definida a nivel mensual, y viene a ser el porcentaje de meses en que se satisface íntegramente la demanda, es decir:

$$\frac{(\text{N}^{\circ} \text{ mes. con demanda} - \text{N}^{\circ} \text{ mes. con déficit}) \times 100}{\text{N}^{\circ} \text{ de meses con demanda}}$$

Como se consideran valores aceptables entre 75% al 85%, se ha utilizado 75%.

- **Garantía depurada:** como la anterior, también definida a nivel mensual, y viene a ser el porcentaje de meses en que se satisface la demanda hasta un valor "q" de la misma (siendo que " q " puede estar entre 0,80 a 0,90). Valores aceptables que se encuentran entre 75% al 85%, habiéndose empleado 75% para q=0,80 de la demanda total.
- **Garantía inestructa:** es la que considera el porcentaje de años en que se satisface la demanda agrícola:

$$\frac{(\text{N}^{\circ} \text{ total de años} - \text{N}^{\circ} \text{ años con déficit}) \times 100}{\text{N}^{\circ} \text{ total de años}}$$

Considerando que un año tiene déficit cuando en algún mes no se sirve el 75% de su demanda o cuando durante tres meses o más el valor del déficit de cada mes se sitúa entre el 25% y el 20%.

Consumo neto: Para los trasvases, es la totalidad del caudal trasvasado. Para el regadío y el uso doméstico e industrial es la totalidad del caudal disipado que no retorna a la cuenca (ETR, EV, etc.).

En una primera aproximación se han considerado los requerimientos de riego empleando la fórmula aproximada de la FAO para el cálculo de la lluvia para el 80% de nivel de confianza. Fórmula comúnmente utilizada para el cálculo de proyectos, obviamente en el proceso de gestión, para el cálculo del déficit de la lámina de riego se utilizará la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real, utilizándose para este efecto la precipitación real mes a mes y año a año.

A continuación, se exponen de forma simplificada las distintas hipótesis simuladas en las cuencas, así como las principales conclusiones que de sus resultados se deducen.

GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO ILAVE

El modelo de gestión está representado en el esquema adjunto (Figura 34) Consta de 2 embalses y 5 demandas o vertidos. Los embalses incluidos son:

| Embalses | Volúmenes previstos (hm ³) | | |
|--------------|--|------------|------------|
| | Maximo | Mínimo | Util |
| Chihuane | 200 | 20 | 180 |
| Lacotuyo | 310 | 160 | 150 |
| TOTAL | 510 | 180 | 330 |

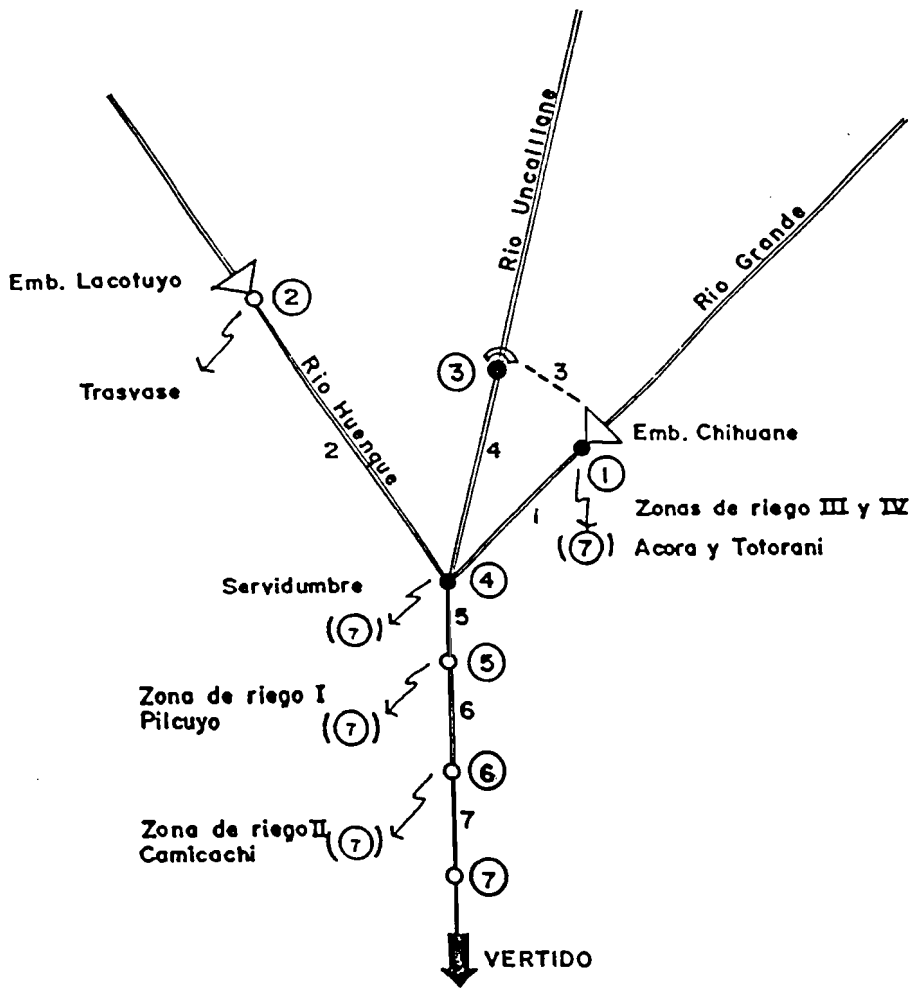
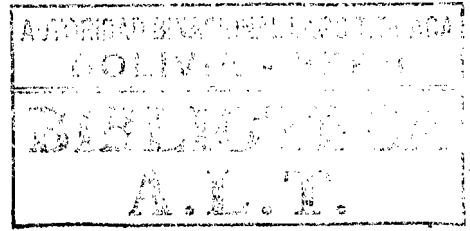
Las aportaciones parciales (media anual), aplicadas en cada nudo del esquema, en el período 1960-1990 son:

| Nudo | Aportación media anual (hm ³) |
|-----------------------------|---|
| 1 Embalse Chihuane | 221,7 |
| 2 Embalse Lacotuyo | 104,1 |
| 3 Azud en el río Uncaillane | 254,1 |
| 4 Confluencia | 634,1 |

Se ha considerado una evaporación media anual de 1546 mm en el embalse de Chihuane y de 1829 mm en el de Lacotuyo.

FIGURA 34 :

SISTEMA ILAVE
ESQUEMA REPRESENTATIVO



LEYENDA

| | |
|--|------------------------|
| | RIOS |
| | CONDUCCIONES FUTURAS |
| | DEMANDAS |
| | Nº DEL NUDO |
| | Nº DEL ARCO |
| | Nº DEL NUDO DE RETORNO |
| | NUDO CON APORTACION |
| | NUDO SIN APORTACION |
| | EMBALSE CONSTRUIDO |
| | EMBALSE FUTURO |
| | AZUD DE DERIVACION |

Las demandas consideradas fueron:

| Nudo | Tipo de demanda | Superficie (ha) | Demanda (hm ³ /año) |
|-------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| 1 | Riego: Sector III. Totorani | 3370 | 62,6 |
| | Riego: Sector IV. Acora | 8456 | 160,0 |
| 5 | Riego: Sector I. Pilcuyo | 2440 | 58,0 |
| 6 | Riego: Sector II. Camicachi | 3500 | 68,3 |
| Subtotal 1 | | 17.766 | 348.9 |
| 1 4 | Trasvase Servidumbre | | 145,1 110,3 |
| | Subtotal 2 | | 255,4 |
| Total | | | 604,3 |

con un retorno de riego considerado igual a 25% de la demanda.

- Las hipótesis simuladas son tres (en función de los riegos, trasvases y embalses en funcionamiento), según el cuadro adjunto:

**ESTUDIO DE GESTION DE LOS RECURSOS DE LA CUENCA DEL RIO ILAVE
HIPOTESIS SIMULADAS**

| HIPOT | DERIVACION | RIEGOS Y TRASVASE | | | | EMBALSES | |
|-------|----------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|----------|----------|
| | RIO UNCAILLANE | REGADIO PILCUYO (1) | REGADIO CAMICACHE (2) | REG. ACORA Y TOTORANI (3) | TRASVASE EMB. LACOT. | CHIHUANE | LACOTUYO |
| 1-I | NO | SI | SI | NO | SI | NO | NO |
| 2-I | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO |
| 3-I | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |

(1) Orden de prioridad en demandas de agua para riego

El resumen global de los resultados se presenta en los cuadros 17 y 18.

Del análisis de los resultados de la gestión de los recursos en la cuenca del llave se puede señalar:

- Tanto el embalse de Chihuane, como la derivación hasta el mismo desde el río Uncaillane, deben considerarse como infraestructuras obligadas para hacer frente a los proyectos de riego simulados.
- El embalse de Lacotuyo es una obra que puede en principio ser considerada como innecesaria, e incluso contraproducente, ya que las pérdidas por evaporación que llevaría asociadas tendrían como consecuencia una pérdida neta de recursos de la cuenca.
- Dado el volumen y régimen de aportaciones en el río Huenque, un trasvase a la altura del emplazamiento contemplado para Lacotuyo podría suministrar un caudal medio algo superior a 1 m³/s, para lo que sería necesario una pequeña obra de regulación y una impulsión hacia la cuenca pacífica. En cualquier caso, la energía necesaria para elevar el agua desde este emplazamiento u otro

CUADRO 17 : ESTUDIO DE GESTION DE LOS RECURSOS DE LA CUENCA DEL RIO ILAVE
RESUMEN DE RESULTADOS

| EMBALSES | HIPOTESIS 1-I | | | | HIPOTESIS 2-I | | | | HIPOTESIS 3-I | | | |
|----------|---------------|-----------|-----------|---------|---------------|-----------|-----------|---------|---------------|-----------|-----------|---------|
| | VOL. MAX. | VOL. MIN. | VOL. MED. | EVAPOR. | VOL. MAX. | VOL. MIN. | VOL. MED. | EVAPOR. | VOL. MAX. | VOL. MIN. | VOL. MED. | EVAPOR. |
| CHIHUANE | ---- | ---- | ---- | ---- | 200.00 | 20.00 | 116.10 | 39.24 | 200.00 | 20.00 | 112.88 | 38.10 |
| LACOTUYO | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 278.74 | 128.81 | 188.35 | 56.68 |

| DEMANDAS | DEM. TOT. | DEM. SERV. | DIF. DEM. | % DEFIC. | DEM. TOT. | DEM. SERV. | DIF. DEM. | % DEFIC. | DEM. TOT. | DEM. SERV. | DIF. DEM. | % DEFIC. |
|-----------------|------------------------------|------------|-----------|----------|-----------------------------|------------|-----------|----------|-----------------------------|------------|-----------|----------|
| TRV. LACOTUYO | 145.05 | 50.35 | 94.70 | 65.3 | 145.05 | 39.89 | 105.16 | 72.5 | 145.05 | 28.18 | 116.89 | 80.6 |
| RG. PILCUYO | 58.01 | 52.74 | 5.27 | 9.1 | 58.01 | 54.89 | 3.12 | 5.4 | 58.01 | 54.01 | 4.00 | 6.9 |
| RG. CAMICACHE | 68.34 | 48.38 | 19.96 | 29.2 | 88.34 | 61.70 | 6.64 | 9.7 | 68.34 | 61.60 | 6.74 | 9.9 |
| RG. ACORA-TOTOR | ---- | ---- | ---- | ---- | 222.61 | 185.82 | 36.99 | 16.6 | 222.61 | 184.46 | 38.13 | 17.1 |
| TOTALES | 271.40 | 151.47 | 119.93 | 44.2 | 494.01 | 342.10 | 151.91 | 30.8 | 494.01 | 328.25 | 165.76 | 33.6 |
| SERVD. ILAVE | 110.34 | 109.97 | 0.37 | 0.3 | 110.34 | 109.96 | 0.38 | 0.3 | 110.34 | 109.50 | 0.84 | 0.6 |
| APORTES AL LAGO | 1087.80 hm ³ /año | | | | 911.07 hm ³ /año | | | | 868.85 hm ³ /año | | | |

**CUADRO 18: ESTUDIO DE GESTION DE LOS RECURSOS DE LA CUENCA DEL RIO ILAVE
RESUMEN DE GARANTIAS EN %**

| DEMANDAS | HIPOTESIS 1-I | | | HIPOTESIS 2-I | | | HIPOTESIS 3-I | | |
|-----------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| | GARANTIA TOTAL | GARANTIA DEPURADA | GARANTIA INSTRUCTA | GARANTIA TOTAL | GARANTIA DEPURADA | GARANTIA INSTRUCTA | GARANTIA TOTAL | GARANTIA DEPURADA | GARANTIA INSTRUCTA |
| CHIHUANE | 20.00 | 22.00 | 0.00 | 19.00 | 21.00 | 0.00 | 17.00 | 17.00 | 0.00 |
| RG. PILCUYO | 89.00 | 90.00 | 55.00 | 95.00 | 95.00 | 71.00 | 94.00 | 94.00 | 74.00 |
| RG. CAMICACHE | 70.00 | 73.00 | 10.00 | 92.00 | 92.00 | 65.00 | 92.00 | 92.00 | 68.00 |
| RG. ACORA-TOTOR | ----- | ----- | ----- | 85.00 | 86.00 | 42.00 | 84.00 | 85.00 | 39.00 |
| SERVD. ILAVE | 98.00 | 99.00 | 97.00 | 98.00 | 99.00 | 94.00 | 97.00 | 97.00 | 90.00 |

alternativo, sería ampliamente compensada por la producción hidroeléctrica que se podría generar en la otra vertiente.

- A pesar de que en una primera aproximación se ha reducido la superficie regable a 17.766 ha (con las hipótesis de consumos manejadas), ésta resulta aún excesiva para los recursos superficiales regulables con las infraestructuras aquí analizadas. Las garantías de servicio obtenidas pueden considerarse aceptables (especialmente para los riegos de Pilcuyo y Camicache) sólo sobre una base de cálculo mensual, pero resultan claramente insuficientes si se utilizan criterios de garantía para regadíos sobre una base anual (garantía intracta). Una posible reducción adicional de las superficies de riego habría de dirigirse hacia los sectores III y IV (Totorani y Acora).
- Una cierta mejora de las garantías mediante un incremento de la regulación superficial puede conseguirse aumentando la capacidad de almacenamiento del embalse de Chihuane. Por otra parte, la derivación desde el río Uncaillane debería ser dimensionada para caudales superiores a los aquí contemplados.
- Más eficaz y menos costosa resultaría una explotación conjunta del embalse superficial y de los recursos subterráneos del acuífero deltáico. La energía necesaria para los bombeos podría ser suministrada mediante equipamiento hidroeléctrico de Chihuane (o por la generada con el trasvase a la vertiente pacífica). Esta alternativa, además de mejorar las garantías de todos los regadíos (probablemente podría alcanzarse la garantía total), permitiría evitar los problemas derivados de regar con aguas superficiales terrenos que presentan un nivel freático somero (delta del llave).
- En base a las simulaciones realizadas, y considerando las dimensiones previstas para el embalse de Chihuane y la derivación de Uncaillane, la capacidad de regulación superficial de la cuenca del río llave puede cifrarse en en entorno de 8-8,5 m³/s de consumo de agua. Este caudal podría incrementarse hasta alcanzar unos 9-9,5 m³/s si se aumentara la capacidad de dichas infraestructuras.

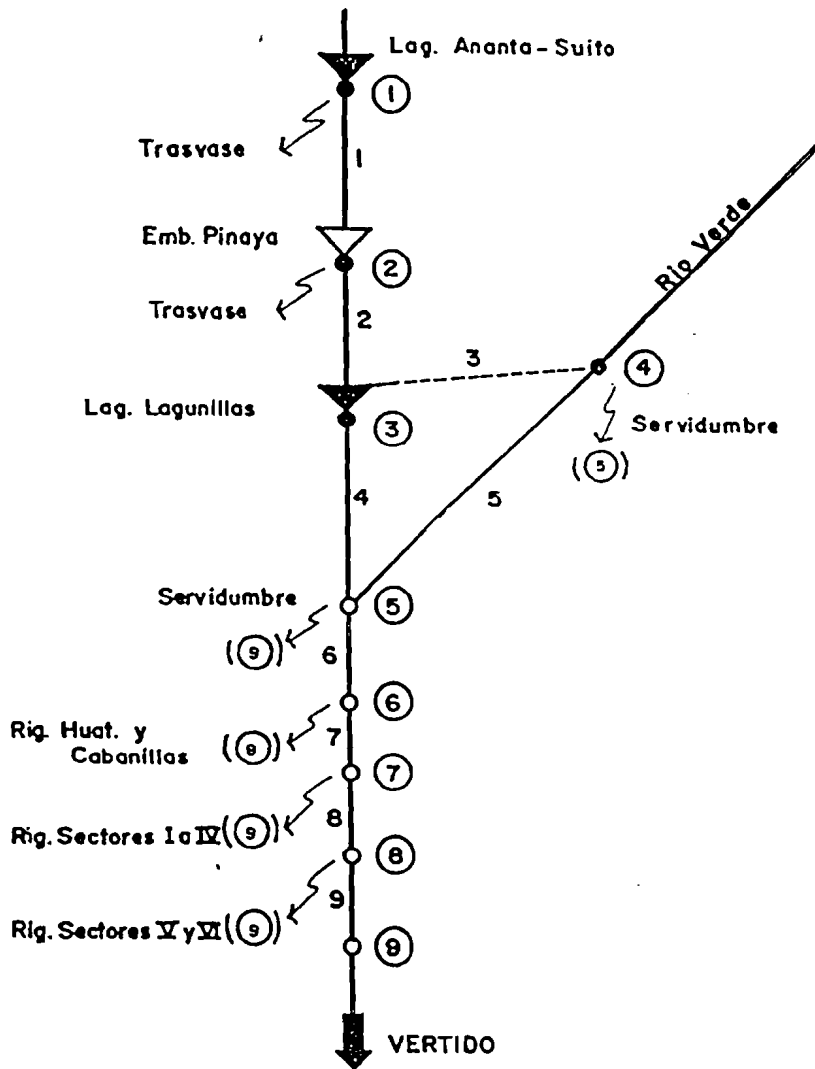
GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO COATA

Consta de 2 ó 3 nudos de embalses (según los casos) y nudos de demanda y de vertido. Los arcos del modelo representan tramos de río o conducciones (Fig. 35). Los embalses incluidos son:

| Embalses | Volúmenes previstos (hm ³) | | |
|---------------------|--|--------|------|
| | Maximo | Mínimo | Util |
| Laguna Ananta-Suito | 368 | 350 | 18 |
| Pinaya | 76 | 12 | 64 |
| Laguna Lagunillas | 912 | 412 | 500 |

FIGURA 35 :

SISTEMA COATA
(ESQUEMA REPRESENTATIVO)



LEYENDA

| | |
|--|------------------------|
| | RIOS |
| | CONDUCCIONES FUTURAS |
| | DEMANDAS |
| | Nº DEL NUDO |
| | Nº DEL ARCO |
| | Nº DEL NUDO DE RETORNO |
| | NUDO CON APORTACION |
| | NUDO SIN APORTACION |
| | EMBALSE CONSTRUIDO |
| | EMBALSE FUTURO |

En todos los embalses se ha considerado una evaporación media anual de 1546 mm, que equivalen a la evaporación en la laguna Lagunillas.

Las demandas consideradas fueron:

| Nudo | Tipo de Demanda | Superficie (ha) | | Demanda (ha ³ /año) |
|-------------|--|-----------------|--------|--------------------------------|
| | | Parcial | Total | |
| 6 | Riego Huataquita | 900 | | |
| | Riego Cabanillas | 1.600 | 2.500 | 32,2 |
| 7 | Riego Sect. I.- Yanarico | 2.900 | | |
| | Riego Sect. II.- Yocará-Caracoto | 9.923 | | |
| | Riego Sect. III.- Canterfa | 2.077 | | |
| | Riego Sect. IV.- Cabanillas-Chatapujio | 1.666 | 16.566 | 202,6 |
| 8 | Riego Sec. V.- Cabana | 7.540 | | |
| | Riego Sect. VI.- Mañazo | 6.935 | 14.475 | 146,5 |
| Sub total 1 | | | 33.541 | 381,3 |
| 1 (hip. 3) | Trasvase desde Lag. Ananta-Suito | | | 14,8 |
| 2 (hip. 2) | Trasvase desde Emb. Pinaya | | | 151,3 |
| 4 | Servidumbre Río Verde | | | 31,5 |
| 5 | Servidumbre Río Coata | | | 63,1 |
| Sub total 2 | | | | 260,7 |
| TOTAL | | | 33.541 | 642,0 |

Se ha considerado un retorno al sistema del 20% del agua utilizada para riego, siendo el nudo 9 (del esquema) el que recibe estos retornos.

Las aportaciones parciales (media anual), aplicadas en cada nudo del esquema en el período 1960-1990, son:

| Nudo | Aportación media anual (hm ³) |
|--------------------------|---|
| 1 Lagunas Ananta-Suito | 23,3 |
| 2 Embalse Pinaya | 135,6 |
| 3 Laguna Lagunillas | 76,1 |
| 4 Estación 403 Río Verde | 365,8 |

El resto de las aportaciones (707 hm³/año) se incorporan al sistema aguas abajo de los nudos de demanda.

FIGURA 35

Las hipótesis simuladas fueron tres, en función de los riegos, trasvases y embalses en funcionamiento, según el cuadro adjunto:

ESTUDIO DE GESTION DE LOS RECURSOS DE LA CUENCA DEL RIO COATA
HIPOTESIS SIMULADAS

| HIPOT | DERIVACION | RIEGOS Y TRASVASE | | | | | EMBALSES | | |
|-------|------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-----------------|------------------------|--------|-------------------|
| | RIO VERDE | RGD. HUAT Y CABANI (1) | RGD. SECT. I a IV (2) | RGD. SECT. V y VI (3) | TRASVASE AMA-SUIT | TRASVASE PINAYA | LAGUNAS ANANTA Y SUITO | PINAYA | LAGUNA LAGUNILLAS |
| 1-C | NO | SI | SI | SI | NO | NO | NO | NO | SI |
| 2-C | SI | SI | SI | SI | NO | SI | NO | SI | SI |
| 3-C | SI | SI | SI | SI | SI | NO | SI | NO | SI |

(1) Orden de prioridad en demandas de agua para riego

El resumen global de los resultados se presenta en los cuadros 19 y 20.

Del análisis de los resultados de la gestión de los recursos en la cuenca del Coata se puede señalar:

- La construcción del embalse de Lagunillas como única infraestructura de regulación o derivación, no permitiría satisfacer todas las demandas de riego previstas en la cuenca; incluso sin considerar ningún tipo de trasvase hacia la vertiente pacífica. En esta hipótesis se registrarían fuertes déficit (con el criterio de garantía instructa), por lo que la superficie de zonas regables tendría que verse reducida de forma importante.
- Esta situación mejoraría claramente con la derivación de caudales desde el río Verde hasta el mismo embalse de Lagunillas, en cuyo caso los riegos podrían ser abastecidos en su totalidad con garantías suficientes.
- El trasvase desde la laguna de Ananta-Suito, con umbral recrecido para regulación artificial, puede realizarse prácticamente al nivel demandado (0,42 m³/s servidos frente a los 0,47 solicitados) sin que se afecte de forma significativa a las garantías de los riegos. Incluso podría alcanzarse la demanda teórica si se aumenta la cuantía de los caudales derivados en los años húmedos.
- Dados los recursos limitados disponibles en Ananta-Suito (0.74 m³/s de caudal medio en la serie utilizada), para incrementar significativamente los volúmenes trasvasados se requeriría trasladar el punto de derivación hacia aguas abajo. En este sentido, una solución posible es la construcción del embalse de Pinaya, desde donde podrían derivarse hacia la vertiente pacífica caudales incluso superiores a 3 m³/s. Sin embargo, para una detracción de esta magnitud habría ya que establecer un compromiso con los riegos, dado que los recursos restantes no serían suficientes para obtener garantías de servicio aceptables sin reducir las superficies irrigadas.

CUADRO 19 : ESTUDIO DE GESTION DE LOS RECURSOS DE LA CUENCA DEL RIO COATA
RESUMEN DE RESULTADOS

| | HIPOTESIS 1-C | | | | HIPOTESIS 2-C | | | | HIPOTESIS 3-C | | | |
|-----------------|-----------------|---------------|--------------|-------------|----------------|---------------|---------------|-------------|-----------------|---------------|--------------|------------|
| EMBALSES | VOL. MAX. | VOL. MIN. | VOL. MED. | EVAPOR. | VOL. MAX. | VOL. MIN. | VOL. MED. | EVAPOR. | VOL. MAX. | VOL. MIN. | VOL. MED. | EVAPOR. |
| ANANTA-SUITO | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 368.00 | 344.67 | 358.50 | 5.39 |
| PINAYA | ---- | ---- | ---- | ---- | 76.00 | 12.00 | 32.99 | 5.25 | ---- | ---- | ---- | ---- |
| LAGUNILLA | 912.00 | 381.12 | 532.54 | 50.27 | 912.00 | 374.70 | 588.02 | 51.48 | 912.00 | 400.32 | 713.28 | 55.19 |
| DEMANDA | DEM. TOT. | DEM. SERV. | DIF. DEM. | % DEFIC. | DEM. TOT. | DEM. SERV. | DIF. DEM. | % DEFIC. | DEM. TOT. | DEM. SERV. | DIF. DEM. | % DEFIC. |
| TRV. NA-SUITO | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 14.84 | 13.38 | 1.46 | 9.8 |
| TRV. PINAYA | ---- | ---- | ---- | ---- | 151.32 | 114.72 | 36.60 | 24.2 | ---- | ---- | ---- | ---- |
| RG. HUAT.-CABA. | 32.18 | 32.10 | 0.08 | 0.2 | 32.18 | 31.95 | 0.23 | 0.7 | 32.18 | 32.18 | 0.00 | 0.0 |
| RG. SEC. I-IV | 202.63 | 170.78 | 31.85 | 15.7 | 202.63 | 175.24 | 27.39 | 13.5 | 202.63 | 196.08 | 6.55 | 3.2 |
| RG. SEC. V-VI | 146.54 | 107.62 | 38.92 | 26.6 | 146.54 | 110.55 | 35.99 | 24.6 | 146.54 | 138.59 | 7.95 | 5.4 |
| TOTALES | 381.35 | 310.50 | 70.85 | 18.6 | 532.87 | 432.46 | 100.21 | 18.8 | 396.19 | 380.23 | 15.96 | 4.0 |
| SERVD. VERDE | ---- | ---- | ---- | ---- | 31.54 | 31.15 | 0.39 | 1.2 | 31.54 | 31.15 | 0.39 | 1.2 |
| SERVD. CABAN. | 63.08 | 63.08 | 0.00 | 0.0 | 63.08 | 63.08 | 0.00 | 0.0 | 63.08 | 63.08 | 0.00 | 0.0 |
| APORTES AL LAGO | 1081.70 hm3/año | | | | 957.20 hm3/año | | | | 1019.00 hm3/año | | | |

CUADRO 20 : ESTUDIO DE GESTION DE LOS RECURSOS DE LA CUENCA DEL RIO COATA
RESUMEN DE GARANTIAS EN %

| DEMANDAS | HIPOTESIS 1-C | | | HIPOTESIS 2-C | | | HIPOTESIS 3-C | | |
|---------------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| | GARANTIA TOTAL | GARANTIA DEPURADA | GARANTIA INSTRUCTA | GARANTIA TOTAL | GARANTIA DEPURADA | GARANTIA INSTRUCTA | GARANTIA TOTAL | GARANTIA DEPURADA | GARANTIA INSTRUCTA |
| TRV. ANANTA-SUITO | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 89.00 | 90.00 | 65.00 |
| TRV. PINAYA | ---- | ---- | ---- | 68.00 | 70 | 32 | ---- | ---- | ---- |
| RG. HUATAQUITA-CABANILLAS | 98.00 | 99.00 | 100.00 | 97.0 | 98.00 | 87.00 | 100.00 | 100.0 | 100.00 |
| RG. SEC. I-IV | 80.00 | 80.00 | 48.00 | 83.0 | 83.00 | 48.00 | 97.00 | 97.0 | 84.00 |
| RG. SEC. V-VI | 77.00 | 77.00 | 39.00 | 78.0 | 79.00 | 45.00 | 95.00 | 98.0 | 84.00 |
| SERVD. VERDE | ---- | ---- | ---- | 91.00 | 94.00 | 97.00 | 91.00 | 94.0 | 97.00 |
| SERVD. CABANILLAS | 100 | 100 | 100.00 | 100.0 | 100 | 100 | 100.00 | 100.0 | 100 |

- Considerando la conexión entre el río Verde y el embalse de Lagunillas, la cuenca del Coata podría hacer frente a un consumo de agua (riegos y trasvases) de 9,5-10 m³/s, cantidad que podría ser rebasada con la construcción del embalse de Pinaya y que, por el contrario, descendería a 7-7,5 m³/s sin la mencionada derivación.

GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DEL RÍO RAMIS

El modelo de gestión está representado en el esquema adjunto (figura 36). Consta de 9 nudos siendo 2 embalses y el resto demandas o vertidos, y de 8 trechos todos ríos. Los embalses incluidos son:

| Embalses | Volúmenes previstos (hm ³) | | |
|-----------|--|--------|------|
| | Maximo | Mínimo | Util |
| Llalli | 30 | 8,5 | 21,5 |
| San Antón | 100 | 18,0 | 82,0 |

Se ha considerado una evaporación media anual de 1498 mm en el embalse Llalli y 1556 mm en el embalse San Antón.

Las demandas consideradas fueron:

| Nudo | Tipo de demanda | | Superficie (ha) | Volumen (hm ³ /año) |
|------------------|----------------------------|----------------|-----------------|--------------------------------|
| 1 | Riego Sector V .- | Chuquibambilla | 10.499 | 116,5 |
| 2 | Riego Sector I .- | Asillo | 6.750 | 83,3 |
| 3-4 | Riego Sector VI .- | Pucara | 25.837 | 284,7 |
| 5-7 | Riego Sector II y III.- | Azángaro | 5.816 | 85,7 |
| 6-12 | Riego Sector IV .- | Arapa | 23.122 | 294,8 |
| 7-10 | Riego Sector VII.- | Taraco | 1.600 | 21,9 |
| Sub Total | | | 73.624 | 886,9 |
| 9-6 | Trasvase desde Emb. Llalli | | | 150,0 |
| 4-5 | Servidumbre Azángaro | | | 58,3 |

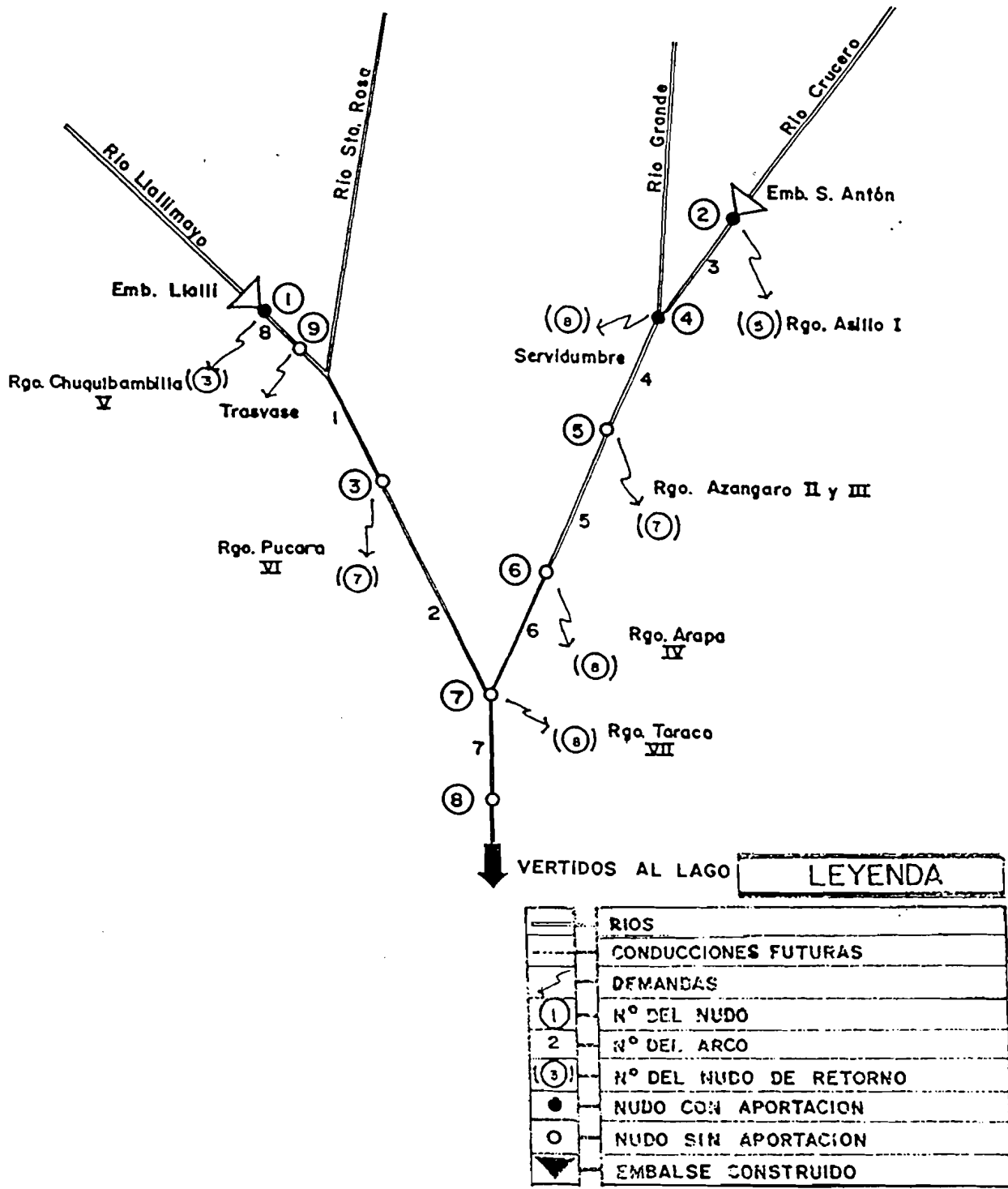
El porcentaje de retorno del agua consumida en regadío se ha fijado en el 15% para los riegos de Chuquibambilla, Taraco y Arapa, y en el 20% para los de Asillo, Azángaro y Pucara.

Las aportaciones parciales (media anual) aplicadas en cada nudo, en el período 1960-1990, son:

| Nudo | Aportación media anual (hm ³) |
|---------------------|---|
| 1 Embalse Llalli | 446,4 |
| 2 Embalse San Antón | 820,4 |
| 3-4 Ayaviri | 542,7 |
| 4-5 Azángaro | 594,1 |

FIGURA 36 :

**SISTEMA RAMIS
ESQUEMA REPRESENTATIVO**



Las hipótesis simuladas fueron tres (en función de los riegos, trasvases y embalses en funcionamiento), según el cuadro adjunto:

**ESTUDIO DE GESTION DE LOS RECURSOS DE LA CUENCA DEL RIO RAMIS
HIPOTESIS SIMULADAS**

| HIPOT | RIEGOS Y TRASVASES | | | | | | | EMBALSES | |
|-------|--------------------|--------------------|-----------------|---------------|---------------------|-----------------|--------------|----------|---------|
| | RAMIS | SUBSISTEMA AYAVIRI | | | SUBSISTEMA AZANGARO | | | LLALLY | S.ANTON |
| | TARACO (1) | CHUQUIB. (2) | TRASVASE (3) | PUCARA (4) | ASILLO (2) | AZANGARO (3) | ARAPA (4) | | |
| 1R | SI | SI | NO | SI | SI | SI | SI | NO | NO |
| 2R | SI | SI | NO | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 3R | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |

(1) Orden de prioridad en demandas de agua para riego

El resumen global de los resultados se presenta en los cuadros 21 y 22.

Del análisis de la gestión de los resultados de la gestión de los recursos en la cuenca de Ramis se puede señalar:

- En la situación sin embalses en la cuenca, sólo se sirven con plenas garantías los riegos de Taraco y las servidumbres de Azángaro (caudales mínimos a mantener en el río). Las demás demandas muestran déficit importantes, incluida la de los riegos de Asillo que, aunque pueden ser servidos el 80% de los meses, presentan una garantía inestructa muy baja.
- Ninguna de las dos áreas de riego del subsistema Ayaviri (Chuquibambilla y Pucara) puede ser abastecida con garantías adecuadas ni siquiera si se construye el embalse de Llalli. Dicha obra, con las dimensiones actualmente consideradas, presenta un poder de regulación muy pequeño para hacer frente a demandas de esta envergadura durante los meses de estiaje. Las soluciones pasan forzosamente por un redimensionamiento de la infraestructura de regulación a construir, por una reducción importante de la superficie a irrigar, o por una combinación de ambas medidas. En el segundo caso, dicha reducción supondría descartar prácticamente los riegos de Pucara y dejar en la mitad los de Chuquibambilla.
- Un trasvase desde la cabecera del río Llallimayo hacia el exterior del Sistema, tendría poca incidencia sobre las áreas de riego situadas aguas abajo, ya que, dada la escasa capacidad reguladora del embalse de Llalli, la transferencia podría hacerse en los meses excedentarios.

CUADRO 21 : ESTUDIO DE GESTION DE LOS RECURSOS DE LA CUENCA DEL RIO RAMIS
RESUMEN DE RESULTADOS

| | HIPOTESIS 1-R | | | | HIPOTESIS 2-R | | | | HIPOTESIS 3-R | | | |
|------------|---------------|-----------|-----------|---------|---------------|-----------|-----------|---------|---------------|-----------|-----------|---------|
| EMBALSES | VOL. MAX. | VOL. MIN. | VOL. MED. | EVAPOR. | VOL. MAX. | VOL. MIN. | VOL. MED. | EVAPOR. | VOL. MAX. | VOL. MIN. | VOL. MED. | EVAPOR. |
| LLALI | ----- | ----- | ----- | ----- | 30.00 | 8.50 | 23.18 | 33.68 | 30.00 | 8.50 | 19.71 | 28.25 |
| S. ANTON. | ----- | ----- | ----- | ----- | 100.00 | 18.00 | 64.47 | 47.47 | 100.00 | 18.00 | 64.47 | 47.47 |
| LAG. ARAPA | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- |

| DEMANDA | DEM. TOT. | DEM. SERV. | DIF. DEM. | % DEFIC. | DEM. TOT. | DEM. SERV. | DIF. DEM. | % DEFIC. | DEM. TOT. | DEM. SERV. | DIF. DEM. | % DEFIC. |
|-----------------|------------------------------|------------|-----------|----------|------------------------------|------------|-----------|----------|------------------------------|------------|-----------|----------|
| RG. TARACO | 21.94 | 21.94 | 0.00 | 0.00 | 21.94 | 21.93 | 0.01 | 0.0 | 21.94 | 21.93 | 0.01 | 0.0 |
| RG. CHUQUI. | 116.49 | 98.24 | 18.25 | 15.7 | 116.49 | 106.42 | 10.07 | 8.6 | 116.49 | 100.94 | 15.55 | 13.3 |
| TRASVASE | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 150.00 | 76.34 | 73.66 | 49.1 |
| RG. ARAPA | 284.65 | 158.44 | 126.21 | 44.3 | 284.65 | 155.29 | 129.36 | 45.4 | 284.65 | 153.23 | 131.42 | 46.2 |
| RG. ASILLO | 83.31 | 72.42 | 10.89 | 13.1 | 83.31 | 73.83 | 9.48 | 11.4 | 83.31 | 73.83 | 9.48 | 11.4 |
| RG. AZANGA. | 85.72 | 61.64 | 24.08 | 28.1 | 85.72 | 68.21 | 17.51 | 20.4 | 85.72 | 68.21 | 17.51 | 20.4 |
| RG. ARAPA | 294.79 | 126.14 | 168.65 | 57.2 | 294.79 | 178.06 | 116.73 | 39.6 | 294.79 | 178.06 | 116.73 | 39.6 |
| TOTALES | 886.90 | 538.82 | 348.08 | 39.2 | 886.90 | 603.74 | 283.16 | 31.9 | 1036.90 | 672.54 | 364.36 | 35.1 |
| SERVISUM. | 58.32 | 58.11 | 0.21 | 0.4 | 58.32 | 57.96 | 0.36 | 0.6 | 58.32 | 57.96 | 0.36 | 0.6 |
| APORTES AL LAGO | 1940.22 hm ³ /año | | | | 1803.05 hm ³ /año | | | | 1738.70 hm ³ /año | | | |

CUADRO 22 : ESTUDIO DE GESTION DE LOS RECURSOS DE LA CUENCA DEL RIO RAMIS
RESUMEN DE GARANTIAS EN %

| DEMANDAS | HIPOTESIS 1-R | | | HIPOTESIS 2-R | | | HIPOTESIS 3-R | | |
|--------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------------|
| | GARANTIA TOTAL | GARANTIA DEPURADA | GARANTIA INSTRUCTA | GARANTIA TOTAL | GARANTIA DEPURADA | GARANTIA INSTRUCTA | GARANTIA TOTAL | GARANTIA DEPURADA | GARANTIA INSTRUCTA |
| RG. TARACO | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| RG. CHUQUI. | 66.00 | 69.00 | 6.00 | 85.0 | 86.00 | 23.00 | 78.00 | 80.0 | 6.00 |
| TRASVASE | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 47.00 | 48.0 | 0.00 |
| RG. PUCARA | 51.00 | 53.00 | 0.00 | 48.0 | 49.00 | 0.00 | 47.00 | 48.0 | 0.00 |
| RG. ASILLO | 77.00 | 80.00 | 32.00 | 85.00 | 86.00 | 23.00 | 85.00 | 86.0 | 23.00 |
| RG. AZANGARO | 68 | 70 | 0.00 | 81.0 | 82 | 3 | 81.00 | 82.0 | 3 |
| RG. ARAPA | 49 | 49 | 0 | 71 | 71 | 0 | 71 | 71 | 0 |
| SERVIDUMBRE | 98 | 99 | 87 | 98 | 98 | 87 | 98 | 98 | 87 |

- La cuantía del volumen potencialmente trasvasable desde este sector depende, entre otros factores, de la ubicación del punto (o puntos) de toma y de la disponibilidad de un cierto poder regulador en el mismo. En las simulaciones realizadas, en las que se ha supuesto que el agua es impulsada desde el embalse de Llalli (para hipótesis de cálculo), el caudal medio obtenido se aproxima a 2,5 m³/s, cifra que se vería reducida al subir el punto de toma. Respecto a los costes energéticos, las circunstancias son en cierta forma equiparables a las de la cuenca de llave.
- En el subsistema Azángaro, la construcción del embalse de San Antón es una actuación necesaria y suficiente para garantizar los riegos de Asillo y Azángaro (sin que se vean afectados los Taraco), pero siempre que no se pongan en regadío sectores adicionales con aguas reguladas por el mismo embalse.
- El riego del sector IV (Arapa), incluso disminuyendo drásticamente su extensión, sólo sería posible si se realizan las obras necesarias para transformar la laguna de Arapa en embalse para laminación de avenidas y regulación. Sin embargo, este proyecto ha sido en principio descartado por su elevado coste de ejecución.
- Con los resultados de las diferentes simulaciones realizadas (las incluidas en el informe más algunas adicionales), y sin considerar la construcción del embalse de Arapa, la cuenca del río Ramis podría suministrar un caudal de agua para consumo (riego y trasvases) de aproximadamente 9-9,5 m³/s. La cuantía relativamente pequeña de los recursos regulables, en relación a los totales de la cuenca, se debe a la escasez de buenos emplazamientos para la ubicación de presas. La única alternativa identificada, regulación de la laguna de Arapa, permitiría situar el caudal disponible por encima de los 15 m³/s.

SINTESIS DE RESULTADOS Y CONSIDERACIONES ADICIONALES

En las simulaciones realizadas sobre las cuencas de los ríos llave, Coata y Ramis se han contemplado los siguientes tipos de proyecto y demandas:

| Coata | Tipo de proyecto | Superficie (ha) | Demanda (m ³ /s) | Consumo (m ³ /s) |
|-------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| llave | Riego | 17.776 | 11,1 | 8,3 |
| | Trasvases | - | 4,6 | 4,6 |
| Coata | Riego | 33.541 | 12,1 | 9,7 |
| | Trasvases | - | 5,3 | 5,3 |
| Tamis | Riego | 73.626 | 28,1 | 23,2 |
| | Trasvases | - | 4,8 | 4,8 |
| | TOTALLES | 124.971 | 66,0 | 55,9 |

Por lo tanto, las demandas simuladas suponen un consumo teórico total de 55,9 m³/s, de los que 41,2 corresponderían a los riegos y 14,7 a los trasvases.

Por otra parte, de los resultados de los modelos se deduce, aplicando criterios conservadores, que con las infraestructuras previstas:

- La cuenca del llave tiene capacidad hídrica para suministrar un caudal de consumo de unos 8-8,5 m³/s con unas garantías de servicio adecuadas.
- La cuenca del Coata tiene capacidad suficiente para hacer frente a un consumo de 9,5-10 m³/s.
- La cuenca del Ramis podría por su parte suministrar un caudal en torno a 9-9,5 m³/s.
- La capacidad conjunta de las tres cuencas simuladas se estima en unos 27 m³/s, cifra que representa el 20% de sus aportes naturales.

Estos caudales podrían repartirse entre los proyectos de riego y de trasvase según las prioridades que se asignen a cada proyecto, procurando no afectar negativamente al sistema ecológico.

Considerando que las cuencas simuladas representan (de acuerdo con los estudios hidrológicos) más del 80% de la aportación total del área vertiente al lago Titicaca, una simple extrapolación indica que, construyendo las infraestructuras adecuadas, el potencial hídrico global de los afluentes al lago debe situarse probablemente en torno a los 35 m³/s de consumo neto.

Resulta por lo tanto evidente que tanto las demandas potenciales como los recursos teóricamente regulables, superan en mucho a los consumos permisibles en la cuenca del lago, que se podrían aprovechar un caudal nominal de 15 m³/s (con un nivel de confianza de 87,5%) y se podría derivar un caudal nominal de 20 m³/s (con un nivel de confianza del 82%) siempre que se pueda verificar la hipótesis de que la regulación del Llinqui y Callaccame puedan ser regulados en la laguna del Aguallamaya para obtener un caudal adicional de 5 m³/s. Finalmente, se podría aprovechar 25 m³/s (73% de nivel de confianza) después de efectuar estudios adicionales (Anexo Modelos Matemáticos pág. 5-71 y 5-78).

El gran abanico de posibilidades existentes, que permite plantear un altísimo número de alternativas de aprovechamientos en la cuenca del lago, representa un problema para los Gobiernos de los respectivos países a la hora de tomar decisiones acertadas. La realización de un análisis multicriterio previo, tomando en consideración aspectos económicos, demográficos, sociales, de mercado, de riesgo, etc (tipo ELECTRE, MCDM, u otros) podría ayudar a una jerarquización de los proyectos, facilitando así la elección.

Para completar el cuadro general de los recursos hídricos existentes en la cuenca vertiente al lago Titicaca, es necesario hacer una referencia a las aguas subterráneas, que adquieren una cierta importancia en la zona circunlacustre, especialmente en las cuencas bajas del Coata, Ramis, Huarina-Pucarani y otros en las cercanías de Copacabana.

Aunque los aportes de aguas subterráneas del sistema se han evaluado en unos 3 m³/seg, los recursos deben ser superiores, pues una parte importante del flujo descarga a la atmósfera por evapotranspiración en las zonas próximas al lago convertidas a menudo en marjales.

El establecimiento de pequeñas áreas de riego a partir de drenes o pozos de captación de aguas subterráneas presentaría las siguientes ventajas:

- Posibilidad de instalación progresiva del sistema de riego, escalonando inversiones y ampliando las áreas regadas según los recursos obtenidos.
- Posibilidad de adaptarse a la topografía, realizando obras mínimas de infraestructura.
- Posibilidad de obtener resultados inmediatos o a muy corto plazo, dada la rapidez de ejecución de las obras.
- La temperatura, generalmente más alta, de las aguas subterráneas puede incidir favorablemente en las producciones finales de los cultivos.
- Posibilidad de adaptarse de un modo flexible a la distribución de la propiedad de la tierra.
- Posibilidad de utilizar recursos hídricos que actualmente se pierden por evapotranspiración.

El sistema tiene el inconveniente de requerir un consumo de energía (escasa en el Altiplano) pero que en principio debe ser pequeño pues se necesitarán pequeñas alturas de bombeo. Caben distintas soluciones a estudiar, como electrificación rural, equipos de bombeo móviles con gasoil, aprovechamiento de energía solar, entre otros.

En algunos casos podrían plantearse esquemas de aprovechamiento conjunto de aguas superficiales y subterráneas, pero que será preciso estudiar en cada caso concreto.

Por todo ello, es muy recomendable establecer un programa de investigación-explotación-monitoreo de aguas subterráneas que sin duda conducirá a un incremento de los recursos disponibles en el lago Titicaca, que actualmente no se puede evaluar.

4.2 DEFINICIÓN DE LOS CAUDALES APROVECHABLES DEL LAGO Y SUS AFLUENTES.

Para efectuar el balance hídrico del lago con el modelo, se han considerado:

- Aportaciones hídricas al lago (caudales afluentes + precipitación - evaporación - otras pérdidas).
- Criterios de funcionamiento (atendimiento o restricciones a las demandas) en función del nivel de agua en el lago.
- Características físicas del lago.

Para evaluar los resultados de las diferentes simulaciones de operación del sistema, y así poder definir las descargas regularizadas en función de una cierta garantía, se pueden emplear diversos criterios; se han considerado los siguientes:

- Número de años con restricciones (sistema en operación restringida).

- Diferencia máxima entre los niveles (naturales y regularizados).
- Diferencia media entre los niveles (naturales y regularizados).
- Número de períodos sin recuperación.
- Período mas largo sin recuperación.
- Número total de meses sin recuperación.
- Duración media sin recuperación.
- Número de períodos con excedencias y volúmenes excedentes en Aguallamaya.
- Duración máxima de excedencias en Aguallamaya.
- Número total de meses con excedencias en Aguallamaya.
- Número de meses por debajo de cotas dadas en el período simulado (3806 msnm; 3807 msnm; 3808 msnm).
- Máximo número de meses consecutivos en los que el nivel permanece por debajo de cotas dadas en el período simulado (3806 msnm; 3807 msnm; 3808 msnm).
- Número de meses por encima de cotas dadas en el período simulado (3810,50 msnm; 3811 msnm; 3811,50 msnm).
- Máximo número de meses consecutivos en los que el nivel permanece por encima de cotas dadas en el período simulado (3810,50 msnm; 3811 msnm; 3811,50 msnm).
- Niveles máximos alcanzados en los períodos mas húmedos históricos (1986; 1963; y 1979).
- Niveles mínimos alcanzados en los períodos históricos de mayor estiaje (1943; 1959; 1971).
- Garantía de atendimento de la demanda (en porcentaje del tiempo) para 100 % de la demanda y para 80% de la demanda.

Para establecer los riesgos a considerar en las simulaciones y en concordancia con los criterios generalmente aceptados a nivel internacional, se han valorado los déficit de acuerdo con los conceptos de Garantía total y depurada indicados en el apartado anterior.

A partir de las características de simulación del cuadro 23, y utilizando la serie histórica de aportaciones, se han simulado distintas hipótesis según se indica en el cuadro 24, numeradas de 1F a 6F.

De estas simulaciones se han seleccionado las 2F, 3FA, y 3F, haciéndose restricción para el riego por debajo de la cota 3808,25 m.s.n.m.

CUADRO 23 : CARACTERISTICAS DE LAS SIMULACIONES

| TIPO DE SIMULACION | 1F | 2F | 3F | 3FA | 4F | 5F | 6F |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| REGADIOS: Nivel máximo de la regla de explotación. → | 3808.75 | 3808.50 | 3808.25 | 3808.25 | 3808.50 | 3808.25 | 3808.25 |
| Nivel mínimo de la regla de explotación. → | 3807.75 | 3807.75 | 3807.50 | 3807.75 | 3807.75 | 3807.75 | 3807.75 |
| CRECIDAS: Nivel máximo de la regla de operación. → | 3811.00 | 3811.00 | 3811.00 | 3811.00 | 3810.75 | 3810.75 | 3811.15 |

NOTAS :

- Las demandas para riego serán atendidas (según una ley lineal): desde 100%, cuando el nivel del lago esté por encima del nivel máximo de explotación, hasta el 20%, cuando el nivel del lago esté en el nivel mínimo de explotación; por debajo del nivel mínimo de explotación, no se atenderán las demandas.
- Cada caso ha sido simulado para los tres caudales de aprovechamiento : 15, 20 y 25 m3/s
- Cálculo seleccionado : 3FA

CUADRO 24 : Resultados de las simulaciones

| CRITERIOS | Estado Natural | 1F | | | 2F | | | 3F | | | 3FA | | | 4F | | | 5F | | | 6F | | | |
|---|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|
| | | Q = 15 m3/s | Q = 20 m3/s | Q = 25 m3/s | Q = 15 m3/s | Q = 20 m3/s | Q = 25 m3/s | Q = 15 m3/s | Q = 20 m3/s | Q = 25 m3/s | Q = 15 m3/s | Q = 20 m3/s | Q = 25 m3/s | Q = 15 m3/s | Q = 20 m3/s | Q = 25 m3/s | Q = 15 m3/s | Q = 20 m3/s | Q = 25 m3/s | Q = 15 m3/s | Q = 20 m3/s | Q = 25 m3/s | |
| 1. Numero de años con restricciones | | 24 | 26 | 32 | 22 | 23 | 26 | 12 | 19 | 23 | 12 | 19 | 23 | 23 | 23 | 26 | 16 | 23 | 23 | 20 | 23 | 23 | |
| 2. Diferencia máxima de nivel | | 0.23 | 0.36 | 0.53 | 0.23 | 0.41 | 0.59 | 0.27 | 0.48 | 0.66 | 0.26 | 0.45 | 0.59 | 0.27 | 0.448 | 0.62 | 0.32 | 0.52 | 0.66 | 0.21 | 0.40 | 0.57 | |
| 3. Nivel medio del lago (msnm) | 3608.41 | 3609.42 | 3609.31 | 3609.19 | 3609.40 | 3609.30 | 3609.16 | 3609.39 | 3609.28 | 3609.13 | 3609.40 | 3609.28 | 3609.16 | 3609.30 | 3609.20 | 3609.09 | 3609.29 | 3609.18 | 3609.07 | 3609.46 | 3609.31 | 3609.21 | |
| 4. Rango mínimo para el 80% de los niveles | 2.46 | 2.60 | 2.66 | 2.72 | 2.61 | 2.66 | 2.75 | 2.63 | 2.71 | 2.78 | 2.62 | 2.70 | 2.75 | 2.57 | 2.63 | 2.68 | 2.59 | 2.67 | 2.72 | 2.64 | 2.66 | 2.77 | |
| Nivel mínimo | 8.45 | 8.30 | 8.13 | 8.04 | 8.27 | 8.06 | 7.97 | 8.24 | 8.06 | 7.91 | 8.24 | 8.14 | 7.94 | 8.25 | 8.06 | 7.91 | 8.18 | 8.01 | 7.89 | 8.37 | 8.13 | 7.99 | |
| Nivel máximo | 10.91 | 10.80 | 10.78 | 10.76 | 10.86 | 10.76 | 10.72 | 10.87 | 10.79 | 10.69 | 10.86 | 10.16 | 10.66 | 10.82 | 10.70 | 10.56 | 10.78 | 10.68 | 10.60 | 11.01 | 10.78 | 10.76 | |
| 5. Numero de periodos sin recuperacion | | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 | 3 | 7 | 9 | 2 | 6 | 9 | 2 | 2 | 3 | 4 | |
| 6. Periodo mas largo sin recuperacion | | 147 | 291 | 487 | 158 | 301 | 500 | 164 | 446 | 603 | 167 | 447 | 600 | 312 | 499 | 669 | 446 | 601 | 669 | 137 | 272 | 483 | |
| 7. Numero total de meses sin recuperacion | | 184 | 472 | 626 | 222 | 488 | 637 | 244 | 524 | 646 | 236 | 523 | 637 | 513 | 634 | 786 | 660 | 343 | 786 | 162 | 394 | 577 | |
| 8. Duracion media sin recuperacion | | 61 | 157 | 156 | 66 | 162 | 212 | 61 | 262 | 161 | 66 | 261 | 212 | 73 | 70 | 362 | 110 | 71 | 362 | 61 | 131 | 144 | |
| 9. Numero de periodos con exceden. en Aguallameya | | 17 | 12 | 9 | 17 | 11 | 9 | 17 | 12 | 9 | 17 | 12 | 9 | 21 | 16 | 15 | 21 | 16 | 14 | 14 | 13 | 9 | |
| 10. Duracion maxima de excedencias | | 52 | 52 | 51 | 52 | 52 | 51 | 52 | 52 | 51 | 52 | 52 | 51 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 | 50 | 40 | 39 | |
| 11. Numero total de meses con excedencia | | 118 | 99 | 78 | 116 | 96 | 74 | 115 | 91 | 73 | 115 | 93 | 74 | 166 | 130 | 108 | 161 | 127 | 105 | 101 | 77 | 61 | |
| 12. Numero meses 3608 debajo de: | 3608 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 4 | 0 | 2 | 5 | 0 | 2 | 4 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 | 6 | 0 | 0 | 2 | |
| | 3608.5 | 11 | 15 | 26 | 37 | 17 | 27 | 37 | 18 | 29 | 36 | 17 | 29 | 37 | 27 | 36 | 44 | 29 | 37 | 44 | 9 | 26 | 33 |
| | 3607 | 51 | 53 | 81 | 86 | 53 | 62 | 66 | 56 | 62 | 67 | 54 | 62 | 66 | 62 | 66 | 70 | 62 | 66 | 70 | 47 | 61 | 66 |
| | 3606 | 103 | 104 | 106 | 115 | 104 | 106 | 125 | 104 | 108 | 140 | 104 | 106 | 126 | 106 | 110 | 142 | 106 | 116 | 148 | 102 | 106 | 118 |
| | 3605.5 | 143 | 163 | 194 | 223 | 170 | 196 | 236 | 173 | 202 | 248 | 172 | 199 | 236 | 189 | 211 | 247 | 193 | 222 | 258 | 169 | 184 | 223 |
| 13. Maximo numero de meses consec debajo de: | 3608 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 | 4 | 0 | 2 | 5 | 0 | 2 | 4 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 | 6 | 0 | 0 | 2 | |
| | 3608.5 | 6 | 7 | 9 | 16 | 7 | 9 | 16 | 7 | 9 | 16 | 7 | 9 | 16 | 9 | 16 | 20 | 9 | 14 | 20 | 6 | 6 | 17 |
| | 3607 | 33 | 44 | 46 | 66 | 44 | 56 | 66 | 46 | 56 | 67 | 44 | 56 | 66 | 56 | 66 | 67 | 56 | 66 | 67 | 50 | 46 | 57 |
| | 3606 | 62 | 104 | 105 | 107 | 104 | 106 | 107 | 104 | 106 | 108 | 104 | 106 | 107 | 106 | 107 | 112 | 106 | 107 | 112 | 81 | 106 | 106 |
| | 3605.5 | 114 | 113 | 116 | 129 | 113 | 116 | 128 | 113 | 116 | 129 | 113 | 116 | 129 | 117 | 127 | 129 | 117 | 127 | 129 | 112 | 116 | 117 |
| 14. Numero meses 3610.50 encima de: | 3611 | 142 | 161 | 136 | 114 | 150 | 134 | 110 | 149 | 131 | 106 | 149 | 131 | 110 | 119 | 102 | 85 | 119 | 99 | 82 | 179 | 138 | 123 |
| | 3611.50 | 36 | 36 | 34 | 27 | 37 | 34 | 27 | 36 | 34 | 26 | 36 | 34 | 27 | 27 | 25 | 24 | 27 | 25 | 24 | 54 | 34 | 31 |
| | 3611.50 | 14 | 11 | 10 | 10 | 11 | 10 | 10 | 11 | 10 | 10 | 11 | 10 | 10 | 9 | 8 | 7 | 8 | 8 | 7 | 11 | 10 | 10 |
| 15. Maximo numero de meses consec. encima de: | 3610.5 | 54 | 46 | 35 | 36 | 46 | 36 | 36 | 46 | 36 | 36 | 46 | 36 | 36 | 54 | 33 | 33 | 34 | 33 | 33 | 66 | 36 | 36 |
| | 3611 | 20 | 19 | 19 | 18 | 19 | 19 | 18 | 19 | 19 | 16 | 19 | 19 | 16 | 18 | 16 | 16 | 18 | 16 | 16 | 20 | 16 | 19 |
| | 3611.508 | 9 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 | 6 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 9 |
| 16. Niveles máximos húmedos | 1966 | 12.42 | 12.41 | 12.36 | 12.36 | 12.41 | 12.38 | 12.36 | 12.41 | 12.36 | 12.34 | 12.41 | 12.36 | 12.36 | 12.30 | 12.27 | 12.24 | 12.30 | 12.27 | 12.24 | 12.47 | 12.44 | 12.36 |
| | 1963 | 11.15 | 11.06 | 10.91 | 10.73 | 11.02 | 10.86 | 10.66 | 10.86 | 10.80 | 10.62 | 10.99 | 10.83 | 10.66 | 10.97 | 10.81 | 10.66 | 10.82 | 10.78 | 10.66 | 11.06 | 10.87 | 10.69 |
| | 1979 | 11.14 | 11.26 | 11.16 | 11.06 | 11.26 | 11.17 | 11.00 | 11.26 | 11.13 | 10.86 | 11.26 | 11.14 | 11.01 | 11.06 | 11.06 | 10.93 | 11.06 | 11.03 | 10.90 | 11.33 | 11.22 | 11.03 |
| 17. Niveles mínimos secos | 1943 | 6.17 | 6.12 | 6.02 | 5.96 | 6.10 | 6.00 | 5.84 | 6.10 | 5.96 | 5.82 | 6.11 | 5.99 | 5.84 | 5.96 | 5.67 | 5.76 | 5.96 | 5.66 | 5.74 | 6.18 | 6.03 | 5.91 |
| | 1959 | 8.44 | 8.25 | 8.09 | 7.82 | 8.21 | 8.04 | 7.67 | 8.17 | 7.97 | 7.80 | 8.16 | 7.96 | 7.66 | 8.17 | 8.00 | 7.84 | 8.12 | 7.73 | 7.76 | 8.23 | 8.06 | 7.89 |
| | 1971 | 8.32 | 8.27 | 8.09 | 7.90 | 8.25 | 8.06 | 7.83 | 8.24 | 8.02 | 7.77 | 8.24 | 8.02 | 7.82 | 8.14 | 7.96 | 7.79 | 8.10 | 7.82 | 7.73 | 8.31 | 8.10 | 7.84 |
| 18. Garantía 100% Q Atendim. Dem. 80% Q | | 66 | 66 | 67 | 70 | 68 | 67 | 64 | 74 | 66 | 64 | 74 | 66 | 66 | 66 | 66 | 79 | 69 | 69 | 72 | 68 | 69 | |
| | | 79 | 71 | 66 | 66 | 61 | 66 | 66 | 66 | 76 | 66 | 64 | 73 | 61 | 72 | 66 | 66 | 62 | 73 | 67 | 62 | 70 | |

Del análisis de dichos resultados, se puede establecer que podría extraerse del lago Titicaca sin afectar significativamente sus niveles, un caudal promedio nominal (a ser distribuido entre los afluentes del lago y el eje Desaguadero) de:

- 20 m³/s con una garantía de 82%. (garantía depurada)
- 25 m³/s con una garantía con carácter preliminar de 73% (garantía depurada)

La extracción de un caudal de 20 m³/s, requerirá en un futuro de la confirmación de que la casi totalidad de los aportes de la cuenca intermedia entre Puente Internacional y Calacoto provienen de los aportes que ocurren en el tramo Puente Internacional - Aguallamaya, así como la verificación de la contribución de los ríos Llinki y Callacame.

La disponibilidad de un caudal de 25 m³/s, estaría condicionada a futuros estudios complementarios, que incluirían una mejoría en la calibración del modelo y a que se confirmara, entre otros puntos, que la precipitación no varía con los niveles (en adición a los estudios indicados anteriormente).

Como en la serie histórica disponible sólo se presenta una situación extrema de estiaje (sequía), se han generado, a partir de ella, un conjunto de 50 series sintéticas de 100 años cada una. Para cada serie generada, se han realizado todas las simulaciones programadas, y sus resultados se han dado en función de su frecuencia de aparición en el tiempo.

Los resultados señalan que los criterios establecidos funcionan adecuadamente en las series sintéticas, con sus frecuencias correspondientes, y no difieren básicamente de los valores encontrados en las simulaciones a partir de la serie natural.

Las simulaciones y resultados, con series sintéticas, pueden verse en el Informe de Modelos Matemáticos del sistema hídrico T.D.P.S.

A modo de resumen haremos a continuación algunas consideraciones:

- El nivel máximo de agua a que llegó el lago Titicaca, en el período 1986-1987, fue de 3.812,42 msnm. Este nivel tiene una frecuencia de aparición, dentro de la población de niveles máximos (un máximo por serie generada) del 27%, es decir el 73% de los niveles máximos alcanzados por el lago son inferiores al nivel indicado (Ver estudio de simulaciones de series sintéticas en el informe de "Modelos Matemáticos". Este nivel inundó hasta 95000 ha por encima de la cota 3810. (Ver fig. 3.5 del Anexo Diagnóstico de daños por eventos extremos).

A continuación se presenta como se comportan las inundaciones menores, con frecuencia de aparición mayor; asimismo se muestra el comportamiento de los niveles alcanzados por diferentes inundaciones, cuando se ejecutan, en el estado natural, extracciones continuas de 15 m³/s, 20 m³/s y 25 m³/s.

CASO: ESTADO NATURAL

| Frecuencia de aparición (%) | Nivel Max. (m.s.n.m.) | Diferencia de nivel (m) | Superficie inundada ha | Diferencia superficie ha |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| 75 | 3.812,42 | 0,00 | 172.500 | 0 |
| 90 | 3.811,88 | -0,54 | 155.000 | -17.500 |
| 98 | 3.811,57 | -0,85 | 144.000 | -28.500 |
| | 3.811,33 | -1,09 | 135.000 | -37.500 |

CASO: 3FA (SE EXTRAEN 15 M³/S)

| Frecuencia de aparición (%) | Nivel Max. (m.s.n.m.) | Diferencia de nivel (m) | Superficie inundada ha | Diferencia superficie ha |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| 75 | 3.812,42 | 0,00 | 172.500 | 0 |
| 90 | 3.811,61 | -0,81 | 145.100 | -27.400 |
| 98 | 3.811,46 | -0,96 | 140.000 | -32.500 |
| | 3.811,27 | -1,15 | 133.100 | -39.400 |

CASO: 3FA (SE EXTRAEN 20 M³/S)

| Frecuencia de aparición (%) | Nivel Max. (m.s.n.m.) | Diferencia de nivel (m) | Superficie inundada ha | Diferencia superficie ha |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| 75 | 3.812,42 | 0,00 | 172.500 | 0 |
| 90 | 3.811,54 | -0,88 | 142.800 | -29.700 |
| 98 | 3.811,28 | -1,14 | 133.400 | -39.100 |
| | 3.811,17 | -1,25 | 129.100 | -43.400 |

CASO: 3FA (SE EXTRAEN 25 M³/S)

| Frecuencia de aparición (%) | Nivel Max. (m.s.n.m.) | Diferencia de nivel (m) | Superficie inundada ha | Diferencia superficie ha |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| 75 | 3.812,42 | 0,00 | 172.500 | 0 |
| 90 | 3.811,46 | -0,96 | 140.000 | -32.500 |
| 98 | 3.811,28 | -1,14 | 133.400 | -39.100 |
| | 3.811,03 | -1,39 | 124.600 | -47.900 |

Del análisis de las simulaciones con series sintéticas podemos decir:

- Cada 100 años (número de años de cada serie sintética), al menos se producirá una avenida extraordinaria, con nivel en el lago superior a 3.811 msnm.
- Frente a avenidas extraordinarias, prácticamente no se podrá hacer nada para reducir significativamente las áreas inundadas.

Si analizamos ahora los niveles medios del lago tendremos:

| Frecuencia de aparición | Niveles del lago (m.s.n.m.) | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|--|--|--|
| | Estado natural (sin extracciones) | Con extracciones de 15 m ³ /s | Con extracciones de 20 m ³ /s | Con extracciones de 25 m ³ /s |
| 75% | 3.809,32 | 3.809,21 | 3.809,10 | 3.808,95 |
| 90% | 3.809,00 | 3.808,84 | 3.808,68 | 3.808,55 |
| 98% | 3.808,82 | 3.808,66 | 3.808,54 | 3.808,42 |

lo que indica que los niveles medios del lago se verán poco alterados por las extracciones, y se dispondrá de recursos garantizados (limitados en función de los períodos críticos que veremos en el párrafo siguiente) para desarrollar aprovechamientos hídricos.

Por otro lado se ha definido, como nivel mínimo en el lago Titicaca para protección de los recursos hidrobiológicos, la cota 3.808,25 msnm; vemos que los niveles medios siempre respetarían esta restricción, no así los niveles mínimos que aparecen en las series sintéticas, pues tendríamos:

| Frecuencia de aparición | Niveles del lago (m.s.n.m.) | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|--|--|--|
| | Estado natural (sin extracciones) | Con extracciones de 15 m ³ /s | Con extracciones de 20 m ³ /s | Con extracciones de 25 m ³ /s |
| 75% | 3.807,50 | 3.807,32 | 3.807,13 | 3.806,98 |
| 90% | 3.807,67 | 3.807,50 | 3.807,30 | 3.807,14 |
| 98% | 3.807,95 | 3.807,64 | 3.807,49 | 3.807,44 |

Cada 100 años (número de años de cada serie sintética), al menos se presentará una serie de meses, o años, secos, con nivel en el lago inferior a la cota 3.807,95 m.s.n.m.

4.3 CAUDALES DISPONIBLES Y DEMANDAS EN EL EJE DESAGUADERO

Las aportaciones (volúmenes) medias mensuales naturales (corregidas y completadas), para las cinco estaciones de la cuenca del río Desaguadero han sido obtenidas para el período 1965-1989 a través de los estudios hidrológicos realizados por el Consorcio.

En el cuadro N° 25 figuran los aportes mensuales (medios y con 75% de nivel de confianza).

Estas aportaciones han sido extendidas para el período 1920-1992 utilizando los aportes al lago Titicaca a nivel mensual reconstruidos con el Modelo de balance hídrico del lago elaborado por el Consorcio.

El estudio de los aportes y demandas en la cuenca del río Desaguadero y la generación de series sintéticas de aportes ha sido particularmente crítica por las siguientes razones:

- La estación hidrométrica de Puente Internacional está incorrectamente ubicada, puesto que no se encuentra en una sección de control hidráulico adecuado, es por esta razón que el Consultor ha efectuado la instalación de la estación hidrométrica en Aguallamaya, que constituye el umbral de salida del lago Titicaca.
- La estación hidrométrica de Calacoto Desaguadero se encuentra muy próxima a la confluencia del río Mauri, razón por la cual el remanso de las crecidas del río Mauri puede afectar los registros de la estación de Calacoto Desaguadero. Se ha efectuado el relleno de lagunas de 6 años con la información de 19 años de datos reales. La nueva estación deberá ubicarse en el antiguo puente de Calacoto.

Cuadro 25 : Volúmenes medios mensuales y volúmenes garantizados en Hm3 (con 75% de confiabilidad) - Eje Desaguadero

| | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|---------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| MAURI (MEDIOS) | ABA-CAQ | 65-90 | 12.9 | 22.1 | 15.0 | 5.2 | 5.1 | 6.1 | 5.3 | 4.9 | 3.8 | 1.8 | 2.2 | 3.6 | 88.0 |
| | ABA-MAU | 65-90 | 22.7 | 32.0 | 27.8 | 11.8 | 8.3 | 7.9 | 8.1 | 7.9 | 6.6 | 6.3 | 7.0 | 10.1 | 156.5 |
| | MAU-CAL | 65-89 | 118.8 | 115.2 | 121.0 | 36.5 | 25.8 | 27.1 | 25.9 | 24.9 | 22.2 | 15.9 | 20.1 | 32.3 | 585.7 |
| | BLANCO | 65-89 | 40.6 | 29.2 | 38.0 | 9.5 | 6.1 | 6.5 | 6.1 | 5.9 | 5.8 | 3.9 | 5.5 | 9.4 | 166.5 |
| DESAGUADERO (MEDIOS) | DES-CAL | 65-89 | 133.4 | 167.4 | 200.5 | 192.3 | 185.1 | 147.1 | 141.6 | 127.1 | 104.5 | 87.4 | 72.8 | 77.1 | 1636.3 |
| | ULLOMA | 65-90 | 293.0 | 360.6 | 350.7 | 248.5 | 217.5 | 180.2 | 171.1 | 153.5 | 128.5 | 106.2 | 103.2 | 120.5 | 2433.5 |
| | CHUQUINA | 65-89 | 438.4 | 463.5 | 374.0 | 264.3 | 219.0 | 183.8 | 181.5 | 167.1 | 146.3 | 119.6 | 109.6 | 139.6 | 2806.7 |
| | INC CAL-ULL | 65-89 | 159.6 | 193.2 | 150.2 | 56.2 | 32.4 | 33.1 | 29.5 | 26.4 | 24.0 | 18.8 | 30.4 | 43.4 | 797.2 |
| | INC CALULBL | 65-89 | 119.0 | 164.0 | 112.2 | 46.7 | 26.3 | 26.6 | 23.4 | 20.5 | 18.2 | 14.9 | 24.9 | 34.0 | 630.7 |
| MAURI (75%) | ABA-CAQ | 65-90 | 4.5 | 6.2 | 5.6 | 3.2 | 3.8 | 5.7 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 1.5 | 1.2 | 2.0 | 42.7 |
| | ABA-MAU | 65-90 | 12.1 | 12.9 | 13.8 | 8.2 | 6.9 | 6.8 | 7.1 | 6.6 | 5.7 | 5.4 | 5.0 | 6.4 | 96.9 |
| | MAU-CAL | 65-89 | 43.2 | 57.3 | 49.0 | 25.5 | 21.4 | 22.2 | 21.5 | 20.5 | 18.3 | 14.8 | 12.5 | 18.6 | 324.5 |
| | BLANCO | 65-89 | 10.7 | 16.1 | 12.6 | 6.1 | 4.4 | 4.2 | 4.3 | 4.3 | 4.4 | 3.4 | 2.6 | 4.5 | 77.5 |
| DESAGUADERO (75%) | DES-CAL | 85-89 | 40.4 | 81.1 | 88.9 | 61.0 | 47.4 | 35.6 | 30.3 | 24.9 | 18.1 | 14.6 | 13.4 | 19.1 | 474.6 |
| | ULLOMA | 85-90 | 127.9 | 203.6 | 181.3 | 104.8 | 80.4 | 74.6 | 66.9 | 59.8 | 48.8 | 36.8 | 36.0 | 53.5 | 1074.6 |
| | CHUQUINA | 85-89 | 169.4 | 245.0 | 197.0 | 112.0 | 82.6 | 77.6 | 80.0 | 69.5 | 53.6 | 41.5 | 34.6 | 66.4 | 1229.2 |
| | INC CAL-ULL | 65-89 | 61.1 | 72.2 | 63.5 | 31.6 | 23.3 | 25.5 | 23.8 | 22.6 | 19.2 | 14.1 | 14.2 | 24.4 | 395.3 |
| | INC CALULBL | 85-89 | 47.8 | 34.1 | 48.6 | 25.0 | 18.1 | 20.7 | 18.6 | 17.5 | 14.1 | 9.9 | 10.8 | 18.7 | 283.8 |

- La estación hidrométrica de Calacoto Mauri muestra una serie original muy corta. Se debe tener en cuenta que la suma de los aportes de la anterior estación (Calacoto Desaguadero) y esta estación debieran aproximarse a los datos correspondientes a la estación de Ulloma. Se ha efectuado el relleno de lagunas de 16 años con la información de 9 años de datos reales.
- La estación hidrométrica de Ulloma, aunque se encuentra ubicada en un lugar adecuado, tiene una serie histórica muy corta. Se ha efectuado el relleno de lagunas de 17 años con la información de 8 años de datos reales.
- Para los datos de la estación hidrométrica de Chuquiña, se ha efectuado el relleno de lagunas de 20 años con la información de 5 años de datos reales. Por encima de la lectura de 2 m. del limnígrafo, el observador no tiene condiciones de abordar el teleférico, dada su importancia además de añadir un limnímetro escalonado, deberá instalarse un limnígrafo.
- Aguas abajo de Chuquiña no existen estaciones foronómicas. En el brazo izquierdo deberán instalarse dos estaciones en cada una de las bifurcaciones próximas a la localidad de Burguillos. En el brazo derecho deberá instalarse una estación limnigráfica en la sección del puente Aroma.

En resumen, para mejorar el comportamiento del modelo matemático en el Desaguadero, éste será posible conforme se vayan obteniendo series históricas con mayor longitud de registros e instalando nuevas estaciones.

Las demandas potenciales de agua para regadío en el eje del Desaguadero, sin incluir la preservación de las lagunas Soledad, Uru-Uru y Poopó, obtenidas como suma de los caudales que figuran en los proyectos inventariados, ascienden a 28.0 m³/s, estimándose un consumo neto de 21.7 m³/s.

La distribución de esa demanda es la siguiente:

| Eje Desaguadero TDPS | | | |
|-----------------------------------|--------|------|-------|
| | Blivia | Perú | Total |
| No. Proy. de riego | 15 | | 15 |
| Sup. de riego (ha) | 62280 | | 62280 |
| Demanda bruta (m ³ /s) | 25,1 | | 25,1 |
| Consumo riego (m ³ /s) | 18,8 | | 18,8 |
| Trasvase (m ³ /s) | | 2,9 | 2,9 |
| Consumo total (m ³ /s) | 18,8 | 2,9 | 21,7 |

Los proyectos, superficiales de riego y demandas brutas no fueron incluidos en su totalidad en los ejercicios de simulación.

Se puede observar que, al igual que en los afluentes del lago Titicaca, las demandas potenciales son muy altas (y si se consideran los requerimientos para la preservación de lagos, las demandas superan a los recursos disponibles).

4.4 DEMANDAS POTENCIALES DE AGUA

Las demandas potenciales de agua en el Sistema T.S.P.S., obtenidas como suma de los caudales de demanda que figuran en los proyectos inventariados, ascienden a 105 m³/s, estimándose el consumo en 80 m³/s. La distribución de esa demanda es como sigue:

| | Afluentes Titicaca | | | Eje Desaguadero TDPS | | | GRAN TOTAL |
|-----------------------------------|--------------------|---------|---------|----------------------|------|--------|------------|
| | Bolivia | Perú | Total | Bolivia | Perú | Total | |
| Nº de Proyecto de riego | 6 | 29 | 35 | 15 | | 15 | 50 |
| Superficie de riego (ha) | 19.370 | 202.867 | 222.237 | 62.280 | | 62.280 | 285.117 |
| Demanda bruta (m ³ /s) | 7,9 | 55,7 | 63,6 | 25,1 | | 25,1 | 88,7 |
| Consumo riego (m ³ /s) | 5,9 | 41,6 | 47,7 | 18,8 | | 18,8 | 66,5 |
| Trasvase (m ³ /s) | 0,8 | 14,7 | 15,5 | | 2,9 | 2,9 | 18,4 |
| Consumo total (m ³ /s) | 6,7 | 56,5 | 63,2 | 18,8 | 2,9 | 21,7 | 84,9 |

La determinación de los caudales a utilizarse por cada uno de los países, será definida por los propios países, de acuerdo a las limitaciones de este recurso.

Así pues, la demanda potencial de agua regulada es casi cuatro veces superior a los recursos disponibles.

4.5 CAUDALES NECESARIOS PARA LA CONSERVACION DE LAGOS

Para la posible conservación de los recursos hidrobiológicos en los lagos Poopó y Uru-Uru y la laguna Soledad, se requieren establecer preliminarmente los caudales promedio necesarios para el mantenimiento tanto de los niveles como de la calidad del agua.

Para definir en una forma preliminar los caudales necesarios para el mantenimiento de niveles de agua, se han considerado:

- . Caudal requerido (en cada cuerpo de agua); para mantenimiento de un determinado nivel.
- . Evaporación media de 1500 mm/año y
- . Lluvia media de 380 mm/año

A partir de estos datos se tiene:

Lago Poopó

| Nivel (m.s.n.m.) | Superficie (Km ²) | Caudal promedio requerido (m ³ /s) |
|---------------------|----------------------------------|--|
| 3684 | 793 | 28 |
| 3685 | 1336 | 48 |
| 3686 | 1704 | 61 |
| 3687 | 2112 | 76 |

Para mantener una explotación sostenible del lago, el nivel del espejo de agua debe estar comprendido entre las cotas 3686,0 y 3687,0 msnm, lo que corresponde a un caudal promedio de aportaciones al lago de 68,5 m³/s. El nivel mínimo de sobrevivencia en lo concerniente al medio ambiente y la pesca corresponde a la cota 3685.50 que demanda un caudal promedio de 54.4 m³/s. El nivel mínimo minimorum de supervivencia del lago en condiciones extremadamente precarias se ha estimado en 3684,50 msnm, cota a la que correspondería un caudal de 38,0 m³/s.

Lago Uru-Uru

| Nivel (m.s.n.m.) | Superficie (Km ²) | Caudal promedio requerido (m ³ /s) |
|---------------------|----------------------------------|--|
| 3696 | 63,50 | 2,25 |
| 3697 | 144,00 | 5,11 |

El nivel normal de explotación estaría entre los niveles 3696,5 m y 3697,0 m, lo que corresponde a un caudal promedio de 4,40 m³/s, pues el nivel máximo está limitado por la presencia de la laguna de aguas negras de la ciudad de Oruro.

Laguna Soledad

| Nivel (m.s.n.m.) | Superficie (Km ²) | Caudal promedio requerido (m ³ /s) |
|---------------------|----------------------------------|--|
| 3709,44 | 61,0 | 2,16 |
| 3710,44 | 110,0 | 3,90 |
| 3711,00 | 138,0 | 4,90 |

El nivel mínimo de supervivencia (considerando 2,00 m de profundidad), sería de 3710,30 msnm que corresponde a un caudal promedio de 3,65 m³/s.

Los niveles de explotación normales estarían entre 3710,50 msnm y 3711,00 msnm, que corresponden a un caudal promedio de 4,40 m³/s.

Sin embargo, en el caso de los lagos Uru-Uru y Soledad, es necesario aportar caudales suplementarios para el mantenimiento de la calidad del agua. Compensando solamente el caudal evaporado no se garantiza el mantenimiento del grado de salinidad en ellos, pues debido a la alta salinidad del Desaguadero (entre 1 y 2 gr/l), la salinidad en los lagos se incrementaría significativamente con el correr de los años.

En consecuencia se considera necesario prever una renovación de las aguas de la laguna Soledad, del lago Uru-Uru y en lo posible del lago Poopó, para lo cual se estima que se requeriría en primera aproximación doblar los caudales de mantenimiento. Esto implica la necesidad de un aumento de los caudales de llegada a los lagos, y la construcción o adecuación de canales de salida con compuertas de maniobra, para el drenaje de los mismos.

En el caso particular del lago Uru-Uru, se requerirá también el control y tratamiento de los efluentes urbanos y basuras de la ciudad de Oruro, que descargan directamente en la "laguna negra", así como el control de la contaminación minera realizada a través de descargas directas o por disposición incorrecta de los relaves (inertes), que a través del agua de lluvia son lixiviados y llevados hacia los riachos próximos contaminando las aguas freáticas y superficiales.

4.6 EJERCICIOS DE SIMULACIONES REALIZADOS EN EL EJE DESAGUADERO

El comportamiento hidráulico del eje Desaguadero ha sido simulado en diferentes ejercicios, utilizándose para este efecto el modelo de simulación "Balance Hídrico de la cuenca del río Desaguadero", (ver cuadro 26, transcrito del cuadro 19 del anexo 17, Modelos Matemáticos).

Aunque en la cuenca del Desaguadero (aguas debajo de Aguallamaya) existen recursos adicionales no regulados significativos, por la variabilidad que tienen (en el año y plurianualmente), la satisfacción garantizada de las demandas para riego en la parte baja de la cuenca del Desaguadero no es posible sin regulación. Esta regulación deberá ser hecha a partir de los caudales extraídos del lago Titicaca y a partir de posibles obras de regulación construidas en la propia cuenca del Desaguadero. Para ello se han estudiado diversas alternativas y se ha identificado que el embalse de Sankata, en el río Blanco afluente del Mauri, podría ser una de las soluciones (Ver estudio de proyectos de regulación Anexo 18 al Plan Director).

No se necesita el embalse de Sankata para un funcionamiento satisfactorio del sistema. Sin embargo, la regulación parcial del caudal del río Blanco permitiría una derivación menor del caudal regulado del lago Titicaca y una distribución geográfica diferente de los usos de agua entre los afluentes del lago Titicaca y la cuenca del río Desaguadero.

En las simulaciones de los ejercicios 3A y 4A (anexo de Modelos Matemáticos), las demandas consideradas en el Eje Desaguadero (incluyendo la preservación de las lagunas Soledad y Uru-Uru), los ejercicios han sido simplificados, en demandas regulables y no regulables. En estas condiciones simplificadas se requerirían los siguientes caudales nominales promedio del lago Titicaca:

9 m³/s (sin Sankata), o
8 m³/s (con Sankata).

Los caudales no regulados requerirán de un tratamiento detallado. Para este objeto, deberán calcularse mes a mes las curvas de las ofertas no reguladas contra sus correspondientes niveles de confianza, para de esta manera satisfacer o complementar los caudales de las demandas, de acuerdo a sus respectivos niveles de confianza: industriales (mineras), de regadío y lacustres. Para esta finalidad el río Desaguadero, a

CUADRO 26: EJERCICIOS DE SIMULACIONES REALIZADAS PARA EL RIO DESAGUADERO

| | CASO 1A | CASO 1B | CASO 2 | CASO 3A | CASO 3B | CASO 4A | CASO 4B |
|---|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
| C. CAUDALES MEDIOS UTILIZADOS (m3/s) (por fuente) | | | | | | | |
| Regulado | | | | | | | |
| Soledad | - | - | - | 0.05 | 0.05 | 0.23 | 0.23 |
| Uru-Uru | - | - | - | 0.04 | 0.04 | 0.23 | 0.23 |
| Chilahuala | - | - | - | 5.36 | 5.34 | 5.53 | 5.51 |
| El Choro | - | - | - | 2.50 | 2.48 | 2.53 | 2.51 |
| Minas | - | - | - | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.03 |
| Total | - | - | - | 5.82 | 5.78 | 6.34 | 6.31 |
| No - regulado | | | | | | | |
| Soledad | - | 13.39 | 10.06 | 8.06 | 7.91 | 7.92 | 7.78 |
| Uru-Uru (llegando de Soledad) | - | 8.64 | 5.65 | 4.00 | 3.85 | 3.96 | 3.82 |
| Uru-Uru (brazo izquierdo) | 13.26 | 16.07 | 11.80 | 8.04 | 7.91 | 7.94 | 7.81 |
| Poopo (llegando de Uru-Uru) | 11.63 | 19.60 | 12.64 | 7.62 | 7.32 | 7.57 | 7.30 |
| Poopo (brazo derecho) | 34.03 | 18.27 | 12.02 | 13.78 | 11.75 | 12.66 | 10.62 |
| Chilahuala | - | - | 5.80 | 3.05 | 2.90 | 2.96 | 2.83 |
| El Choro | - | - | 2.54 | 1.21 | 1.15 | 1.18 | 1.12 |
| Minas | 0.70 | 0.70 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.63 | 0.63 |
| Kovire Chuapalca | - | - | 2.32 | 2.30 | 2.30 | 2.20 | 2.20 |
| Total | 47.99 | 48.43 | 42.89 | 35.89 | 33.43 | 34.31 | 31.86 |
| D. CAUDALES MEDIOS DE SALIDA (m3/s) | | | | | | | |
| Compuertas Aguall.-Lago Titicaca | - | - | - | 5.99 | 5.96 | 5.16 | 5.11 |
| Sankata | - | - | - | - | - | 1.34 | 1.37 |
| Aguallamaya (total) | 27.77 | 27.77 | 21.69 | 20.68 | 18.00 | 19.76 | 17.12 |
| Sankata (total) | 4.80 | 4.80 | 4.80 | 4.80 | 4.80 | 4.58 | 4.58 |

partir de Chuquiña y el Complejo de los lagos del sur, requieren de mayores estudios con informaciones hidrometeorológicas e hidroquímicas más precisas.

La operación del embalse Sankata, se ha planificado para un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos no regulados del sistema.

Los ejercicios efectuados muestran algunas alternativas de aprovechamiento de los recursos hídricos, no regulados y regulados disponibles, sin embargo no representan una priorización de la atención de las demandas de los proyectos de irrigación, la conservación de lagos y otros usos del agua.

5. PRINCIPALES PROBLEMAS DEL SISTEMA T.D.P.S.

Dentro del sistema T.D.P.S. podemos distinguir tres categorías de problemas: físicos, medioambientales y socioeconómicos.

Los principales problemas físicos que afectan al sistema T.D.P.S., son consecuencia del rigor del clima que influye notablemente en la aparición de eventos extremos de naturaleza meteorológica como:

- Heladas
- Granizadas
- Escasez de lluvias (sequías)
- Exceso de lluvias (inundaciones)

Dentro de la problemática medio ambiental del sistema T.D.P.S., podemos distinguir dos tipos de problemas:

- Problemas actuales (erosión, contaminación, salinidad,...etc).
- Problemas que se puedan presentar en el futuro por una explotación incontrolada de los recursos hídricos, uso del suelo, etc.

5.1 HELADAS Y GRANIZADAS

Los estudios de base realizados han demostrado los grandes impactos negativos, que originan los eventos extremos climáticos. Estos efectos, en particular las heladas, son mucho más severos en el altiplano que en otros lugares, ya que limitan y afectan significativamente el desarrollo de cultivos, principal actividad en el área.

Una helada viene a ser una condición (crítica para los cultivos), que se origina cuando la temperatura de la superficie de las hojas -o flores-, de las plantas cae bajo cero grados centígrados, o sea ocurrencia de temperaturas de congelación. Como consecuencia de las heladas se origina una destrucción de los tejidos de las plantas, más o menos grave, según la fase de desarrollo en que se encuentren dichos cultivos, (siendo particularmente críticas las fases de germinación o de crecimiento inicial).

En el altiplano ocurren dos tipos de heladas: de advección o de origen dinámico, y de radiación o de origen estático, aunque son las de origen dinámico las que más daños causan. El tipo que más comúnmente se presenta es la helada estática o de radiación. Esta ocurre como resultado del enfriamiento de las capas de aire próximas al suelo, ya que al sufrir la superficie de la tierra un enfriamiento nocturno (favorecido por el cielo despejado y el viento en calma) ésta absorbe calorías del aire circundante, lo que origina la creación de una capa de aire de poco espesor con una temperatura inferior a cero grados sobre el terreno, donde se encuentran los cultivos.

En general, en todo el sistema T.D.P.S. (incluso en las zonas alrededor del lago), se experimentan heladas durante todos los meses. Son muy pocas las zonas con varios meses seguidos sin ocurrencia de heladas como por ejemplo la Isla del Sol (7 meses); Copacabana (4 meses), y Puno, Huaraya, Moho y Puerto Acosta (2 meses), todas muy cerca del lago.

Entre un 80 y 90 por ciento de la población total del área del proyecto vive en alturas entre 3.500 a 4.200 m.s.n.m., donde el número de días de helada fluctúa entre 120 y 180. Las partes circunlacustres del Titicaca son las de menor número de días de helada, debido al efecto termoregulador del lago; con el aumento de altitud, aumentan los riesgos de heladas.

En el sistema encontramos zonas donde son muy frecuentes los días de granizo, sobre todo en la parte como en Quillisani, a 4.600 m.s.n.m., donde se han llegado a registrar 63 días de granizo en el período 1971-79.

La frecuencia en el año de aparición de heladas y granizadas es muy alta; en el caso de las heladas, hay zonas en las que se aproxima al 100%. Estos fenómenos meteorológicos, constituyen factores limitantes serios, que hacen que las prácticas agrícolas tradicionales, sean casi imposible excepto en condiciones muy protegidas.

De esto se deduce la importancia que pueden tener en el altiplano el uso de tecnologías alternativas de prácticas agrícolas, entre las que se destaca los invernaderos o "carpas solares".

No se tienen valoraciones económicas de los daños anuales producidos por las heladas o granizadas; pero teniendo en cuenta que la agricultura altiplánica, en la mayoría de los casos, es una agricultura de subsistencia, para consumo familiar, una pérdida total de la cosecha puede suponer problemas graves para la población afectada.

5.2 FRAGILIDAD HÍDRICA DEL SISTEMA T.D.P.S.

5.2.1 Recursos hídricos superficiales

Los ecosistemas del eje T.D.P.S. dependen para su mantenimiento de una manera fundamental de sus recursos hídricos. Sin embargo éstos, en el período histórico conocido, variaron de manera irregular, existiendo largos períodos de escasez (sequías), y algunos períodos de excesos que producen alteraciones importantes, inundaciones en algunas zonas o se constituyen en regeneradores de algunos sistemas degradados (lago Poopó, corrección de salinidad..etc).

A la cabeza del sistema encontramos el lago Titicaca y sus afluentes o formadores. El lago Titicaca, una formidable masa de agua de 8.000 Km² de superficie y un volumen de más de 900.000 millones de m³, parecería ser una fuente inagotable de recursos hídricos, pero la realidad es otra. Así en el período histórico 1965-1989 un balance hídrico del lago ha llevado a los siguientes valores medios:

| | | |
|------------------------------------|---|-----------------------|
| - Aportes por los afluentes | = | 201 m ³ /s |
| - Lluvia sobre el lago | = | 252 m ³ /s |
| - Evaporación | = | 415 m ³ /s |
| - Salida por el Desaguadero | = | 35 m ³ /s |
| - Fugas, aportes subterráneos, etc | = | despreciables |

Estas cifras reflejan el frágil equilibrio del sistema, ya que el 92% de los recursos que alcanzan el lago (aportes de los afluentes y precipitación directa) se pierden por evaporación en un año medio. Con un margen tan escaso, en años secos se reducen de forma drástica los caudales efluentes, llegando incluso a interrumpirse la salida de agua

por Puente Internacional. Este comportamiento tiene consecuencias evidentes sobre el medio físico situado aguas abajo.

De los caudales teóricamente disponibles a la salida por el Desaguadero, solamente una parte podrá regularse (no se puede almacenar en el lago completamente las crecidas extraordinarias como las ocurridas en el año 1986); es decir se tendría disponible, para todo uso, un caudal regularizado del orden de 20 m³/s a 25 m³/s. Este es el caudal máximo que se puede extraer del lago o sus afluentes sin crear un desequilibrio que puede llegar a ser irreversible, si se efectuaran extracciones mayores de una forma continua.

El lago Poopó está en una situación muy precaria. La fuerte evaporación de agua, la baja pluviosidad y los bajos caudales que actualmente lo alimentan, no permiten un aumento de su volumen de agua, indispensable para mantener su vida biológica, ni una disminución de su salinidad. Por ello, aparentemente no sería posible preservar sus recursos hidrobiológicos. La mayor parte de sus ríos tributarios (margen izquierda del lago), presentan tasas de salinidad elevadas, superiores a 2 g/l. El brazo derecho del río Desaguadero, actualmente está colmatado de sedimentos y sólo funciona de manera precaria. El lago sólo recibe de manera regular las aguas saladas y contaminadas que previamente renovaron el lago Uru-Uru.

En los años 1987-90, como consecuencia de las grandes crecidas en el río Desaguadero, la producción pesquera del lago Poopó se incrementó (alrededor de 3.000 t/año) y se ubicaron hasta 500 pescadores. Pero, actualmente como consecuencia del aumento de la salinidad, la producción está alrededor de 500 t/año con alrededor de 250 pescadores o menos.

Se ha estimado que para mantener el nivel del lago Poopó en la cota 3685.5 (nivel mínimo de sobrevivencia de medio ambiente y pesca) es necesario que reciba una aportación de 54.5 m³/s de agua en promedio. En el Desaguadero en La Joya (antes del Poopó), para el período 1965/89 la media es de 89 m³/s, la generación de caudales sintéticos desde 1920/92 (La media es de 48 m³/s incluyendo el período 65/89). En el futuro 10m³/s provendrían del lago Titicaca (si los recursos regulados se dividieran en partes iguales entre los dos países), y el saldo no regulado provendría de sus afluentes y los excedentes del lago Titicaca, si no se tuvieran en cuenta los posibles aprovechamientos a lo largo del río. Es decir que la supervivencia del lago Poopó depende casi exclusivamente de aguas no reguladas o de derivaciones de otras cuencas (ejem. río Lauca).

En lo que concierne al lago Uru-Uru y la laguna Soledad, sus necesidades respectivas son 4 m³/s y 3,3 m³/s para mantener niveles de agua que permitan desarrollar la flora y la fauna acuáticas. Para mantener el nivel actual de salinidad se precisará un caudal de 14 m³/s.

Como conclusión se puede decir que los recursos hídricos disponibles son insuficientes para satisfacer las demandas de todos estos cuerpos de agua. Como consecuencia será necesario proponer una política de optimización de los recursos que permitan minimizar los impactos.

5.2.2 Recursos hídricos subterráneos

Los recursos hídricos subterráneos dependen fundamentalmente de las características sedimentológicas de los acuíferos, de sus características hidrodinámicas y de las condiciones de recarga y descarga.

Los acuíferos más importantes se localizan en la cuenca media y baja del Ramis y Coata, cuenca baja del llave y en una faja que se extiende, bordeando la Cordillera Oriental desde El Lago Titicaca hasta Oruro. (Figura 37).

Acuíferos débiles o con agua salada se ubican a la salida del río Desaguadero, entre Puente Internacional y Calacoto, y en las zonas que rodean el lago Poopó y Salar de Coipasa.

El agua que circula por los acuíferos se mueven hacia la red fluvial y los lagos, pero en parte se evapora. El volumen total de agua que desde el subsuelo pasa al sistema, no supera los 5 metros cúbicos por segundo, con lo cual se puede indicar, en primera aproximación que las reservas acuíferas subterráneas no son abundantes.

Merece la pena referirse a la interrelación entre flujo de aguas superficiales y subterráneas; así vemos que los hidrogramas del río Ramis sufren, en el curso bajo del río, una importante disminución de los caudales de estiaje por infiltración y posterior evaporación desde los acuíferos aluviales.

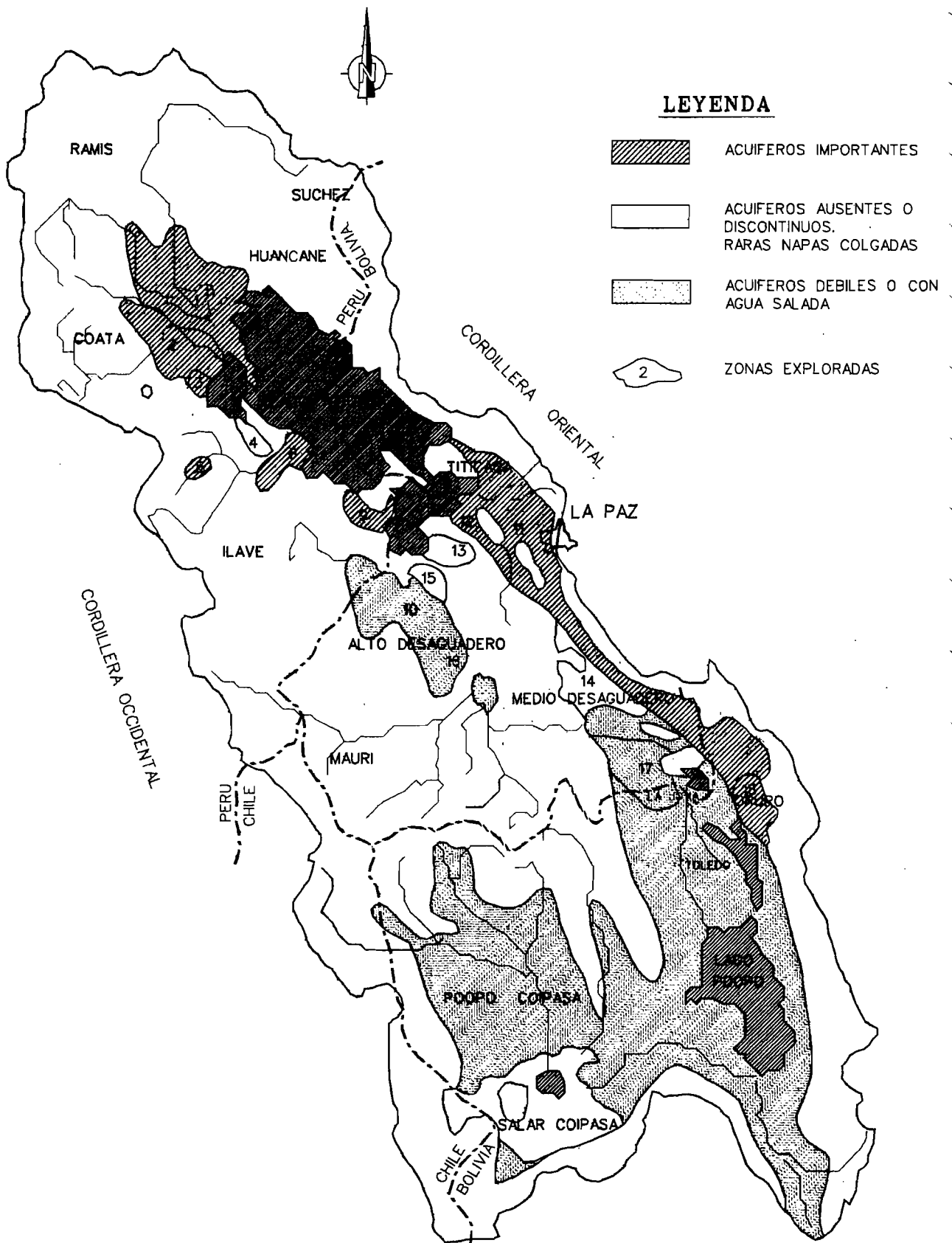
En cuanto al valle central del río Desaguadero, aguas abajo de Puente Internacional, sus límites vienen a coincidir con los del primitivo lago Ballivian, estando ocupado por materiales detríticos (procedentes de los ríos afluentes: Llinqui, Callacame ...), y evaporíticos de naturaleza parcialmente acuífera; esta zona -extremadamente llana- permanece seca durante buena parte del año, debido a que los caudales se infiltran al alcanzar los depósitos cuaternarios. Sin embargo, la ausencia de perforaciones profundas que permitan definir su geometría y características hidráulicas hace que el funcionamiento hidrogeológico (aguas subterráneas), de este sector plantee importantes incógnitas. Debería realizarse en el futuro un estudio específico para resolver el problema de la interrelación de aguas superficiales y subterráneas de la zona.

Las manifestaciones de aguas termales se encuentran a lo largo de la Cordillera Oriental. Las aguas están muy mineralizadas, con temperaturas que alcanzan hasta 75º C.

En cuanto al uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas; las aguas subterráneas podrían ser utilizadas como reserva para complementar las demandas hídricas en las zonas del noroeste del sistema en proyectos de riego, o para abastecimiento de agua a ciudades como Juliaca y Puno. En la parte boliviana actualmente ya se emplean aguas subterráneas para abastecer las ciudades de El Alto y Oruro.

Una sobre-explotación de aguas subterráneas en zonas próximas a las orillas del lago, donde los acuíferos son muy someros, es aceptable porque reducirían las pérdidas por evaporación y aumentaría la recarga de los acuíferos por aguas de lluvias al no estar aquellos saturados.

FIGURA 37 : SISTEMA T.D.P.S. ESQUEMA HIDROGEOLOGICO Y ZONAS EXPLORADAS



40 30 20 10 0 20 40 60 80 100kms
ESCALA GRAFICA

En las cuencas altas del sistema T.D.P.S., se encuentran numerosas zonas húmedas de diversos tamaños, bofedales, que son depresiones próximas a lagos y ríos, o depresiones suspendidas de origen natural o antrópico. Estas zonas húmedas, de tipo turbera de altitud, poseen una importante riqueza florística y faunística que participan muy activamente en los recursos hídricos de las cuencas, jugando un papel de almacenaje y restitución de aguas al sistema. Desde el punto de vista económico, estas zonas húmedas constituyen zonas de pastos explotados por el ganado bovino, ovino y principalmente por camélidos. Una sobreexplotación de aguas subterráneas puede llevar a un drenaje incontrolado de los bofedales con los consiguientes impactos negativos sobre los ecosistemas y la economía local.

En la actualidad la explotación del agua subterránea es poco significativa en la gran mayoría de las cuencas hidrogeológicas, debido a que un alto porcentaje de perforaciones profundas se encuentran inactivas por varias causas (falta de equipos de bombeo, equipos inoperativos, falta de fondos para combustible, proyectos en ejecución, etc.).

Con la modalidad de explotación muy difundida en todo el altiplano de "pozo somero a tajo abierto", los volúmenes de explotación son muy bajos a pesar de existir una cantidad importante de pozos, debido a que la extracción del agua se hace manualmente, de manera precaria con fines de uso doméstico.

La explotación intensiva de este recurso sólo ocurre en los campos de pozos profundos de abastecimiento de agua para poblaciones e industrias, como es el caso de la ciudad de Oruro y El Alto en la parte boliviana.

En consecuencia, la relación explotación-recursos, que es muy importante para la planificación de los recursos hídricos, no es crítica en la mayoría de las zonas, mientras se mantenga la situación actual, salvo las zonas explotadas intensivamente (Oruro - El Alto).

En el futuro, cuando entren en funcionamiento los pozos inactivos, ubicados generalmente en las partes medias y bajas de las cuencas, la relación explotación-recurso, tendería a ser crítica si la explotación no se hace con buen criterio, lo que exigiría un control de los acuíferos. Sin embargo como factor compensatorio a esta relación se podría considerar que el mayor gradiente de escurrimiento, induciría a una mayor recarga de los acuíferos ubicados en las partes bajas de las cuencas y además se disminuirían las pérdidas por evaporación que ocurren al estar los niveles freáticos muy cerca de la superficie del suelo.

5.3 SEQUÍAS

Uno de los eventos extremos que más problemas crean en el área del complejo T.D.P.S. son las sequías.

Las sequías afectan de una manera general a todo el altiplano, y se caracterizan por una deficiencia de agua generalizada para la atención de las diferentes demandas existentes (principalmente agropecuarias para agricultura de secano, domésticas y otras), causando un gran impacto sobre los diferentes sectores económicos.

En la década pasada, entre 1980 y 1990, se presentaron dos sequías graves que afectaron todo el altiplano: 1982/83 y 1989/90.

Para analizar las probabilidades de ocurrencia de sequías se han utilizado dos variables: precipitaciones y aportaciones fluviales. La primera variable se ha utilizado en estudios que afectan particularmente a la agricultura de secano, y la segunda incide particularmente en las disponibilidades hídricas.

Sequías pluviométricas

Se han recopilado e informatizado todos los datos de precipitaciones a nivel diario de 112 estaciones meteorológicas del sistema TDPS, se han seleccionado 19 estaciones con 30 años de registros contínuos: Chuquibambilla, Progreso, Huaraya-Moho, Huancané, Lagunillas, Puno, Mazocruz, Ilave, El Belen, Ichucota, El Alto, Santiago de Machaca, Patacamaya, Oruro, Juliaca, Comanche, Charaña, Eucaliptus y Salinas.

Se identificaron las características de las sequías históricas en las series de precipitación promedio de noviembre a mayo, tanto en los sectores (estaciones) peruano y boliviano como en el complejo, las probabilidades de ocurrencia de las sequías se presentan en el siguiente cuadro:

Probabilidades de las sequías históricas. Series de precipitaciones de noviembre a marzo

| | | Sector Boliviano | Sector Peruano | Complejo T.D.P.S. |
|---|----------|------------------|----------------|-------------------|
| Probabilidades del evento (1982-1983) en: | | | | |
| Duración | 50 años | 0,870 | 0,930 | 0,890 |
| | 100 años | 0,970 | 0,990 | 0,890 |
| | 500 años | 0,990 | 0,995 | 0,996 |
| Volumen | 50 años | 0,730 | 0,670 | 0,590 |
| | 100 años | 0,900 | 0,890 | 0,830 |
| | 500 años | 0,990 | 0,990 | 0,995 |
| Probabilidades del evento (1989-1990) en: | | | | |
| Duración | 50 años | 0,370 | 0,430 | 0,470 |
| | 100 años | 0,580 | 0,990 | 0,700 |
| | 500 años | 0,990 | 0,995 | 0,994 |
| Volumen | 50 años | 0,840 | 0,820 | 0,680 |
| | 100 años | 0,970 | 0,960 | 0,890 |
| | 500 años | 0,990 | 0,990 | 0,990 |

Volumen: Máximo volumen del déficit que se origina durante el período considerado.

Sequías fluviales

Se han seleccionado 11 estaciones con un mínimo de 25-30 años de registro continuo de aportaciones: Escoma, Pte. Huancane, Pte. Ramis, Pte. Maravillas, Pte. llave, Abaroa-Mauri, Abaroa-Caquena, Calacoto-Mauri, Calacoto-Desaguadero, Ulloma y Chuquiña.

En el cuadro siguiente se detallan las probabilidades de ocurrencia de las sequías de 1982/1983 y 1989/1990 en cada una de las estaciones seleccionadas.

Las sequías y estiajes están influenciados (y a su vez influyen) por las características de las cuencas, y por su comportamiento. Así podemos observar:

- Tamaño de la cuenca y declividad de los cauces drenantes, a mayor tamaño y menor declividad menor capacidad de escurrimiento.
- Capacidad de retención de los suelos:
 - . Retención temporal en bofedales y zonas afines (Ramis, Suchez, Mauri).
 - . Desbordamiento de caudales que no retornan al cauce al inundar sectores marginales, y que en parte se infiltran (Ramis, cuenca baja del llave).
 - . Infiltración de avenidas en acuíferos aluviales muy transmisivos que las propagan de forma subterránea (Mauri, Caquena, ...)
- Niveles en el lago Titicaca, cuya influencia reviste características distintas aguas arriba y aguas abajo del mismo.

Aguas abajo, la ausencia de los caudales de salida del lago, pueden ser suficientes, por si solos, de provocar efectos importantes en el río Desaguadero, principalmente en las aportaciones a los lagos del sector sur, como sucedió por ejemplo en los años 1940-1943.

5.4 INUNDACIONES

Entre los eventos extremos que ocasionan daños en el sistema TDPS, las inundaciones han sido recientemente las que han tomado mayor importancia. En la segunda mitad de la década de los ochenta, varios años consecutivos de fuertes lluvias produjeron un fuerte aumento de los aportes al lago Titicaca, cuyo nivel fue ascendiendo progresivamente anegando decenas de miles de hectáreas de las zonas ribereñas (en 1986 existían 48000 ha inundadas). Este fenómeno, que tuvo su máxima expresión en el período 1986-87, determinó un gran aumento de las descargas por el río Desaguadero, que al verse incrementadas con los aportes de sus afluentes, originaron graves inundaciones a lo largo de su curso y, en especial, en su tramo inferior (lagos Uru-Uru y Poopó), poniendo en peligro incluso a la ciudad de Oruro.

Sirvan como ilustración algunos datos. Solamente los cinco tributarios principales del lago Titicaca aportaron 29000 hm³ entre los años 1984, 1985 y 1986, lo que equivale a un caudal medio que sobrepasa ligeramente los 300 m³/s. A esto hay que añadir la contribución de los restantes tributarios y, sobre todo la precipitación directa sobre el

PROBABILIDADES DE SEQUIAS HISTORICAS EN SERIES DE APORTACIONES DISPONIBLES (NOVIEMBRE-MARZO)

| | Escoma | Huancane | Ramis | Coata | Ilave | Abaroa Mauri | Abaroa Caquena | Calacoto Mauri | Ulloma | Chuquiña |
|--|--------|----------|-------|-------|-------|--------------|----------------|----------------|--------|----------|
| Probabilidad del evento (1982-1983) en | | | | | | | | | | |
| 50 años | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 | 0,900 |
| Duración 100 años | 0,990 | 0,990 | 0,990 | 0,990 | 0,990 | 0,990 | 0,990 | 0,990 | 0,990 | 0,990 |
| 500 años | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 | 0,995 |
| 50 años | 0,990 | 0,988 | 0,987 | 0,735 | 0,928 | 0,985 | 0,981 | 0,856 | 0,870 | 0,830 |
| Volumen 100 años | 0,995 | 0,994 | 0,983 | 0,838 | 0,981 | 0,992 | 0,991 | 0,968 | 0,970 | 0,960 |
| 500 años | 0,999 | 0,998 | 0,998 | 0,995 | 0,997 | 0,998 | 0,997 | 0,998 | 0,990 | 0,890 |
| Probabilidad del evento (1989-1990) en: | | | | | | | | | | |
| 50 años | 0,470 | 0,470 | 0,900 | 0,470 | 0,900 | 0,900 | 0,170 | 0,900 | | |
| Duración 100 años | 0,720 | 0,720 | 0,990 | 0,720 | 0,990 | 0,990 | 0,310 | 0,990 | | |
| 500 años | 0,990 | 0,990 | 0,995 | 0,990 | 0,995 | 0,995 | 0,800 | 0,995 | | |
| 50 años | 0,609 | 0,759 | 0,950 | 0,876 | 0,981 | 0,985 | 0,895 | 0,989 | | |
| Volumen 100 años | 0,831 | 0,952 | 0,985 | 0,972 | 0,990 | 0,993 | 0,975 | 0,995 | | |
| 500 años | 0,994 | 0,995 | 0,997 | 0,996 | 0,997 | 0,998 | 0,996 | 0,998 | | |

Volumen: Máximo volumen del déficit que se origina durante el período considerado.

espejo del agua, por lo que se estima que la cifra total de aportes duplicó ampliamente la arriba mencionada. Por su parte, aguas abajo del lago las estimaciones efectuadas evalúan la esorrentía en la estación de Chuquiña únicamente en el año 1986 en torno a 10000 hm³, es decir un caudal medio próximo a 320 m³/s que es casi cuatro veces superior a la aportación media en dicho punto.

Dos son las causas principales que originan inundaciones aguas arriba de Puente Internacional:

- La primera de ellas está ligada a los desbordamientos de los ríos debido a que los caudales de avenida superan la capacidad de conducción del cauce.
- La segunda responde a la anegación de tierras ribereñas por la subida del espejo del lago.

En ciertos sectores ambas causas pueden actuar conjuntamente, produciéndose inundaciones mixtas en las cuales los desbordamientos se ven agravados por coincidir las avenidas de los ríos con niveles altos del lago.

Dado que entre los años 1985 y 1988 el lago alcanzó su cotas más elevadas de todo el período registrado (1920-1990), podría suponerse que las inundaciones ribereñas tendrían que tener una probabilidad de ocurrencia muy baja.

Se ha estimado, para el caso de los períodos húmedos que originan las inundaciones, que la probabilidad de ocurrencia (en los próximos 50 años) de un período húmedo igual o mayor que el mayor período húmedo con registros (1985-1987) es de 5%.

Sin embargo, desde el punto de vista socioeconómico el fenómeno de las inundaciones hay que contemplarlo conjuntamente con el avance y retroceso de las tierras cultivadas en el entorno más próximo al lago. La lenta evolución limnimétrica, que se manifiesta por la presencia de ciclos cuya duración es de varios años, trae como consecuencia que cuando el espejo del agua está en fase de retroceso se produzca una rápida colonización de las tierras desecadas, ya que éstas son particularmente fértiles. La inversión del proceso, con un progresivo avance de las aguas, trae consigo consecuentemente la inundación no solamente de las superficies puestas en producción, sino también de los asentamientos humanos asociados. Dada la periodicidad de estos ciclos, se deduce por lo tanto que la frecuencia de este tipo particular de inundaciones es muy superior a la que parecería indicar el fenómeno físico.

Sin duda, los sectores más sensibles a las inundaciones por subida del nivel del lago y a las de origen mixto, (lacustres y fluviales), se ubican en las cuencas bajas de los ríos Ramis e llave. En ambos casos se trata de regiones extremadamente llanas, que ocupan deltas de formación reciente, y que documentos cartográficos históricos atestiguan que, al menos temporalmente, han formado parte del espejo del lago Titicaca. Estas zonas fueron las más afectadas por las recientes inundaciones, permaneciendo grandes extensiones anegadas durante meses y, en algunos casos (parte final del delta del llave), la situación se prolongó varios años. Además, y dado el régimen hidrológico de los ríos que las surcan, también sufren con frecuencia desbordamientos de caudales de avenida, incluso aunque el lago se encuentre con cotas bajas.

Para defenderse de estos eventos los campesinos han construido, en general con medios muy rudimentarios, diques y obras de defensa, que suelen ser suficientes frente a avenidas ordinarias pero que se ven desbordados o destruidos en crecidas extraordinarias.

5.5 EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN

La erosión es uno de los problemas más graves, y de más difícil solución que ocurren en el altiplano. Existe una erosión natural causada por las aguas en un medio geológico vulnerable a su actuación, una erosión antrópica causada por la intervención del hombre, y una erosión eólica.

Un elevado porcentaje de superficie, 26,60%, (o sea 38.283 Km²), presenta una fuerte susceptibilidad a la erosión y pone en evidencia el potencial impacto de todas las perturbaciones sobre el medio que tiene un equilibrio ya frágil (agricultura, sobrepastoreo y destrucción de la vegetación).

Debido a los problemas de temperatura, de frecuencia de heladas y de pluviosidad, el uso de la tierra está relativamente concentrado en el noroeste de la zona de estudio (altura inferior a 4.000 m, con una pluviosidad superior a 500 mm).

En la situación actual, los cultivos se practican con un barbecho de duración variable en una superficie global del orden de 1,5 millones de hectáreas, que corresponden a un complejo de cultivos, barbechos y tierras no cultivadas, en porcentaje variable. Un poco más de la mitad de esta superficie, localizada en terrenos con pendiente superior a 6%, necesitan acondicionamientos antierosivos sistemáticos del tipo terrazas, líneas de piedras, etc.

La importancia de la erosión se debe a las fuertes pendientes, que superan el 30%, y a la práctica tradicional de cultivos de papa en surcos dispuestos en el sentido de la pendiente para garantizar el drenaje y mejora de las condiciones fitosanitarias. El uso de tierras en pendiente tiene generalmente una justificación microclimática (exposición al sol, menor sensibilidad a las heladas), ya que existe una tradición de construcción de terrazas desde hace más de 1.000 años. Los cultivos en pendiente inferior a 6%, se ven frecuentemente afectados por una erosión laminar no despreciable, especialmente sobre las tierras con estructura frágil.

Hay otros factores locales que juegan un papel importante de aceleradores o moderadores de la erosión, como son la fragilidad de la estructura del suelo y la importancia de los materiales pedregosos de superficie.

No hay duda que la erosión de tierras agrícolas puede ser considerada como un problema grave desde la perspectiva del patrimonio de producción, y deberá ser tratado como tal en un plan de conservación de suelos, es decir como un componente del proyecto de desarrollo agrícola.

5.5.1 La reducción de la cobertura vegetal y la erosión

A pesar de la escasa densidad de la cobertura vegetal en el área del complejo, esta juega todavía un papel muy importante. El estrato leñoso o herbáceo alto estabiliza el suelo, limita el impacto de la erosión hídrica y de la erosión eólica y facilita la captación de

sedimentos aportados por el viento. El estrato herbáceo bajo, en función de su densidad de recubrimiento, constituye el estabilizador de la erosión laminar por disminución de la velocidad del flujo de agua y por la fijación de sedimentos. Las formaciones vegetales de las zonas húmedas bajas (bofedales) recogen los flujos de agua de las zonas en pendiente, interceptan los sedimentos y disminuyen su tránsito hacia los ríos principales y hacia los lagos.

A pesar de su nivel de degradación generalmente elevado, esta cubierta vegetal juega un papel activo en la limitación actual de la erosión. Su eliminación total en más de dos tercios de la superficie del sistema T.D.P.S., como se constata localmente en la periferia del lago Titicaca, implica una fuerte aceleración de la erosión. Después de la desaparición de las formaciones arbustivas que antes cubrían superficies importantes, las poblaciones han basado su suministro de combustible en la explotación de todas las especies leñosas, con uso simultáneo de excrementos de rumiantes. Como un tercio de la masa combustible está localizada en la raíz de estos vegetales, se procede al arranque completo, lo que implica una explotación difícilmente renovable del recurso. En las zonas de grandes concentraciones humanas, esta práctica ha conducido a la desaparición total de las poblaciones de arbustos bajos más desarrollados (thola), y la eliminación progresiva de otros (tipo magyricarpus).

Por otra parte la desaparición del nivel arbustivo ha producido indirectamente un impacto negativo en la regeneración de otras especies herbáceas, cuya multiplicación por semilla es generalmente favorecida por la presencia de islotes de especies arbustivas poco codiciadas o espinosas.

De hecho, estas especies poco consumidas por el ganado, constituyen un refugio para las especies herbáceas habitualmente procuradas por el ganado. Protegidas de esta forma, logran crecer hasta producir semillas. Las "islas de semillas" juegan un papel fundamental en la renovación de los pastos.

Esta explotación desgraciadamente no se limita a la autosuficiencia local, ya que se produce una comercialización hacia las ciudades, en la búsqueda de ingresos nada desdeñables para las poblaciones rurales, pues se usa como combustible para las tejeras ladrilleras y hornos de cal.

5.5.2 El sobrepastoreo y la erosión

Un factor acelerador de la erosión es el sobrepastoreo. Este efecto implica dos tipos de impactos sobre la conservación de los suelos, ambos se superponen en las zonas más explotadas, a saber:

- a) El pisoteo del suelo por el ganado (sobre todo en períodos húmedos), que lo compacta, destruyendo la estructura y disminuyendo la capacidad de infiltración, lo que aumenta la erosión laminar.
- b) La extracción excesiva de la vegetación por arranque, que puede implicar la desaparición de algunas especies, la falta de producción de semillas y de la posibilidad de regeneración, lo que en su conjunto implica una fuerte reducción de la capacidad de control de la erosión laminar.

Es esta la situación actual que predomina en todos los pastizales comunales que rodean la zona, densamente poblada, del lago Titicaca y la periferia de las principales zonas agrícolas y de aglomeraciones humanas.

Estos impactos son más notables en períodos de sequía cuando la reserva vegetal es sobre-explotada por el ganado, al mismo tiempo que la cubierta vegetal disminuye su capacidad de crecimiento y de regeneración.

5.5.3 La erosión eólica

La erosión eólica, afecta esencialmente a la zona árida, con menos de 400 mm/año de pluviosidad.

Se manifiesta de manera muy activa en sitios particulares, como cerca de vastas zonas de esparcimiento de algunos cursos de agua, donde las arenas aportadas por las crecidas son movilizadas por el viento.

Se trata de un fenómeno natural, de alcance limitado porque la vegetación natural existente capta y estabiliza esos sedimentos arenosos en movimiento.

Sin embargo, la erosión eólica tendría una amplitud y consecuencias mucho más graves si desapareciera la vegetación que fija la cobertura del suelo, o estabiliza las formaciones de dunas antiguas.

Esta amenaza existe en toda la parte sur del sistema T.D.P.S. y en las siguientes situaciones:

- Vastas superficies sometidas a eventuales operaciones de cultivos mecanizados (quinua);
- Explotación de la vegetación leñosa a gran escala (tholas), para las ciudades, hornos de cal y fábricas de ladrillos; y
- Sobrepastoreo de zonas muy frágiles del tipo de formaciones de dunas antiguas apenas estabilizadas (periferia de lagos Poopó y salar de Coipasa)

5.5.4 La sedimentación

Las tasas de erosión estimadas en el sistema son:

| Ríos o estaciones | Area de la cuenca (Km ²) | Transporte sólido medio (10 ³ t/año) | Erosión t/Km ² /año |
|------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------------|
| Río Desaguadero | 11.812 | 3.734 | 316 |
| Río Mauri-Calacoto | 9.875 | 140 | 14 |
| Río Desaguadero-Ulloma | 23.000 | 6.187 | 269 |
| Río Suhez-Escoma | 2.825 | 64 | 22,5 |
| Río Huancané | 3.540 | 103 | 29 |
| Río Ilave | 7.705 | 143 | 18,5 |
| Río Coata | 4.550 | 158 | 35 |
| Río Ramis | 14.700 | 606 | 41 |

Las cifras muestran que las tasas de erosión en la cuenca del Desaguadero, son muy superiores a las encontradas en las cuencas de ríos afluentes al lago Titicaca, con la excepción del río Mauri, donde las tasas de erosión de su cuenca son inferiores a algunos de los ríos afluentes al lago.

Una consecuencia directa de la erosión es el arrastre de material sólido a los ríos del sistema. Este transporte sólido llega a saturar el caudal fluvial y fija el equilibrio del río conformando a su vez su morfología; una modificación de los aportes con ocasión de grandes crecidas, aumento o supresión, modificará las condiciones de equilibrio de los ríos, produciéndose la formación de meandros, si a esto se añade cambios de pendientes importantes puede llegarse a un depósito de sedimentos, produciéndose cambios de curso de los cauces de los ríos, aparición de lagos, como en el caso del Uru-Uru y la laguna Soledad, o desaparición por colmatación de sedimentos, como ocurre actualmente en el lago Poopó.

Estos problemas de variaciones periódicas en la fluviomorfología de los ríos, requieren ser tomados en cuenta y tratar de ser resueltos fijando los cuerpos de agua, cuando se trate de poner en marcha un programa de actuaciones para manejo de los recursos hídricos.

Una cuestión importante a tener en cuenta, es el de la posible contaminación de los lagos por sedimentos ricos en nutrientes, materia orgánica e incluso por metales pesados. Esta contaminación puede ser difusa a nivel de cuenca, o puntual por vertidos directos que contaminan el suelo y posteriormente, bajo ciertas condiciones, particularmente en períodos erosivos, después de caudales altos los sedimentos, llegan a los cauces contaminandolos. En los cauces de los ríos se producen los fenómenos de transporte de sedimentos y posterior deposición de los mismos.

5.5.5 Características erosivas de las diversas cuencas del sistema

Para evaluar el grado y la gravedad de la erosión en las zonas afectadas, se han diferenciado las siguientes categorías o clases:

Clase 1 (erosión ligera):

Este tipo de erosión está ligado mayormente a relieves planos o casi planos (llanuras aluviales, terrazas fluviolacustres y fondo de valle), que presentan declives inferiores a un 5%. La erosión que se produce es principalmente de tipo laminar ligera sobre todo en suelos de texturas arenosas, franco arenosas y limosas.

Clase 2 (erosión moderada):

Esta clase de erosión está localizada principalmente en mesetas, colinas y laderas de inclinadas a moderadamente empinadas, montañas formadas por substratos volcánicos y sedimentarios, así como pie de montes no disectados.

El tipo de erosión es principalmente laminar y puede provocar el arrastre del 50% del horizonte o capa superior del suelo. También puede presentarse en relieves no muy homogéneos, con una escorrentía concentrada y formación de surcos poco profundos.

Clase 3 (erosión severa):

Esta clase de erosión se presenta mayormente en laderas de colinas y montañas disectadas sobre todo de origen sedimentario. El suelo afectado por erosión laminar ha perdido todo el horizonte superior, y parte del sub-suelo. Si la erosión por surcos persiste, esta degenera en cárcavas medianamente profundas.

Clase 4 (erosión muy severa)

Los terrenos afectados por esta clase de erosión reciben la denominación de "tierras malas" (bad lands), ya que ellas han alcanzado tal grado de deterioro que las convierte en tierras marginales para la actividad agropecuaria e incluso forestal. Tal es el caso de zonas en donde predominan los afloramientos rocosos como consecuencia de una erosión laminar intensa, o zonas muy disectadas por cárcavas profundas que reciben también el nombre de barrancos.

Se han elaborado mapas de caracterización de los procesos erosivos para todo el sistema T.D.P.S. Estos mapas, en número de 12 a escala 1:250.000, se presentan bajo las siglas ESU-ER.

Se han considerado las tres grandes cuencas que conformen el sistema T.D.P.S.: Cuenca del lago Titicaca, Cuenca del río Desaguadero, Cuenca del Poopó y Salar de Coipasa.

- Cuencas afluentes al lago Titicaca.

En la parte norte predomina la erosión de clases 2 y 3. Los procesos erosivos son principalmente de tipo antrópico, aunque en las partes altas de las montañas predomina el tipo geológico, (mapas ESU-ER 01 y 02).

En la parte oeste del lago predominan, las clases 1 y 2 en la zona más próxima al lago, y las clases 2 y 3 en la más alejada; existen algunas incrustaciones de clase 4. Predomina la erosión de tipo antrópico (mapa ESU-ER 03).

En la parte este del lago predominan las clases 2 y 3, principalmente la primera, con algunas incrustaciones de clase 1. Predomina la erosión de tipo antrópico (mapa ESU-ER 04).

Los procesos deposicionales son de menor magnitud que los erosivos.

- Cuenca del río Desaguadero

En esta cuenca se dan tanto los procesos erosivos (alto y medio Desaguadero), como los deposicionales (bajo Desaguadero). Por otro lado se observa que los suelos están afectados en una extensión bastante similar por erosión de tipo antrópico y erosión geológica.

En la cuenca correspondiente al alto Desaguadero en la margen derecha (mapa ESU-ER 05), predominan las clases 1 y 2 excepto en el estrecho de Tiquina donde predomina la clase 3. Según nos alejamos del río se pasa a la clase 2 y

luego a la clase 3. La clase 4 tiene pequeños enclaves. Predomina el tipo de erosión geológico sobre el antrópico.

La cuenca baja del Desaguadero por la margen izquierda (mapas ESU-ER 06 y 07), es similar a la anterior, pero desaparece prácticamente la clase 4.

En la cuenca media del Desaguadero, por la margen derecha, se encuentra en la parte mas alejada del río (mapa ESU-ER 08), erosión tipo geológico de clases 2 y 3, y algunos enclaves de clase 4; en la parte más próxima al río (mapa ESU-ER 09), erosión de clases 1, 2 y 3, y pequeñas manchas de clase 4, siendo el tipo de erosión predominante el geológico; aquí ya la erosión eólica es significativa.

En la cuenca media del río Desaguadero, por la margen izquierda, se encuentran las clases 1, 2 y 3. La clase 2 es generalmente de tipo antrópico, y la clase 3 de tipo geológico (mapa ESU-ER 10).

- **Cuenca del lago Poopó y Salar de Coipasa**

En el sector occidental que corresponde a la cuenca del Salar de Coipasa, los procesos erosivos son importantes en razón de la rala cubierta vegetal constituida predominantemente por pastos y arbustos.

En las partes planas y deprimidas que representan aproximadamente el 50% del área total de esta zona, los procesos que afectan predominantemente a los suelos son: salinización y erosión eólica.

El problema de la salinización se debe en parte a las condiciones de aridez que caracteriza a esta zona, en donde la tasa de evapotranspiración supera ampliamente a la tasa de precipitación; pero esta situación es agravada por el aporte significativo de sales que deposita el río Desaguadero en la gran planicie aluvial, que supera en muchos casos 1 g de sal/litro, con predominio de cloruros y sulfatos.

La cuenca del bajo Desaguadero, por la margen derecha (mapa ESU-ER 11), presenta las clases 1, 2 y 3, esta última en las zonas alejadas del Salar de Coipasa; predomina la erosión geológica y principalmente la eólica.

En la cuenca del bajo Desaguadero, por la margen izquierda (mapa ESU-ER 12), se encuentran las clases 1, 2, 3 y 4; las dos primeras próximas al lago Poopó, y las clases 3 y 4, en las zonas más alejadas; predomina la erosión de tipo geológico.

5.6 SALINIZACIÓN

Las aguas del lago Titicaca y de sus afluentes, presentan una salinidad inferior a 1 g/l. A partir del inicio del río Desaguadero hasta La Joya (a la altura de la laguna Soledad), el río Desaguadero incrementa sus niveles de salinidad a valores entre 1 y 2 g/l. Si bien localmente los afluentes del Desaguadero pueden presentar salinidad superior a 2 g/l; es a partir de La Joya, que la salinidad es superior a 2 g/l y llega a 100 g/l en la parte sur del lago Poopó.

En lo que respecta al uso de aguas para riego, la posible salinización de las mismas puede constituir un limitante serio. En cada proyecto específico, además de tener en cuenta la calidad de agua existente y su variabilidad en el tiempo (grado de salinidad), habrá que considerar otras variables como son: tipo de suelo, cultivos a desarrollar, y sobre todo manejo del agua, riego y drenaje, ya que de ello dependerá la viabilidad del proyecto.

5.7 CONTAMINACIÓN QUÍMICA. FUENTES DE CONTAMINACIÓN

En el sistema T.D.P.S. se encuentra contaminación química, tanto en las aguas como en sedimentos.

Las aguas del lago Titicaca y sus afluentes no presentan contaminación por metales pesados, pero se encuentra una contaminación moderada puntual en la bahía de Puno. En el río Desaguadero hasta La Joya sólo se encuentra una contaminación moderada por cadmio que procede aparentemente de vertidos producidos en los alrededores de la confluencia con el río Mauri. A partir de La Joya, el río Desaguadero, así como los lagos Poopó y Uru-Uru, presentan una fuerte concentración de Mg y de metales pesados, principalmente Cd, As, Co, Pb, Ni, Mn, Cr, Sb, Cu, Zn, Fe

En cuanto a contaminación de lodos, se puede señalar que los sedimentos del río Coata están contaminados por Cu, Cd, Mg, Pb, Zn, Ni y Co; son estos mismos elementos los que se encuentran en la desembocadura de este río en la bahía de Puno. En cambio, los sedimentos del lago Titicaca y los de los otros ríos tributarios no presentan contaminación.

En lo que concierne a las fuentes de contaminación, es muy difícil tener una idea precisa. Existen numerosos yacimientos mineros de Cu, Pb, Zn, Ag, Au, Sn, W, Sb, diseminados por todo el sistema T.D.P.S. La mayor parte de las minas en actividad, no poseen sistemas de tratamiento de efluentes ni de protección de materiales inertes (relaves). Estos últimos son lavados por las aguas de lluvia y contaminan los ríos próximos. Existen muchas minas cerradas (al menos oficialmente), pero que son explotadas clandestinamente empleándose medios artesanales muy rudimentarios de gran poder contaminante de los riachos próximos.

Existen dos focos notables de polución en la cuenca: el río Verde afluente del Coata, y los ríos afluentes a los lagos Uru-Uru y Poopó donde la fuerte contaminación de sedimentos y aguas, proviene conjuntamente de una actividad minera del pasado, de un lixiviado de relaves y de la actividad minera incontrolada actual.

5.7.1 Contaminación por vertidos de aguas residuales urbanas e industriales

Las fuentes de contaminación son principalmente los centros o aglomeraciones humanas, entre los que podemos citar las ciudades de Puno, El Alto y Oruro, y en menor escala los poblados de Juliaca, Ilave, Juli, Huancané y Desaguadero.

Puno

Existe un nivel de contaminación bacteriológica muy elevado en la bahía de Puno en el lago Titicaca; el grado de eutrofización de las aguas es alarmante, así como los altos porcentajes de fósforo y nitratos. En lo que se refiere a la contaminación bacteriológica,

se puede señalar la presencia de numerosos coliformes fecales (100.000/100 ml) en las orillas. La densidad de huevos de parásitos intestinales en el hombre, es muy elevada (7 huevos/l); por lo que se puede decir que la bahía de Puno presenta una alta tasa parasitaria en función de la contaminación doméstica.

El nivel elevado de esta contaminación (solamente el 10% de los efluentes de la ciudad de Puno son tratados en una laguna de oxidación). La forma de la bahía, y la presencia de una vegetación acuática densa que limita la circulación del agua, no permite una renovación de la misma, influyen de forma muy importante sobre la salud humana, pues más del 20% de las enfermedades diagnosticadas en los hospitales de Puno, están ligadas al agua: disenterías y gastroenteritis en el caso de los niños, y fiebres tifoideas y hepatitis en las personas adultas.

El Alto

El desarrollo muy rápido de la ciudad de El Alto, se ha realizado de manera anárquica, sin que exista ningún planeamiento para colecta de efluentes domésticos e industriales. Una parte de estos efluentes fluyen por gravedad hacia el río Seco.

Como su nombre indica este río está seco la mayor parte del año, y su cauce sirve también para el depósito de basuras, mientras que los efluentes allí depositados, se infiltran en buena parte, contaminando la capa freática. Con las primeras lluvias los desechos sólidos y líquidos son arrastrados hacia el lago Titicaca, si bien hay que tener en cuenta que debido al largo recorrido, ésta contaminación está diluida en parte, cuando llega al lago.

Oruro

La ciudad de Oruro, con más de 200.000 habitantes, tiene problemas importantes de contaminación por aguas residuales domésticas e industriales. Actualmente estas aguas llegan vía un canal ribereño al lago Uru-Uru sin tratamiento (contaminando los suelos, acuífero y lago durante aguas altas).

La Corporación de Oruro -CORDEOR-, tiene un proyecto de saneamiento básico, redes separadas de drenaje pluvial y cloacal, y tratamiento de efluentes cloacales en lagunas de oxidación.

Juliaca

El desarrollo rápido que ha tenido Juliaca se ha realizado sin un planeamiento compatibilizado de colecta de efluentes domésticos e industriales. Una gran parte de ellos descargan por gravedad al río Coata contaminándolo.

Otros puntos

En el Puente Internacional, en la localidad de Desaguadero, se observa una baja concentración de oxígeno disuelto, esto se debe a un incremento de la contaminación doméstica provocada por el hombre (aumento de la población estable y flotante), y de las basuras que, además, provocan el desarrollo anormal de la flora saprófita, que consume una parte del oxígeno disuelto.

El problema de contaminación por desechos sólidos, y basuras, es general en todos los poblados del altiplano.

Como consecuencia de la contaminación química o bacteriología, los ecosistemas presentes en la cuenca se encuentran ya afectados. Así, se ha encontrado en la bahía de Puno contaminación de peces por cadmio, níquel, arsénico y mercurio; asimismo se han comprobado malformaciones en peces del lago Poopó ocasionadas por productos tóxicos.

5.8 PROBLEMAS SOCIOECONOMICOS

De entre los factores socioeconómicos negativos para el desarrollo regional, se pueden señalar:

Fragmentación de la propiedad:

Las tierras cultivadas, en su mayor parte, muestran tendencia a la fragmentación y la parcelación. Se considera que en un futuro cercano podrían existir gran número de áreas con unidades familiares de menos de 5 ha, particularmente en las zonas junto al lago Titicaca (donde en gran porcentaje ya es menor de 5 ha), esta circunstancia podría ser un problema grave a la hora de organización de proyectos de riego y políticas de manejo de agua.

Falta de seguridad en la producción agrícola, siempre amenazada por eventos climáticos extremos: heladas, granizo, sequías.

Escasez de fuentes de energía tradicionales; combustible, electricidad, pero con un gran potencial, a desarrollar, de energía solar.

Escasez de infraestructuras; caminos, agua potable, saneamiento básico.

Bajo nivel cultural, educacional, servicios de salud deficientes

Deficientes canales e infraestructura de comercialización y transformación; falta de mercados organizados para los productos agropecuarios; para un posible mercado hortícola (producido bajo invernadero), mercados para productos hidrobiológicos: pescado, vegetación acuática, centros de acopio, agroindustria, etc.

6 EVALUACION DE DAÑOS POR EVENTOS EXTREMOS

6.1 EVALUACION DE DAÑOS DIRECTOS

El área del sistema T.D.P.S. está sujeta a un régimen climático difícil para el establecimiento de poblaciones animales y plantas, tanto por su severidad (por ejemplo, temperaturas muy bajas) como por sus variaciones significativas. Estas variaciones ocurren principalmente en las temperaturas y en las precipitaciones de un año para otro, por lo que períodos de sequías se alternan con períodos de lluvias excesivas a lo largo de los años.

Los eventos extremos más importantes que consideraremos, serán los de naturaleza meteorológica: sequías (estiajes) y excesos de lluvias (inundaciones).

La ocurrencia de estos eventos en el pasado han originado significativas pérdidas sobre las diferentes actividades económicas que se desarrollan en el área. La evaluación de los daños que estos eventos originan es muy importante para poder comparar los méritos y seleccionar las diferentes posibles medidas que se podrían implementar, para reducir o eliminar los impactos o para su adaptación a este tipo de eventos.

A partir de las series de precipitaciones medias anuales sobre el altiplano (1960-1990) (Figura 38), y de la serie de niveles medios mensuales en el lago Titicaca (1914-1992) (Figura 39), que refleja la evolución de periodos secos y húmedos en el área, se identificaron y analizaron los principales eventos extremos que han ocurrido en los últimos años, estableciéndose las probabilidades de su ocurrencia. Como resultado, se ha estimado para el caso de las sequías que:

- la probabilidad de ocurrencia (en los próximos 50 años) de una sequía igual o mayor que el máximo histórico con registros (1943) es de 5%;
- la probabilidad de ocurrencia (en los próximos 50 años) de una sequía igual o mayor que la sequía de 1982/1983 es de 10%; y
- la probabilidad de ocurrencia (en los próximos 50 años) de una sequía igual o mayor que la sequía de 1990 es de 15%.

Asimismo se ha estimado para el caso de los períodos húmedos que originan las inundaciones por las aguas desbordadas del lago Titicaca, que:

- la probabilidad de ocurrencia (en los próximos 50 años) de un período húmedo igual o mayor que el mayor período húmedo con registros (1985-1987) es de 5%.

Con base en las informaciones obtenidas, se han evaluado los daños causados por los eventos extremos - de 1982/1983, de 1985/1987 y de 1990 - a la agricultura, ganadería e infraestructuras: vivienda; educación; saneamiento y transporte vial (ferroviario y lacustre); así como también se han considerado sus efectos indirectos.

A fin de contar en lo posible con valores comparables para Perú y Bolivia se han convertido las estimaciones realizadas de los daños en monedas nacionales a dólares U.S.A., utilizándose las tasas de cambio promedio de los años correspondientes. También

FIGURA 38 : PRECIPITACION MEDIA ANUAL (1960-1990)
SOBRE EL ALTIPLANO PERUANO-BOLIVIANO.

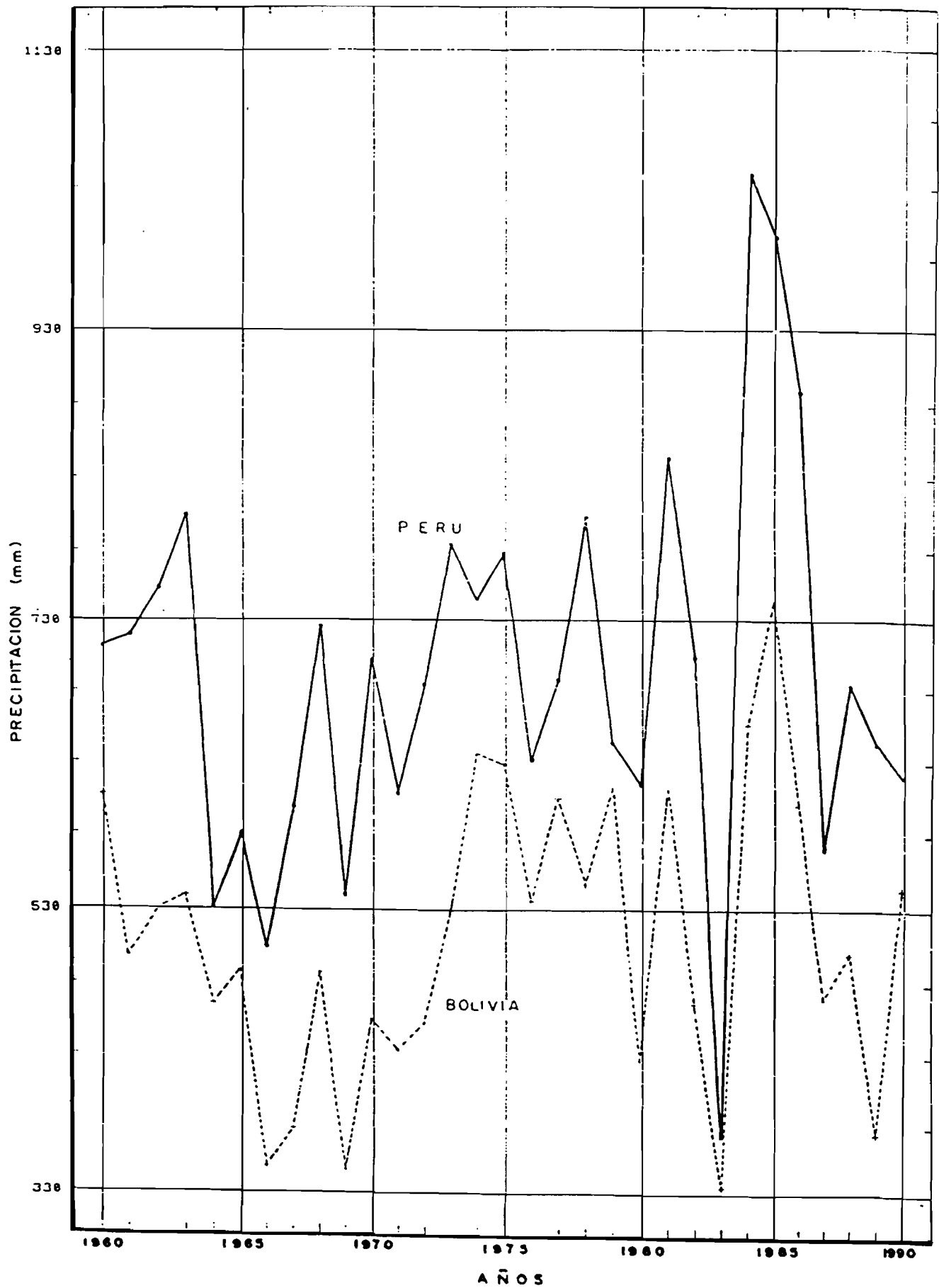
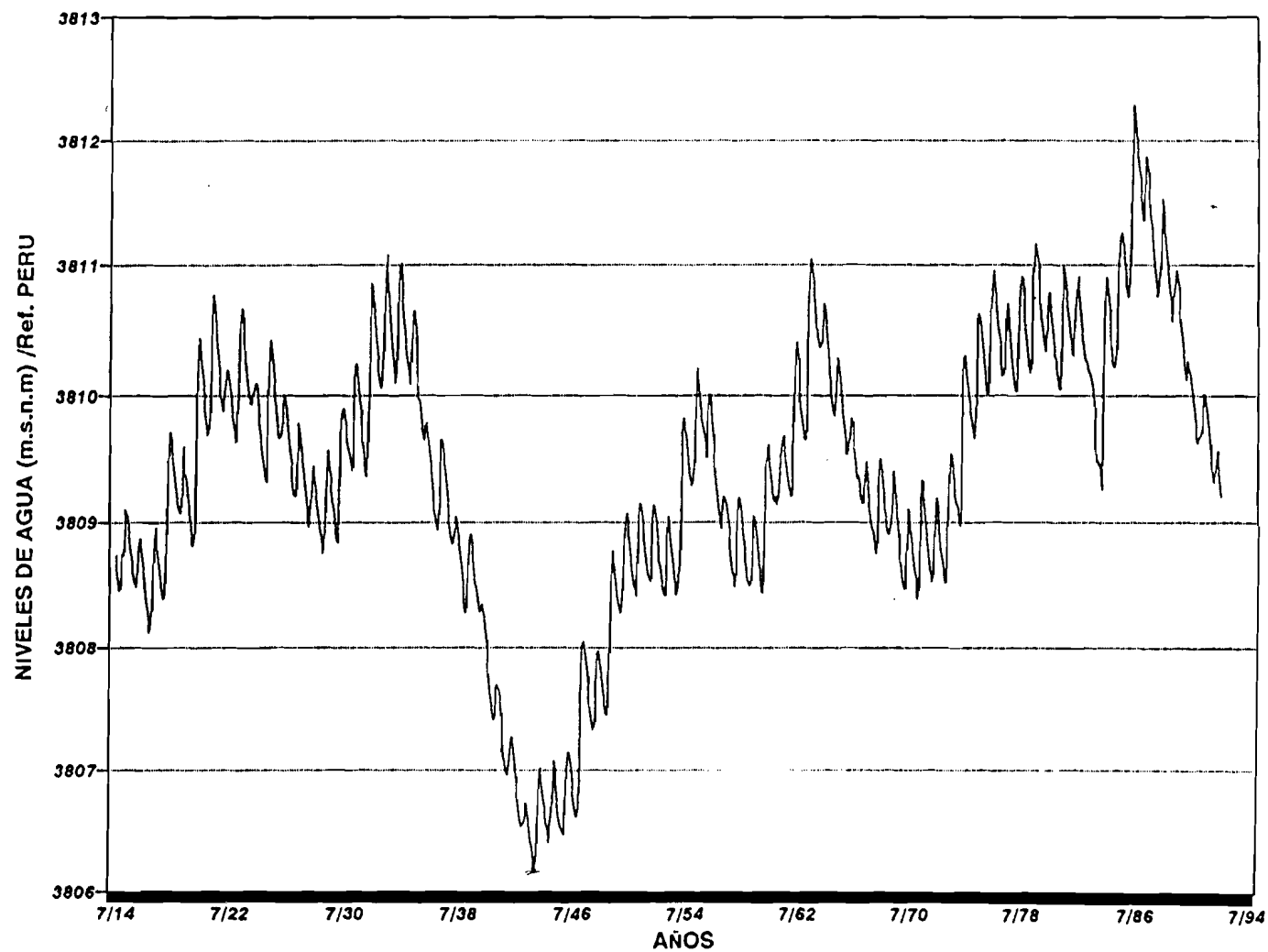


FIGURA 39 : NIVELES MEDIOS MENSUALES EN EL LAGO TITICACA.



se consideró necesario tomar en cuenta la variación del poder adquisitivo de la moneda estadounidense en el curso del período, ya que un dólar de 1979, 1980 o cualquier otro año, no corresponde necesariamente en valor al de la fecha de elaboración de este informe (1991).

Las variaciones del valor del dólar se han calculado con base en las tasas de cambio de la moneda estadounidense en relación a los Derechos Especiales de Giro (D.E.G. = Special Drawing Rights) en los años correspondientes. Se ha considerado la relación de cambio Dólar/DEG igual a 1 para noviembre de 1991.

6.1.1 Agricultura y ganadería

Agricultura

En el **sector peruano** la sistemática para evaluar pérdidas en la agricultura, debidas a las influencias de los eventos extremos, consistió en verificar la reducción de los rendimientos en función de la relación entre las superficies sembradas y **superficies no cosechadas**.

Como base de referencia de la producción agrícola se tomó el promedio de la serie de superficies sembradas/cosechadas 1979/80 - 1990/91, previa eliminación de los años manifiestamente afectados por los eventos que se trata de evaluar: 1982/1983, (sequía), 1985/1986 (inundación), 1986-1987 (inundación) y 1989/1990 (sequía); esta producción promedio se comparó con la producción efectiva, según las estadísticas del Ministerio de Agricultura, para cada año obteniendo por diferencia, la producción que se consideró perdida.

Se han considerado ocho cultivos tipo para realizar las evaluaciones (no se consideraron pastizales). Se presentan las estimaciones de pérdidas para seis campañas agrícolas: 1982/83, 1983/84, 1984/85, 1985/86, 1986/87 y 1989/90. Se observa que no todos los años fueron adversos a los cultivos:

ESTIMACION DE PERDIDAS POR CAMPAÑAS (*)

| Cultivo tipo | 1982/ 1983 | 1983/ 1984 | 1984/ 1985 | 1985/ 1986 | 1986/ 1987 | 1989 1990 |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Cebada Grano | 1.2 | 0,2 | -- | 0.8 | 0.3 | 2.0 |
| Quínua | 1.4 | -- | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.7 |
| Papa | 24.5 | 1.1 | -- | 3.2 | 14.1 | 18.1 |
| Oca | 1.5 | -- | 0.7 | -- | 0.2 | 1.4 |
| Mashua | 0.1 | -- | -- | -- | -- | 0.1 |
| Haba grano seco | 0.5 | 0.1 | -- | -- | -- | -- |
| Cebada forr. | 4.0 | -- | -- | 1.2 | 1.8 | 3.7 |
| Avena forra. | 5.2 | 0.2 | -- | 1.7 | 2.8 | 5.3 |
| TOTAL | 38.4 | 1.6 | 2.1 | 8.1 | 20.3 | 32.2 |

* Valores en millones de dólares de noviembre 1991

Se debe considerar de que en la campaña 1983/84 se sembraron superficies menores que lo normal, presumiblemente por falta de semillas. No se puede considerar el valor de la producción faltante como pérdida, porque si no se tuvo producción, tampoco se gastó en insumos. Según estudios de factibilidad realizados en la mitad de la decada pasada,

se indicó un monto para insumos, (físicos, excluyendo la mano de obra) entre el 50% y 60% del valor de la producción en el caso de la papa y del 29% en el caso de la quinua, que son los cultivos cuya superficie sembrada presentan disminuciones importantes con respecto a los promedios; se sembraron 21.681 ha de papa y 1.407 ha de quinua frente a 41.834 ha y 15.945 ha respectivamente de superficies sembradas promedio.

El valor bruto de producción esperada (expectativa), en la campaña 1983/84 de papa sería de 14,3 millones de dólares, eliminando un 50% por concepto de insumos no gastados se tiene, redondeando, US\$ 7,2 millones.

Para la quinua el resultado esperado sería de 175 mil dólares y, restando un 30% por insumos, llegaríase a 122 mil dólares.

A las pérdidas para 1983/84 del cuadro anterior se tendría que añadir pues unos 7,3 millones de dólares, que llevan el total a 8,9 millones.

Considerando que los cultivos seleccionados sólo abarcan el 84% de la superficie promedio sembrada en el período, el valor calculado de los daños tendría que incrementarse en un 16%, si se supone que los cultivos excluidos (pastizales que no fueron seleccionados como cultivos tipo), tienen el mismo valor que los seleccionados.

Sin embargo, como los cultivos excluidos son sobretodo cultivos forrajeros (alfalfa y otros pastos cultivados), y en vista del grado de aproximación de las estimaciones que preceden, se han incrementado los resultados de los cálculos en un 10%, como se muestra en el cuadro siguiente que resume la valoración de daños en dólares de fines de 1991:

Pérdidas causadas por eventos extremos, entre 1980 y 1990, en el sector peruano del sistema T.D.P.S.

| Evento extremo | Millones de US\$ de 1991 | |
|---|--------------------------|------|
| | (1) | (2) |
| Sequía 1982/83 | 36,3 | 42,2 |
| Impacto de la sequía del año anterior sobre 1983/84 | 13,3 | 9,8 |
| Inundación 1985/86 - 1986/87 | 18,7 | 31,2 |
| Sequía 1989/90 | 36,3 | 35,4 |

- (1) Con base en promedio en valor 1979/1990, excluyendo 1982/83, 1986/87 y 1989/90
 (2) Con base en superficies no cosechadas y reducción de rendimientos

Con el mismo criterio, que fué adoptado para la parte peruana del Proyecto, en el sector **boliviano** se ha calculado el valor bruto promedio "normal" de la producción, para el período en examen, con exclusión de los años críticos 1982/83 y 1989/90. En el caso del altiplano central (La Paz y Oruro), parece justificado excluir también el año 1988/89, en vista de que ya entonces las lluvias fueron en un 30% menores que el promedio 1943-84. De acuerdo con un informe de MACA (Ministerio de Asuntos Campesinos y

Agropecuarios): "Evaluación de los efectos de la sequía sobre los cultivos agrícolas", el promedio de precipitación anual 1943-84 fué de 426 mm; en 1988/89 el total de lluvias fué de 307 mm y en 1989/90 de 277 mm.

Los promedios de producción utilizados para comparaciones fueron: altiplano norte Bs 597 millones, altiplano central (La Paz), Bs 689 millones y altiplano central (Oruro), Bs 617 millones. (Bs = bolivianos). Se ha considerado la diferencia entre dichos promedios y el valor bruto de la producción, de los años cuando ocurrieron eventos extremos, como valoración de las pérdidas provocadas por esos mismos eventos. Con base en ese criterio se han obtenido las estimaciones de pérdidas que se indican a continuación.

**Pérdidas causadas por las sequías ocurridas entre 1980 y 1990
sobre la agricultura del altiplano boliviana**

| Evento extremo | La Paz | | Oruro | Total | |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|
| | Altiplano Norte \$b Millones | Altiplano Central \$b Millones | Altiplano Central \$b Millones | \$B Millones (1980) | US\$ Millones (1991) |
| Sequía de 1982/83 | 349 | 400 | 477 | 1.226 | 53,0 |
| Sequía de 1988/89 | 7 | 203 | 79 | 358 | 15,5 |
| Sequía de 1989/90 | 233 | 380 | 256 | 869 | 37,6 |

Las precipitaciones extraordinarias de 1985/86 no tuvieron efectos negativos sobre la agricultura del altiplano boliviano en su conjunto. Es cierto que en las áreas aledañas al lago Titicaca se perdieron muchas hectáreas de cultivos, así como también en otras de pastos (ej. Oruro, hasta por varios años); pero la abundancia de lluvias favoreció otras partes del altiplano donde domina la agricultura de secano y escasean las lluvias; estas áreas se beneficiaron de las precipitaciones excepcionales del mismo año y, con su producción acrecentada, compensaron las pérdidas de las áreas inundadas por el Titicaca. Es posible, sin embargo, intentar atribuir un valor a las pérdidas registradas en las riberas del lago, multiplicando un valor bruto presumido de producción por hectárea por el número de hectáreas que se estiman total o parcialmente perdidas.

Para el altiplano norte (La Paz) la valoración, a precios de 1980, de toda la producción de los diferentes cultivos, durante los 12 años considerados, (1980/91), dividida por el total de las hectáreas cultivadas en el mismo período, arroja un promedio de cerca de 10.900 Bs (de 1980)/ha o sea, 470 US\$ (de 1991)/ha aproximadamente. Es obvio que esas hipótesis de trabajo reflejan la distribución media de cultivos durante los últimos doce años y no necesariamente la que existía en las zonas inundadas en 1986. De todos modos, con base en la estimación oficial (Defensa Civil) de 15.271 ha totalmente y 9.220 ha parcialmente perdidas (a las que se atribuyó un valor bruto de producción igual al de media hectárea), se puede llegar a una evaluación algo grosera de pérdidas, por subida del nivel del lago Titicaca, de 9,4 millones de dólares (1991).

Siguiendo la misma sistemática que para el altiplano norte, una evaluación para el altiplano central del departamento de Oruro (210 ha pérdidas totalmente y 1.290 parcialmente), lleva a unas pérdidas de 367.650 US\$ (1991).

El total de pérdidas en la agricultura, en el altiplano boliviano, debido a las inundaciones de 1985/86, lleva a un valor aproximado de US\$ 10 millones (1991).

Ganadería

La ganadería alto-andina aprovecha la existencia de grandes extensiones de pastos naturales en el altiplano. Las actividades pecuarias contribuyen con un 48% al producto interno bruto de la **subregión de Puno** (de acuerdo a lo calculado para el trienio 1985-1987, últimos años de los que la Dirección Nacional de Cuentas del Instituto de Estadística e Informática del Perú poseen información).

Los principales efectos de la sequía en la ganadería alto-andina peruana son:

- Provoca escasez de pastos naturales, así como de forrajes naturales;
- Se incrementa la saca al forzarse ésta; así se tiene para la subregión de Puno:

Porcentaje de saca ganadera (%)

| <u>Saca</u> | <u>Normal</u> | <u>1983</u> | <u>1986</u> | <u>1990</u> |
|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| Vacunos | 18-20 | 33 | 19 | 28 |
| Ovinos | 16-18 | 36 | 20 | 40 |
| Alpacas | 8-10 | 12 | 8 | 11 |

- Provoca la aparición de enfermedades infecto contagiosas como la fiebre aftosa, carbunco endémico y fiebre de las alpacas;
- Genera una mayor infestación parasitaria (hidatosis y distomatitis entre otras), así como infestación de parasitosis externa (sarna y piojera);
- Provoca en la economía campesina la disminución de ingresos económicos por la pérdida y disminución de la producción en años sucesivos.

Es sabido que para la mayoría de los campesinos, el ganado es un capital de reserva al que se recurre sobre todo en casos de necesidad, como son las sequías y las inundaciones. Cuando se carece de la producción agrícola necesaria para el autoconsumo, y se precisa adquirir otros artículos necesarios para la alimentación o para el hogar en general, se venden más cabezas de ganado (inclusive reproductores y preñadas) de las inicialmente destinadas a la venta. Eso mismo se verificó por efecto de la sequía de 1983, que hizo necesario recurrir a la reserva de capital representada por el ganado, con tasas de saca más altas del promedio y a precios menos favorables.

Análisis del impacto de los eventos extremos en la ganadería

Las estadísticas registran una relativa recuperación de los niveles de producción, en los años posteriores a la sequía. La producción de lana de llama y alpaca parecen no haber sido afectados.

Para estimar las pérdidas en la ganadería del sector altiplánico peruano, se han utilizado las series históricas a "precios reales", es decir, deflacionadas con el índice de precios al consumidor de la ciudad de Puno, publicadas por INIAA-PISA (Serie Estudios Técnicos: Estudio Técnico nº 1, Puno 1990). Este estudio contiene evaluaciones del poder adquisitivo, es decir del supuesto valor real de las producciones, agrícolas y pecuarias, expresados con base del año 1979.

Los resultados de las evaluaciones se presentan en el cuadro a continuación (en millones de soles de 1979):

| | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 |
|------------------------------|--------|--------|-------|--------|
| a) Valor bruto de producción | 7.673 | 10.021 | 9.594 | 10.918 |
| b) Promedio 1980-82 | 9.125 | 9.125 | 9.125 | 9.125 |
| c) Superavit o déficit:(a-b) | -1.452 | 896 | 469 | 1.793 |

Al final se obtiene una pérdida de 1.452 millones de Soles de 1979, equivalentes a 6,9 millones de US\$ de fines de 1991; redondeando, US\$ 7 millones.

En el **sector boliviano** la sequía de 1983 repercutió sobre la actividad pecuaria del altiplano boliviano de forma muy fuerte, obligando a los campesinos a vender su ganado para cubrir sus necesidades básicas que no podían satisfacer con los cultivos perdidos.

El Ministerio de Asuntos Campesinos y Agripercuarios (MACA) dispone de informaciones sobre el número de cabezas, tasas de extracción, etc.; cabe subrayar que el valor de la producción se refiere a la carne, basada sobre una estimación del peso en camal, y del número de cabezas faenadas. Se trata por lo tanto de datos parciales, pero que permiten apreciar las variaciones a lo largo del período, al mismo tiempo que sólo permiten una valoración limitada, sea del valor de la producción o sea de las pérdidas. Como en el caso de Puno, el valor de la producción sufre un incremento en 1983, pero no muy fuerte, para bajar luego por debajo del anterior en el año siguiente a la sequía.

La principal consecuencia de la mayor tasa de extracción es obviamente la disminución del rebaño, lo que repercute sobre la capacidad de reproducción de los años siguientes. Sin embargo el menor ingreso de los años sucesivos, con respecto a los anteriores al de la sequía, no puede interpretarse totalmente como pérdida neta. Como se vendieron animales que todavía no alcanzaban el peso normal y, casi seguramente, a precios desfavorables, se llegó a una pérdida real, así como también descapitalización.

Pero por otro lado, en el año de la crisis, el ganadero cobró con antelación el ingreso (se puede decir actualizado) de algunos años futuros, si bien que ello no se aplique a la esquila de ovinos y camélidos. El cálculo del perjuicio neto requeriría más información de la disponible, por ejemplo, composición del rebaño por sexo y edades antes de 1983, correspondiente composición de la parte sacrificada, tasas de reproducción y mortalidad, precios, etc.

Como muestra se da una estimación de los perjuicios en la producción pecuaria causada por eventos extremos (millones de bolivianos de enero 1987):

| | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 |
|---------------------------------|------|-------|------|------|------|------|
| a) Valor bruto de la producción | 37,0 | 16,3 | 18,4 | 20,5 | 22,5 | 24,2 |
| b) Promedio 1980/82 | 27,3 | 27,3 | 27,3 | 27,3 | 27,3 | 27,3 |
| c) Superavit a déficit: a-b | 9,7 | -11,0 | -8,9 | -6,8 | -4,8 | -3,1 |

Se mencionó que el mayor ingreso de 1983 puede considerarse en algún modo como renta adelantada de la producción futura. La tercera línea del cuadro anterior contiene los valores de ganancia de 1983 y de pérdida presunta de producción de los cinco años siguientes a 1983. Si se actualizan esos déficits a 1983 con la tasa del 15%, seguramente inferior a la cargada a un campesino, pero probablemente aproximada al costo de oportunidad del capital en Bolivia, y se resta de ese total actualizado (Bs. 25,05 millones) el excedente de 1983 se obtiene una estimación de la pérdida de producción distribuida a lo largo del período 1984 - 1988 por causa de reducción y alteración de la composición de los rebaños que redujo la capacidad productiva: 15,35 millones de Bs de enero de 1987, que corresponden, en cifras redondeadas, a unos 9 millones de US\$ de fines de 1991.

Se ha evaluado el número de animales perdidos, es decir que no aparecen en los cómputos. Aparentemente toda la actividad pecuaria aparece afectada: 1% de los bovinos, 8,2% de los ovinos, 10,7% de las llamas y en particular la población alpaquera, de la cual un 12,4% resultaría perdida si bien es posible que en éste, como en los otros casos, parte del rebaño se haya trasladado a otros lugares en busca de agua y pastos, por lo que el daño efectivo podría ser menor. La valoración de esos animales perdidos basándose en el peso en camal indicado en las estadísticas MACA y los precios a enero de 1987 da un valor de Bs 6,84 millones (de enero de 1987), que corresponden a 4,0 millones de US\$ de fines de 1991. Se resalta que se trata solamente del (presumible) valor de la carne en carcasa y no de todo el valor de los animales. En total se llega a 9 + 4,0 = 13 millones de US\$ de fines de 1991, que tomando en cuenta las pérdidas de ingreso imputables a leche, esquila y quinto cuarto, se incrementaría a 16 millones.

En cuanto a las precipitaciones pluviales de 1985/86, no parecen haber afectado a la ganadería en su conjunto, continuando la recuperación de los efectos de la sequía de 1982/83, a pesar de las escasas precipitaciones de los años 1988/1989 y 1989/1990.

Conclusiones

Se han estimado los montos totales de daños globales ocasionados por eventos extremos (a nivel del complejo T.D.P.S.):

| | Sequía 1982-1983 | | | Inundaciones 1986-1987 | | | Sequía 1989-1990 | | |
|-------------|------------------|---------|-------|------------------------|---------|-------|------------------|----------|---------|
| | Perú | Bolivia | Total | Perú | Bolivia | Total | Perú | Bolivia | Total |
| Agricultura | 52,0 | 53,0 | 105,0 | 31,2 | 10,0 | 41,2 | 35,4 | (*) 53,1 | (**) 88 |
| Ganadería | 7,0 | 16,0 | 23,0 | - | - | - | - | - | - |

* Valores en millones de US\$ de noviembre de 1991

** Valores 88-89 + 89-90

De los resultados obtenidos, se puede concluir:

- Con relación a la magnitud de los perjuicios provocados por las inundaciones parece claramente, que los daños mayores, al mismo tiempo que más dramáticamente actuantes, se produjeron por la crecida del lago Titicaca y por lo tanto en sus propias riberas, lo que no excluye daños en otras partes del altiplano.
- Las pérdidas por sequías en la pasada década son más de 5 veces superiores a las producidas por las inundaciones, a pesar del carácter extraordinario de estas.
- Las sequías son los eventos extremos más frecuentes, así como los que producen los daños más graves en el sistema T.D.P.S., afectando principalmente al sector agropecuario, actividad principal de la población del altiplano.
- El diagnóstico de daños por eventos extremos ha intentado evaluar los daños sufridos durante la década pasada en el sector agrario entre otros. El trabajo tendría que completarse con un estudio de correlación para toda el área del Proyecto, o mejor aún por zonas con registros de pluviometría similares, entre precipitaciones y producción agrícola, y si es posible ganadera.

La idea sería relacionar, no ya la precipitación global o por meses de algunos años pasados con estadísticas de superficies sembradas o cosechadas, o ambas y las de producción, sino de correlacionar las precipitaciones pluviales por períodos no más que decadales, con las fechas de siembra y de las varias fases de desarrollo de las plantas, a fin de determinar el impacto directo de la pluviometría sobre las cosechas. Por supuesto que, si se dispone de información diaria, será posible efectuar balances hídricos con frecuencia mayor.

Un método para aplicar una correlación como la sugerida arriba ha sido elaborado por FAO con fines de previsión de cosechas para evaluar la situación de seguridad alimentaria de un país: el modelo permite cuantificar las pérdidas de producción por efectos de sequía. El método se encuentra descrito en: M. Freed y G.F. Popov: Pronóstico de

cosechas basado en datos agrometeorológicos. Estudio FAO, Serie Producción Protección vegetal nº 17 e ilustrado en: Javier Choquevilca R.: Análisis agroclimático de la sequía 1989-1990, Proyecto MACA/PNUD/FAO, Bol/88/021 - Documento de campo 25, La Paz, 1990.

Si bien el método es aplicable a datos de un solo año, sería deseable poderlo aplicar a series más largas, para lo cual se necesitarían estadísticas algo detalladas para cada año sobre fechas de cosecha en zonas delimitadas. Se confirmaría así la funcionalidad de método, pero sobre todo se podría con mayor certeza relacionar las frecuencias de precipitaciones pluviales diarias o semanales o decadales y el impacto de las mismas sobre la producción agrícola. Este análisis tendría un primer interés en mostrar el impacto que lluvias irregulares pueden tener sobre los cultivos; y un segundo, más específico; como la aplicación del método se basa sobre cálculos de evapotranspiración potencial, otros parámetros agrológicos relativos a las varias fases de desarrollo de las plantas, tendría que ser posible calcular: qué cantidad de agua sería suficiente para impedir el fracaso de una cosecha en un año con una frecuencia pluviométrica dada. En otras palabras, definir según las frecuencias pluviométricas observadas en períodos largos, qué cantidad, tal vez mínima, de agua sería suficiente para salvar una cosecha cada cuantos años.

En el caso de la ganadería la relación puede por un lado ser más directa ("si llueve hay pasto, si no llueve no hay"), pero por otro lado, la evaluación del poder nutritivo de los pastizales según las secuencias pluviométricas puede ser más difícil.

6.1.2 Efectos sobre el medio ambiente y la pesca

Existen indicios, según Imarpe-Puno, que señalarían que los grandes eventos extremos que ocurrieron entre 1980 y 1991 (sequías e inundaciones) podrían haber afectado significativamente la biomasa existente en el lago Titicaca.

Entre 1984 y 1985 se efectuaron estudios que incluyeron una evaluación electroacústica del potencial de biomasa existente (con pesca de comprobación), los cuales estimaron que en todo el lago existían aproximadamente 91.000 t de "stock" de las diferentes especies (52.000 t de ispi, 20.000 t de pejerrey, 13.000 t de trucha, y 6.000 t de otras especies). Adicionalmente la extracción fué estimada en 6.400 t (53% de pejerrey, 29% de karachi gris, 8% de karachi amarillo y 3% de trucha), lo que resultaba muy diferente de la extracción estimada en 1980 que fué de 8.300 t (75% de especies nativas: karachi gris y amarillo, 15% de pejerrey y 10% de trucha).

Estas diferencias se podrían explicar no solamente por las variaciones en el esfuerzo de pesca, que aparentemente habría ocurrido entre 1980 y 1985, sino principalmente como consecuencia de la sequía de 1983, que obligó a recurrir a la pesca para sobrevivencia, no sólo de las poblaciones circunlacustres, sino también de aquellas que de las partes más altas emigraron a las riberas del lago.

Adicionalmente, se ha indicado que factores ambientales podrían haber agravado esta situación, pues como el nivel del lago estuvo debajo de su nivel normal, se habrían reducido las áreas litorales, originando la descomposición de las macrófitas, y afectando las áreas de desove.

Se generó también un sobrepastoreo de la vegetación acuática adyacente a las márgenes del lago, lo que contribuyó a la reducción de las algas y a la modificación del lecho, destruyendo así las áreas de desove y consecuentemente reduciendo la población de peces.

Evaluaciones someras realizadás en 1990 han identificado que adicionalmente podría haber ocurrido una baja en la población del ispi entre 1985 y 1990, así como habría ocurrido una disminución de la pesca y un aumento significativo en la concentración de pejerrey y de trucha en la desembocadura del río Ramis, lo que se considera podría ser consecuencia de las inundaciones de 1986.

En el caso de la pesca en el sector boliviano, se tienen referencias de embarcaderos damnificados por las inundaciones y que los pescadores directamente interesados fueron afectados, no sólo en las instalaciones de tierra, sino también en sus viviendas y otros enseres, como lo fueron otros habitantes de la zona, sin embargo estos daños se evalúan conjuntamente con los sufridos por otras infraestructuras.

Las estadísticas publicadas por el Centro de Desarrollo Pesquero de MACA ("Estadísticas de Información Pesquera de Bolivia") no revelan caídas de producción que se puedan atribuir a los eventos pluviales) de 1985/86, en la zona del lago Titicaca (parte boliviana); la producción bruta del lago entre 1980 y 1989, fué registrada como se indica a continuación (en toneladas):

| <u>1980</u> | <u>1981</u> | <u>1982</u> | <u>1983</u> | <u>1984</u> | <u>1985</u> | <u>1986</u> | <u>1987</u> | <u>1988</u> | <u>1989</u> |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 594 | 599 | 1127 | 982 | 991 | 750 | 1005 | 750 | 820 | 914 |

Por otro lado las inundaciones del año 1986 produjeron un efecto benéfico en los recursos hidrobiológicos (pesca) del lago Poopó, al aumentar significativamente los niveles de agua, lo que trajo una mejora significativa en la calidad de la misma principalmente en lo que atañe a salinidad y contaminación.

6.1.3 Infraestructuras

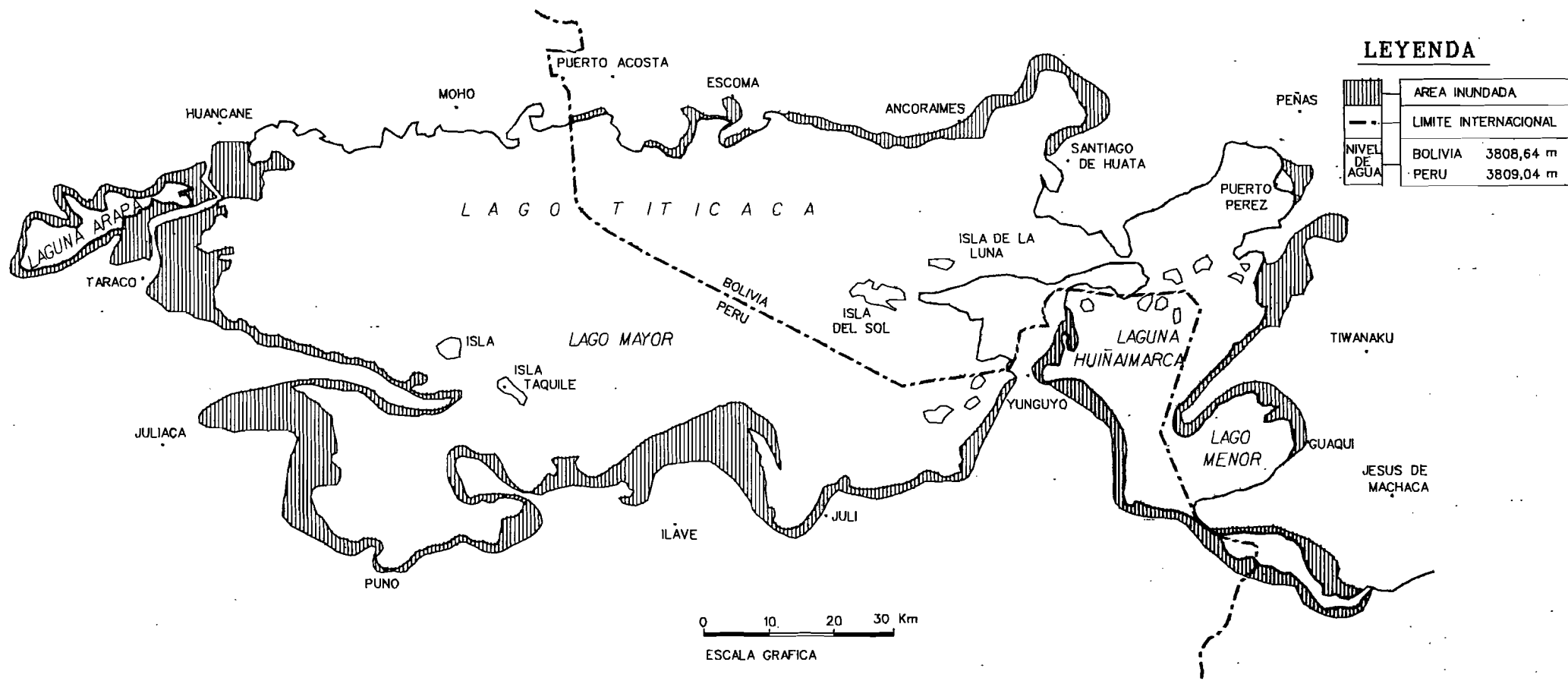
Viviendas

Las áreas con mayor número de viviendas afectadas por las inundaciones de 1986-87, fueron las localizadas en las riberas del lago Titicaca, en donde se ubica la mayor parte de la población y la actividad agrícola, (Figura 40).

Las principales ciudades peruanas localizadas en el área lacustre son: Puno, Desaguadero, Juli, Pomata, Yunguyo y Huancané.

En las áreas urbanas, las zonas urbano-marginales fueron las más afectadas. Las inundaciones de marzo de 1986 provocaron en la ciudad de Puno un significativo deterioro de los sistemas de agua potable y alcantarillado, ocasionado por las grandes precipitaciones pluviales y el desborde de las quebradas afluentes, debido al remanso

FIGURA 40: AREAS INUNDADAS POR LA ELEVACION DEL NIVEL DEL LAGO TITICACA - 1986 - 87



producido por los niveles altos del lago. En estas áreas urbanas, el número de distritos damnificados identificados fueron 25, con una población total afectada de aproximadamente 20.000 habitantes.

La ciudad de Puno, que fué la más afectada de las localidades del altiplano peruano, llegó a tener 29 barrios inundados con 1.025 familias damnificadas, 291 viviendas derrumbadas y 420 medianamente dañadas.

El total de viviendas urbanas afectadas llegaron a 3.205, lo que significó el 5,5% del total de viviendas del ámbito urbano departamental.

En el área rural, el número de asentamientos poblacionales afectados en 1986 fueron aproximadamente 278 entre parcialidades, comunidades o sectores, con una población damnificada de aproximadamente 150.000 habitantes. Las provincias más afectadas, en orden de magnitud fueron: Chucuito (40%), Huancané (22%), Puno (20%) Azángaro (9%), San Román (5%), y Yunguyo (4%).

En el medio rural, como las viviendas generalmente tienen una estructura muy débil (adobe y barro) muchas se perdieron prácticamente en su totalidad, como fué el caso, de los distritos circunlacustres de Pilcuyo y Coata.

La estimación de las viviendas afectadas en el ámbito rural fué de 20.015, que significa el 13,3% del total de las viviendas rurales.

Una evaluación cuantificada de los daños ocasionados (elaborada por el Ministerio de Vivienda y Construcción en mayo de 1986), es la siguiente:

| Ambito | Total de viviendas | Viviendas afectadas | % | Valor de daños Millones Intis (1986) | Valor de daños Millones Dólares (1991) |
|--------|--------------------|---------------------|------|--------------------------------------|--|
| Urbano | 58.136 | 3.205 | 5,5 | 144,2 | 12,2 |
| Rural | 150.794 | 20.025 | 13,3 | 600,4 | 50,8 |

En el territorio boliviano, según datos de la Dirección General de Defensa Civil, se tuvieron 3.367 viviendas destruidas y 4.135 dañadas (más o menos gravemente) en el departamento de La Paz, en su mayoría en las riberas del lago; mientras que la misma fuente nos proporciona información correspondiente para el departamento de Oruro, en el que los daños parecen haber sido relativamente modestos, con un total de familias afectadas (en cultivos y/o viviendas) de 924, frente a casi 34.000 en el departamento de la Paz.

La valoración de daños sufridos en las viviendas (rural y urbana), fué de US \$ 7,0 millones.

Educación

El 70% de los centros educativos de la subregión Puno se encuentran ubicados en las zonas rurales y su construcción es de adobe, prácticamente sin ninguna protección; por

esta razón, casi todos los centros que se encontraban en las áreas inundadas durante 1986 (prácticamente en su totalidad) resultaron afectados.

El Ministerio de Educación evaluó los daños sufridos en 1986 en los 153 centros educativos afectados, ya sea por desbordes del lago o por exceso de precipitaciones. Asimismo indicó que se requeriría la reubicación de 431 aulas por haber sido destruidas totalmente, la reconstrucción de 389 aulas y la refacción de 1.060 aulas, todo lo cual fue estimado en un costo total de 121,7 millones de intis (equivalente a US\$ 10,3 millones de fines de 1991).

En la parte boliviana los edificios escolares sufrieron daños en varias provincias del departamento de La Paz. A partir de informaciones procedentes de Defensa Civil, se tiene un listado de casi 70 escuelas o colegios para los cuales se pidió su reconstrucción o, con más frecuencia, material para remediar los daños con el trabajo de los propios vecinos. Algunas de esas edificaciones, pueden haber sido de tamaño considerable, pero parece razonable atribuirles un valor medio igual al de las viviendas rurales aunque cercadas y constituidas por más edificaciones. Se ha llegado a una valoración para las 70 escuelas, de US\$ 200.000.

Saneamiento

La ciudad de Puno enfrentó en 1986 el gran problema de la evacuación de las aguas pluviales, particularmente de las aguas servidas. La elevación del nivel del lago dejó inutilizado el sistema de desagües en las zonas ribereñas al lago, con el consiguiente peligro de salud para la población. Asimismo, la planta de tratamiento de agua de Aziruni se inundó, por lo que los pozos de captación tuvieron que ser desactivados. También las obras para la captación de agua directamente del lago (en la zona Chimu) que alimenta la planta de tratamiento, quedaron paralizados, siendo requerido su replanteamiento.

En la ciudad de Juliaca se presentaron problemas para la evacuación de las aguas pluviales y de las aguas servidas, debido a que el relieve de la ciudad es llano y no existe un adecuado sistema de drenaje, así como a que el sistema de desagüe sufrió daños afectando la laguna de oxidación.

La entidad a cargo de los sistemas de agua potable y alcantarillado (SENAPA) valorizó los costos de rehabilitación y reparación de las redes de agua y desagüe de Puno, Juliaca y Huancané en 30.500.000 intis, lo que equivale a US\$ 2,6 millones de fines de 1991.

Transporte Vial

Las inundaciones de 1986 causaron daños a la infraestructura de transportes generando aislamiento entre los diversos centros poblados del interior del **sector peruano** altiplánico (Huancané, Moho, Cuyo Cuyo y Sandia).

Las interrupciones fueron causadas por derrumbes en los taludes de los caminos (en la red vial de parte alta de la subregión), y por inundaciones en la red vial de la parte circunlacustre.

Los principales tramos de carreteras que sufrieron interrupción por inundaciones en 1986 fueron:

| | | | |
|---|--------------------------------|-----|----|
| - | Taraco (Puquis) - Huancané | 17 | km |
| - | Vilquechico - Moho - Conima | 75 | km |
| - | Arapa - Chupa | 26 | km |
| - | Zepita - Yunguyo | 21 | km |
| - | Yunguyo - Unicachi - Sigualaya | 22 | km |
| - | Pilcuyo - Cachipucara | 19 | km |
| - | Plateria - Pallalla - Perca | 25 | km |
| - | Acora - Jayujayu - llave | 35 | km |
| - | Capachica - Coata - Huata | 8 | km |
| - | Puno - Juliaca (Paucarcolla) | 2,2 | Km |

Adicionalmente fué necesaria la protección con defensas de enrocamiento, en la carretera Puno-Desaguadero, en las cercanías de Chucuito, Pomata y Desaguadero.

La valoración de los daños directos causados en infraestructuras de transporte por las inundaciones de 1986 (en términos de costos necesarios para la rehabilitación de la red vial dañada) se ha estimado en 2,29 millones de intis equivalentes a US\$ 190 mil (1991).

Los más importantes tramos de carreteras afectados por las inundaciones de 1986 en el **sector boliviano** fueron: Huarina-Batallas; Huarina-Puerto Acosta, Huarina-Tiquina, Desaguadero-Tiawanaco y Tiawanaco-Península Taraco.

En el Servicio Nacional de Caminos (S.N.C.) de Bolivia se ha obtenido una estimación de los daños sufridos en las zonas inundadas y del costo, a precios recientes y en dólares, de las obras de rehabilitación, levantamiento de la plataforma, pequeñas variaciones de trazado, construcción de alcantarillas, etc.. La estimación de los daños llegó a un total de 200 mil dólares.

Transporte ferroviario y acuático

La elevación de nivel del lago en 1986, inundó tramos de vía férrea; el servicio ferroviario fué afectado en el tramo Puno - Juliaca. Esto motivó la suspensión del servicio férreo entre estas dos ciudades, que quedaron comunicadas, en la época, sólo por carretera.

Los puertos de Puno y Guaqui también fueron afectados por elevación del nivel del lago y dejaron de operar. Pero de la misma forma que para el caso del ferrocarril, el servicio fué sustituido por transporte vial entre Puno y Bolivia, por lo que no se han identificado perjuicios significativos.

Los gastos de recuperación de ambos puertos fueron: Puno US\$ 300.000 y Guaqui US\$ 200.000, en valores de noviembre de 1991.

Total de pérdidas en Infraestructuras

Se presenta a continuación un resumen de los daños a infraestructuras imputables a "eventos extremos" de la década de 1980-90 en el área del complejo TDPS (millones de dólares noviembre 1991):

| Infraestructuras | INUNDACIONES 1986-1987 | | |
|------------------------------|------------------------|------------|-------------|
| | Perú | Bolivia | TOTAL |
| - Vivienda y otros edificios | 63,0 | 7,0 | 70,00 |
| - Educación | 10,3 | - | 10,3 |
| - Saneamiento | 2,6 | - | 2,6 |
| - Transporte Vial | 0,2 | 0,2 | 0,4 |
| - Transporte ferroviario | 0,3 | 0,2 | 0,5 |
| TOTAL | 76,4 | 7,4 | 83,8 |

6.2 EVALUACION DE DAÑOS INDIRECTOS

Como consecuencia en la reducción agropecuaria y de los daños originados a las infraestructuras (principalmente por las inundaciones), se considera que se han producido:

- Reducción en las actividades agroindustriales, de transportes, y de elaboración de insumos agrícolas (principalmente fertilizantes);
- Reducción en las actividades turísticas, especial en la actividad hotelera, Puno, Huatajata, otros).
- Incrementos de la migración campesina (en especial entre 1983 y 1989) hacia la costa peruana, (Arequipa y Tacna) y a El Alto y zona de producción de coca en la parte boliviana.
- Probables impactos ambientales por concentración de contaminantes y sales (en periodos de sequías) en los cuerpos de agua, erosión causada por las lluvias fuertes concentradas, y por la desestabilización de zonas de desove de los lagos Titicaca y Poopó por remoción de vegetación (totora, llachu) debido a incremento de la extracción, y a variaciones rápidas en los niveles lacustres.

Sin embargo, la cuantificación de estos efectos no ha sido posible por la carencia de información y publicaciones.

Como efectos indirectos positivos consideramos la regeneración de los lagos de la región sur, principalmente el lago Poopó, como consecuencia de las aportaciones fluviales extraordinarias en las crecidas de 1986-87.