



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.)**

AUTORIDAD BINACIONAL LAGO TITICACA	
A.B.T.	
Nº Inv:	
Nº MFN:	1101
Nº Ejem:	
Adquirido por:	
Precio:	
Fecha:	14/03/07

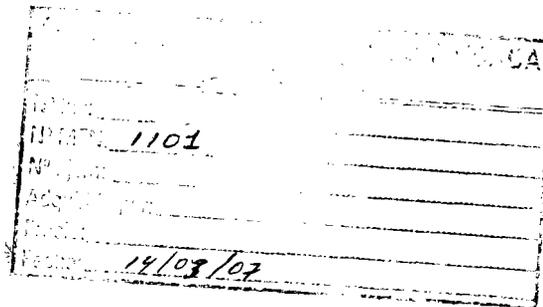
ESTUDIOS DE GEOMORFOLOGIA

Julio 1993



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

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



ESTUDIOS DE GEOMORFOLOGIA

Julio 1993

I N D I C E

	Pag.
1. <u>INTRODUCCION</u>	1-1
1.1 LA REGION DEL PROYECTO	1-1
1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO	1-2
2. <u>RESUMEN</u>	2-1
3. <u>DOCUMENTOS Y TECNICAS DE TRABAJO</u>	3-1
3.1 DOCUMENTACION DE TRABAJO	3-1
3.1.1 <u>Imágenes de satélite</u>	3-1
3.1.2 <u>Fotografías aéreas</u>	3-2
3.1.3 <u>Mapas topográficos</u>	3-3
3.1.4 <u>Documentación Geológica y Geomorfológica</u>	3-4
3.2 TECNICA DE PREPARACION DE LOS MAPAS GEOMORFOLOGICOS	3-5
3.2.1 <u>Estudio regional, Sistema TDPS</u>	3-5
3.2.2 <u>Estudio local, cuenca del Desaguadero</u>	3-7
3.2.3 <u>Controles en el Terreno</u>	3-8
4. <u>METODOLOGIA</u>	4-1
4.1 GENERALIDADES	4-1
4.2 CRITERIOS DE DEFINICION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	4-2
4.3 FACTORES QUE CARACTERIZAN LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS	4-2
4.3.1 <u>Substrato geológico</u>	4-2

	Pag.
4.3.2	<u>Erosión</u> 4-5
4.3.3	<u>Formas del relieve</u> 4-8
4.3.4	<u>Clima</u> 4-9
4.4	REPRESENTACION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS 4-10
5.	<u>CUENCA DEL DESAGUADERO</u> 5-1
5.1	GENERALIDADES 5-1
5.2	DESCRIPCION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS 5-2
5.2.1	<u>Unidades relacionadas con los depósitos de cobertura y con los procesos fluvia- les actuales y recientes</u> 5-3
5.2.2	<u>Unidades de la terraza fluvio-lacustre</u> 5-9
5.2.3	<u>Unidades de la colina</u> 5-13
5.2.4	<u>Unidades de la meseta volcánica</u> 5-16
5.2.5	<u>Unidades de la montaña media</u> 5-19
5.2.6	<u>Unidades de la montaña alta</u> 5-23
5.3	CONSIDERACIONES GENERALES ACERCA DE LA CUENCA 5-24
5.3.1	<u>Sub-área Desaguadero Norte</u> 5-24
5.3.2	<u>Sub-área Mauri</u> 5-25
5.3.3	<u>Sub-área Desaguadero Central</u> 5-26
5.3.4	<u>Sub-área Llanura Fluvio-Lacustre</u> 5-27
5.3.5	<u>Sub-área Vertiente Oriental</u> 5-28
6.	<u>SISTEMA TDPS</u> 6-1
6.1	GENERALIDADES 6-1
6.2	UNIDADES GEOMORFOLOGICAS 6-2

	Pag.	
6.3	CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL SISTEMA TDPS	6-4
6.3.1	<u>Cuenca del Lago Titicaca</u>	6-5
6.3.2	<u>Cuencas del río Desaguadero y del Lago Poopó</u>	6-9
6.3.3	<u>Cuenca del Salar de Coipasa</u>	6-11
7.	<u>CONCLUSIONES</u>	7-1
7.1	SITUACIONES DIFUNDIDAS EN TODO EL SISTEMA TDPS	7-2
7.2	CUENCA DEL LAGO TITICACA	7-3
7.3	CUENCAS DEL RIO DESAGUADERO Y DEL LAGO POPOO	7-4
7.4	CUENCA DEL SALAR DE COIPASA	7-6

1. **INTRODUCCION**

1.1 **LA REGION DEL PROYECTO**

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

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

La superficie del Sistema T.D.P.S. es de 143.900 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 forman el sistema son las siguientes:

- Lago Titicaca:
 - . cuenca vertiente 56.270 Km²
 - . superficie media (del lago) 8.400 Km²
 - . nivel medio del lago 3.810 m.s.n.m.

- Río Desaguadero:
 - . cuenca vertiente 29.843 Km²
 - . longitud del cauce 398 Km²
 - . pendiente media 0,45 ‰

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

- . Del Km 0 al Km 63: Llanuras anchas (del Puente Internacional a Nazacara);
 - . Del Km 63 al Km 226: Zona montañosa (de Nazacara a Chilahuala);
 - . Del Km 226 al Km 398: Llanuras de inundación (de Chilahuala al lago Poopó).
- Lago Poopó:
 - . cuenca vertiente 24.829 Km²
 - . superficie media (lago Uru Uru

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

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

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

La densidad de la población rural en la parte norte de la región del Proyecto, es relativamente alta, sobre todo a orillas del Lago Titicaca (llegando hasta 120 hab/km²) y también en el eje norte-sur, constituido por el río Desaguadero, en las cercanías del curso de agua.

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

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

1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO

El presente informe forma parte del estudio integral, que tiene como meta final la elaboración de un Plan Director Global Binacional de protección, prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del

sistema T.D.P.S. (lago Titicaca, río Desaguadero, lago Poopó y Salares).

El estudio geomorfológico tiene entre sus objetivos principales proporcionar información básica a la investigación hidrogeológica y fluviomorfológica.

A fin de satisfacer estos objetivos, el estudio ha sido conducido a dos niveles de detalle:

- Investigación regional de todo el sistema formado por el lago Titicaca, el río Desaguadero, el lago Poopó y el Salar de Coipasa (Sistema TDPS), con una superficie total de 143.900 km² (de los cuales 12.000 ocupados por agua). Para este fin ha sido preparado un Mapa Geomorfológico a escala 1:250.000.
- Investigación local, de la cuenca del río Desaguadero, con una superficie total de 26.000 km², y preparación de un Mapa Geomorfológico a escala 1:100.000.

FIGURA 1.1 UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

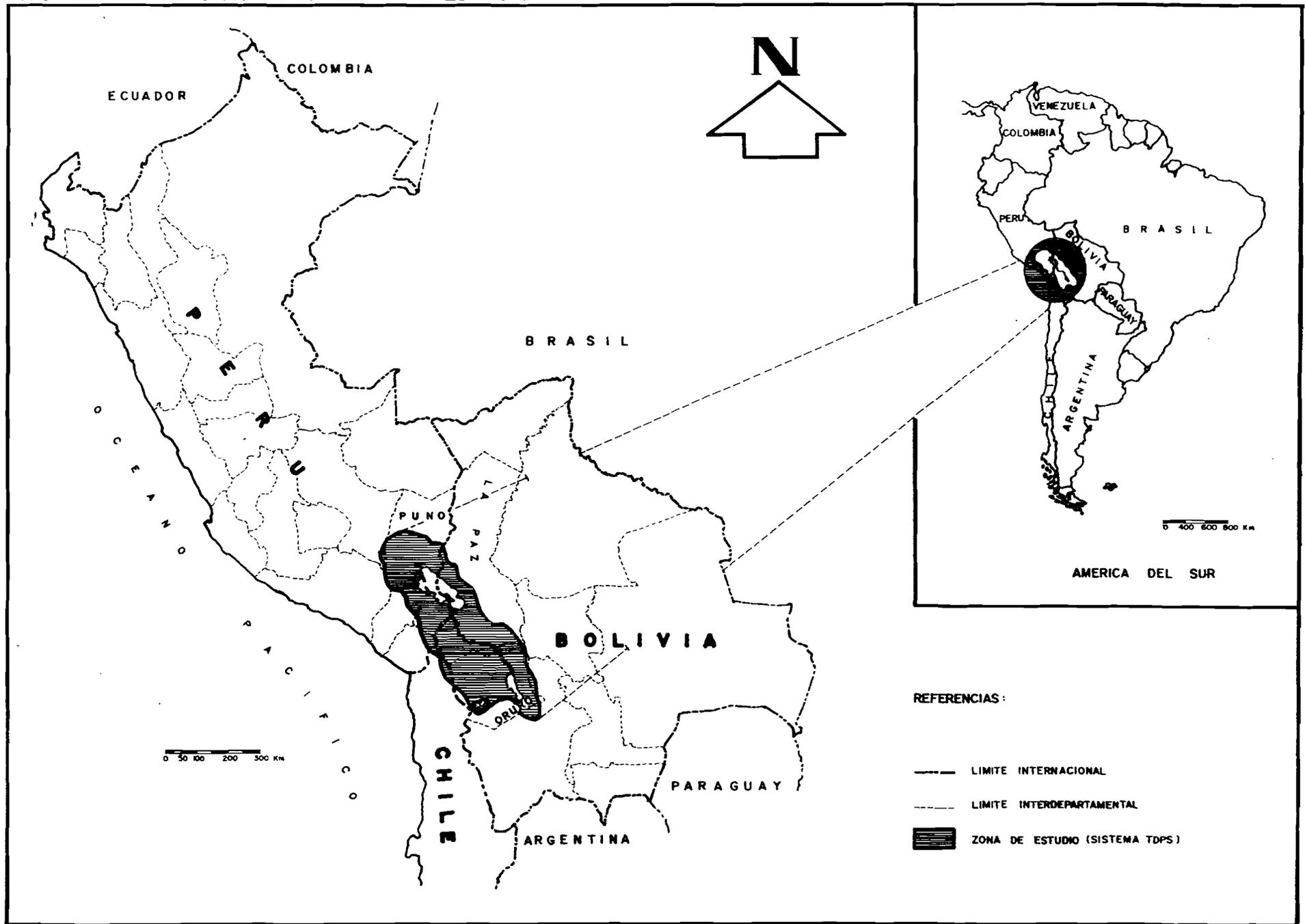
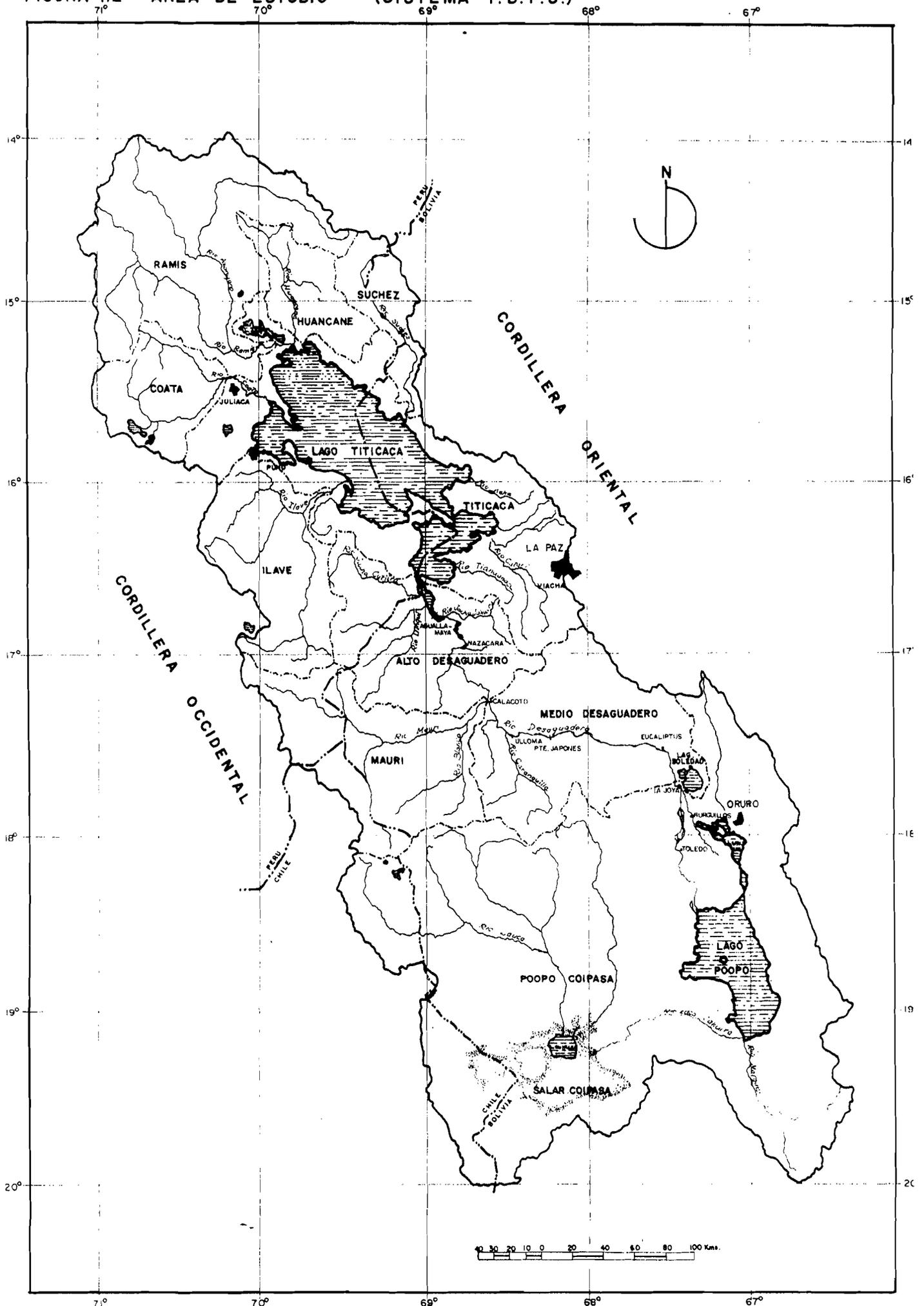


FIGURA 1.2 AREA DE ESTUDIO (SISTEMA T.D.P.S.)



2.-

RESUMEN

El estudio geomorfológico se ha desarrollado en dos niveles o sea:

- Investigación regional de toda la cuenca endorreica formada por el Lago Titicaca, el río Desaguadero, el lago Poopó y el Salar de Coipasa (Sistema T.D.P.S.), con una superficie total de 143.900 Km², de los cuales 12.000 ocupados por agua. Con esta finalidad ha sido preparado un Mapa Geomorfológico a escala 1:250.000;
- Investigación local, en la cuenca del 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, para el Sistema TDPS
- Fotografías aéreas, para la cuenca del Desaguadero
- Mapas topográficos

Las imágenes utilizadas son las del satélite LANDSAT 5 elaboradas por "Instituto de Pesquisas Especiais" (INPE) de San Paulo (Brasil). La cobertura de la totalidad del área del sistema está constituida por 12 escenas (Figura 1).

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 a 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 es la composición a colores, sobre un soporte fotográficos de los canales 4, 5 y 3, representados, respectivamente, por el rojo, el verde y el azul.

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

- . 1.315 Bolivia, de la década de los '60, a escala 1:60.000
- . 372 Bolivia, de 1983, a escala 1:45.000
- . 351 Perú, de 1955, a escala 1:50.000

Más de 80% de las fotografías aéreas tienen más de 30 años y el resto alrededor de 10; no obstante las imágenes Landsat han permitido desviar gran parte de los inconvenientes derivados de la edad de las fotos.

Los mapas topográficos han sido:

- . a escala 1:250.000, que cubren el área de estudio con 12 hojas de 1° x 1° 30';
- . a escala 1:50.000 de Bolivia y a escala 1:100.000 de Perú para el estudio más detallado de la cuenca del Desaguadero.

Dado que los objetivos principales del proyecto conciernen 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 en 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 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, considerando esencialmente como litología y como posición estructural;
- Erosión, evaluando el grado del ataque erosivo real al que se ve sometido un paisaje y la evolución del fenómeno en términos de progresos del modelado.
- Formas de relieve, que representan el resultado de la historia evolutiva de la región, condicionados por los factores ya ilustrados, es decir, el substrato geológico y su grado de modelado;
- Clima, a pesar que su papel en la definición de las unidades geomorfológicas es sólo indirecto, él constituye un factor muy importante porque condiciona la influencia de los factores del modulado.

La representación de las unidades geomorfológicas se ha diferenciado en super-unidades y sub-unidades. Las super-unidades han sido definidas en base a elementos comunes predominantes, mientras las sub-unidades se definieron en base a los valores de la erosión.

En conclusión a nivel de los aspectos generales del conjunto del Sistema TDPS, que condicionan la evaluación de los fenómenos observados especialmente en términos de evolución a largo plazo, se puede observar lo siguiente:

- 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 exasperan 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 frecuentemente. Los efectos de estos fenómenos se ven acentuados por la ausencia casi total de una cobertura forestal.

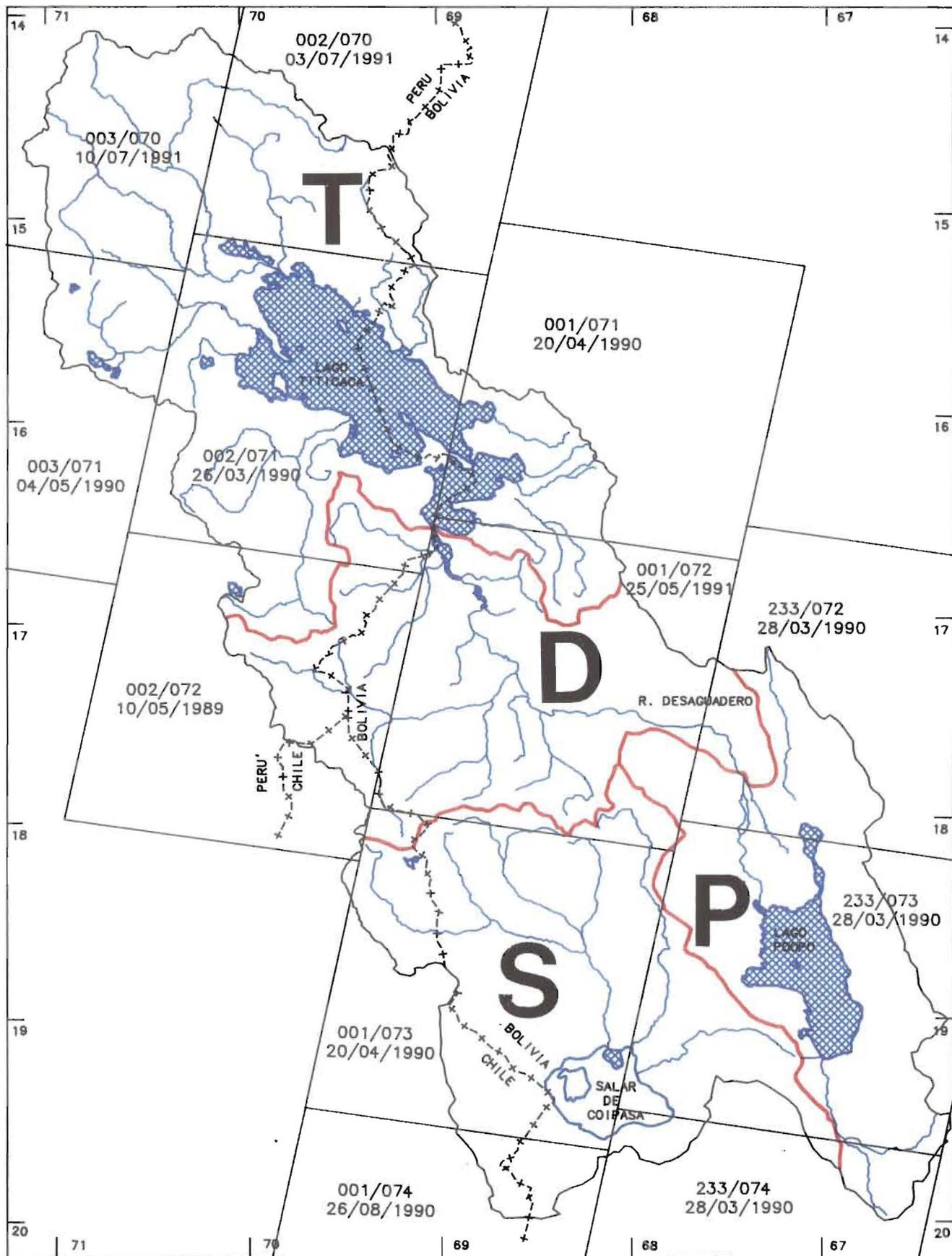


Fig.1 - Cuadro de unión de las imágenes Landsat.

3. DOCUMENTOS Y TECNICAS DE TRABAJO

En la realización del estudio geomorfológico han sido aprovechadas de manera importante las posibilidades que ofrece la telepercepción, integrada con el análisis crítico de la documentación existente y los controles en el terreno.

3.1. DOCUMENTACION DE TRABAJO

Los dos niveles de detalle del estudio, es decir, la investigación regional del Sistema TDPS -a escala 1:250.000- y la investigación local de la cuenca del Desaguadero -a escala 1:100.000- corresponden a dos tipos diferentes de documentos de base utilizados en la fotointerpretación:

- Imágenes de satélite, para el Sistema TDPS
- Fotografías aéreas, para la cuenca del Desaguadero

3.1.1. Imágenes de satélite

Las imágenes utilizadas son las del satélite *Landsat 5*, elegidas entre las mejores 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 escenas. En la figura 1 se muestra la posición de las imágenes seleccionadas, con el correspondiente número de referencia según el sistema de identificación WRS, y la fecha de obtención.

Como se puede notar, a excepción de una, todas las imágenes han sido obtenidas entre marzo de 1990 y julio de 1991. Nueve imágenes corresponden al otoño (marzo-mayo) y sólo tres son invernales (julio-agosto).

Las imágenes utilizadas para el trabajo son las obtenidas por medio del sensor *Thematic Mapper* (TM) del Landsat. Se trata de un barredor multiespectral, con resolución geo-

métrica de 30 m a 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 es la composición a colores, sobre un soporte fotográfico de los canales 4, 5 y 3, representados, respectivamente, por el rojo, el verde y el azul. Esta composición constituye un producto relativamente standard para las aplicaciones en los estudios territoriales. En efecto, el canal 3 (0.63-0.69 micrometros de longitud de onda: banda espectral de la luz roja) es particularmente útil para poner en evidencia el suelo desnudo; el canal 4 (0.76-0.90 micrometros: infrarrojo cercano) corresponde al máximo de reflectancia de la masa verde de vegetación; mientras que el canal 5 (1.55-1.75 micrometros: infrarrojo cercano) corresponde a otro pico de reflectancia de la vegetación, pero es fuertemente influenciado por el grado de humedad del terreno.

En síntesis, los tres canales espectrales elegidos, dado que están poco correlacionados entre sí, ofrecen la más alta variedad de información. Esto significa que su combinación en falsos colores ofrece igualmente una alta variedad de matices que ayudan al fotointerpretador a reconocer y diferenciar los particulares del terreno, tanto morfológicos como de cobertura.

Utilizando las películas positivas originales a escala 1:1.000.000 obtenidas en el INPE de San Pablo, se han preparado ampliaciones en papel fotográfico a colores, a escala 1:250.000, que han sido utilizadas directamente en la interpretación.

3.1.2. Fotografías áreas

En el estudio más detallado de la cuenca del Desaguadero han sido utilizadas las fotografías aéreas obtenidas en las oficinas competentes de Bolivia y Perú. La cobertura del área resulta constituida por un total de 2.038 fotografías, de las cuales:

- 1.315 Bolivia, de la década de los '60, a escala 1:60.000
- 372 Bolivia, de 1983, a escala 1:45.000
- 351 Perú, de 1955, a escala 1:50.000

Como puede observarse, más del 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 el curso del 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 toca 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.

3.1.3. Mapas topográficos

En un estudio geomorfológico los mapas topográficos representan un complemento indispensable, especialmente cuando el mismo se basa en imágenes de satélite. En efecto, los buenos mapas topográficos con curvas de nivel proporcionan la información altimétrica necesaria para evaluar justamente las formas del relieve. Además, las bases topográficas constituyen la mejor referencia para posicionar correctamente los datos interpretados a partir de fotografías aéreas e imágenes de satélite.

En el estudio del Sistema TDPS ha sido utilizado el mapa a escala 1:250.000, que cubre el área de estudio con 16 hojas de 1° x 1°30'. Estas hojas han sido reproducidas y reemsabladas con el objetivo de construir la base topográfica en formato A1, 12 hojas, sobre la que ha sido ploteado el Mapa Geomorfológico a escala 1:250.000.

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.

Por lo que respecta a la base del Mapa Geomorfológico a escala 1:100.000, se decidió preparar una base planimétrica simplificada, digitando los datos de los mapas topográficos mencionados anteriormente, reducidos y reemsamblados sobre un retículo de coordenadas UTM.

En efecto, los mapas topográficos de Bolivia a escala 1:50.000, reducidos a escala 1:100.000, habrían resultado demasiado densos y prácticamente ilegibles. Además, la diferencia de gráfica con respecto a los mapas de Perú, ya a escala 1:100.000, habría sido muy grande. La base del Mapa Geomorfológico de la cuenca del Desaguadero ha sido construida sobre 14 hojas de formato A1, cortadas según el reticulado UTM.

3.1.4. Documentación Geológica y Geomorfológica

Casi toda el área de proyecto dispone de buenos mapas geológicos a escala 1:100.000 o 1:50.000, algunos completados con notas explicativas, que han resultado de gran ayuda para comprender mejor la génesis de las formas del relieve y caracterizar las unidades geomorfológicas desde un punto de vista litológico.

Como referencias de carácter más regional han resultado de particular utilidad:

- El **Mapa Geológico del Departamento de Puno**, a escala 1:250.000, con nota explicativa.
- Los dos **Estudio Integrado de los Recursos Naturales** del Departamento de La Paz y del Departamento de Oruro, GEOBOL, 1985 y 1979, respectivamente, con mapas geomorfológicos y geológicos a escala 1:250.000. De estos estudios se han utilizado sobre todo los mapas geológicos, ya que las leyendas de los geomorfológicos mal se adaptan al tipo de clasificación adoptada considerando los fines del estudio.
- El **Mapa Geomorfológico de la cuenca del río Huancane (Puno)** a escala 1:200.000; también éste tenía una leyenda poco apropiada para los fines del estudio, pero resultó muy útil para controlar algunas clasificaciones y definiciones.

Además, han sido consultadas varias publicaciones, de las que citamos las más significativas:

- B. Dalmayrac, G. Laubacher, R. Marocco, *Caractères généraux de l'évolution géologique des Andes péruviennes*, Paris, ORSTOM, 1980.
- G. Laubacher, *Géologie de la Cordillère Orientale et de l'Altiplano au nord et nord-ouest du lac Titicaca*, Paris, ORSTOM, 1978.
- C. Martínez, *Structure et évolution de la chaîne andine dans le nord de la Cordillère des Andes de Bolivie*, Paris, ORSTOM, 1980.
- M. Milton Suárez, *Desplazamiento del río Desaguadero a través del tiempo* en Boletín del Servicio Geológico de Bolivia, 1989.
- B. Boulangé, E. A. Jaen, *Morphologie, hydrographie et climatologie du lac Titicaca et de son bassin versant* en Rev. Hydrobiol. Trop., 1981.
- Varios, *Evolution récente des hauts plateaux andins en Bolivie*, Paris, ORSTOM, 1978.

3.2. **TECNICA DE PREPARACION DE LOS MAPAS GEOMORFOLOGICOS**

La preparación de los dos mapas geomorfológicos procedió según las siguientes fases:

3.2.1. **Estudio regional, Sistema TDPS**

Sobre la base de un primer examen de la documentación existente, que tenía como objetivo, por un lado, conocer el ambiente natural y la historia evolutiva del área de Proyecto, y por otro, recabar sugerencias de los estudios ya realizados en el país, aun cuando fueran sectoriales, se preparó una leyenda preliminar, que funcionó como hipótesis de trabajo y que se fue adaptando conforme se procedía en la interpretación.

Esta fase de diseño de la leyenda ha sido realizada de modo unitario para los mapas que había que producir el del Sistema TDPS y el de la cuenca del Desaguadero, con el fin de que los dos documentos fueran coherentes entre

sí y que las diferencias se refirieran solamente al grado distinto de detalle.

Sucesivamente, la interpretación fue realizada directamente a escala 1:250.000 sobre las ampliaciones a colores de las imágenes Landsat, trazando, en un poliéster transparente sobrepuesto a la imagen, los límites entre las diversas unidades geomorfológicas y los símbolos correspondientes a las distintas formas y procesos.

La interpretación ha sido efectuada paralelamente al estudio de la cuenca del Desaguadero, de modo que pudiera utilizarse la observación de las fotografías aéreas estereoscópicas como calibrado de las claves fotointerpretativas de las imágenes Landsat y, al mismo tiempo, asegurar la coherencia entre los dos mapas.

La caracterización geológica de las unidades geomorfológicas ha sido efectuada confrontando punto por punto la cartografía geológica existente con las formas del relieve observadas en las imágenes y extrapolando y adaptando los datos, según el principio de la coherencia genética de las formas.

Después de los controles en el terreno, la interpretación fue revisada e integrada. Simultáneamente, se extrajo de la cartografía topográfica a escala 1:250.000 el retículo hidrográfico, para luego ponerlo en evidencia a colores, como componente del sistema geomorfológico. El retículo del drenaje, incluidos los cuerpos de agua, ha sido corregido e integrado en las imágenes Landsat, de modo que indique la situación actual. En esta fase también se procedió a trazar las divisorias de las cuencas y a clasificar los cursos de agua. En la fase siguiente se procedió a transferir los datos de las imágenes a las bases topográficas, en 12 hojas a escala 1:250.000, preparadas por el Consorcio para todos los documentos cartográficos del estudio regional.

La transferencia se efectuó adaptando el original de la interpretación a la base topográfica, haciendo que correspondieran el retículo hidrográfico y las formas del relieve observadas en las imágenes Landsat y volviendo a trazar la información sobre nuevos soportes indeformables que coinciden con las hojas de la base topográfica del Proyecto. El borrador definitivo así obtenido constituido por el retículo hidrográfico, los cuerpos de agua, las divisorias de las cuencas, los límites de las unidades geomorfológicas y los símbolos de las formas y procesos

geomorfológicos se digitó en un segundo momento.

El procedimiento de digitación atribuye a cada elemento memorizado (punto, línea o polígono) una posición con respecto a una referencia geográfica y un código de identificación y/o descripción. Esto permite elaborar, visualizar y reproducir los datos por estratos separados, según las necesidades del trabajo. Por lo tanto, ha sido posible, además de reproducir los mapas geomorfológicos con colores y símbolos apropiados, también permite calcular las superficies totales o parciales de las unidades geomorfológicas o grupos de éstas.

Los mapas finales, a escala 1:250.000, han sido obtenidos por medio del plotaje directo de los datos sobre copias heliográficas de las bases topográficas, reproducidas al vacío para garantizar la corrección de las dimensiones. Con el fin de mejorar la lectura de los temas reproducidos, las bases topográficas han sido retinadas de modo que la topografía resulte de color gris. Los originales a colores así obtenidos han sido reproducidos en varias copias por medio de fotocopidora a colores.

3.2.2. Estudio local, cuenca del Desaguadero

Como se ha indicado anteriormente, después de preparar una leyenda preliminar y el estudio de la documentación existente, el estudio geomorfológico del área elegida para la investigación local de la cuenca del Desaguadero se procedió con la interpretación de las fotografías áreas en estereoscopia. Considerando que la mayor parte de las fotografías son de los años '60, la interpretación fue controlada continuamente e integrada con la observación de las imágenes Landsat, particularmente en las zonas donde se han verificado variaciones en el curso del Desaguadero o en la forma y extensión de los cuerpos de agua. En lo que toca a estos elementos, el Mapa Geomorfológico a escala 1:100.000 también puede considerarse actualizado al 1990.

De la misma manera, ha sido actualizada en las imágenes gran parte de la forma y dimensiones de las zonas de bofedales, de los salares y de las áreas susceptibles de inundarse.

Además, el control en el terreno también ha servido para actualizar muchos elementos de detalle.

La cartografía geológica existente, de buena calidad y a escala 1:100.000, ha sido utilizada con pocas integraciones provenientes de las fotografías aéreas para recopilar los datos del substrato geológico representado por símbolos en los mapas finales.

Para transferir los datos de las fotografías al mapa se preparó una base topográfica reduciendo los mapas de Bolivia a escala 1:50.000 y reproduciendo los mapas de Perú a escala 1:100.000. Estas reproducciones han sido reemsambladas en un retículo UTM anteriormente calculado a escala 1:100.000, en 14 hojas que cubren el área de estudio.

La transferencia de la interpretación de la foto al mapa ha sido efectuada, en parte, por medio de una confrontación visual directa de las formas del terreno; en parte, con instrumentos analógicos de tipo *image matching*.

De la base topográfica preparada de la manera ya indicada también se obtuvo el retículo hidrográfico que, sucesivamente, fue corregido y aumentado, sobre todo con la ayuda de las imágenes Landsat. De este modo, se ha podido lograr una coherencia estrecha con el Mapa Geomorfológico a escala 1:250.000 y, por lo tanto, la situación mostrada puede considerarse actual. Después, fueron trazadas las divisorias de las cuencas, con el control de las curvas de nivel.

El borrador definitivo ha sido digitado con un procedimiento análogo al que ha sido descrito para el estudio regional del Sistema TDPS.

En el caso de la cuenca del Desaguadero ha sido digitada la topografía, de manera que pudiera producirse una base simplificada referida sólo a los elementos esenciales, según los problemas expuestos en el capítulo 3.1.3.

El mapa final, a escala 1:100.000, ha sido producido totalmente con "plotaje" a colores y reproducido en varias copias con fotocopidora a colores.

3.2.3. Controles en el Terreno

Al concluir la fase de interpretación de las imágenes y fotografías aéreas, y después de preparar el borrador de los dos mapas geomorfológicos, se efectuó una misión de

campo que ocupó a dos fotointerpretadores y a un hidrogeólogo por tres semanas, aproximadamente.

Los objetivos del control en el terreno han sido los siguientes:

- Verificar la correspondencia de las dos leyendas y la precisión de la definición de las unidades geomorfológicas con las necesidades del Proyecto.
- Recopilar datos analíticos para describir mejor las características de las unidades geomorfológicas.
- Controlar una serie de áreas de difícil interpretación o donde se presumía que cambiaba la situación real respecto a la fecha de las fotografías aéreas.

Se realizaron visitas en toda la zona de la cuenca del lago Titicaca y del río Desaguadero hasta el Salar de Coipasa.

Los controles del terreno y los trabajos en el área de la cuenca del río Desaguadero fueron más detallados, debido a tres razones principales:

- La interpretación ejecutada en las fotografías aéreas con el detalle de la escala 1:100.000 ofrece una mejor base de análisis comparada entre la interpretación y el terreno.
- La cobertura de fotografías aéreas de la cuenca del Desaguadero, en su mayor parte, no es reciente y, por lo tanto, la interpretación exige mayores revisiones.
- Las áreas del Desaguadero son representativas y contienen casi todas las unidades geomorfológicas y los tipos de paisaje presentes en el Sistema TDPS.

El trabajo sobre el terreno se ha desarrollado estudiando áreas modelo que, en el momento de efectuar la interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite, se podían considerar como representativas de las unidades geomorfológicas y de las posibles variantes. En estas áreas ha sido verificada la exactitud de las definiciones y se han realizado los ajustes necesarios en términos de descripciones y delimitación del área misma; de la misma manera, se ha recopilado la documentación fotográfica y descriptiva suficiente para ilustrar las unidades.

4. METODOLOGIA

4.1. GENERALIDADES

La geomorfología de una región es el resultado de una historia evolutiva a la que contribuyen numerosos factores. Un mapa de unidades geomorfológicas es un documento en el que una región aparece subdividida en áreas homogéneas según la influencia de estos factores, o de una parte de ellos, en todos o una parte de los aspectos de dicha historia evolutiva. Esto significa que, aunque se tienda a aplicar metodologías y leyendas standard, siempre será necesario adaptar la leyenda de un mapa geomorfológico a las condiciones ambientales de la región considerada, así como a las exigencias de aplicación del proyecto para el que se realiza el estudio.

En cualquier caso, el fundamento de la metodología son las unidades geomorfológicas, indicadas también como unidades fisiográficas o unidades de paisaje. Sin embargo, dados los múltiples factores que intervienen en la determinación de estas unidades, su definición podrá variar, variando igualmente los límites que existen entre ellas, según el valor que se otorgue a cada uno de los factores, lo cual equivale a decir según el detalle con que sea considerado cada uno de éstos.

El detalle en la representación de los elementos morfométricos y de las formas y procesos localizados también podrá variar en función de la importancia que éstos revistan para los fines del estudio.

En el caso del presente estudio, dado que los objetivos principales del proyecto conciernen 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 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.

Por otra parte, es importante subrayar que, dentro del proyecto en su conjunto, el estudio geomorfológico y los mapas que lo acompañan representan documentos intermedios de trabajo, destinados a constituir un punto de referencia para los especialistas que se ocupan de los sectores más estrictamente operativos del proyecto mismo.

4.2. CRITERIOS DE DEFINICION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

La metodología basada en la definición de unidades geomorfológicas se adapta particularmente bien al empleo de los medios de telepercepción. En efecto, las unidades geomorfológicas son definidas sintéticamente, como el resultado de una historia evolutiva y de la influencia combinada de varios factores. Por lo tanto, se expresan con una coherencia de paisaje fácilmente observable y diferenciable con la visión sinóptica que ofrecen las fotografías aéreas o las imágenes de satélite. Además, la diferencia de escala entre fotos aéreas e imágenes de satélite y, respectivamente, la presencia o ausencia de la estereoscopia, actúan como filtros para la definición del nivel de detalle de las unidades; en consecuencia, la información de los mapas resultantes es coherente con la escala a la que ha sido conducida la interpretación.

Obviamente, la importancia y el papel de cada uno de los factores serán diversos para cada unidad, como también podrán ser definidas unidades morfológicas con el fin de poner en evidencia particulares grados o tipos de influencia de uno o más factores o de sus efectos combinados.

4.3. FACTORES QUE CARACTERIZAN LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

En función de los fines del presente estudio, los factores que han sido considerados, con particular atención en la diferenciación de las unidades geomorfológicas, son los siguientes:

4.3.1. Substrato geológico

El substrato geológico, considerado esencialmente como litología y como posición estructural, es ampliamente el factor más importante, debido a sus múltiples aspectos y al hecho de que influye directa o indirectamente en todos los demás factores. En efecto, el tipo litológico

determina la predisposición de un relieve con respecto al modelado y a la erosión; mientras que la posición vinculada a la deformación estructural o a los procesos de postura de los cuerpos rocosos, determina la entidad y la forma del relieve y, en consecuencia, la fuerza del ataque erosivo y las modalidades de escurrimiento de las aguas superficiales.

El papel que juega el substrato geológico en la caracterización de las unidades geomorfológicas es complejo, pero puede decirse que, esencialmente, su actuación se realiza de dos maneras:

- Indirectamente, en cuanto la combinación de ciertas litologías con ciertas posiciones estructurales determina ciertas formas del relieve, aunque no unívocamente. Por ejemplo, una colina disectada puede tener origen en un substrato volcánico o sedimentario, estratificado o macizo, arenáceo o calcáreo, plegado o con fallas.
- Directamente, cuando ciertos substratos geológicos determinan formas características del relieve. Es el caso de las mesetas volcánicas, las terrazas lacustres, las acumulaciones de piedemonte o los depósitos aluviales.

En este segundo caso, las características del substrato geológico se encuentran implícitamente definidas en la unidad geomorfológica. En el primer caso, en cambio, el substrato geológico debe ser puesto en evidencia en los mapas, diferenciando ulteriormente las unidades geomorfológicas sobre la base del mismo substrato como se ha hecho en el mapa a escala 1:250.000 del Sistema TDPS, o sobreponiendo una simbología de fondo como se ha hecho en el mapa a escala 1:100.000, donde la mayor escala ha permitido una representación más detallada.

Con el fin de garantizar la lectura y eficacia operativa de los mapas producidos, se ha procedido a una esquematización de los distintos tipos de substrato, agrupando tipos litológicos o situaciones de posturas diversas que, no obstante, pueden ser consideradas relativamente homogéneas desde el punto de vista de las finalidades del presente estudio. De este modo, para las unidades geomorfológicas de las clases colina, meseta, montaña y, parcialmente, terraza lacustre, han sido consideradas las siguientes cuatro clases de substrato geológico:

- Rocas volcánicas competentes, lavas, ignimbritas e intrusivas, que constituyen un substrato resistente a la erosión, pero susceptible de ser cortado por escarpaduras abruptas y pendientes muy pronunciadas.
- Rocas volcánicas escasamente competentes, preponderantemente tobas o rocas volcánico-clásticas. En la mayoría de los casos se trata de series compuestas de sedimentitas y piroclastitas, cuyo comportamiento ante la erosión puede considerarse equivalente al de una serie de tobas. Se trata de rocas poco resistentes a la erosión y que contribuyen ampliamente al transporte sólido de los ríos. En compensación, dan lugar a un relieve de escasa energía, con pendientes suaves.
- Rocas sedimentarias, incluyendo en este grupo todas las rocas sedimentarias diagenizadas, del Paleozoico al Terciario, diversamente estructuradas, plegadas y falladas. Se ha podido hacer un único grupo de todas las rocas sedimentarias de este tipo, ya que la secuencia del Paleozoico al Terciario es relativamente monótona y está constituida por recurrencias de areniscas, lutitas con conglomerados subordinados y raras unidades carbonatadas. Por lo tanto, desde el punto de vista de su influencia en la morfología, estas rocas pueden considerarse estadísticamente homogéneas. En general, se trata de rocas erosionables, y en algunos casos muy erosionables, que definen las formas del relieve sobre todo en función de la estructura y el grado de alteración. En consecuencia, los relieves resultantes pueden ser redondeados, cuando la estructura es blanda o el manto de alteración espeso, o bien, incluso bastante disectados, cuando son muy estructurados.
- Coberturas cuaternarias no diferenciadas. Generalmente, estas rocas constituyen la base de unidades geomorfológicas distintas. Sin embargo, por lo que toca a las unidades de montaña en el mapa a escala 1:100.000, pueden formar parte del relieve coberturas cuaternarias de tipo detrítico, coluvial, morrénico o fluvio-glacial. En estos casos, se han indicado y distinguido de las rocas sedimentarias o volcánicas que forman el substrato del relieve, ya que se trata de terrenos poco o para nada consolidados y fácilmente erosionables y,

por lo tanto, condicionan el comportamiento de la unidad morfológica de la que forman parte.

4.3.2. Erosión

Cuando el factor erosión se considera por separado, en general, se trata de evaluar el grado del ataque erosivo real al que se ve sometido un paisaje y la evolución del fenómeno en términos de progreso del modelado, en un determinado contexto morfológico. Esto también se refleja en eventuales evaluaciones de las cantidades de material arrastrado y del transporte sólido de los ríos.

Una evaluación de la erosión de este tipo se efectúa, de manera sintética, observando directamente el estado de modelado de las formas del relieve y las huellas de procesos erosivos. Naturalmente, tal evaluación debe tomar en cuenta las condiciones climáticas de la región en estudio, especialmente por lo que toca a la estima de la evolución futura o de las consecuencias de situaciones límite.

Es evidente que el nivel de detalle y el tipo de clasificación relativos al factor erosión varían notablemente en función de la escala de las fotografías o imágenes utilizadas y del hecho de que se disponga o no de la estereoscopia.

En el caso del presente estudio geomorfológico, los dos niveles de investigación reflejan dos grados diferentes de evaluación de la erosión.

El mapa a escala 1:250.000, correspondiente al Sistema TDPS, resultado de interpretaciones de imágenes Landsat sin estereoscopia, considera el factor erosión como parte integrante de la definición de cada una de las unidades geomorfológicas y da una evaluación de comportamiento medio.

En cambio, en el mapa a escala 1:100.000, correspondiente a la cuenca del Desaguadero, la posibilidad de observar el territorio utilizando la estereocopia y la mayor escala de las fotos y mapas producidos han permitido evaluar de modo específico el factor erosión. De este modo, cada unidad morfológica, definida sobre la base de las formas del relieve, ha sido dividida en sub-unidades, en función del grado de erosión a que se veía sometida; esto ha sido puesto en evidencia en los mapas por medio de una simbología apropiada.

Los valores de erosión adoptados en el Mapa Geomorfológico a escala 1:100.000 han sido definidos según los criterios siguientes:

- Erosión negligible (clase 1). Las superficies son uniformes o poco accidentadas, planas o con pendientes débiles. El drenaje está escasamente desarrollado y los impluvios son poco profundos. Se notan amplias áreas sin trazas de incisiones o lesiones que hagan prever un progreso significativo del fenómeno erosivo.

En condiciones normales, en los valles aluviales se presenta una erosión limitada a lo largo del curso principal, laminar débil y eólica en los depósitos del valle. En las zonas de llanura, altipampa o terraza lacustre se presenta una erosión sobre todo eólica, con transporte limitado y a poca distancia, mientras que a lo largo de los cursos más grandes los ríos depositan.

En la estación de lluvias, con las avenidas, en los valles aluviales se presenta erosión concentrada en el álveo y erosión laminar, y, localmente, depósito en las laderas. En las zonas de llanura se presentan inundaciones con depósito y redistribución de limos. En zonas de vertiente se puede presentar un inicio de erosión lineal limitado en el tiempo.

Los valores de la erosión clase 1 se concentran en alrededor de un 95% en las unidades geomorfológicas determinadas por los terrenos de cobertura y, en particular, en la llanura fluvio-lacustre, en las zonas inundables, en los valles aluviales y en la terraza fluvio-lacustre conservada; todas las unidades caracterizadas por superficies llanas y poco cortadas, a menudo en depresión.

- Erosión moderada (clase 2). Esta es la clase más difundida en las unidades de colina y montaña, con relieve incluso fuerte, pero vertientes uniformes y regulares y zonas de cumbre amplias y suaves. También en las zonas de meseta es la clase más difundida en los tres tipos de unidad y representa un estadio intermedio de evolución morfológica. En la terraza lacustre resulta muy frecuente en la unidad disectada, por lo que corresponde a las situaciones menos acentuadas de un estadio avanzado de evolución en un paisaje de escasa altura.

La clase 2 es característica de situaciones en las que se reconoce un estadio de erosión activa, pero las formas y huellas muestran que se trata de un proceso gradual sin efectos destructivos acelerados. Ha sido localizada la presencia de un retículo de drenaje desarrollado y organizado, con incisiones netas pero no profundas y presencia de depósitos en los álveos mayores.

Las vertientes son relativamente uniformes y regulares. Cuando están cubiertas por un manto coluvial, las incisiones puede ser profundas, pero están localizadas.

En las vertientes la erosión es preponderantemente laminar; es lineal en las incisiones y con intensidad muy variable, pasando de casi nada durante la estación seca a relativamente intensa durante la estación de lluvias. En las unidades geomorfológicas con superficies más o menos llanas, como la terraza lacustre o la meseta, se presenta un componente de erosión eólica.

- Erosión severa (clase 3). A este nivel de erosión se reconocen situaciones de degradación avanzada en rápida evolución, por lo que se pueden hipotetizar situaciones de peligro, de fuerte transporte de materiales y de escasas posibilidades de aprovechamiento de las áreas afectadas, especialmente durante la estación de lluvias.

Aunque cada área afectada sea de extensión limitada, ésta es una clase frecuente en todas las unidades geomorfológicas disectadas o degradadas y su frecuencia aumenta en las unidades de montaña y en las áreas de substrato sedimentario. En las unidades de montaña se notan huellas de erosión regresiva, que tienden a modificar las divisorias, disminuyendo las zonas de cumbre de pendiente suave. Por lo que concierne a la terraza lacustre, se nota un cierto equilibrio de frecuencias, en la unidad degradada, entre la clase 3 y la clase 2, lo cual indica una situación bastante compleja de relieve cortado e irregular y, por lo tanto, muy susceptible de evolución rápida. En la meseta la erosión de clase 3 se concentra sobre todo en las escarpaduras de las incisiones y en las zonas más degradadas.

Este nivel de erosión se reconoce por la presencia de un retículo hidrográfico denso, bien jerarquizado y con incisiones profundas; ausencia de depósitos en los cursos secundarios, vertientes con pendiente media o fuerte en colina o montaña y huellas de erosión regresiva;

incisiones densas y profundas en las unidades de meseta o terraza y escasa presencia de mantos coluviales. De las áreas con erosión 3 puede esperarse una fuerte contribución al transporte sólido de los ríos, el cual puede volverse catastrófico en presencia de litologías poco competentes y en el caso de lluvias intensas.

- Erosión muy severa (clase 4). Esta clase de erosión indica situaciones de extremo peligro y degradación. En zonas de vertiente o colina corresponde a una morfología de *bad-lands*, con erosión lineal en cárcavas, en pendiente fuerte e irregular. En zonas de meseta o terraza corresponde a tramos de escarpaduras degradadas. La frecuencia más alta de esta clase se localiza en las unidades de colina disectada y de terraza fluvio-lacustre degradada. En ambos casos, hay que relacionar el alto valor de erosión con la presencia de rocas sedimentarias terciarias poco competentes. Las dimensiones de las áreas con erosión de clase 4 son limitadas.

En el mapa a escala 1:250.000 del Sistema TDPS el nivel de investigación regional ha permitido sintetizar la influencia del factor erosión en la definición de las unidades geomorfológicas, combinándola con el substrato geológico y las formas del relieve. El resultado es una clasificación que puede considerarse homogénea para los fines del estudio, incluso por lo que concierne al comportamiento desde el punto de vista de la erosión.

4.3.3. Formas del relieve

Como ya ha sido anotado, las formas del relieve son el resultado de la historia evolutiva de la región, condicionada por los dos factores ya ilustrados, es decir, el substrato geológico y su grado de modelado. Por lo tanto, la consideración de las formas del relieve en la diferenciación de las unidades geomorfológicas interviene esencialmente como elemento de clasificación y jerarquización, a fin de crear unidades lo más homogéneas posible para los objetivos del estudio, respecto a las características morfológicas regionales del área. En los dos mapas geomorfológicos producidos, la diferenciación de las formas del relieve ha sido efectuada en función de tres características:

- Tipo de relieve en relación a su origen o al substrato geológico que lo determina.

- Energía del relieve en términos de altura sobre el nivel de base.
- Tipo de superficie y condiciones de degradación.

El significado de cada una de estas características depende del resto de los factores asociados, con los que se combinan para determinar situaciones geomorfológicas definidas y con características homogéneas de comportamiento.

4.3.4. Clima

A pesar de que su papel en la definición de las unidades geomorfológicas es sólo indirecto, el clima constituye un factor muy importante porque condiciona la influencia de los factores del modelado y, por lo tanto, las formas del relieve.

Sin embargo, la influencia del clima debe tomarse en cuenta cuando se consideran las características de detalle y las implicaciones de cada una de las unidades geomorfológicas con respecto a la dinámica de las aguas, los riesgos de erosión e inundación y los recursos hídricos. Particularmente, en la región estudiada, donde el clima está bien definido y es muy severo.

Durante 8 meses del año, aproximadamente, es extremadamente seco y frío, con fluctuaciones diurnas muy fuertes y heladas frecuentes. Esto favorece la disgregación de las rocas, predisponiéndolas al arrastre y al transporte. En el breve período del verano, de diciembre a marzo, se concentra el 90% de las lluvias, que son breves y violentas y, por lo tanto, originan una escorrentía superficial también violenta, con fuerte erosión y alto transporte sólido, inundaciones y depósitos de materiales en los valles y llanuras.

Debido al tipo de clima en los sectores menos lluviosos, falta casi totalmente la protección vegetal y, por esta razón, durante la estación seca, la erosión causada por el viento, muy frecuente y a menudo fuerte, no debe descuidarse. En las vertientes más inestables se presenta también un movimiento continuo de materiales por efecto de la gravedad.

Por lo tanto, es necesario considerar que, a causa del clima, los normales factores modeladores del paisaje actúan con efectos extremos.

4.4. REPRESENTACION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

A fin de que la lectura de los mapas resulte más fácil y de su mejor utilización, se considera pertinente aclarar los conceptos con los que han sido representadas las unidades geomorfológicas y el resto de los elementos de los dos mapas producidos.

En el mapa a escala 1:100.000 de la cuenca del Desaguadero todas las unidades pertenecientes al mismo grupo (lo que en las tablas de repartición hemos llamado super-unidad) están representadas por matices del mismo color básico, de menor a mayor intensidad, según el nivel creciente de degradación. En cambio, la orientación y el *pattern* de las líneas que forman el color de la unidad representan el valor de la erosión, en las unidades donde existe una clasificación desde este punto de vista; también en este caso el modo de representación ha sido estudiado con el objetivo de poner en evidencia las situaciones de mayor peligro. Es importante notar que en la leyenda de los mapas se encuentran representadas sólo las combinaciones unidad/erosión que realmente existen.

El substrato geológico está representado con tramas de símbolos negros, en cuatro clases, sobrepuesto a las unidades morfológicas donde el mismo substrato puede ser de varios tipos. En las unidades en las que el substrato geológico está definido implícitamente no ha sido utilizada simbología geológica sobrepuesta.

En el mapa a escala 1:250.000 del Sistema TDPS no ha sido utilizada la clasificación sobre la base de la erosión y, por lo tanto, la orientación y el "pattern" de las líneas no tienen significado.

Los matices del mismo color básico representan unidades morfológicas del mismo grupo e igual substrato geológico, con intensidad creciente conforme avanza el nivel de degradación.

El retículo hidrográfico, los cuerpos de agua y las divisorias están representados en ambos mapas con el color azul; las formas y los procesos morfológicos lineales o puntuales aparecen representados con rojo.

5. CUENCA DEL DESAGUADERO

5.1. GENERALIDADES

La cuenca del Desaguadero es una de las cuatro que constituyen la provincia geomorfológica del Altiplano. En efecto, las cuatro cuencas, lago Titicaca, río Desaguadero, lago Uru Uru-Poopó y Salar de Coipasa forman un único sistema comunicante (Sistema TDPS), en el interior del cual la cuenca del Desaguadero representa la conexión entre el lago Titicaca y el lago Uru Uru-Poopó.

En realidad, el estudio no cubre exactamente la cuenca del Desaguadero, dado que han sido excluidas algunas áreas marginales del centro-sur y del noreste, mientras que ha sido incluida gran parte de la cuenca de los lagos Uru Uru y Poopó (Fig.2).

Desde un punto de vista morfológico y considerando también la estructura del retículo hidrográfico, podemos considerar que el área de estudio de la cuenca está formada por cinco sub-áreas:

- El área aguas arriba de la confluencia del río Mauri, entre el Puente Internacional y Calacoto, que en gran parte se encuentra ocupada por terraza lacustre conservada y que en el lado noreste y este está bordeada por relieves colinares y montañosos medios. Por lo tanto, es una zona de relieve medio-bajo, con amplias superficies llanas o ligeramente onduladas.
- El área correspondiente a la sub-cuenca del río Mauri, caracterizada por montaña media y alta en las partes marginales y por la meseta volcánica en su parte central.
- La zona aguas abajo de la confluencia Mauri-Desaguadero, hasta Chilahuala, donde predominan las unidades de terraza lacustre sobrepuesta a un substrato sedimentario plegado, que da lugar a formas de relieve muy detalladas, bajas y en avanzado estado de desmantelamiento, no obstante su joven edad.
- La parte de llanura deposicional que forma la altipampa de Oruro, la cual se extiende desde Chilahuala hasta el lago Poopó y se caracteriza por depósitos fluvio-lacustres recientes y aluviones

actuales, con zonas de depósitos eólicos. La topografía es plana y existen cuerpos de agua, bofedales y muchas zonas sujetas a inundación y embalse. En esta área, en la parte situada aguas abajo de La Joya, el río Desaguadero se divide en varios cursos, algunos de los cuales mueren antes de llegar a los lagos Uru Uru y Poopó.

- El área montañosa que constituye la vertiente noreste y este de la altipampa de Oruro, donde encontramos una morfología compleja, con predominio de unidades de montaña. Esta área no es tributaria del Desaguadero, ya que las aguas provenientes de sus cuencas se agotan en las cercanías de la altipampa o llegan directamente a los lagos Uru Uru y Poopó.

Desde un punto de vista general, en la evaluación de las unidades geomorfológicas y de los condicionamientos que derivan de las características de éstas, es necesario tomar en cuenta que el área en estudio está localizada en una región que ha tenido una evolución estructural reciente intensa, asociada a actividad volcánica, y que aún hoy se encuentra en fase de levantamiento.

Esto significa, por un lado, que los materiales que llenan la fosa tectónica base del Altiplano son, en gran parte, continentales, clásticos, escasamente cementados y con aportes piroclásticos frecuentes; por otro, que la tectonización de estos materiales y el estado persistente de levantamiento determinan que los fenómenos relacionados con los agentes modeladores resulten acentuados y localmente exasperados.

La consecuencia es una mayor agresividad de la erosión, con el consiguiente fuerte transporte sólido de parte de las aguas y depósito de materiales en las áreas deprimidas. Todo esto favorecido por un clima seco y frío, con pocas pero violentas lluvias, como ya se ha indicado anteriormente.

5.2. DESCRIPCION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

Como ya se ha mencionado en los capítulos anteriores, la geomorfología del área del Desaguadero ha sido interpretada sobre la base de fotografías aéreas y representada en un mapa a escala 1:100.000 (Planos GM.001 - GM.014). La leyenda, estudiada según los criterios

expuestos en el Capítulo 4, contiene las unidades geomorfológicas que a continuación se mencionarán, diferenciadas en sub-unidades, sobre la base de los valores de la erosión, y reagrupables en super-unidades, sobre la base de elementos comunes predominantes. Los datos estadísticos correspondientes a la división del área de estudio en las distintas unidades geomorfológicas y el resto de los elementos areales se reportan los cuadros 5.1/5.6

5.2.1. Unidades relacionadas con los depósitos de cobertura y con los procesos fluviales actuales y recientes

Este grupo de unidades (cuadro 5.1) comprende tres sub-grupos, que se distinguen según la génesis de los depósitos (depósitos fluvio-lacustres, depósitos de vertiente y depósitos eólicos), y un sub-grupo de formas vinculadas a situaciones de depresión, generalmente asociadas a las unidades formadas por depósitos fluvio-lacustres actuales. En el Cuadro 5.1 también han sido incluidos los cuerpos de agua, tanto porque pueden asimilarse a las depresiones como para facilitar una confrontación más inmediata.

- Valles aluviales

Unidad determinada por depósitos aluviales de fondo de valle conectados al retículo hidrográfico activo actual. Se trata generalmente de zonas intermontañas ocupadas por sedimentos cuaternarios aluviales que van de recientes a actuales, constituidos por gravas, arenas y limos, heterogéneos y heterométricos, poco o no consolidados. A menudo estos sedimentos están asociados a depósitos coluviales y, en las zonas montañosas, a depósitos fluvioglaciales, ya que en estas zonas la contribución al sedimento es mixta; en cualquier caso, no sería posible distinguir los dos tipos de unidad.

Dada la actividad de levantamiento reciente y en acción que se encuentra en toda la región, en los valles más amplios se notan terrazamientos también a varios niveles (Foto 1). Esta unidad geomorfológica se caracteriza por superficies que, en conjunto, son llanas, con formas de detalle redondeadas y modeladas por la escorrentía de las aguas sobre materiales poco consolidados.

En los valles altimétricamente más bajos, en los fondos anchos, o en ciertos valles de la parte alta de la cuenca del río Mauri, frecuentemente esta unidad se encuentra asociada a zonas de bofedal o simplemente de agua estancada y a áreas susceptibles de ser inundadas (Foto 2). Estas áreas, sobrepuestas al substrato aluvial, representan las partes deprimidas del mismo, donde la acumulación de materiales más finos y arcillosos es mayor.

Igualmente, en las zonas de depósitos aluviales se encuentra gran parte de los salares menores, que representan zonas morfológicamente similares a los bofedales, pero donde los aportes salinos son más altos y/o la evaporación más intensa.

En los casos más importantes los salares corresponden a situaciones de drenaje endorreico o semi-endorreico y, por lo tanto, el componente de deposición predominante y la acumulación salina se ven favorecidos por la carencia de desagüe.

En condiciones climáticas normales la erosión puede considerarse negligible; durante la estación seca puede presentarse un cierto arrastre de materiales por parte del viento, dada la escasa protección vegetal.

En la estación de lluvias, particularmente a causa de lluvias intensas y concentradas, puede presentarse erosión laminar y lineal que puede provocar incluso surcos en las superficies o erosión de fondo y lateral a lo largo de los impluvios area intercauces y en los cauces (Foto 3). En estas mismas ocasiones, sin embargo, se tiene un incremento de deposición en las zonas bajas o deprimidas.

- **Llanura fluvio-lacustre deposicional**

Esta unidad se localiza exclusivamente en la parte de la cuenca del Desaguadero aguas abajo de Chilahualla, donde forma una vasta y continua llanura que aloja la altipampa de Oruro, correspondiente a la parte baja del río Desaguadero, el sistema de los dos lagos Uru Uru y Poopó, para luego proseguir hacia el sur y el suroeste y unirse a las altipampas de los Salares

de Coipasa y de Uyuni. Tiene una extensión de 3.400 km² y representa alrededor del 13% del área de estudio (Cuadro 5.1). Pero si se agregan las zonas de bofedal, de salar e inundables y el hecho que, debido a su poca profundidad, los lagos Uru Uru y Poopó pueden considerarse pampas ligeramente deprimidas de la misma unidad morfológica, la superficie alcanza 6.500 Km² (24.8%). Desde un punto de vista hidrológico esta zona representa el área de recolección de todas las aguas de la cuenca del Desaguadero.

La zona donde se extiende la llanura fluvio-lacustre del área en estudio corresponde de modo bastante cercano a la parte norte de la zona que ocupaba el lago Minchin, mientras que la altipampa en sentido estricto, es decir, la parte llana aguas abajo de Eucaliptus, corresponde a la extensión del lago Tauca (Fig.3). Ambos episodios lacustres, sucesivos al más amplio e importante del lago Ballivian, son más bien recientes (de 10.000 a 27.000 años). Por lo tanto, la llanura debe considerarse como constituida por un substrato lacustre en tres niveles, Ballivian, Minchin y Tauca, intercalados por episodios fluviales y eólicos interlacustres, sobre el que encontramos depósitos fluviales actuales del Desaguadero, fluvio-lacustres del sistema Uru Uru-Poopó y, en parte, eólicos.

En su mayor parte, los aportes actuales a la llanura son fluviales, conectados sobre todo con los episodios de avenidas que se concentran durante los períodos lluviosos del año. En efecto, en condiciones normales, el río Desaguadero, a causa de su escasa pendiente, deposita en el cauce y a lo largo de las orillas (Foto 4), causando un progresivo levantamiento del cauce. En caso de avenida, las aguas se desbordan fácilmente, causando inundaciones que depositan materiales en las llanuras adyacentes. En este proceso, las áreas donde con mayor facilidad se depositan las aguas de inundación son las deprimidas, indicadas en el Mapa Geomorfológico como áreas susceptibles de ser inundadas (Foto 5).

Estas áreas, además de que constituyen la sede de deposición de materiales, son también las vías preferenciales de escurrimiento de las aguas y en

ellas se puede instaurar una escorrentía permanente o casi permanente. Este mecanismo explica los desplazamientos del río Desaguadero incluso en épocas muy recientes.

El brazo izquierdo del río (Mapa GM.012) ha depositado mucho material en su desembocadura en el lago Uru Uru, logrando llenar la parte del lago que está al oeste de la cadena de pequeñas islas. Simultáneamente, el brazo derecho se ha desarrollado a lo largo de una zona de depresión, a través de la cual ha alcanzado el curso de los ríos Matar Jahuira y Juchuy Jahuira, llegando directamente al lago Poopó. Estos episodios recientes de desplazamiento llevan a suponer que se trata de un mecanismo que se ha repetido varias veces en el tiempo y que podría repetirse en futuro, con las consecuencias obvias desde el punto de vista del uso y defensa del territorio.

Si se confrontan las imágenes Landsat de marzo de 1990 con las fotografías aéreas y los mapas topográficos, sea de 1983 o de 1955, se nota que, en 1990, las superficies ocupadas por agua son mucho mayores que las que pueden observarse en las fotografías y en los mapas. Incluso considerando que las imágenes Landsat corresponden al período de lluvias, igualmente se nota un aumento de las zonas ocupadas por agua particularmente por el lago Poopó y de las áreas sujetas a inundación y embalse.

- Acumulaciones detríticas y/o coluviales de piedemonte

Esta es la más importante de las unidades relacionadas con depósitos de vertiente, ya que es la más difundida y cubre porciones de territorio relativamente grandes, además de que, generalmente, se encuentra en posición vulnerable. En efecto, más allá de que corresponde a un substrato de terrenos heterogéneos y poco consolidados, la unidad en cuestión a menudo se localiza al pie de los relieves montañosos y de los escarpes, en situaciones de pendiente medio-alta y, por lo tanto, en condiciones de estabilidad escasa y de ataque erosivo activo.

Es importante tomar en cuenta, entre otras cosas, que en las zonas altas de la cuenca del río Mauri, en particular en las vertientes de los grandes volcanes, se presentan amplios mantos de depósitos coluviales y mixtos, coluviales-detríticos y cuaternarios, en una situación morfológica tal que no han sido mapeados como unidades de acumulación detrítica, sino más bien como unidades de montaña media o montaña alta (Foto 31) y, en algunos casos, como meseta volcánica. Morfológicamente, al pie de los relieves, estos mantos pasan a formar parte de la unidad de acumulaciones detríticas, ya que la disminución de pendiente da lugar a una fisiografía diversa, aunque, en realidad, estamos en presencia de una sola y amplia vertiente con substrato poco consolidado y fácilmente sujeto a la erosión.

Ahora bien, dado que en estos casos la vertiente es bastante uniforme, predomina la erosión laminar y las incisiones no son ni frecuentes ni profundas. Por lo tanto, se debe considerar que el aporte de materiales derivado de esta unidad morfológica es, sobre todo, resultado de la deslavadura en ocasión de episodios lluviosos, con erosión laminar difusa y lineal a lo largo de un sistema de surcos y cárcavas subparalelos y no muy profundos, que se extienden en toda la vertiente (Foto 6).

En las zonas donde las acumulaciones detríticas se encuentran al pie de pequeños relieves o escarpes, la erosión puede concentrarse en cárcavas incluso profundas, siguiendo las incisiones de la vertiente situada aguas arriba, especialmente cuando tal vertiente presenta una cubierta coluvial o de alteración consistente.

- **Acumulaciones morrénicas**

Esta unidad no está muy difundida; ocupa pequeñas áreas dispersas en la parte montañosa de la cuenca del Mauri, vinculadas a circos glaciales. Los materiales que forman el substrato de esta unidad son muy heterogéneos, con preponderancia de clastos gruesos, escasamente cementados por una matriz arcillosa. Ahora bien, la importancia del morrénico con respecto a los fines del presente estudio es muy limitada.

- **Abanicos aluviales**

Los problemas relacionados con estas formas son muy similares a los que ya han sido expuestos con respecto a las acumulaciones detríticas, con la diferencia que los abanicos están directamente vinculados al sistema fluvial y a la interacción de éste con los episodios lacustres pleistocénicos en lo que toca a su origen, así como al régimen actual de las aguas superficiales en lo que toca a su dinámica presente. En las zonas montañosas de la cuenca del río Mauri y en la vertiente noreste de la cuenca alta del Desaguadero encontramos abanicos de tamaño medio, aislados, en la desembocadura de los valles mayores, o en grupos coalescientes al pie de vertientes uniformes, asociados estrechamente a acumulaciones detríticas.

En la vertiente noreste de la cuenca baja del Desaguadero (Mapa GM.011) encontramos abanicos, también muy extendidos y de pendiente suave (Foto 36), en la desembocadura de ríos que actualmente no son importantes; estos abanicos testimonian episodios de fuerte aporte de materiales vinculados a fases de marcado levantamiento de las áreas montañosas, en correspondencia con los períodos interlacustres. Los abanicos constituyen zonas en las que se verifica deposición de material grueso y medio, en el caso de fuertes caudales de los ríos respectivos.

Simultáneamente, en caso de lluvias intensas, los abanicos se ven sujetos a deslavaduras con transporte del material más fino y erosión localizada en surcos y cárcavas. De cualquier manera, los abanicos de la desembocadura de los valles, en valles mayores o en la llanura, constituyen colchones de material permeable que contribuyen a frenar la velocidad y la acción erosiva de las aguas y, por lo tanto, protegen las zonas ubicadas aguas abajo.

- **Acumulaciones eólicas**

Los depósitos eólicos de dimensiones mapeables a escala 1:100.000 y susceptibles de constituir una unidad morfológica son relativamente pocos y todos se concentran en la zona aguas abajo de Chilahuala, encima de la llanura fluvio-lacustre.

Resulta bastante claro que los depósitos eólicos están estrechamente relacionados con la dinámica de los procesos erosivos y de deposición de la llanura y que representan uno de los aspectos de dichos procesos.

Sin embargo, los depósitos mapeados en la llanura son aparentemente estables, por lo cual resulta razonable pensar que el proceso erosión/deposición eólica, que aún se puede reconocer, haya sido más activo en el pasado.

Depósitos eólicos de pequeño tamaño y escaso espesor se encuentran a menudo asociados a los valles aluviales y a las zonas deprimidas de la cuenca (Foto 7), testimoniando una acción del viento incisiva y difusa en toda la región; acción que, probablemente, constituye el factor más importante de erosión de material fino durante las dos terceras partes del año, es decir, durante la estación seca.

5.2.2. Unidades de la terraza fluvio-lacustre

Este grupo de unidad está bien definido porque se vincula a la evolución reciente de la parte central de la cuenca del Desaguadero, en particular al episodio lacustre Ballivian y al período interlacustre Ballivian-Minchin. En efecto, las unidades geomorfológicas están determinadas por la presencia de un relleno lacustre con una superficie terminal plana y por episodios sucesivos de modelado, tanto de estos depósitos, como de los relieves circundantes e interpuestos.

La terraza lacustre es, en parte, superficie superior del relleno lacustre Ballivian, pero también superficie de ablación de los terrenos preexistentes. Además, se notan niveles más bajos de terrazamiento, en parte vinculados a los episodios lacustres sucesivos al Ballivian, en parte de modelado fluvial.

Si se entra en el detalle de la génesis y evolución de esta unidad, se puede reconocer:

- Un relleno lacustre Ballivian, constituido por la formación Ulloma, que ocupa el valle del Desaguadero, desde el lago Titicaca hasta pocos kilómetros aguas abajo de Ulloma. Se trata de are-

nas, gravillas y gravas más o menos cementadas, con un espesor de algunas decenas de metros (Foto 8).

- Una serie de superficies de ablación, más o menos al mismo nivel, con sutiles depósitos fluvio-glaciales o coluviales (Foto 9), en la zona situada entre Ulloma y Chilahuala, siempre referibles al período lacustre Ballivian. En efecto, al lago Ballivian lo limitaba un umbral situado un poco al oeste de Ulloma y no estaba conectado con el área del lago Poopó. Estas superficies de ablación son muy similares a las terrazas lacustres y se encuentran más o menos a las mismas cotas. Por lo tanto, considerando nuestros objetivos, superficies de ablación y terrazas lacustres pueden ser equiparadas.
- Una serie de superficies a nivel más bajo (Foto 10), que han tenido origen durante el período interlacustre Ballivian-Minchin y que se vinculan a la evolución del curso del Desaguadero, después de que éste capturara el río Mauri y, por lo tanto, después de que se estableciera la conexión entre la cuenca del lago Titicaca y las cuencas del sur del Altiplano.

La terraza fluvio-lacustre se encuentra sobrepuesta a un substrato terciario plegado y tectonizado (Foto 9), constituido por las formaciones Mauri del Plioceno y Titora del Mioceno, las cuales, juntas, forman un espesor que alcanza los 4.000 m. Todas estas unidades terciarias están constituidas sobre todo por areniscas y lutitas, con conglomerados e intercalaciones de tobas y areniscas tobáceas y niveles de evaporitas. Por lo tanto, se trata de litologías escasamente competentes, vulnerables ante el ataque de la erosión y que proveen un importante transporte sólido al sistema de drenaje.

A partir del período lacustre Ballivian, estas formaciones han seguido la evolución morfológica de la terraza lacustre y superficies que pueden equipararse a ésta. Dado que las litologías del substrato terciario resultan fácilmente erosionables, la sobreposición de la terraza lacustre es generalizada, especialmente en la parte más cercana al curso del Desaguadero, y los relieves que se alzan por encima de la terraza son pocos y, de preferencia, se distribuyen hacia las márgenes externas.

Los tipos de paisaje correspondientes a la terraza lacustre pueden ser muy diferentes entre sí, según el estadio de conservación. Considerando este punto de vista, en el Mapa Geomorfológico a escala 1:100.000 han sido distinguidas las tres unidades siguientes:

- La terraza conservada corresponde a todas las áreas donde se puede reconocer una superficie plana o sub-plana, continua y uniforme. Como ya se ha dicho anteriormente, esta superficie puede corresponder a la superficie superior del relleno Ballivian, a superficies de terrazamiento post-Ballivian o a superficies de ablación simultáneas, que se identifican por la existencia de sutiles depósitos fluvio-glaciales o coluviales.

Esta unidad predomina en el valle del Desaguadero, aguas arriba de la confluencia con el río Mauri, donde, entre otras cosas, se localiza a cotas inferiores a las que presenta en el sureste. Forma superficies amplias, carentes de sistema de drenaje y, generalmente, limitadas a escarpes cortadas y disectadas (Foto 11). La erosión es casi ausente o negligible, aunque en algunas zonas, por ejemplo donde se nota el inicio de desarrollo de un retículo hidrográfico, puede considerarse moderada, o severa, en las fajas de escarpes o en los pequeños vestigios (Cuadro 5.2). En cambio, están presentes zonas de depresión con bofedales o sujetas a embalses temporales.

Aguas abajo de la confluencia del río Mauri, la terraza conservada se encuentra en zonas limitadas, más amplias y frecuentes en la vertiente norte del Desaguadero; en la vertiente sur se encuentra bastante representada a niveles bajos, mientras que a niveles altos se trata sólo de vestigios.

- La terraza ondulada representa una variante de la anterior, a la que está estrechamente vinculada. Se trata, en efecto, de zonas de terraza conservada cuya superficie no es uniforme, sino más bien ondulada, con numerosas y pequeñas depresiones, que muestran trazas de depósitos y, por lo tanto, presumiblemente, se trata de áreas de embalse temporal. En estas zonas de terraza ondulada la erosión es negligible y esencialmente eólica, mientras que en caso de lluvia se produce transporte local y depósito en las pequeñas de

presiones. En consecuencia, se trata de áreas esencialmente endorreicas.

Las dos unidades hasta ahora descritas representan juntas el 64.2% de la terraza fluvio-lacustre (Cuadro 5.2) y el 11.2% de toda la cuenca del Desaguadero. Son áreas estables, que contribuyen escasamente a la erosión y al transporte sólido de los ríos.

- La terraza degradada corresponde a todas las áreas donde la superficie aparece fraccionada o reducida a vestigios pequeños y diseminados. Representa el 35.8% de la super-unidad, pero alcanza el 63% aguas abajo de la confluencia del río Mauri y hasta Chilahuala, en particular en la faja más cercana al curso del río Desaguadero.

En todas las áreas de la cuenca en las que están presentes amplias zonas de terraza conservada, la unidad de terraza degradada está representada sobre todo por las márgenes de las terrazas, donde la erosión ha creado escarpes en regresión o el retículo hidrográfico ha desarrollado pequeñas cuencas cortadas en depósitos lacustres y, por lo tanto, en erosión activa (Foto 12).

No obstante, en gran parte de los casos, y sobre todo aguas abajo de la confluencia del Mauri, la terraza fluvio-lacustre y las superficies de ablación que se asimilan se reconocen sólo por pocos y pequeños vestigios; generalmente porque es visible una uniformidad de cotas de las cumbres (Foto 13) que sugiere una superficie original alta y uniforme. En realidad, entre Calacoto y Chilahuala, se observa un paisaje de colinas (Foto 14), más o menos de la misma altura, muy fragmentadas y cortadas, constituidas por el substrato miocénico y pliocénico plegado y tectonizado. Este substrato está constituido preponderantemente por litologías poco competentes y, en consecuencia, fácil sujeto de la erosión.

El origen de esta área particular, en la que se observa un paisaje muy complejo y degradado, hay que buscarlo en la historia del sistema lacustre cuaternario. En efecto, como ya se ha dicho, el lago Ballivian estaba limitado por un umbral localizado a pocos kilómetros aguas abajo de Ulloma, que no comunicaba con las zonas deprimidas

situadas más hacia el sureste. Durante el período interlacustre Ballivian-Michín, se verificó primero el desecamiento del mismo Ballivian y, sucesivamente, debido a la erosión regresiva, la captura del sistema del río Mauri, que drenaba hacia el norte, por parte del Desaguadero. Como resultado, se estableció una comunicación entre la cuenca del lago Titicaca y las cuencas del sur del Altiplano situadas a una cota inferior. En tiempos recientes, en la zona ubicada entre Calacoto y Chilahuala, este fenómeno ha producido una importante y repentina aceleración de los ataques de la erosión a los depósitos lacustres de la formación Ulloma y al substrato mio-pliocénico subyacente (Foto 13). Es legítimo presumir que esta zona aún no haya logrado alcanzar un estadio de equilibrio.

Resumiendo, todas las zonas de terraza degradada y, en general, la parte de cuenca situada entre Calacoto y Chilahuala, pueden considerarse inestables y con erosión muy activa; por lo tanto, contribuyen grandemente al transporte sólido del retículo hidrográfico durante la estación de lluvias. Por lo demás, la ubicación de esta área, inmediatamente aguas arriba de la llanura deposicional de la altimpampa de Oruro, es la razón de que el ciclo erosión-deposición se agote en muy breve tiempo y, en consecuencia, los aportes a la llanura son voluminosos y poco seleccionados.

5.2.3. Unidades de la colina

Este tipo de paisaje se desarrolla especialmente en correspondencia con las serranías bajas, localizadas a lo largo de las márgenes internas de la cuenca. En realidad, se trata de relieves ligados al plegamiento de los terrenos terciarios de relleno de la fosa tectónica del Altiplano. Por lo tanto, se trata de relieves constituidos por rocas sedimentarias, de litología escasamente competente y tectonización reciente, probablemente todavía activa.

De este tipo de serranías, se pueden individualizar tres alineaciones principales, con rumbo noroeste-sureste, donde se desarrollan las unidades de colina.

- Una alineación occidental, formada por relieves que parten de San Andrés de Machaca (Foto 15) con rumbo a General Camacho. A esta alineación puede asociarse la faja que bordea la margen interna de la Cordillera Occidental, partiendo de Achiri, en parte cubierta por la meseta volcánica a la altura del río Mauri (Mapas GM.004 y 005). Este conjunto está constituido por relieves monoclinales donde predominan las formas redondeadas, pero con un alto grado de irregularidad.
- Una alineación central, constituida por la Serranía de Corocoro y la de Corque. Esta alineación es central con respecto al Altiplano y a la vertiente sur de la cuenca del Desaguadero; para la vertiente norte de la cuenca se convierte en la margen noreste.

Los relieves colinares que pertenecen a esta alineación central están estrechamente vinculados a la terraza fluvio-lacustre. En efecto, los relieves de las dos serranías, formados debido al plegamiento de las rocas mio-pliocénicas, han sido modelados por procesos morfogenéticos vinculados, a su vez, a las fases fluvio-lacustres pleistocénicas y, por lo tanto, han constituido gran parte de las unidades de la terraza fluvio-lacustre (Ver el punto inmediatamente anterior). Este modelado es completo en la parte sur del Desaguadero y hasta aproximadamente 15 Km al norte del río (Mapa GM.008), porque en esta área la serranía terciaria es central con respecto a la cuenca.

En la restante parte norte, donde la Serranía de Corocoro resulta marginal con respecto a la cuenca, la morfología colinar puede presentarse como relieves que han permanecido aislados en la terraza fluvio-lacustre (Foto 16), por ejemplo entre Corocoro y Calacoto (Mapa GM.008), o bien, como margen propiamente dicha de la serranía, por ejemplo al este de Nazacara (Mapas GM.004 y 007).

- La tercera alineación se localiza en la margen oriental de la cuenca y está representada por los relieves bajos que bordean hacia el interior la Cordillera Central. También estos relieves están constituidos preponderantemente por rocas sedimentarias terciarias, con pequeños núcleos paleozoicos donde predominan las formas redondeadas.

Una parte de estos relieves forman colinas aisladas o alineaciones alejadas de la orilla de la Cordillera, por ejemplo entre Caracollo y Oruro o al sur del mismo Oruro, a lo largo de la margen este de los lagos Uru Uru y Poopó. Relieves colinares aislados y de pequeñas dimensiones, formados en parte por rocas volcánicas, también emergen en la llanura deposicional del área localizada alrededor de La Joya.

Las unidades de colina (Cuadro 5.3) representan el 6.2% del área de estudio; por lo tanto, habría que considerar modesta su posibilidad de incidir, a menos que no se tome en cuenta que, en su mayoría, se localizan cerca del eje de la cuenca y que, en un 97%, están constituidas por rocas sedimentarias poco competentes.

La distinción entre colina redondeada y colina disectada resulta de una evaluación del grado de erosión, más que de una diferencia de carácter genético. En efecto, es posible notar que las zonas disectadas (Mapas GM.005, 007 y 008) constituyen áreas no muy grandes, que se sobrepone a un conjunto redondeado relativamente uniforme. Además las áreas disectadas (Foto 17) corresponden a zonas de crestas o se vinculan directamente a incisiones vallivas, donde el ataque de la erosión es más eficaz. De hecho, es posible notar (Cuadro 5.3) que la mayoría de las colinas redondeadas (77.2%) presenta una erosión moderada y que un buen porcentaje de las mismas (13.9%) sufre una erosión negligible, mientras que el 75% de la colina disectada sufre erosión severa y el 11% erosión muy severa.

Debemos también considerar que, en la mayoría de los casos, las laderas de las colinas redondeadas están cubiertas por un manto coluvial que localmente puede llegar a ser muy espeso (Foto 18). Este manto presenta algunas incisiones, ralas pero profundas, a lo largo de las que se concentra la erosión lineal y el transporte de materiales provenientes de la ladera como consecuencia de la erosión laminar, en ocasión de las lluvias.

Por lo tanto, en estos casos, el aspecto redondeado esconde una vulnerabilidad mayor aún que en los casos en que las mismas formas son modeladas directamente en el substrato rocoso.

Desde el punto de vista de la incidencia que las unidades de colina pueden tener en los problemas específicos del presente proyecto, podemos observar lo siguiente:

- Las colinas de la margen occidental (San Andrés de Machaca-Achiri) presentan un retículo hidrográfico no muy desarrollado; lo más importante es que parte de este retículo no alcanza al Desaguadero, ya que se detiene en terraza lacustre o en las áreas endorreicas. Por lo demás, los ríos que llegan al Desaguadero muestran zonas susceptibles de inundaciones, e incluso bofedales, que frenan el escurrimiento de las aguas y favorecen el depósito de materiales.
- Las colinas de la margen oriental (Caracolillo-Oruro) no influyen directamente en el Desaguadero. Los productos de su desmantelamiento se detienen en la orilla de la llanura.
- En cambio, las colinas de la faja central (Serranía de Corocoro), en particular el área situada al este de Nazacara (Mapas GM.004 y 007), deben considerarse muy atentamente, ya que se trata de un conjunto extenso de relieves cortados e irregulares (Foto 19), con un sistema de drenaje denso y bien desarrollado, que llega al Desaguadero a través de numerosos tributarios. Las zonas disectadas también son numerosas (Fotos 20 y 21). Además, inmediatamente al este de este sistema colinar se encuentra el cuerpo principal de la Serranía de Corocoro, que también muestra valores de erosión no negligibles y, en consecuencia, aporta su contribución a los productos de las colinas.

5.2.4. Unidades de la meseta volcánica

La meseta volcánica se concentra en una sola área, correspondiente a la parte central de la cuenca del Mauri, la cual, por lo tanto, asume una fisonomía característica y uniforme (Mapas GM.002, 003, 005 y 006). El área ocupada por la meseta constituye el 12.6% del área de estudio, el doble del área que ocupan las unidades de colina, y representa el 35.6% de la superficie de la subcuenca del Mauri.

En efecto, arriba de los relieves de la margen este de la cuenca, al este de Oruro, se encuentran zonas de meseta volcánica (Anexo GM.0014), pero su importancia para los fines del presente estudio es prácticamente nula, ya que se pueden asimilar a las unidades de montaña.

La morfología de la meseta volcánica y su posición en el Altiplano están estrechamente relacionadas con la actividad volcánica pliocénica, en la margen de la Cordillera Occidental. La meseta volcánica está constituida por la formación Pérez (compuesta de lavas, ignimbritas y tobas, con intercalaciones sedimentarias locales), que yace en discordancia sobre la formación Mauri del Plioceno.

Es una característica de esta unidad el formar vastas altiplanicies (Foto 22) con superficies uniformes o ligeramente onduladas, que pueden reconocerse muy bien en las fotos o en las imágenes debido a su tono blancuzco. Otra de sus características es el drenaje sub-paralelo, que incide surcos netos, los cuales, cuando son profundos, se encajan entre paredes escarpadas. Gran parte del curso del mismo río Mauri, desde poco antes de la frontera Bolivia-Perú hasta General Campero, corre por un valle estrecho (Foto 23), encajado en la meseta volcánica.

Dada la competencia de las rocas que la constituye y el hecho de que sus superficies altas son casi horizontales, la meseta es poco erosionable y, por lo tanto, hay que considerar escasa su contribución al transporte sólido del Mauri. Localmente, la erosión puede llegar a ser incluso severa, pero se concentra en los impluvios o en zonas muy disectadas, especialmente porque en estos casos la erosión actúa sobre el substrato sedimentario. Ahora bien, también en la superficie superior conservada se notan formas características muy cortadas e irregulares, que sugieren un estadio inicial de alteración y erosión de la superficie que, sucesivamente, se desarrolla en incisiones definidas y organizadas (Foto 24).

En la parte alta de la cuenca del Mauri, en el área de Charaña y en la parte adyacente del Perú, encima de la superficie principal de la meseta constituida por lavas e ignimbritas, se encuentra un manto de tobas y sedimentos interestratificados, que sigue el rumbo sub-horizontal de la altiplanicie (Foto 25), pero que tiene formas más sinuosas, localmente casi colinares, y drenaje dendrítico. Por lo tanto, esta parte de la meseta, que

por lo demás se encuentra al pie de las montañas volcánicas de la Cordillera Occidental, es más erosionable que la parte de superficie formada por lavas e ignimbritas, pero mantiene un relieve bajo y sub-horizontal. Además, el espesor susceptible de erosión es modesto y reposa en un substrato competente.

El criterio para dividir la meseta volcánica en tres sub-unidades ha sido el estado de conservación de la superficie original.

La meseta conservada se presenta como una altiplanicie uniforme (Foto 26), cortada por un drenaje sub-paralelo poco incidido y ralo. Localmente se observa un retículo más denso que da lugar a un inicio de formas disectadas. Sólo los cursos principales cortan valles estrechos y con paredes abruptas, que se van profundizando conforme se avanza hacia el río Mauri. La superficie puede presentar zonas de disectación limitada a un pequeño espesor. Donde existe el manto de tobas y sedimentos sobrepuesto a las lavas e ignimbritas, la superficie es más sinuosa y el drenaje más desarrollado y dendrítico. De cualquier manera, se trata de una unidad con buena estabilidad y escasamente erosionable. El 71.5% (Cuadro 5.4) presenta erosión moderada; el 18.8% que muestra erosión severa corresponde a las zonas donde el retículo hidrográfico es más denso.

La meseta conservada representa el 71.6% de toda la meseta volcánica, lo cual testimonia el grado escaso de degradación de las rocas que la constituyen, elemento que se ve favorecido por la orientación sub-horizontal de la sub-unidad.

La meseta disectada corresponde a las áreas donde la superficie original es reconocible y, localmente, incluso conservada, pero cortada por un denso retículo de drenaje, inclusive profundamente, que la divide en mesas aisladas, aunque cercanas entre sí. Los canales del retículo hidrográfico son más anchos que los de la meseta conservada y en ellos aflora el sedimentario terciario que está debajo del volcánico. En las superficies altas el ataque de la erosión es medio, pero se vuelve fuerte la erosión es severa en las zonas cortadas, también porque allí la erosión actúa en terrenos sedimentarios que son menos competentes que el volcánico (Foto 27).

La meseta degradada representa un estadio más avanzado de disectación, que puede tener dos aspectos:

- La superficie original reducida a vestigios de pequeño tamaño diseminados y el substrato sedimentario ampliamente aflorante, disectado y fuertemente cortado por un drenaje dendrítico denso, por ejemplo al norte del Mauri, en General Campero (Mapa GM.005).
- La superficie del volcánico en gran parte entera, menudamente disectada y alterada, pero con erosión moderada porque no está cortada por canales profundos y pendientes bajas, por ejemplo en las dos áreas localizadas al suroeste de Ulloma (Mapas GM.006 y 008). Sin embargo, apenas la erosión alcanza el substrato sedimentario se convierte en severa o muy severa, como se puede notar en la zona más cercana a Ulloma (Mapa GM.008). En efecto, en esta zona resulta problemático distinguir la meseta volcánica de la terraza lacustre, cuando ambas son degradadas (Foto 28).

5.2.5. Unidades de la montaña media

En el área de estudio, las unidades geomorfológicas clasificadas (Cuadro 5.5) como montaña media se encuentran localizadas en correspondencia con tres fajas bien diferenciadas:

- La margen interna de la Cordillera Occidental, que comprende el 53.4% de la unidad.
- La Serranía de Corocoro, en la parte media del Altiplano; 15.5%.
- La margen occidental de la Cordillera Oriental, que corresponde al 29.1% de la unidad.

La génesis, características geológicas y posición con respecto a la cuenca de cada una de estas tres fajas son muy diversas y contribuyen a dar un valor diferente a las unidades geomorfológicas respectivas. Un relieve montañoso aislado también se encuentra en la parte septentrional de la altimpampa de Oruro, en La Joya. Este relieve está formado por rocas volcánicas competentes, pero, a pesar de que sus dimensiones son notables su importancia resulta relativa (en nuestros cálculos estadísticos lo hemos considerado parte de la Cordillera Oriental).

La zona montañosa de la margen interna de la Cordillera Occidental se localiza totalmente en la cuenca del Mauri, donde circunda la parte central ocupada por la meseta volcánica. En su mayor parte, la génesis de estos relieves hay que atribuirlos a la actividad volcánica plioceno-cuaternaria, que fue muy intensa en toda la margen del Pacífico de la cadena andina. Se trata de conos volcánicos, aislados o compuestos, y estratovolcanes de grandes dimensiones, que forman relieves macizos, casi todos redondeados (Foto 29).

Sólo una pequeña parte de los relieves montañosos de esta zona está constituida por rocas sedimentarias. Se trata de los relieves del área de Berenguela (Mapa GM.005) (Foto 30), formados por rocas terciarias y en parte cretáceas pertenecientes al relleno de la fosa tectónica del Altiplano y que, con postura monoclinal, constituyen actualmente la margen occidental del mismo Altiplano. Estos relieves tienen formas características de cuevas redondeadas, con declive largo y uniforme en el lado este y escarpadas abruptas, con zonas fuertemente disectadas y erosión activa, en el lado oeste. Se notan zonas de erosión severa y deslizamientos incluso importantes.

En cambio, las montañas volcánicas muestran zonas disectadas sólo localmente y, en su mayor parte, la erosión es lineal con valores moderados, a lo largo de un retículo de drenaje no muy denso. Se notan restos de procesos glaciales, con forma de circos y de pequeñas acumulaciones morrénicas.

No obstante, es necesario observar que en los flancos de algunos conos volcánicos importantes están presentes espesos mantos coluviales y detríticos recientes y actuales (Foto 31), con aportes incluso fluvio-glaciales. Estos mantos se extienden en parte de o en todas las laderas de los conos en cuestión, incluso a cotas elevadas, y se integran a la morfología montañosa, simplemente suavizando la pendiente de la misma. Es por esta razón que no han sido distinguidos en el Mapa Geomorfológico como unidad de acumulación detrítica, sino solamente señalados con el símbolo de cubiertas cuaternarias del substrato geológico (Ver punto 4.3.1). Estos mantos presentan una competencia diversa a la de las rocas volcánicas sobre las que se apoyan, en el sentido de que son más erosionables; en efecto, muestran un drenaje más denso de tipo sub-paralelo. Sin embargo, los valores reales de erosión no son altos, probablemente

porque la pendiente de la vertiente es más suave. Las áreas donde estos mantos cuaternarios están más extendidos son las siguientes:

- Al sur del río Achuta, en el flanco norte del Nevado Milluni y del Cerro Suni Khana.
- En la parte alta de la cuenca del Mauri, en la vertiente sur de los cerros Ninacara y Llallahua y en el flanco este del Cerro Jucure, donde los mantos cuaternarios son continuos a otros del mismo tipo pero que pertenecen a la unidad de montaña alta.

Sólo una faja bastante limitada de las unidades de montaña media, pertenecientes a la Serranía de Corocoro, entra en el área de estudio, a lo largo del límite noreste de la parte alta de la cuenca (Mapas GM:004, 007 y 008). Se trata, en este caso, de relieves vinculados a una cadena plegada, formada por rocas sedimentarias terciarias del relleno de la fosa tectónica del Altiplano y localizada a lo largo del eje del mismo Altiplano. Son terrenos sedimentarios clásticos no muy sedimentados y, por lo tanto, erosionables y tectonizados, con una estructura joven sometida a una erosión activa (Foto 32), como lo confirman las cantidades de acumulaciones detríticas y de abanicos fluviales al pie de la Serranía, al norte de Corocoro (Mapa GM.004).

Ahora bien, las unidades de montaña de la Serranía de Corocoro entran en el área de estudio con una faja bastante limitada. Se pueden distinguir tres zonas:

- La vertiente suroeste de la Serranía, al norte de 17° de latitud y hasta el lago Titicaca (Mapas GM.004 y 007). La vertiente es estrecha, pero abrupta, con predominio de formas redondeadas (Foto 33) y con una parte disectada en las cercanías del Titicaca (Foto 34), pero con cotas bajas. Los dos tercios norte de la vertiente terminan bruscamente con una ruptura del declive, en parte en la terraza lacustre, en parte en la llanura aluvial de Santiago de Machaca. En esta zona, el aporte de los materiales de erosión al Desaguadero se ve frenado por este intervalo de planicie, mal drenado.

Como ya se ha observado, la cantidad de acumulaciones detríticas y de abanicos al pie de la vertiente confirma una actividad erosiva intensa,

pero también que gran parte del material se detiene en la base de la vertiente misma.

El tercio meridional de esta vertiente se encuentra a espaldas del grupo de colinas que están al este de Nazacara (Ver la última parte del punto 5.2.3) y con éstas forma un sistema único, de erosión medio-alta y bien conectado con el Desaguadero por un retículo activo y desarrollado y, en consecuencia, contribuye a aumentar el peligro del área de colinas.

- La zona situada entre el río Jacha Jahuira y el río Khora (Mapa GM.007) donde la montaña está representada sobre todo por un gran relieve que emerge de la terraza fluvio-lacustre, en su mayor parte disectado y en erosión severa. Este relieve se comunica con el río Desaguadero a través de los dos ríos citados más arriba.
- La zona de la margen noreste de la hoja 8 (Mapa GM.008), también muy disectada pero con erosión moderada. Esta zona está conectada directamente con una vasta área de terraza fluvio-lacustre, en gran parte disectada, y, por lo tanto, contribuye a aumentar su grado de peligro.

Las unidades de montaña media de la margen de la Cordillera Oriental revisten un interés limitado con respecto a los objetivos del presente estudio. En efecto, el retículo hidrográfico que baja de estos relieves se detiene en la orilla de la altipampa de Oruro (Foto 35) y todo el material que transporta se deposita en una faja estrecha al pie de los relieves. Una confirmación de esta situación puede deducirse del hecho que los dos lagos Uru Uru y Poopó, el tramo de agua que los conecta y las áreas deprimidas más extensas de la llanura, se encuentran alineados cerca y a lo largo de esta orilla y que, en la desembocadura de los valles, están presentes abanicos, incluso grandes, y acumulaciones detríticas (Foto 36) (Mapas GM.011, 012, 013 y 014).

Las montañas de estas zonas corresponden a los primeros contrafuertes de la Cordillera Oriental y están constituidas por sedimentos paleozoicos muy tectonizados en las fases hercínicas, con rumbo de las estructuras preponderantemente noroeste-sureste. Esto explica que en esta zona predominen las formas disectadas y que las áreas de erosión severa no sean, en efecto, muy extensas.

5.2.6. Unidades de la montaña alta

Este grupo es el menos representado en el área de estudio, ya que cubre solamente el 4.6% de la superficie total (Cuadro 5.6). Además, se localiza exclusivamente en la cuenca del Mauri, de la que constituye la extrema orilla oriental (Mapas GM.001, 002 y 003). Al igual que las unidades de montaña media de esta parte de la cuenca, se trata de relieves vinculados a la actividad volcánica, especialmente cuaternaria, que es la base de toda la Cordillera Occidental (Foto 37). En la montaña alta se pueden individualizar mejor que en la media conos y estratovolcanes de gran tamaño, con vertientes uniformes de pendiente medio-alta y zonas de cumbre en las que aparecen muy marcados los restos de procesos glaciales, por ejemplo circos y acumulaciones morrénicas.

También en la montaña alta son frecuentes los mantos coluviales, detríticos y fluvio-glaciales, los cuales cubren vastas porciones de las vertientes de los relieves volcánicos, disminuyendo su pendiente y volviéndolos más uniformes. La presencia de estos mantos explica la redondez de las zonas de vertiente, mientras que las áreas disectadas se concentran en las cumbres de los relieves. Las zonas disectadas, que generalmente sufren erosión severa, están directamente sobre la litología volcánica competente y, por lo tanto, los efectos de la erosión resultan modestos. Además, las vertientes más suaves, cubiertas de material poco consolidado, están en erosión moderada y contribuyen al transporte sólido de los ríos sólo en ocasión de aguaceros muy fuertes. Asimismo es importante subrayar que, en la parte alta de la cuenca del Mauri y de su afluente el Putani, se localizan áreas de llanura suspendida (Foto 38), con mantos aluviales y zonas de embalse que contribuyen a disminuir los efectos erosivos de las unidades de montaña con respecto a las partes más bajas de la cuenca del mismo Mauri y del Desaguadero (Valle de Catacora, Valle del río Ancomarca, Valle Callapuma/Mauri, Valle de la Laguna Blanca).

Una parte de las zonas de cumbre (2.1% de la unidad), a lo largo de la divisoria de la cuenca, está cubierta de nieves eternas, lo cual contribuye a frenar los procesos erosivos.

5.3. CONSIDERACIONES GENERALES ACERCA DE LA CUENCA

En el capítulo 1 de la segunda parte del presente estudio se introdujo la división en cinco sub-áreas de la cuenca del Desaguadero, sobre la base de las características geomorfológicas predominantes y de la estructura del sistema de drenaje.

A fin de facilitar las respectivas referencias, estas áreas han sido denominadas: Desaguadero Norte, Mauri, Desaguadero Central, Llanura Fluvio-lacustre y Vertiente Oriental.

El área de estudio en su conjunto, con la división en sub-áreas y los elementos concernientes al retículo hidrográfico, está representado, a escala 1:500.000, en el Mapa GM.015. Los datos resumidos sobre la distribución en el área de las unidades geomorfológicas y los valores de la erosión, por sub-áreas, se reportan en los Cuadros 5.7 y 5.8.

5.3.1. Sub-área Desaguadero Norte

Corresponde al tramo del Desaguadero situado entre la salida del Titicaca y la confluencia con el Mauri, en Calacoto. Hasta Nazacara el Desaguadero corre con una pendiente muy suave, sobre terraza lacustre muy baja, formando extensas áreas de pantano y bofedal (Foto 39). De Nazacara a Calacoto el río incide la terraza lacustre, la cual, no obstante, se mantiene a cotas relativamente bajas.

La sub-área se caracteriza por el predominio de la terraza lacustre conservada, a la que se asocian amplias zonas de terraza ondulada, por lo tanto, preponderantemente endorreica. El conjunto de estas dos unidades cubre el 44.3% de la sub-área (Cuadro 5.7).

La margen este corresponde a la vertiente de la Serranía de Calacoto, constituida por una alineación de montaña, en su mayor parte redondeada (Foto 32), y por un núcleo, al este de Nazacara, formado por colinas y montaña disectada, con valores de erosión incluso elevados; todas con substrato de rocas sedimentarias no muy competentes (Foto 20). En efecto, el predominio de la erosión negligible en esta sub-área (Cuadro 5.8) hay que atribuir a la presencia de terraza lacustre, que sólo localmente presenta valores más elevados en las escarpas o en las

pequeñas cuencas incididas, mientras que los dos porcentajes que no hay que descuidar de erosión moderada (32.2%) y erosión severa (8.4%)-, es necesario atribuir, en gran parte, a los relieves de la margen este. Sin embargo, la parte más septentrional de estos relieves, hasta el río Jacha Jahuira, no influye directamente en el río Desaguadero, porque gran parte de los productos de la erosión se detienen al pie de la serranía. En cambio, la parte más meridional presenta una irregularidad mayor, tanto en las áreas de montaña como, aún más acentuada, en las de colina, con un drenaje más organizado que contribuye a aumentar el transporte que llega al Desaguadero.

En la parte occidental de esta sub-área se encuentran pocos relieves colinares, con retículo hidrográfico poco desarrollado, que, en parte, se detiene en la terraza lacustre y en las zonas endorreicas. Por lo tanto, la contribución de esta zona al transporte sólido del Desaguadero es muy escasa.

Por el contrario, toda la zona de terraza lacustre, sobre todo la parte situada al norte de Nazacara, presenta riesgo durante los períodos de lluvia, no sólo por los posibles desbordes del Desaguadero, sino también por el embalse de agua, especialmente en las zonas de terraza ondulada.

5.3.2. Sub-área Mauri

Esta sub-área corresponde casi totalmente a la sub-cuenca del río Mauri, el cual, con su superficie de 10.200 Km², de los que 8.415 comprendidos en el área de estudio, representan alrededor de una tercera parte de la cuenca del Desaguadero.

Casi el 80% de la sub-unidad en cuestión se caracteriza por la presencia de dos grupos de unidades morfológicas (Cuadro 5.7): la meseta volcánica (Foto 22), que cubre el 35.6% del área, y la montaña (Foto 29), media y alta, que cubre el 41.4%. Ambos grupos están vinculados genéticamente a la actividad volcánica plioceno-cuaternaria que ha determinado gran parte de los relieves de la Cordillera Occidental.

El retículo de la sub-cuenca del Mauri es denso y está bien organizado; de tipo dendrítico en los relieves montañosos, se vuelve paralelo en la meseta. Dado el

predominio de litologías volcánicas competentes, los valores de la erosión no son altos. En efecto, si se toma en cuenta que los relieves montañosos favorecen el proceso erosivo, los valores del 62.6% correspondientes a una erosión moderada y del 16.3% correspondientes a una erosión severa, pueden considerarse bajos. De cualquier manera, se trata sobre todo de erosión lineal localizada a lo largo de las incisiones de los cursos de agua. También hay que citar la presencia de algunos valles importantes suspendidos (Foto 38) en la parte alta de la sub-cuenca, los cuales contribuyen a frenar el proceso erosivo, porque crean zonas de estancamiento con lagunas y bofedales. Al contrario, es necesario recordar que los depósitos de vertiente están relativamente desarrollados (7.7% del área, Cuadro 5.7) y que existen importantes mantos detrítico-coluviales en los flancos de los mayores relieves volcánicos, los cuales, a pesar de que forman parte del paisaje montañoso, están constituidos por materiales menos coherentes que las volcanitas (Foto 31).

El aporte sólido del Mauri al Desaguadero debe considerarse proveniente sobre todo de la parte del curso aguas abajo de General Pérez, donde el río y sus afluentes drenan a través de la meseta volcánica, en gran parte degradada, erosionando prácticamente el substrato sedimentario terciario (Foto 27). Por lo demás, en esta misma zona de la sub-cuenca, la mayor parte de la vertiente norte está formada por relieves de sedimentario de la zona de Berenguela (Foto 30). En presencia de lluvias intensas y abundantes, el sistema drenante de la cuenca del Mauri tiene todas las características como para hacer confluir las aguas masiva y velozmente aguas abajo, a lo largo del curso principal y hasta el Desaguadero.

5.3.3. Sub-área Desaguadero Central

Incluye la zona situada entre la confluencia del Mauri en el Desaguadero, en Calacoto, y el inicio de la llanura fluvio-lacustre deposicional, en Chilahuala. **Es la parte de la cuenca que presenta los mayores problemas.** En efecto, todas las unidades morfológicas de mayor desarrollo que se encuentran en esta sub-área muestran una fuerte incidencia de la porción más degradada. La unidad que caracteriza a esta sub-área es la terraza lacustre, la cual constituye el 70.8% de la superficie total (Cuadro 5.7), formada por un 25.4% de terraza conservada y un 45.4% de terraza degradada. También las

unidades de colina, montaña y meseta presentan porcentajes de zonas degradadas más bien altas. Esta situación hay que atribuirla a diversos factores. El primero de ellos es la presencia de litologías poco competentes, tanto en lo que toca a los depósitos lacustres como a los sedimentarios terciarios del substrato. Además, estos últimos son plegados y tectonizados y contribuyen a formar un paisaje complejo, irregular y fácil blanco de la erosión.

Otro factor es la posición de la sub-área, situada en correspondencia con un alto estructural, sobre la alineación entre la Serranía de Corocoro y la Serranía de Corque, que, en realidad, son continuas entre sí y constituyen una dorsal única, a lo largo del eje del Altiplano. Hasta tiempos recientes (período Ballivian), este alto estructural constituía un umbral que separaba la cuenca del lago Titicaca de la cuenca correspondiente al actual lago Poopó. Durante el período interlacustre Ballivian Minchin, el río Mauri, que drenaba hacia el lago Titicaca, fue capturado por el río Desaguadero, por erosión regresiva de sureste, estableciéndose así la comunicación entre las dos cuencas, de las cuales, la del Poopó, es aproximadamente 120 m más baja. Estos eventos pusieron en marcha un proceso de rejuvenecimiento morfológico, con ataque erosivo intenso a materiales poco competentes; dicho proceso se inició en tiempos recientes y, por lo tanto, todavía actúa (Fotos 12 y 13).

Para un área con morfología de tipo colinar, valores de erosión severa del 24.9% y de erosión moderada del 42.2% (Cuadro 5.8) deben considerarse graves. Además, el valor 2.4% correspondiente a la erosión muy severa es el más alto de todas las sub-áreas. También es importante considerar que la vertiente sur de este tramo del Desaguadero se extiende aproximadamente 20-25 Km más allá del límite del área estudiada y, por lo tanto, la superficie que tributa al Desaguadero es mayor de la que se toma en cuenta aquí.

5.3.4. Sub-área Llanura Fluvio-Lacustre

Esta zona se localiza inmediatamente aguas abajo de la anterior y se caracteriza por unidades geomorfológicas estrechamente ligadas entre sí desde el punto de vista genético. En efecto, se trata de una vasta altiplanicie que se formó sobre un relleno lacustre y fluvial, el cual constituye la verdadera unidad de la llanura fluvio-lacus-

tre (47.4% de la sub-área, Cuadro 5.7), sobre la que se han sobrepuesto áreas de bofedal (4.5%), zonas inundables (27.1%) y los lagos Uru Uru y Poopó (12.3%) que, debido a su escasísima profundidad, pueden asimilarse a pampas inundadas. Además, el 5.1% de la sub-área en cuestión está ocupado por acumulaciones eólicas, lo cual indica una acción importante del viento.

La llanura fluvio-lacustre que, en realidad, debe ser considerada en su mayor parte como perteneciente a la cuenca del Poopó, en la estructura del Sistema TDPS, es el área que recoge todas las aguas del Desaguadero.

En condiciones normales, el drenaje superficial está constituido casi exclusivamente por el curso del Desaguadero, muy bien definido hasta La Joya, menos definido al sur de esta localidad. La escasa pendiente y la erosión activa aguas arriba de Chilahuala favorecen la deposición (Foto 4) en el cauce del Desaguadero y su progresivo azolve. En consecuencia, durante los períodos de lluvias, son muy frecuentes las avenidas que reactivan un retículo en correspondencia con las zonas más deprimidas (áreas inundables) y que también depositan material, lo cual provoca el desplazamiento de estas vías de escurrimiento preferencial. En tiempos recientes, el mismo curso del Desaguadero se ha desplazado hacia el oeste, a causa de este fenómeno.

La llanura fluvio-lacustre no presenta problemas de erosión en el sentido de arrastre de material, salvo que por la acción del viento. Sin embargo, es un área sujeta de modo grave al riesgo de inundación que comporta el depósito de materiales finos que arrastra el Desaguadero y la remoción de estos mismos materiales en ocasión de avenidas. Por lo tanto, desde el punto de vista de su utilización, ésta es una superficie altamente inestable, especialmente las zonas mapeadas como áreas inundables.

5.3.5. Sub-área Vertiente Oriental

La vertiente Oriental interesa sólo marginalmente para los fines del presente estudio. Se trata de un área preponderantemente montañosa, que corresponde a los contrafuertes occidentales de la Cordillera Oriental, con fuerte incidencia de unidades disectadas (Cuadro 5.7) y valores altos de erosión severa (Cuadro 5.8), pero que incide muy poco en la dinámica de la cuenca.

En efecto, el retículo de drenaje, denso y bien organizado, que la caracteriza se detiene en el límite de la llanura fluvio-lacustre y los productos de la erosión se acumulan en la desembocadura de los ríos bajo la forma de abanicos incluso muy grandes (Foto 36). Es probable que en la estación de lluvias los aportes de agua de los ríos de esta vertiente sean notables, porque los relieves son altos y los valles abruptos y encajonados. Sin embargo, la presencia de los abanicos aluviales y la brusca ruptura de pendiente en la desembocadura de la llanura (Foto 35), tienden a atenuar la velocidad del agua, lo cual, viceversa, puede representar un riesgo en el interior de los valles.

CUADRO Nº 5.1 : CUENCA DEL DESAGUADERO

Unidades relacionadas con los depósitos de cobertura y con los procesos fluviales actuales y recientes

REPARTICION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS						
SUPER UNIDAD Km2 % del area total	UNIDAD Km2 % de la super unidad / % del area total		EROSION Km2 % de la unidad			
			1	2	3	4
AGUA 945 3.6%	AGUA 945	100.00% 3.60%				
DEPRESIONES 3382 3.6%	SALARES 72	2.13% 0.30%				
	BOFEDALES 586	17.33% 2.20%				
	ARENAS INUNDABLES 2724	80.54% 10.50%	2724 100.0%			
DEPOSITOS FLUVIO LACUSTRES ACTUALES 4780 18.4%	VALLES ALUVIALES (a) 1380	28.87% 5.30%	1380 100.0%			
	LLANURA (L) 3401	71.15% 13.10%	3401 100.0%			
DEPOSITOS DE VERTIENTE 1675 6.4%	ABANICOS 488	29.13% 1.85%	488 100.0%			
	DETRITICO (Ad) 968	57.79% 3.70%	477 46.0%	503 52.0%	18 2.0%	
	MORRENICO (Am) 206	12.30% 0.80%	16 8.0%	152 74.0%	38 18.0%	
	DESLIZAMIENTOS 13	0.78% 0.05%	16 100.0%			
EOLICO 372 1.4%	EOLICO (Ae) 372	100.00% 1.40%	372 100.0%			

CUADRO Nº 5.2 : CUENCA DEL DESAGUADERO
Unidades de la terraza fluvio - lacustre

REPARTICION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS						
SUPER UNIDAD Km2 % del area total	UNIDAD Km2 % de la super unidad / % del area total		EROSION Km2 % de la unidad			
			1	2	3	4
TERRAZA FLUVIO-LACUSTRE 4527 17.4%	TERRAZA CONSERVADA (Tc) 2598 57.39% 10.00%		1834	726	36	2
			70.6%	27.9%	1.4%	0.1%
	TERRAZA ONDULADA (To) 308 6.80% 1.20%		303	5		
			98.4%	1.6%		
TERRAZA DREGADADA (Td) 1621 35.81% 6.20%				840	700	81
				51.8%	43.2%	5.0%

CUADRO Nº 5.3 : CUENCA DEL DESAGUADERO
Unidades de la collina

REPARTICION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS						
SUPER UNIDAD Km2 % del area total	UNIDAD Km2 % de la super unidad / % del area total		EROSION Km2 % de la unidad			
			1	2	3	4
COLINA 1600 6.2%	COLINA REDONDEADA (Cr) 1320 82.50% 5.10%		183	1019	114	4
			13.9%	77.2%	8.6%	0.3%
COLINA DISECTADA (Cd) 280 17.50% 1.10%			1	38	210	31
			0.4%	13.6%	75.0%	11.0%

CUADRO Nº 5.4 : CUENCA DEL DESAGUADERO
Unidades de la meseta volcánica

REPARTICION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS						
SUPER UNIDAD Km2 % del area total	UNIDAD Km2 % de la super unidad / % del area total		EROSION Km2 % de la unidad			
			1	2	3	4
TERRAZA FLUVIO-LACUSTRE 3278 12.6%	MESETA CONSERVADA (Mc) 2345 71.54% 9.00%		227 9.7%	1676 71.5%	442 18.8%	
	MESETA DISECTADA (Md) 467 14.25% 1.80%		4 0.9%	340 72.8%	122 26.1%	1 0.2%
	MESETA DREGADADA (Mt) 466 14.22% 1.80%		17 3.6%	302 64.8%	135 29.0%	12 2.6%

CUADRO Nº 5.5 : CUENCA DEL DESAGUADERO
Unidades de la montaña media

REPARTICION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS						
SUPER UNIDAD Km2 % del area total	UNIDAD Km2 % de la super unidad / % del area total		EROSION Km2 % de la unidad			
			1	2	3	4
MONTAÑA MEDIA 4260 16.4%	MONTAÑA MEDIA REDONDEADA (Rr) 3172 74.50% 12.20%		207 6.5%	2674 84.3%	291 9.2%	
	MONTAÑA MEDIA DISECTADA (Rd) 1088 25.54% 4.20%		1 0.1%	371 34.1%	716 65.8%	

CUADRO Nº 5.6 : CUENCA DEL DESAGUADERO

Unidades de la montaña alta

REPARTICION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS					
SUPER UNIDAD Km2 % del area total	UNIDAD Km2 % de la super unidad / % del area total	EROSION Km2 % de la unidad			
		1	2	3	4
MONTAÑA ALTA 1201 4.6%	MONTAÑA ALTA REDONDEADA (Sr) 883 73.52% 3.40%	12	793	78	
		1.4%	89.8%	8.8%	
	MONTAÑA ALTA DISECTADA (Sd) 293 24.40% 1.10%			25	268
			8.5%	91.5%	
	CUMBRES CON NIEVE PERENNE (Sn) 25 2.08% 0.10%				

CUADRO Nº 5.7 : CUENCA DEL DESAGUADERO

Repartición de la unidades geomorfológicas por subareas

UNIDAD GEOMORFOLOGICA	REPARTICION POR SUBAREAS (Km2 - %)									
	DESAGUADERO NORTE		MAURI		DESAGUADERO CENTRAL		LLANURA FLUVIO - LACUSTRE		VERTIENTE ORIENTAL	
AGUA	24	0.5%	22	0.3%	36	1.2%	862	12.3%		
SALARES	14	0.3%	10	0.1%	3	0.1%	45	0.6%		
BOFEDALES	168	3.5%	83	1.0%	13	0.4%	316	4.5%	6	0.2%
AREAS INUNDABLES	300	6.4%	286	3.4%	186	6.2%	1901	27.1%	51	1.8%
VALLES ALUVIALES	340	7.2%	629	7.5%	69	2.3%	90	1.3%	252	8.8%
LLANURA FLUVIO LACUSTRE					27	0.9%	3322	47.4%	52	1.8%
DEPOSITOS DE VERTIENTE	322	6.8%	647	7.7%	94	3.2%	28	0.4%	584	20.3%
EOLICO					5	0.2%	361	5.1%	6	0.2%
TERRAZA CONSERVADA/ONDULADA	2092	44.3%	57	0.7%	757	25.4%				
TERRAZA DEGRADADA	223	4.7%	44	0.5%	1354	45.5%				
COLINA REDONDEADA	514	10.9%	112	1.3%	110	3.7%	89	1.3%	495	17.2%
COLINA DISECTADA	114	3.0%	42	0.5%	52	1.7%			41	1.4%
MESETA CONSERVADA			2277	27.0%	65	2.2%			4	0.1%
MESETA DISECTADA			396	4.7%	3	0.1%			68	2.4%
MESETA DEGRADADA	5	0.1%	332	3.9%	129	4.3%				
MONTAÑA MEDIA REDONDEADA	484	10.3%	2155	25.6%	34	1.1%	2		497	17.2%
MONTAÑA MEDIA DISECTADA	94	2.0%	122	1.5%	47	1.6%			825	28.6%
MONTAÑA ALTA REDONDEADA			883	10.5%						
MONTAÑA ALTA DISECTADA			293	3.5%						
CUMBRES CON NIEVE PERENNE			25	0.3%						

CUADRO N° 5.8 : CUENCA DEL DESAGUADERO

Repartición de los valores de erosión por sub cuencas

SUB AREA Km2 - %	EROSION (Km2 - %)									
	AUSENTE		NEGLIGIBLE		MODERADA		SEVERA		MUY SEVERA	
DESAGUADERO NORTE 4714 18.1%	208	4.4%	2552	54.0%	1524	32.2%	397	8.4%	43	1.0%
MAURI 8415 32.3%	150	1.8%	1612	19.1%	5270	62.6%	1369	16.3%	14	0.2%
DESAGUADERO CENTRAL 2984 11.5%	54	1.8%	855	28.7%	1261	42.2%	743	24.9%	71	2.4%
LLANURA FLUVIO LACUSTRE 7017 27.0%	1223	17.4%	5713	81.4%	81	1.2%				
VERTIENTE ORIENTAL 2881 11.1%	7	0.2%	884	30.8%	1329	46.1%	661	22.9%		
TOTAL CUENCA 26021 100.0%	1642	6.3%	11664	44.8%	9465	36.4%	3122	12.0%	128	0.5%

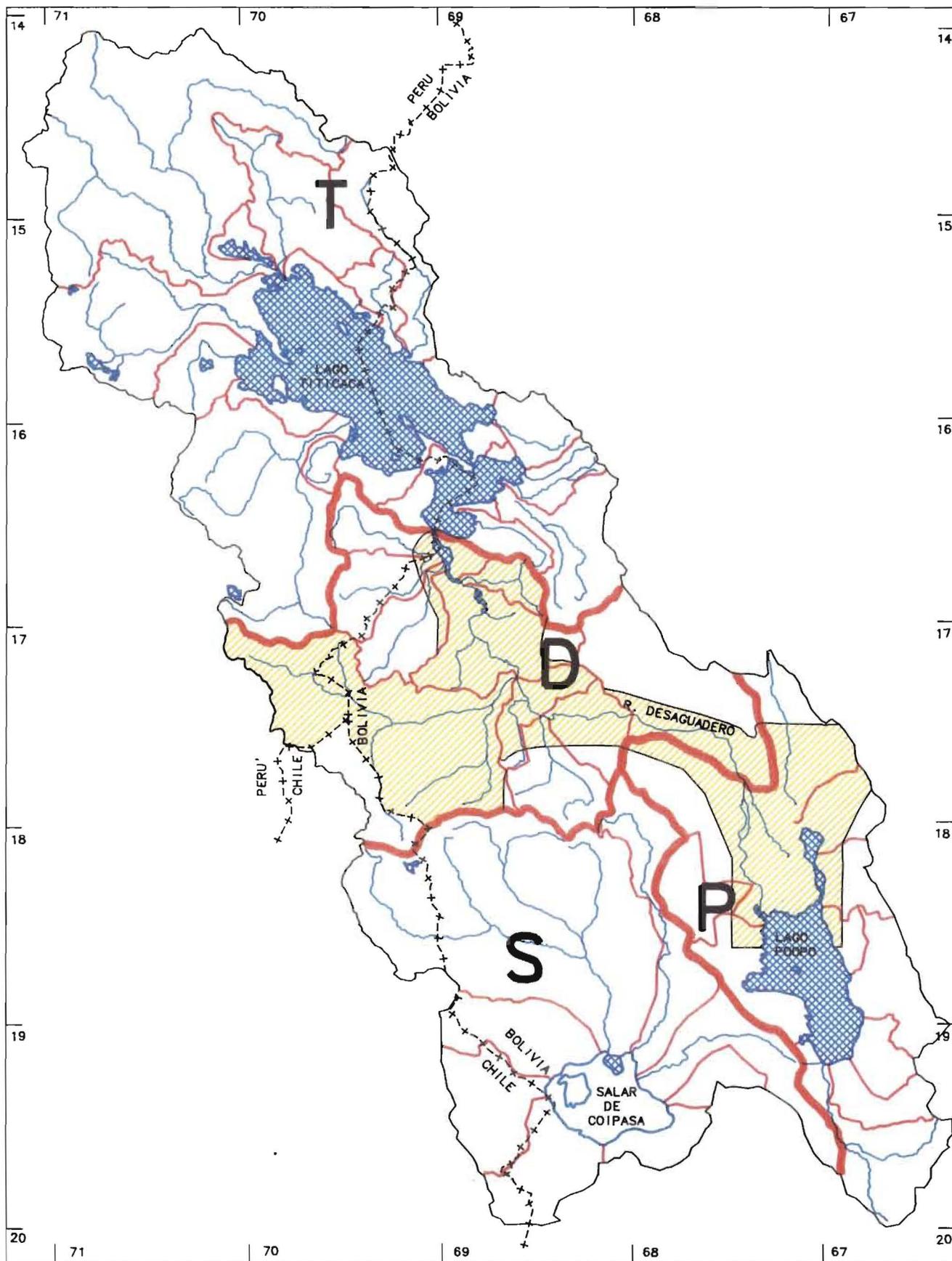


Fig.2 - Mapa de ubicación del área de estudio de la cuenca del Desaguadero con respecto al Sistema TDPS.

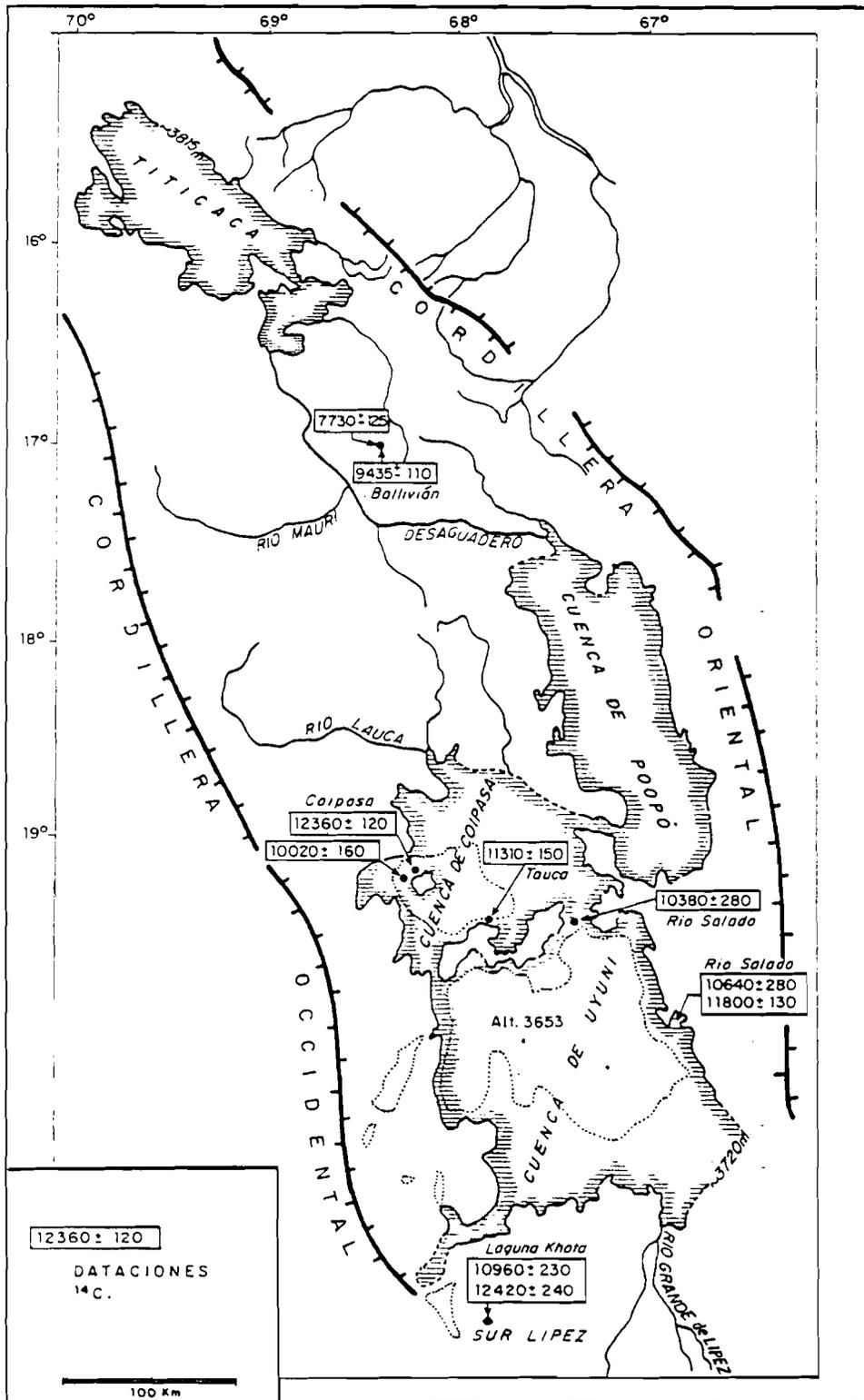


Fig.3 - Extensión máxima del Lago Tauca.

6. SISTEMA TDPS

6.1. GENERALIDADES

Desde un punto de vista geomorfológico, el Sistema TDPS constituye un conjunto unitario e interconectado que corresponde a la provincia geomorfológica del Altiplano y a las vertientes de las cordilleras Oriental y Occidental vinculadas con ella.

A pesar de que es un sistema único, se pueden reconocer cuatro cuencas primarias con características geomorfológicas y dinámica fluvial diversas (Fig. 4)

- La cuenca del lago Titicaca, donde la porción del Altiplano resulta muy reducida y en gran parte cubierta por las aguas del lago; por lo tanto, puede considerarse una cuenca de montaña.
- La cuenca del Desaguadero, donde la parte correspondiente al Altiplano se caracteriza, en parte, por la presencia de terraza lacustre, en parte por meseta volcánica y en parte por los relieves de las serranías de Corocoro y Corque, correspondientes a una faja de plegamiento reciente de sedimentos terciarios. Si se añade que esta cuenca se extiende bastante en la Cordillera Occidental, resulta un área de morfología muy variada y fragmentada.
- La cuenca del lago Poopó, que se caracteriza por una vasta altiplanicie, en gran parte llanura fluvio-lacustre deposicional, flanqueada al este por la Cordillera Oriental, de la que sólo una parte muy limitada forma parte de la cuenca.
- La cuenca del sistema Salar de Coipasa-Salar de Uyuni, constituida en realidad por dos cuencas parcialmente comunicantes, de las cuales solamente la septentrional, el Salar de Coipasa, está incluida en el área de estudio. Se trata de una vasta altiplanicie aparentemente en continuidad con la del Poopó, pero hidrográficamente separada, que en las márgenes norte y oeste incluye importantes relieves volcánicos.

Las dos cuencas del Titicaca y del Poopó se comunican a través del Desaguadero y, por lo tanto, forman un sistema único y definido en el que el lago Poopó representa el nivel de base.

Actualmente, el sistema Salar de Coipasa-Salar de Uyuni no comunica con el otro sistema, aunque, altimétricamente, la conexión existe al nivel del río Laca Jahuirá (ver Fig.6.3) y la cota media del Salar de Coipasa es inferior a la del lago Poopó. Por lo tanto, en lo que toca a las implicaciones con respecto al presente estudio, la cuenca del Salar de Coipasa puede considerarse como una cuenca endorreica separada, excepto en años húmedos.

Desde un punto de vista general, siguen vigentes las consideraciones ya hechas a propósito de la cuenca del Desaguadero (Ver Capítulo 5.1), es decir, que el Altiplano y las cordilleras que lo flanquean son el resultado de una evolución estructural reciente e intensa, vinculada a una faja orogénica activa. En particular, la zona del Altiplano se encuentra todavía en fase de levantamiento; algunos relieves estructurales de la parte axial (serranías de Corocoro y Corque) pueden referirse a plegamientos incluso pleistocénicos y gran parte de la actividad volcánica es cuaternaria, aún activa. Esto significa que, si se exceptúan las áreas cubiertas de agua y las zonas deprimidas donde hay deposición, por ejemplo la llanura fluvio-lacustre, el modelado resulta en todas partes activo e intenso, con áreas donde la presencia de litologías poco competentes y las situaciones de desequilibrio local exasperan los fenómenos mencionados.

6.2. UNIDADES GEOMORFOLOGICAS

El área del Sistema TDPS, cuya superficie total es de 143.900 Km², ha sido estudiada a un nivel de detalle compatible con una investigación regional. El estudio ha sido realizado por medio de la interpretación de las imágenes del satélite Landsat, a escala 1:250.000 y sin estereoscopia. El Mapa Geomorfológico producido (Mapas del GM.016 al GM.027) también es a escala 1:250.000. Respecto al estudio de la cuenca del Desaguadero (Ver Cap. 5), obviamente, el nivel de detalle en la definición de las unidades geomorfológicas es diverso.

No obstante, las leyendas respectivas han sido proyectadas coherentemente, de modo que ambos mapas geomorfológicos resultaran confrontables entre sí.

Los principios sobre los que se basa la definición de las unidades geomorfológicas son los mismos ya ilustrados en el Capítulo 4 y adoptados para el Mapa Geomorfológico a

escala 1:100.000 de la cuenca del Desaguadero, con las diferencias principales siguientes:

- El substrato geológico integra directamente la definición de la unidad y determina, además del tipo de relieve y estado de degradación, la subdivisión. Por ejemplo, han sido diferenciadas dos unidades de colina redondeada y dos de colina disectada, sobre la base del substrato geológico, sedimentario o volcánico. Considerando también la escala a la que han sido elaborados los mapas, los tipos de substrato geológico tomados en cuenta solamente son: sedimentario estructurado, volcánico de lavas o ignimbritas y volcánico piroclástico, además de los tipos ya implícitos en las unidades geomorfológicas, como depósitos aluviales, de piedemonte, lacustres, etc.
- El grado de erosión imposible de evaluar con el suficiente detalle, a partir de las imágenes, como para poder clasificarlo y determinar la existencia de sub-unidades, ha sido considerado en términos de valores promedio para cada unidad, dependiendo del tipo de relieve y del substrato geológico. Esto ha sido posible en virtud de la experiencia derivada del estudio más detallado, efectuado sobre la base de las fotografías áreas estereocópicas, de la cuenca del Desaguadero, que ha fungido como punto de confrontación.

Existen otras diferencias entre las dos leyendas que, en cambio, derivan del hecho de que, dados la escala y los objetivos de la investigación regional así como la vasta extensión del área de trabajo, las unidades han sido agrupadas. En particular hay que tomar en cuenta los siguientes grupos:

- Bofedales, salares y áreas inundables, forman una única unidad ya que todos representan zonas deprimidas.
- Acumulaciones detríticas, coluviales, morrénicas, depósitos fluvio-glaciales y glaciales, abanicos aluviales, forman una unidad única denominada Piedemonte, ya que están vinculados entre sí, por génesis o posición, y todos son asimilables a depósitos de vertiente.

- La unidad de la terraza fluvio-lacustre reagrupa todas las áreas donde se puede reconocer una superficie, más o menos alta con respecto al nivel de base actual, referible a un proceso deposicional reciente pero no activo. En realidad, en algunas zonas, especialmente en la cuenca del Desaguadero, en esta unidad han sido incluidas áreas donde se puede reconocer una superficie de ablación que, por sus características actuales, igualmente puede asimilarse a la terraza lacustre.
- Ha sido adoptado un único grupo de unidades de montaña, sin distinguir entre montaña media y montaña alta, porque un detalle semejante, además de que es difícil de obtener a la escala de las imágenes, habría hecho también más difícil la lectura de los mapas, sin aportar ventajas reales. Por otra parte, en el Mapa Geomorfológico a escala 1:250.000, ya existe un aumento de detalle en la subdivisión de las unidades de colina, meseta y montaña ligado a la diferenciación sobre la base del substrato geológico.

La ausencia de una clasificación de montaña media, junto a la ausencia de estereoscopia en las imágenes, en algún caso puede haber llevado a desplazar hacia lo alto el límite colina-montaña, ya que han sido mapeados como colina relieves que en realidad pertenecen a un paso montañoso. A esto se ha procurado poner remedio, estableciendo una confrontación continua con los datos altimétricos proporcionados por los mapas topográficos.

6.3. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL SISTEMA TDPS

El Cuadro 6.1 resume la repartición de las unidades geomorfológicas mapeadas a 1:250.000, con respecto a la superficie total del Sistema TDPS. En un área tan vasta, los análisis estadísticos adquieren un valor limitado. No obstante, se pueden resaltar algunos datos significativos.

- Alrededor de una tercera parte del área está ocupada por montaña. Entre las unidades de este grupo, la montaña de substrato volcánico es preponderantemente redondeada y, por lo tanto, presenta valores de erosión moderados. En cambio, en la montaña de substrato sedimentario la unidad

disectada es más frecuente que la unidad redondeada.

- Las unidades típicas del Altiplano, es decir, depresiones, llanura fluvio-lacustre, terraza fluvio-lacustre y grandes cuerpos de agua, representan en conjunto otra tercera parte del área total. Pero las unidades de colina, estrechamente asociadas al Altiplano en cuanto constituyen sus bordes más internos y están difundidas también en el interior, cubre aproximadamente el 15% de la superficie total. Esto significa que el Altiplano es una área de morfología compleja e irregular, en la que predomina la actividad erosiva sobre la deposicional. De hecho, en todo el Sistema TDPS, las unidades en las que está ausente la erosión no llegan a representar el 25% del área.

Sin embargo, las cuatro cuencas primarias que constituyen el Sistema TDPS (Fig. 4) pueden considerarse unidades regionales independientes, con características particulares y, en consecuencia, con problemas particulares. Dado que el estudio morfológico constituye un soporte cognoscitivo para el resto de los estudios, el análisis de estas cuencas efectuado a través del Mapa Geomorfológico a escala 1:250.000, el Mapa del Retículo Hidrográfico a escala 1:1.000.000 (Cuadro M.028) y las tablas que resumen los datos sobre la superficie de las cuencas (Cuadros 6.2, 6.3, 6.4 y 6.5) puede llevarse a cabo a diferentes niveles y considerando diferentes temas, según las distintas fases de investigación del proyecto en cuestión. Desde un punto de vista general, pueden hacerse las siguientes consideraciones de carácter sintético:

6.3.1. Cuenca del Lago Titicaca

Es la más grande, ya que representa el 39% del Sistema TDPS. Su localización, en la parte más septentrional del Altiplano, donde éste se estrecha y las dos cordilleras - Occidental y Oriental- confluyen en un único sistema montañoso, obliga a considerarla como una cuenca preponderantemente montañosa. También la batimetría del Titicaca indica que este lago tiene características que corresponden más a una fosa intermontañosa que a una altiplanicie inundada, como es, en cambio, el caso de los lagos Poopó y Uru Uru. La fosa del Titicaca es asimétrica

con la parte más profunda alargada y localizada a lo largo de la margen de la Cordillera Oriental. Hacia el norte, esta alineación continua en la depresión del lago Arapa y en el valle del río Azángaro; hacia el sur, incluye la parte del Altiplano comprendida entre la Cordillera Oriental y la Serranía de Corocoro. Por lo tanto, la cuenca del Titicaca resulta netamente asimétrica.

La vertiente oriental y la mitad oriental de la vertiente norte son muy irregulares, con pendientes medio-altas, constituidas por montañas y colinas de sedimentario, en gran parte disectadas, pertenecientes a la Cordillera Oriental. A lo largo de esta vertiente están muy desarrollados los depósitos de piedemonte (Foto 41), en su mayor parte constituidos por depósitos glaciales que forman fuertes espesores en la vertiente noreste de los valles del río Suches y el río Carabaya (Mapas GM.016, 017 y 019), con altas terrazas de ablación caracterizadas por lagos intermorrénicos.

El retículo hidrográfico en esta parte oriental de la cuenca es denso y bien organizado, con ataque erosivo importante. Por sus dimensiones, algunas cuencas particulares contribuyen a los considerables aportes locales (Mapa GM.028). Se trata de las cuencas del río Suches (T19), del Huancane (T1) y del Ramis (T3). Esto último drena la mayor parte de la vertiente norte de la cuenca, haciendo confluir las aguas a la margen noreste del lago Titicaca a través de la parte norte de la llanura de Juliaca. Es interesante notar que en los dos puntos extremos de esta cuenca, noreste y oeste, se han realizado dos capturas, que el *pattern* del retículo muestra claramente; de estas capturas la del río Carabaya es la más importante, la cual, además de aumentar la superficie de la sub-cuenca, indica un fuerte ataque erosivo.

En esta parte de la cuenca, las zonas vulnerables están representadas por los valles de los ríos principales porque constituyen las zonas donde es posible un desarrollo antrópico. Los valles de los ríos Huancane, Suches, Carabaya, Azángaro y Pucara muestran amplias zonas ocupadas por depósitos aluviales, incluso terrazados, que ofrecen buenas condiciones desde el punto de vista del suelo y de acceso. Pero también se individualizan zonas inundables. Las dimensiones de estas sub-cuencas, el tipo de relieve y su cobertura vegetal escasa vuelven muy probables los aluviones a lo largo de

los valles, así como el empantanamiento durante la estación de lluvias.

La parte sudoriental de la cuenca puede subdividirse en tres partes, muy diferentes entre sí:

- La porción de Altiplano donde se encuentra la ciudad de Viacha, que corresponde en su mayor parte a la sub-cuenca del río Catari (T13), tiene las características de un área relativamente en equilibrio. El retículo de drenaje no es denso. La vertiente de la Serranía de Corocoro es, en buena parte, de colina redondeada, con mantos coluviales espesos que atenúan la pendiente, a pesar de que son muy erosionables, pero de manera concentrada. La vertiente de la Cordillera Oriental es muy reducida, debido al predominio del río La Paz en la vertiente atlántica.

La llanura del río Catari es terrazada (Foto 42), lo que indica uno o más episodios lacustres, y presenta varias zonas de embalse (Foto 43); también la desembocadura del río en el lago está marcada por una amplia zona inundable. Las colinas que emergen de la llanura son de sedimentario, redondeadas y bajas y, por lo tanto, no tienen ninguna incidencia.

- La parte al este del lago Titicaca, que corresponde a las cuencas de los ríos Sehuenca (T14), Keka (T15) y a otros menores (T16 y T17), se caracteriza por colinas bajas, en el lado del lago, y por un tramo de vertiente estrecho y abrupto de la Cordillera Oriental, en cuyo pie se extiende un amplio *glacis* de depósitos de piedemonte, en gran parte glaciales. Esta faja de piedemonte parece bastante estable, sujeta a erosión laminar durante las lluvias, pero con transporte de agua sólo en pocas incisiones, aunque profundas.
- La cuenca del río Tiawanaku (T11), en el interior de la Serranía de Corocoro, que, en nuestra opinión, no presenta problemas particulares, salvo las zonas inundables de la margen del lago.

Toda la vertiente occidental presenta características homogéneas, en el sentido que:

- En su mayor parte, está constituido por la Cordillera Occidental, formada preponderantemente por montaña redondeada de substrato volcánico (Foto 44), con formas macizas y amplias intercaladas a pocos relieves de sedimentario.
- La vertiente presenta una inclinación media regular hacia el noreste que continúa en el lago Titicaca hasta la faja de máxima profundidad (Fig.6.2)

La consecuencia más importante de esta morfología es el desarrollo de zonas de llanura, especialmente en la zona terminal de las cuencas mayores -Coata (T4), Ilpa (T5), Ilave (T7)-, y de amplias zonas de llanura fluvio-lacustre, cuya extensión, por debajo del nivel del lago, resulta clara de la batimetría (Fig.5) sobre todo en la bahía de Puno.



Fig.5 - Batimetría del Lago Titicaca

La morfología de la vertiente occidental de la cuenca del Titicaca ha permitido que estas llanuras fueran invadidas fácilmente por las aguas del lago hasta el período Ballivian, en varias ocasiones, construyendo así un manto de depósitos fluvio-lacustres cortados varias veces, como hoy se puede notar (Foto 45) en toda la llanura de Juliaca, desde laguna Arapa hasta el río Ilpa (Mapa GM.018), y en la cuenca del Ilave (Foto 46). Actualmente, estos depósitos forman una terraza cortada, pero baja, cuya margen frente al lago está bordeada por zonas inundables y de bofedal. También el delta del río Ilave es, en gran parte, un área inundable, sujeta a las oscilaciones de nivel del lago. La cordillera aguas arriba presenta un retículo hidrográfico denso y algunas cuencas (por ejemplo, Ilave) son muy extendidas; por lo tanto, en caso de lluvias intensas, el aporte de las aguas superficiales es macizo y veloz.

Además, las llanuras y los valles que bordean el Titicaca al oeste, por condiciones morfológicas y climáticas, representan áreas favorables al desarrollo antrópico y, en efecto, son áreas pobladas y cultivadas, que también se utilizan para el pastoreo (Foto 44). El uso intensivo contribuye a aumentar la degradación y el riesgo de estas zonas.

6.3.2. Cuencas del río Desaguadero y del Lago Poopó

Como ya se ha observado, dentro del Sistema TDPS, estas dos cuencas son las que están más estrechamente relacionadas entre sí. En realidad, podrían considerarse como una sola, ya que todas las aguas llegan al lago Poopó, si la cuenca del Desaguadero, hasta la desembocadura de éste en la llanura de Oruro, no presentara características y problemas tales que obligan a tomarla como una cuenca aparte.

Por estas razones y por el hecho de que gran parte del área cae dentro del estudio más detallado de la cuenca del Desaguadero, las dos cuencas se tratan juntas brevemente, agregando algunos detalles más estrechamente vinculados con el conjunto del Sistema TDPS.

El Desaguadero es el emisario del Titicaca. En realidad, la contribución del lago al caudal del río es reducida (39%) y muy variable interanualmente; por lo tanto, el agua que el Desaguadero (33%) lleva a la llanura de Oruro y a los lagos Uru Uru y Poopó proviene, en su mayor parte

de la cuenca del Desaguadero y, en una gran parte, de la cuenca del Mauri, (28%) que representa alrededor del 30% de toda la cuenca y comprende una vasta área montañosa.

En lo que toca al área ya descrita en el Capítulo 5, representada además en el Mapa Geomorfológico a escala 1:100.000, en el estudio regional notamos las siguientes diferencias (Mapa GM.028):

- La parte alta de la cuenca del Desaguadero incluye totalmente las sub-cuencas de los ríos Callacame (D1), Jacha Mauri (D3) y Llinqui (D5). Estas tres sub-cuencas no son muy grandes (Tabla 11) y, en la parte baja, antes de su desembocadura en el Desaguadero, comprenden una vasta zona de terraza fluvio-lacustre (Mapa GM.020), que contribuye mucho a frenar la velocidad de las aguas y disminuye el aporte sólido al mismo Desaguadero. En efecto, en esta parte baja, a lo largo del curso de los tres ríos, se notan amplias zonas inundables y de embalse.
- La sub-cuenca del río Kheto (D12) está incluida en su totalidad en el área de estudio regional. El análisis de su morfología confirma todo lo apuntado en la II Parte, es decir, que su incidencia en el caudal del Desaguadero es prácticamente nula y que, sólo en caso de lluvias excepcionales, sus aguas entrarían en el Desaguadero.
- La parte meridional de la cuenca del lago Poopó presenta una vertiente oriental muy cercana al lago, formada por montañas (Foto 35), de las cuales dos terceras partes son sedimentarias y el resto volcánicas, en gran parte disectadas. El retículo hidrográfico está desarrollado y organizado en cuencas de pequeñas dimensiones, pero en condiciones de escurrimiento veloz y, por lo tanto, con una contribución inmediata al lago y a las zonas inundables vecinas. La vertiente occidental se caracteriza por llanura y terraza fluvio-lacustre (Foto 40), con zonas de acumulaciones eólicas, que moderan la velocidad de las aguas. En caso de lluvias intensas y concentradas, toda la llanura, pero particularmente las áreas más deprimidas, están sujetas a inundaciones, cuya extensión y localización, por lo demás, pueden ser muy variables. Es éste el mayor riesgo que la zona

presenta desde el punto de vista de las actividades antrópicas.

6.3.3. Cuenca del Salar de Coipasa

El Salar de Coipasa representa una de las depresiones residuales del sistema lacustre pleistocénico del sur del Altiplano (Fig. 3). Actualmente, la cuenca del Coipasa está separada de la del Salar de Uyuni e incluso sus conexiones con la cuenca del Poopó son mínimas, solamente por el Laca Jahuirá, y, por lo que se puede interpretar, únicamente ocasionales (Fig. 6, Mapas GM.027 y 028).

Las regiones morfológicas que caracterizan a la cuenca son esencialmente tres:

- Una vertiente noroccidental y occidental formada por la Cordillera Occidental que, en esta parte, es exclusivamente volcánica (Foto 47). Se trata de conjuntos de montaña maciza, formada por conos, grupos de conos, estratovolcanes y derramamientos de lava intermedios, incluso con la forma de meseta. Estos relieves se caracterizan porque frecuentemente presentan mantos detríticos coluviales que ciñen los flancos, suavizando el declive, pero, al mismo tiempo, creando zonas fácilmente erosionables. Estos mantos se localizan sobre todo alrededor de los grandes conos aislados, de los cuales un buen ejemplo es el Nevado Sajama (Mapa GM.024).
- La parte final de la Serranía de Corque, está formada por sedimentario terciario plegado, muy irregular en una serie de crestas paralelas, en gran parte disectada y que incide en la sub-cuenca del río Barras (S8).
- La terraza fluvio-lacustre (Foto 48), muy extendida al norte del Salar y entre éste y el lago Poopó. En su zona occidental, esta terraza está cubierta, en parte, por depósitos eólicos y aluviales actuales.

El Salar de Coipasa se localiza en la parte meridional de la cuenca. La sub-cuenca más importante es la del río Lauca (S1), que por sí sola cubre el 44.6% del área (Cuadro 6.5), drena la mitad septentrional de la cordillera y atraviesa toda la terraza fluvio-lacustre.

La importancia de esta sub-cuenca y la de su contribución al Salar está confirmada por la presencia de la laguna de Coipasa, en la desembocadura del río Lauca, y por el hecho de que los ríos principales de la sub-cuenca cortan la terraza fluvio-lacustre y no muestran zonas de embalse, salvo en la parte final, es decir, en la desembocadura en el Salar.

Las sub-cuencas de la vertiente occidental (S2, S3 y S4; Mapa GM.028) son relativamente pequeñas, pero drenan directamente desde la cordillera volcánica, con pendientes altas y, en consecuencia, con fuerte ataque erosivo. En la parte final de estos ríos se notan depósitos aluviales con zonas de embalse y, en el caso del río Sabaya (S2), un pequeño delta en la orilla del Salar. La presencia de estas zonas de aluvión contribuye a disminuir la velocidad de las aguas y favorece el depósito antes del Salar.

En la vertiente oriental las sub-cuencas de un tamaño considerable son dos:

- La sub-cuenca del río Barras (S8), que incluye en su zona alta una parte de los relieves de la Serranía de Corque. La acción erosiva del sistema de drenaje del río Barras parece tener importancia hasta la latitud de Corque (Mapa GM.024). Entre este punto y su desembocadura en la terraza fluvio-lacustre, después de atravesar la última pequeña serranía, el río parece perder su energía en un amplio valle aluvional. En efecto, el curso del río Barras en la terraza fluvio-lacustre parece mal definido.
- La sub-cuenca del río Laca Jahuira (S7), corresponde en su mayor parte a una zona plana de la terraza fluvio-lacustre, con drenaje escaso y mal organizado, por lo cual puede presumirse que, incluso en caso de lluvias fuertes, gran parte del agua se estanque localmente en las zonas deprimidas, creando áreas inundadas.

CUADRO N° 6.1 : SISTEMA T.D.P.S.

Repartición de la unidades geomorfológicas en el sistema T.D.P.S.

REPARTICION DE LAS UNIDADES GEOMORFOLOGICAS					
SUPER UNIDAD	Km2	% del area total	UNIDAD	Km2	% del area total
AGUA	12020	8.4%	TITICACA	8310	5.8%
			POOPO - URU URU	3191	2.2%
			OTRAS	519	0.4%
DEPRESIONES	7288	5.1%	SALAR COIPASA	2225	1.5%
			OTRAS	5063	3.5%
DEPOSITOS FLUVIO - LACUSTRES	16240	11.3%	VALLES ALUVIALES	11223	7.8%
			LLANUARA	5017	3.5%
DEPOSITOS DE VERTIENTE	7696	5.3%	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 SED. REDONDEADA	13125	9.1%
			COLINA SED. DISECTADA	5249	3.6%
COLINA DE VOLCANICO	3830	2.7%	COLINA VOLC. REDONDEADADA	3106	2.2%
			COLINA VOLC. DISECTADA	724	0.5%
MESETA VOLCANICA	5815	4.0%	MESETA CONSERVADA	4555	3.2%
			MESETA DISECTADA	830	0.6%
			MESETA DE TOBAS	430	0.3%
MONTAÑA DE SEDIMENTARIO	21362	14.8%	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 T.D.P.S.	143900	100.0%			

CUADRO N° 6.2 : SISTEMA T.D.P.S.

CUENCA TITICACA		
SUB CUENCAS	Km2	% DE LA CUENCA
HUANCANE	3502	6.2%
ARAPA	611	1.1%
RAMIS	14712	26.1%
COATA	5412	9.6%
ILPA	1689	3.0%
*	710	1.3%
ILAVE	7813	13.9%
ZAPATILLA	475	0.8%
*	785	1.4%
*	706	1.3%
TIWANAKU	892	1.6%
*	126	0.2%
CATARI	2940	5.2%
SEHUENCA	981	1.7%
KEKA	1247	2.2%
*	111	0.2%
*	332	0.6%
*	493	0.9%
SUCHES	2997	5.3%
HUAYCHO	976	1.7%
*	450	0.8%
LAGO TITICACA	8310	14.8%
TOTAL CUENCA	56270	100.0%

* : *Cuencas pequeñas*

CUADRO N° 6.3 : SISTEMA T.D.P.S.

CUENCA DESAGUADERO		
SUB CUENCAS	Km2	% DE LA CUENCA
CALLACAME	1402	4.7%
*	411	1.4%
JACHCHA MAURI	1681	5.6%
JACHCHA JAHUIRA	795	2.7%
LLINQUI	1921	6.4%
KKHORA	1744	5.8%
QUILLHUIRI	1623	5.4%
JAHUMA LLALLAGUA	645	2.2%
MAURI	9828	32.9%
*	520	1.7%
CANUMA	620	2.1%
KHETO	4808	16.1%
CARANGUILLA	2134	7.2%
*	1087	3.6%
*	624	2.1%
TOTAL CUENCA	29843	100.0%

* : *Cuencas pequeñas*

CUADRO N° 6.4 : SISTEMA T.D.P.S.

CUENCA POOPO		
SUB CUENCAS	Km2	% DE LA CUENCA
DESAGUADERO (PARTE)	6643	26.8%
*	1913	7.7%
MARQUEZ	3023	12.2%
SEVARUYO	1233	5.0%
PARIA	1022	4.1%
CRUCERO	2098	8.4%
*	613	2.5%
HUANUNI	1090	4.4%
*	1287	5.2%
HUANA	2716	10.9%
LAGO URU URU - POOPO	3191	12.9%
TOTAL CUENCA	24829	100.0%

* : *Cuencas pequeñas*

CUADRO N° 6.5 : SISTEMA T.D.P.S.

CUENCA SALAR DE COIPASA		
SUB CUENCAS	Km2	% DE LA CUENCA
LAUCA	14712	44.6%
SABAYA	2591	7.9%
SILVINTO	2541	7.7%
MOSCOMA	2570	7.8%
*	1122	3.4%
*	862	2.6%
LACA JAHUIRA	2957	9.0%
BARRAS	3378	10.2%
SALAR DE COIPASA	2225	6.8%
TOTAL CUENCA	32958	100.0%

* : *Cuencas pequeñas*

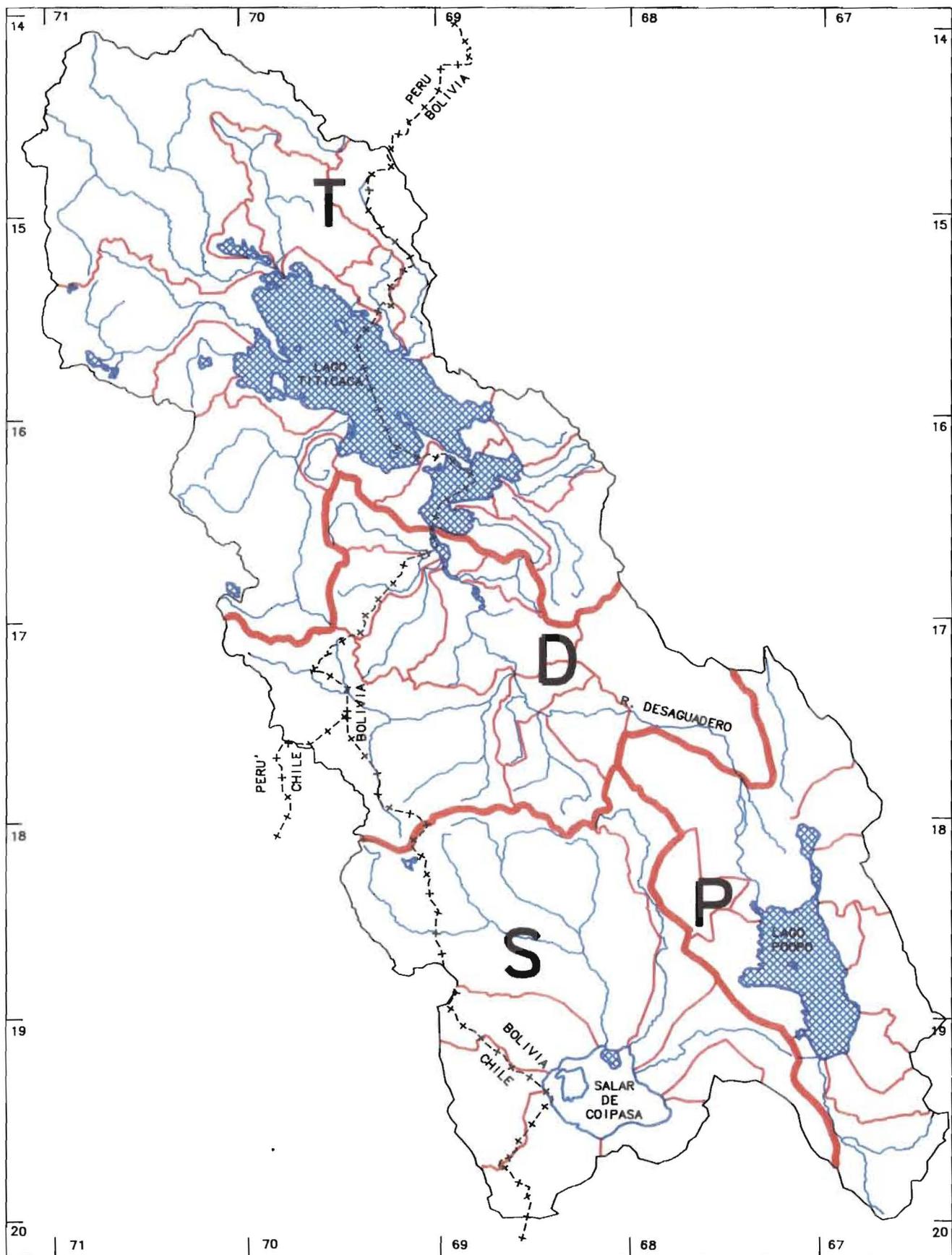


Fig.4 - Cuencas primarias del Sistema TDPS

- T: cuenca Lago Titicaca
- D: cuenca Río Desaguadero
- P: cuenca Lago Poopó
- S: cuenca Salar de Coipasa

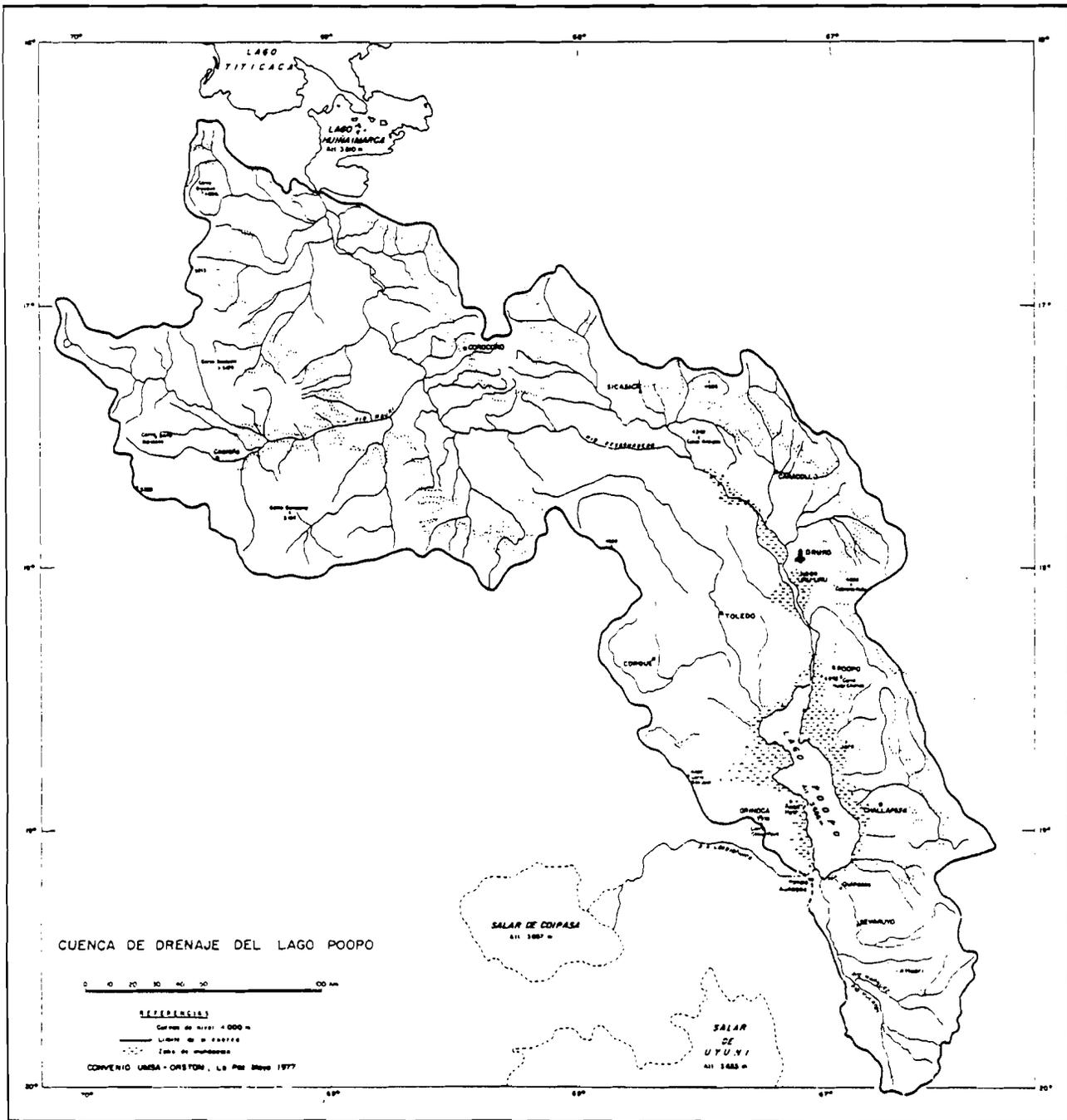


Fig.6 - Sistema Rio Desaguadero-Lago Poopó.

CONCLUSIONES

Como ya se ha anotado varias veces en el presente informe, el estudio de geomorfología representa una fase intermedia del trabajo y su principal objetivo es el de proporcionar un soporte de información de base a los especialistas que afrontan las fases estrictamente operativas del proyecto. Esto también vale para la complejidad de los problemas que se articulan en el Plan Director, y es por esta razón que las conclusiones y recomendaciones recabadas de un análisis preliminar y sectorial pueden resultar incompletas o con una base escasa. Desde este punto de vista, las mejores conclusiones son las que cada experto podrá sacar, considerando los problemas específicos que le interesan, a partir de la lectura de los mapas geomorfológicos que el presente estudio ha producido. No obstante, consideramos útil llamar la atención sobre la importancia de algunos aspectos que emergen del mismo estudio.

A nivel de los aspectos generales del conjunto del Sistema TDPS, que condicionan la evaluación de los fenómenos observados especialmente en términos de evolución a largo plazo, se puede observar lo siguiente:

- El altiplano y las cordilleras que lo rodean son el resultado de una evolución estructural larga e intensa, que llega hasta tiempos más 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 for-

ma 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 exasperan 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 vientos fuertes y frecuentes. Los efectos de estos fenómenos se ven acentuados por la ausencia casi total de una cobertura forestal.

Tomando en cuenta todos estos aspectos, consideramos que el estudio morfológico ha puesto en evidencia una serie de situaciones que, a continuación, trataremos de sintetizar.

7.1. SITUACIONES DIFUNDIDAS EN TODO EL SISTEMA TDPS

Una situación constante en el Sistema TDPS es la que presentan las zonas llanas o deprimidas, ocupadas por cuerpos de agua y bofedales o simplemente sujetas a inundaciones y embalses periódicos. Es necesario distinguir dos aspectos de esta situación:

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.

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 estadio 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 límite de sobre-explotación de las zonas de pastoreo es muy bajo. Por lo demás, la sobre-explotación misma contribuye a que este límite baje progresivamente.

7.2. 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 Ilave, 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.

7.3. CUENCAS DEL RIO DESAGUADERO Y DEL LAGO POOPO

Como ya ha sido anotado, las dos cuencas pueden considerarse un sistema único, pero que puede 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 desbordes 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 estas zonas, 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 derecho del Desaguadero ha asumido con respecto al izquierdo, sugiere que el río puede ser estabilizado y regulado justamente a lo largo del brazo derecho, 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 tomarse 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.

7.4. CUENCA DEL SALAR DE COIPASA

La situación en esta área, 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 mayormente susceptible de utilización antrópica.

**DOCUMENTACION
FOTOGRAFICA**



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6



Foto 7



Foto 8



Foto 9



Foto 10



Foto 11



Foto 12



Foto 13



Foto 14



Foto 15



Foto 16



Foto 17



Foto 18



Foto 19



Foto 20



Foto 21



Foto 22



Foto 23



Foto 24



Foto 25



Foto 26



Foto 27



Foto 28



Foto 29



Foto 30



Foto 31



Foto 32

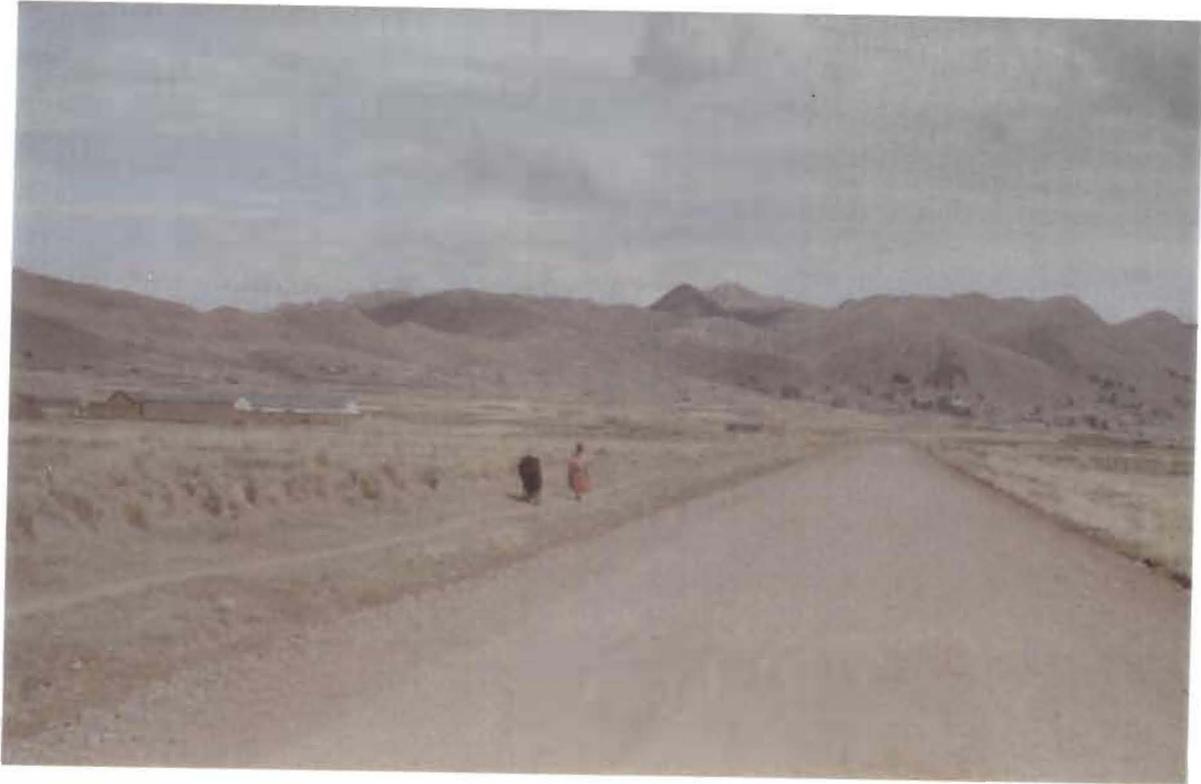


Foto 33



Foto 34



Foto 35



Foto 36



Foto 37



Foto 38



Foto 39



Foto 40



Foto 41



Foto 42



Foto 43



Foto 44

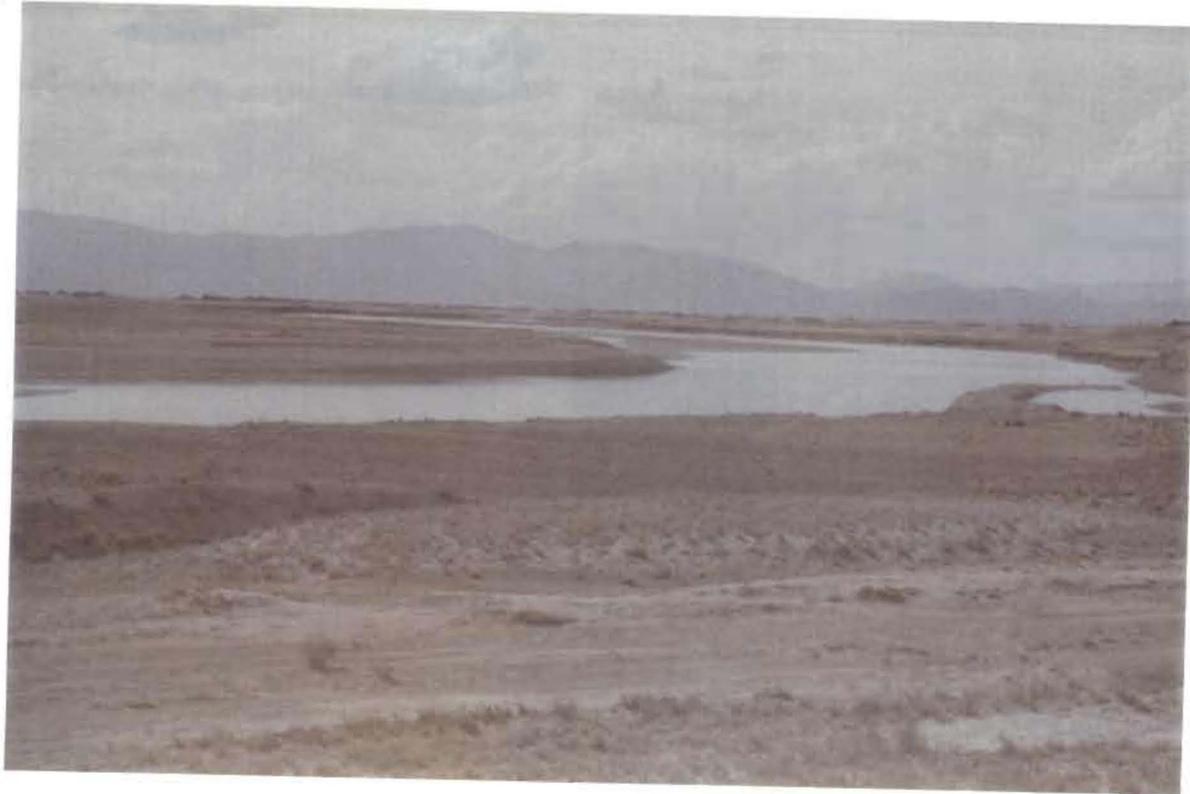


Foto 45



Foto 46



Foto 47



Foto 48