



Institut de recherche  
pour le développement

# **ESTUDIO DE IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RIESGOS EN LOS DISTRITOS 5 Y 6 CIUDAD DE EL ALTO**

**ANÁLISIS GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO**



Fotografía: Vista del distrito 6 de la ciudad de El Alto (© S. Hardy, IRD, enero de 2008).

**Autores:**

Jaime Argollo, UMSA, Facultad de Ciencia Geológica

Christian Centellas, UMSA, Facultad de Ciencia Geológica

**Cartografía:**

Javier Nuñez Villalba, IRD, UR 029

**Redacción del presente informe:**

Sébastien Hardy, IRD, UR 029

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>2. CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....</b>	<b>4</b>
2.1 Los procesos de origen interno .....	4
2.2 Geoformas debidas a procesos glaciares .....	5
2.3 Procesos fluviales .....	8
2.3.1. Río Seke .....	9
2.3.2. Río Seco .....	9
<b>3. ESTRATIGRAFÍA.....</b>	<b>10</b>
3.1 Paleozoico .....	10
3.2 Mesozoico .....	10
3.3 Cenozoico.....	10
3.4 Cuaternario .....	12
3.4.1 Depósitos Glaciares (Qg).....	12
3.4.2 Depósitos Aluviales (Qa).....	12
3.4.3 Depósitos de remoción en masa (Qd).....	12
3.4.4 El Holoceno (Qh) .....	12
<b>4. EVOLUCIÓN GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO DE LA REGIÓN DE ESTUDIO .....</b>	<b>13</b>
<b>5. AMENAZAS .....</b>	<b>15</b>
5.1. Amenaza volcánica .....	15
5.2. Amenaza sísmica.....	15
5.3. Movimientos de laderas .....	15

## **1. INTRODUCCIÓN**

La presente información se basa en el análisis de estudios anteriores realizados por diferentes autores e instituciones, numerosas observaciones geológicas efectuadas en cortes naturales producidos por la erosión de los ríos y zanjas abiertas en los distritos 5 y 6 de la ciudad de El Alto y alrededores. También fue importante la base geológica del Mapa geológico de La Paz publicado por el Servicio Geológico de Bolivia 1995. La integración de los datos obtenidos y su análisis permite formular los aspectos geológicos como la evolución de distintas unidades geológicas, las características litológicas, y los procesos que dieron lugar a las diferentes unidades geológicas y geomorfológicas. Se realizaron al mismo tiempo mapas geológico, geomorfológico, de drenaje y de pendiente, los cuales permiten entender mejor el ambiente en el cual se está desarrollando la ciudad de El Alto, y en particular los distritos 5 y 6.

La zona de estudio es parte de un proceso geológico que tuvo su desarrollo durante el Cuaternario medio superior, como un proceso de relleno de una cuenca tectónica producto del último levantamiento de los Andes Centrales. El relleno de dicha cuenca comenzó en el Plioceno y culminó en el Pleistoceno Medio. Posteriormente a esta época, procesos de erosión-acumulación han afectado los terrenos existentes en la zona.

Estos terrenos han sido ocupados por las urbanizaciones de la ciudad de El Alto, entre ellas los distritos 5 y 6. Los distritos mencionados se encuentran asentados sobre sedimentos generados por procesos fluviales y glaciares que conforman morfologías, producto de la erosión y acumulación glacial y fluvial (abanicos, terrazas, morrenas y flujos de till), ocurridos durante el Pleistoceno medio superior y el Holoceno. Por las características topográficas de la zona, las amenazas naturales parecen ser mínimas.

## **2. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La región de la ciudad de El Alto se encuentra en el piedemonte occidental de la Cordillera Real. Se encuentra en el límite del Altiplano y de la cuenca Amazónica. La morfología de la región es el producto de varios procesos geomorfológicos de origen interno y externo que actuaron en indiferentes épocas geológicas. Sin embargo, la morfología que observamos hoy en día corresponde a procesos geológicos que actuaron durante el Cuaternario, o sea en los últimos dos millones de años (Ma).

### **2.1 Los procesos de origen interno**

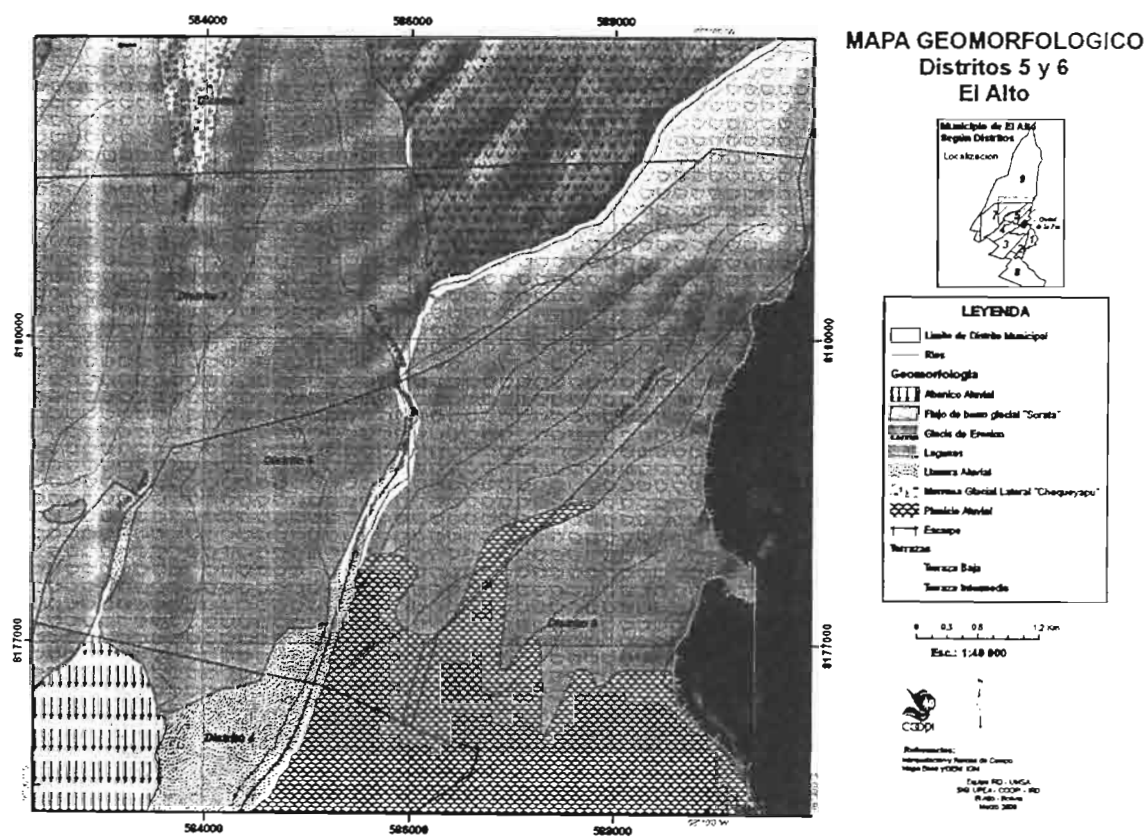
Los procesos de origen interno son debidos principalmente a la subducción de la placa de Nazca respecto a la placa Sudamericana, en el borde de la costa Pacífica. Este proceso de subducción ha dado lugar a la formación de los Andes Centrales de Bolivia. Como producto de esta actividad se formaron las cordilleras Occidental y Oriental, así como la cuenca del Altiplano. El proceso de levantamiento de la Cordillera tuvo lugar en diferentes episodios. El último levantamiento importante y que configura la morfología de los Andes, como se la conoce en la actualidad, fue durante el Mioceno superior (hace aproximadamente 10 Ma). Como consecuencia del levantamiento y de la estructuración de las cordilleras, se formaron depresiones (cuencas), donde se instalaron lagos, y lagunas.

Sedimentos de ambientes lacustres y fluviales han rellenado la cuenca, producto de la erosión de las rocas de altos relieves circundantes. Así se formó la cuenca del Altiplano, donde actualmente se está desarrollando la ciudad de El Alto. Estos depósitos de relleno también fueron deformados y fracturados por movimientos tectónicos y sísmicos ocurridos durante el proceso de formación de la cuenca del Altiplano en el Plioceno. Posteriormente a la estructuración de la cordillera y relleno de las depresiones, actuaron otros procesos llamados procesos de origen externo.

## 2.2 Geoformas debidas a procesos glaciares

Los procesos externos son aquellos que producen desgaste de los relieves y al mismo tiempo forman acumulaciones generando nuevos depósitos. Los más importantes procesos externos que han actuado y modelado el paisaje de la región de El Alto son los procesos glaciares y los procesos fluviales (ver mapa geomorfológico distrito 5 y 6 de El Alto y mapa geomorfológico general).

En la región de El Alto y particularmente en los distritos 5 y 6 se observan evidencias de procesos glaciares de diferente generación. Según la literatura (Dobrovolsky, 1960; Ballivián & al. 1977; Argollo, 1995; Argollo & al., 2006) en esta región ocurrieron cuatro periodos de glaciación, después de los depósitos fluvio-lacustre de la formación La Paz de edad Pliocena. En superficie es posible observar geoformas de cordones alargados con crestas redondeadas y otras con crestas puntiagudas. Estas corresponden a depósitos de material transportados por un avance glaciar, y dejados cuando se derritió el hielo. Estas formas se encuentran en ambos lados del río Seke.

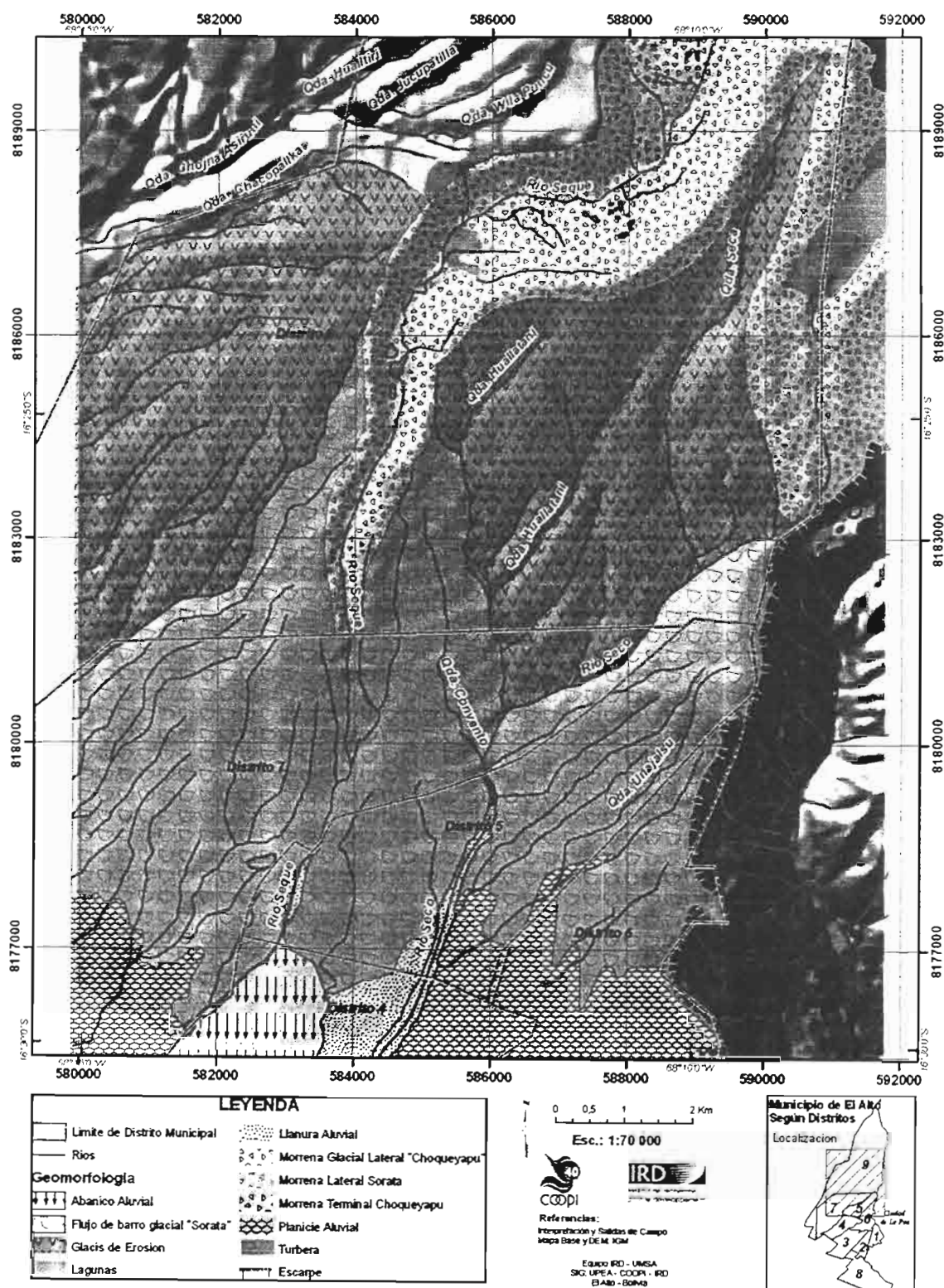


Las geoformas de origen glaciar que se encuentra en la zona de estudio y son posibles de diferenciar por su morfología, corresponden a la penúltima Glaciación, denominada como Glaciación Sorata (Servant & al. 1977), y a la última glaciación llamada Glaciación Choqueyapu (Dobrovolsky, 1960). La morfología glaciar que se observa en la zona corresponde a morrenas glaciares laterales de la glaciación Sorata, que tienen formas de cordones alargadas y arqueadas con crestas redondeadas y bien conservadas. Estas morrenas están separadas por un valle amplio que tiene la forma de una U. Estas geoformas están ubicadas en la parte superior de la cuenca del río Seco.

Otra morfología contemporánea a las anteriores son los flujos glaciares o flujos de till, que se encuentran a continuación de las morrenas glaciares Sorata. Se extienden a ambos lados del valle del río Seke, así como en la parte este del río Seco, hasta el escarpe que separa el distrito 6 y la ciudad de La Paz, y se desarrollan hacia el suroeste hasta la línea marcada por la carretera Panamericana - Aeropuerto (ver mapa geomorfológico). Muestra una morfología de abanico con una superficie y pendiente moderada (de 2 a 5°). La superficie irregular y ondulada está marcada por cordones longitudinales muy estrechos separados por depresiones igualmente estrechas, cuyos desniveles no superan los 50 metros en la parte superior del abanico. Este desnivel disminuye paulatinamente en las partes distales del abanico glaciar. En la actualidad, en las calles que cortan de manera perpendicular estas formas alargadas, se puede apreciar el aspecto de un tobogán.

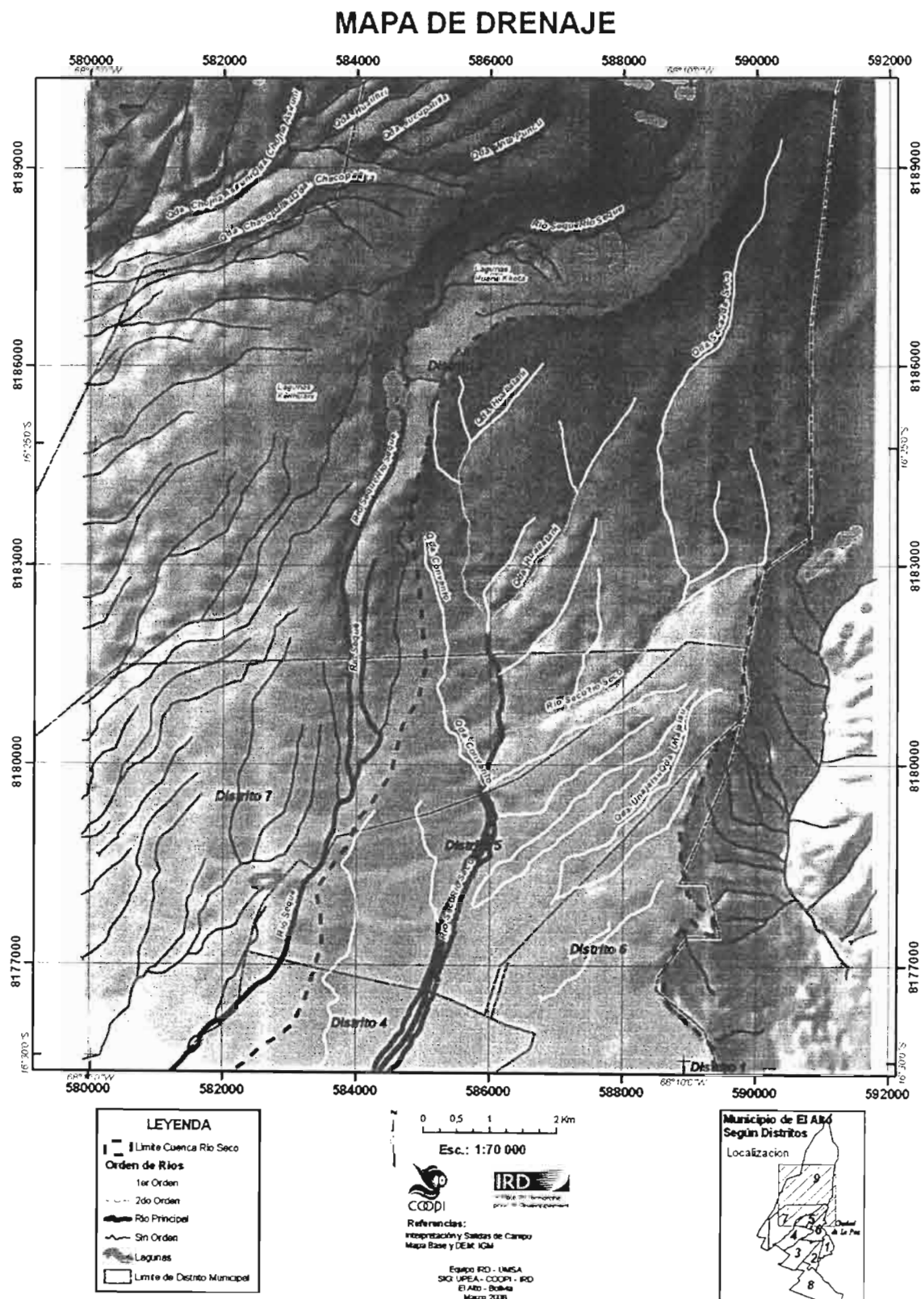
En la morfología anterior, tanto las morrenas Sorata como el flujo glaciar Sorata han sido retrabajados por la última glaciación (Choqueyapu). Las formas de erosión y acumulación debidas a la última glaciación son los valles glaciares en forma de U, en el fondo de los cuales se instalan lagunas en rosario. Los valles están delimitados por morrenas laterales que muestran una morfología de cordones alargadas y arqueadas pero con crestas puntiagudas y que configuran una topografía de relieve (9 a 25°). Esta morfología glaciar es la que en la actualidad se conserva y se observa en el valle del río Seke.

## MAPA GEOMORFOLOGICO





## 2.3 Procesos fluviales





Cuando los glaciares se retiran, dejando sus depósitos, actúan procesos de origen fluvial (ver mapa de drenaje) sobre la superficie de los depósitos glaciares, generando nuevas formas de erosión y acumulación con características totalmente diferentes.

### 2.3.1. Río Seke

La morfología fluvial del río Seke se caracteriza por presentar formas de valle en valle, es decir el valle glaciar ha sido afectado por las aguas de deshielo y las precipitaciones durante el retrocesos de los glaciares (último interglaciar). Estas aguas erosionaron y formaron valles con fondo de valle estrechos y vertientes entre 20 a 30° de pendiente, como se observa en el sector de las morrenas y abanicos glaciares.

Aproximadamente a 4150 metros arriba del río Seke se observa una llanura aluvial de aproximadamente 0.5 km<sup>2</sup> y un depósito de 2.5 metros de espesor de gravas en la base y limos orgánicos en el tope, que ha sido cortado por el río Seke. Como consecuencia, esta llanura aluvial se ha quedado colgada a 4 m con relación al lecho actual del río, formando una terraza aluvial. Esta terraza se encuentra erosionada y en muchos lugares prácticamente desaparece completamente.

En la zona donde el río cambia de pendiente, cerca a la carrera Panamericana, el material que transportaba el río Seke se depositó, dando lugar a la formación de un abanico aluvial. Ahí, el curso del río principal se distribuye en varios ríos secundarios de manera divergente. El perfil transversal de este abanico aluvial muestra una forma convexa con la parte central o ápice del abanico más elevado y los bordes más planos. Este abanico aluvial fue cortado por erosión fluvial, dando lugar a la formación de otra terraza aluvial de poco espesor (1 a 2 m sobre el nivel actual del río Seke). Estas geoformas son visibles en zonas donde el abanico aluvial ha sido cortado por el río Seke. Asimismo, se observa pequeñas terrazas sobre la superficie del abanico glaciar. En las depresiones se desarrollaron depósitos de material grueso y fino generalmente orgánicos. Estos corresponden a depósitos de la época del Holoceno.

### 2.3.2. Río Seco

La cuenca del río Seco es una cuenca completamente aislada de la cordillera por la erosión de dos valles glaciares: (1) un glaciar de valle que actuó hacia el valle Choqueyapu, (2) y otro en dirección hacia el valle de Milluni. Además este aislamiento fue diseñado antes de la actividad glaciar por un lineamiento tectónico regional que atraviesa toda la parte occidental de la Cordillera Real. En consecuencia, la evolución de la cuenca del río Seco fue completamente diferente al valle del río Seke.

El río seco tiene sus nacientes en depósitos glaciares de la penúltima y la última glaciación, así como en depósitos aluviales correspondientes a periodos interglaciares. Una superficie de erosión está delimitada por el río Seco y el río Huallatani. Esta superficie de erosión constituye un glacis de erosión que se desarrolla sobre un depósito de material mayormente granítico (80%) muy alterado, de dimensiones que varían desde bloques de 1 metro de diámetro hasta gravas en una matriz arenosa, que probablemente corresponde a la glaciación Kaluyo.

La evolución del río Seco está marcada por la presencia de una terraza aluvial que se encuentra a 8-10 metros sobre el nivel del río actual. Esta terraza está muy erosionada por la actividad del propio río Seco. Solamente se observa hasta 1 kilómetro abajo de la confluencia de los ríos Seco y Huallatani, cortada posteriormente por el propio río Seco. Otra terraza baja se encuentra a 2 y 3 metros encima del lecho actual del río. Esta altura va disminuyendo río abajo. Esta terraza constituye la llanura aluvial del río Seco. El ancho de esta llanura varía desde 10 metros río arriba hasta 80, cerca de la carretera Panamericana. Río abajo de la

carrera Panamericana, el río Seco forma abanicos aluviales que cortan una planicie aluvial más antigua, pre-flujo glaciario Sorata. La Planicie aluvial pre glaciación Sorata es una planicie que abarca desde el río Seco, el Aeropuerto, y toda la región de la Ceja de El Alto. Esta planicie está afectada por una falla tectónica de dirección sureste/noroeste en la zona del aeropuerto internacional El Alto (mapa geomorfológico).

### **3. ESTRATIGRAFÍA**

La ciudad de El Alto forma parte de la unidad geológica del Altiplano, donde afloran rocas paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas (ver mapa geológico). El relleno detrítico en varios sectores del Altiplano es variable: en el área de El Alto, la potencia de los materiales puede alcanzar más de 800 metros (valle La Paz). La cartografía geológica de la ciudad de El Alto y sus alrededores presenta las siguientes unidades litológicas de la más antigua a la más reciente:

#### **3.1 Paleozoico**

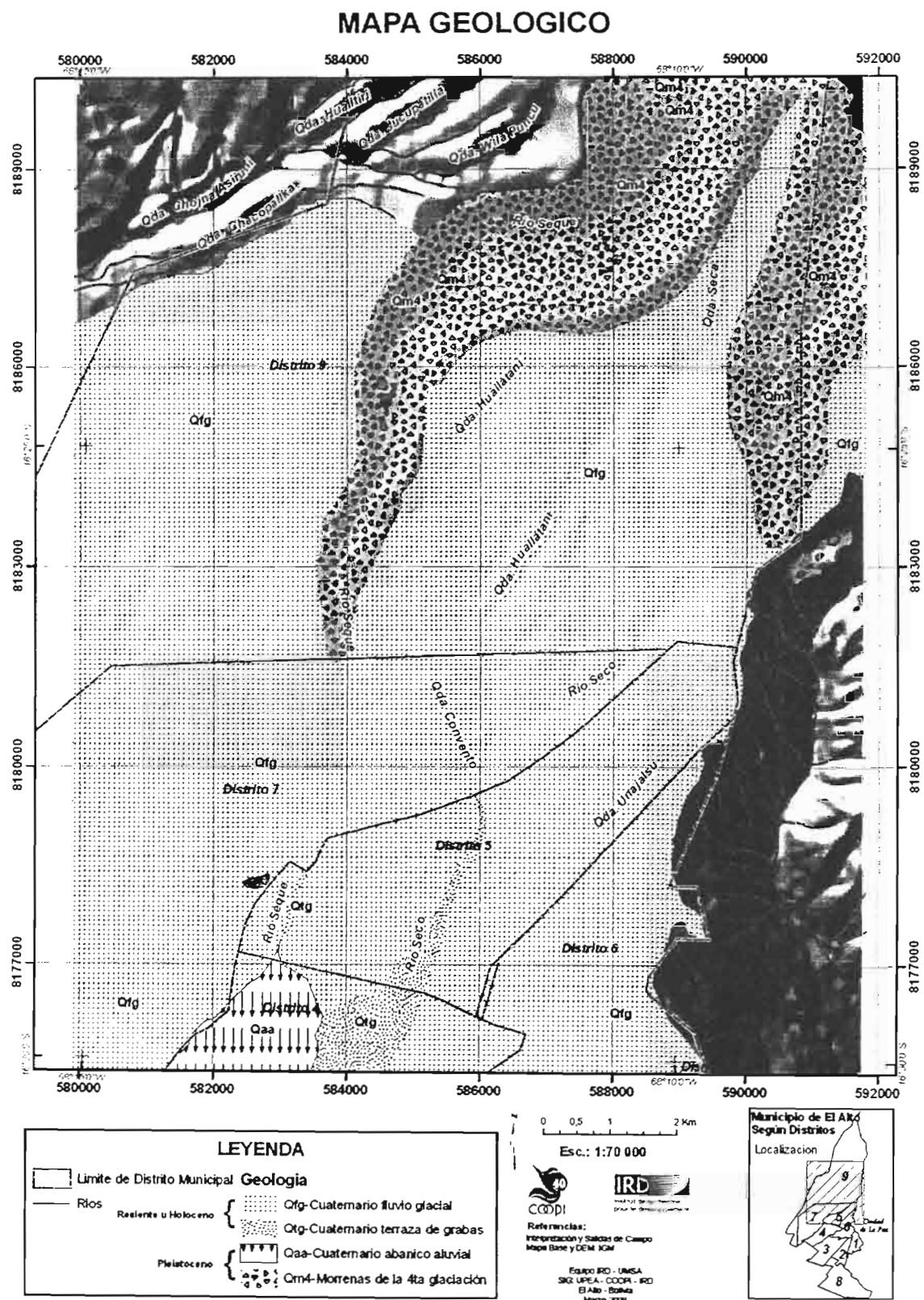
Las rocas pertenecientes al Paleozoico inferior medio (Siluriano y Devoniano) se encuentran fuera del área de estudio. La secuencia del Siluriano comienza con unas diamictitas en la base, pasa a lutitas grises a verdosas con niveles de areniscas verdosas, que pasan a areniscas micáceas rojizas. El Devoniano está compuesto de areniscas marrones amarillentas y con niveles de limonitas grises. Estas rocas se encuentran en la región de Milluni y Chacaltaya; sin embargo constituyen la fuente de los materiales que se encuentran en los depósitos de los distritos 5 y 6 de la ciudad de El Alto.

#### **3.2 Mesozoico**

Las rocas Paleozoicas arriba mencionadas se encuentran cortadas por una intrusión ígnea - el batolito de Huayna Potosí que forma el cerro del mismo nombre. En este cuerpo ígneo se originan los bloques y clastos de granitos que componen los depósitos del Cuaternario en la región de El Alto.

#### **3.3 Cenozoico**

La formación La Paz Tlpz aflora en el valle de La Paz. Los estratos subhorizontales están conformados de gravas, arenas, limos y arcillas, intercalados por varias capas de tobas volcánicas.



### 3.4 Cuaternario

El Cuaternario está representado por diferentes depósitos de origen glaciar y fluvial:

#### 3.4.1 Depósitos Glaciares (Qg)

Los detritos que conforman estos depósitos fueron transportados por la acción de un glaciar o la glaciación de alta montaña, y cuando se el hielo derretió se quedaron los depósitos glaciares. En el área existen depósitos de gran magnitud en extensión y potencia. Conforman sedimentos mal seleccionados con cantos rodados y pedruscos de granitos, cuarcitas y pizarras, angulosos a subredondeados, con bloques superiores a 1 metro de diámetro, guijarros gravas, arenas, dispersos en una matriz limo-arcillosa de color amarillento a gris oscuro. Estos depósitos corresponden a cuatro periodos de glaciación reconocidos en la región de La Paz, que reciben el nombre de: Calvario (QgC), Kaluyo (QgK), Sorata (QgS) y Choqueyapu (QgCh), del más antiguo al más reciente.

#### 3.4.2 Depósitos Aluviales (Qa)

Los depósitos aluviales en esta región corresponden a los periodos interglaciares, o interestadiales (acumulaciones ocurridas durante los retrocesos y avances glaciares dentro de una misma glaciación). Por lo tanto, existen depósitos aluviales correspondientes al primer interglaciar Clavario/Kaluyo (Qa1), al segundo interglaciar Kaluyo/Sorata (Qa2), al tercer interglaciar Sorata/Choqueyapu (Qa3), y al interglaciar actual (Qa4).

El depósito aluvial Qa se presenta como un material detrítico transportado y depositado por la acción fluvial de los ríos. Los principales depósitos están ubicados en el lecho de los ríos Seco, Seke, y sus afluentes. Litológicamente, el depósito aluvial Qa presenta gravas en una matrix arenosa: los clastos o cantos rodados tienen formas redondeadas de dimensiones variables desde 30 cm de diámetro en las cabeceras y 10 cm en las llanuras bajas del Oeste. Existe una gradación granulometría horizontal y vertical en abanicos aluviales y llanuras aluviales. La composición litológica refleja las rocas existentes en las cabeceras de la cuenca tanto del río Seke como del río Seco y de sus tributarios. Los clastos que componen estos depósitos son: cuarcitas, pizarras, granitos y areniscas.

No todos los depósitos glaciares y aluviales aparecen en la región de El Alto, sólo están expuestos en toda su magnitud los depósitos de la penúltima y última glaciación, así como los depósitos de las dos últimos interglaciares y el actual.

#### 3.4.3 Depósitos de remoción en masa (Qd)

Estos materiales están formados por procesos de ladera por acción de la gravedad. Ocurren en áreas de fuertes pendientes, cuenca de La Paz por ejemplo. El material refleja los depósitos que han sido afectados por los procesos de ladera. En la región de la ciudad de El Alto prácticamente no existen depósitos debidos a estos procesos gravitacionales.

#### 3.4.4 El Holoceno (Qh)

El Holoceno (Qh) está compuesto de material limoso y generalmente orgánico, que se desarrolla en las depresiones topográficas, y en aquellos ríos no conectados a la cordillera, como el río Seco y sus tributarios. Estos depósitos corresponden a los últimos 10.000 años. En valles conectados a la cordillera se observa generalmente depósitos aluviales de diferente granulometría en función a la dinámica fluvial de los mismos (Mapa Geológico).

#### **4. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DE LA REGIÓN**

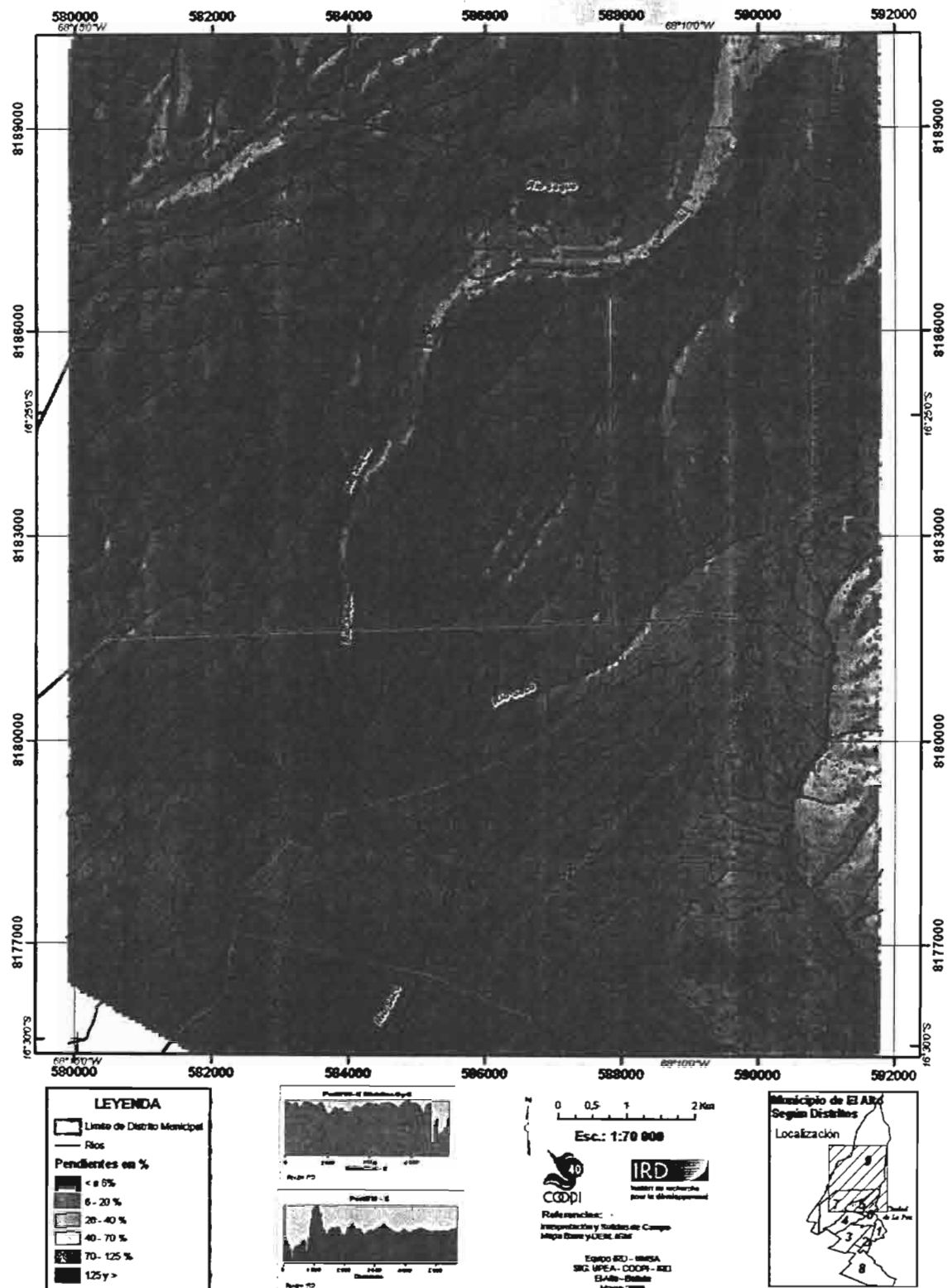
La evolución del paisaje de la región de El Alto y de los distritos 5 y 6 se inicia cuando se estructuran los Andes Centrales, durante el Mioceno superior, donde se construye una cuenca tectónica que fue rellenada por sedimentos provenientes de la erosión de las rocas existentes en las partes altas (rocas sedimentarias de origen marino y rocas de origen magmático) en un ambiente palustre.

Este relleno de cuenca ocurre durante el Plioceno en condiciones climáticas distintas a lo que posteriormente se instala en la región o sea durante el Cuaternario, en la que las condiciones climáticas se tornan muy inestables, produciendo periodos muy fríos y húmedos (periodos glaciares) y periodos secos y cálidos (periodos interglaciares), cuyas evidencias se manifiestan por los depósitos existentes por encima de aquellos depósitos del Plioceno próximos a la cordillera. En esta región ocurrieron cuatro periodos de glaciación que se observan en los cortes hechos por los ríos del valle de La Paz.

En la región de La Paz se conoce varias glaciaciones. (1) Sobre sedimentos del Plioceno se encuentra la primera glaciación (glaciación Calvario), compuesto por material heterogéneo y anguloso (bloques > 1 metro de diámetro, gravas, arenas limos y arcillas). (2) Encima de este depósito glaciar se encuentra un depósito de tipo aluvial compuesto de gravas de formas redondeadas y de arenas. En su conjunto presenta una clasificación granulométrica. Este depósito corresponde al interglaciar Calvario Kaluyo y se denomina gravas Purapurani. (3) Depósitos de la segunda glaciación (Kaluyo) se encuentran encima de las gravas Purapurani. Las características litológicas son muy similares a las de la primera glaciación, aunque la presencia de gravas angulosas es mayoritaria. (4) Un depósito de gravas fluviales correspondiente al interglaciar Kaluyo – Sorata, se encuentra encima de la penúltima glaciación (Sorata). Este depósito es conocido como gravas pre-Sorata. (5) La glaciación Sorata deposita sus sedimentos encima de las gravas pre Sorata. Todavía es posible observar esta glaciación en su morfología como ser las morrenas laterales o flujos de till de gran dimensión, compuestos por una litología típicamente glaciar. (6) Posteriormente a esta glaciación se produce la disección de todos los depósitos mencionados, debido a la erosión del río Choqueyapu de La Paz, que es un tributario de la cuenca Amazónica. De esta manera, la cuenca del Altiplano fue cortada en la región de lo que ahora es la ciudad de La Paz, separando El Alto y la Cordillera Oriental. Este proceso de erosión dio lugar a la formación de valles aluviales importantes como todos los valles de la cuenca La Paz. De igual manera se formaron valles en la vertiente altiplánica. (7) Los valles construidos durante el interglaciar Sorata/Choqueyapu fueron ocupados por la última glaciación: la glaciación Choqueyapu. Durante este periodo glaciar hubo varios avances y retrocesos glaciares hasta llegar a la última, conocida como Pequeña Edad del Hielo.

Posteriormente a la última glaciación ocurren cambios importantes en el sistema de erosión y acumulación. Principalmente es un periodo de acumulación de sedimentos relativamente finos en las depresiones existentes, intercalado por pequeños periodos de erosión. Estos depósitos corresponden a la época del Holoceno.

## MAPA DE PENDIENTES





## **5. AMENAZAS**

### **5.1. Amenaza volcánica**

En Bolivia, la región volcánica se encuentra en la parte occidental de Bolivia. La Cordillera Occidental está situada más o menos a 200 kilómetros de la ciudad de El Alto. Esto hace que esta amenaza volcánica sea de menor importancia para los distritos 5 y 6 de la ciudad de El Alto.

Sin embargo, durante el proceso de formación de los paisajes actuales existen evidencias de que la actividad volcánica ha afectado grandes extensiones de la región de La Paz. Es posible observar material volcánico de hasta 12 metros de espesor, conocido como la cinerita Chijini. Este volcanismo se produjo cuando no existían todavía habitantes en esta región. De producirse una actividad volcánica con las características anteriores en la actualidad, causaría un desastre nunca antes visto en esta región. Esta amenaza está latente, porque los volcanes pueden entrar en actividad en cualquier momento.

### **5.2. Amenaza sísmica**

En la región de La Paz no se ha registrado una actividad sísmica de grandes magnitudes, durante el siglo pasado y tampoco en este siglo (Observatorio San Calixto), que hayan ocasionado desastres. Sin embargo, continuamente se ha sentido movimientos leves: el último que se registró fue el 16 de febrero de 2008.

En la ciudad de El Alto se conoce muy poco los efectos de esta actividad sísmica. Sin embargo, una actividad de 5.5 de intensidad, como la registrada en Aiquile y Totora (Cochabamba, 1997), probablemente causaría los mismos desastres ocurridos en aquellas poblaciones de Cochabamba considerando el tipo de construcciones en la mayoría de los barrios periféricos de los distritos 5 y 6 de la ciudad de El Alto, y por el tipo de suelos que son poco estables y de granulometría relativamente gruesa.

### **5.3. Movimientos de laderas**

En los distritos 5 y 6, la amenaza deslizamiento de terreno está circunscrita al borde éste o, sea la zona del escarpe de erosión del valle La Paz, donde poco a poco se instalan construcciones en el mismo borde del escarpe, en las laderas con pendientes muy fuertes, superiores a 30° (ver mapa de pendientes). Estas zonas están altamente expuestas a un movimiento de ladera, así como a procesos de erosión ya que el material de estas zonas está principalmente compuesto de grava arenosa y de flujo de till glaciar.

Asimismo, en algunos sectores hay basureros antiguos que en la actualidad se encuentran cubiertos por relleno de escombros, que han sido habilitados como terrenos de construcción (ver mapa amenazas de origen natural).

Aparte de estas consideraciones no se observa otras zonas que corran un peligro de movimientos de terreno, principalmente por la topografía relativamente plana de los distritos.



Argollo J., Centellas C., Nunez Villalba J., Hardy Sébastien  
(2008)

Estudio de identificacion de zonas de riesgos en los distritos 5  
y 6 ciudad de El Alto : analisis geologico-geomorfologico

La Paz : IRD, 15 p. multigr.