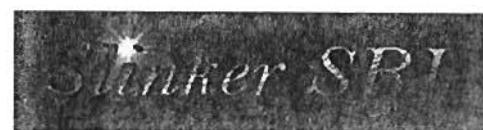


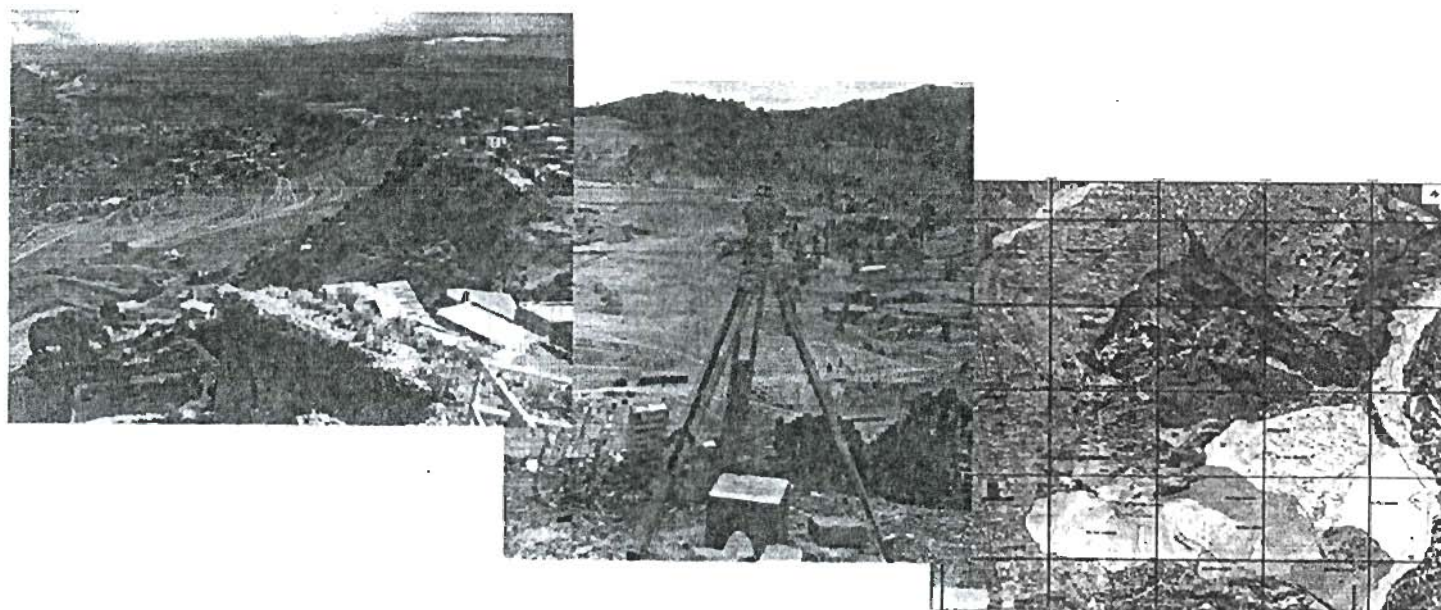


ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA



INFORME FINAL ZONIFICACIÓN DEL PROYECTO

ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE AREAS DE RIESGO Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN DESLIZAMIENTO COMPLEJO PAMPAHASI – CALLAPA



La Paz, Agosto de 2012

ZONIFICACION DE AREAS DE RIESGO

1. ANTECEDENTES

El 26 de febrero de 2011, durante una intensa temporada de lluvias que afectó la ciudad de La Paz, tuvo lugar el deslizamiento complejo que afectó a aproximadamente 4000 personas, en la zona de Pampahasi – Callapa. Este evento fue descrito como el desastre más importante de los últimos años en el entorno urbano de la ciudad de La Paz.

Este deslizamiento complejo modificó completamente la trama urbana existente en los distritos afectados, destruyendo las viviendas e infraestructura existentes, tal como se puede apreciar en las gráficas adjuntas.

En este contexto, la Sociedad Accidental proyecto Bolivia se ha adjudicado el proyecto denominado "Estudio de Zonificación de Áreas de Riesgo y Medidas de Mitigación. Deslizamiento Complejo Pampahasi – Callapa", cuyo objetivo central es elaborar el proyecto de medidas de mitigación, para reducir los riesgos de deslizamiento que en la actualidad se encuentran presentes.

2. INTRODUCCIÓN

Los estudios de Zonificación de Riesgo involucran en sí un extenso trabajo de campo y de recolección de información donde se hacen imprescindibles la Topografía, Geología, Geomorfología, Geotecnia, Hidrología e Hidrogeología, ramas que aportan los datos necesarios para una mejor comprensión de las condiciones actuales, luego de la ocurrencia del deslizamiento, incluyendo un análisis retrospectivo.

Los procedimientos y el estado de conocimiento actuales en el campo de la Zonificación de Amenazas son herramientas poderosas en los procesos de decisión y prevención. Una Zonificación respaldada con un fuerte componente de trabajo de campo y de recolección de información, así como el conocimiento y experiencia de un cuerpo interdisciplinario de profesionales, resulta en una valoración realista de las condiciones presentes en el área de estudio que permiten una adecuada estimación de las zonas potencialmente afectadas. Sin embargo, independiente de todo esto, y debido a que el conocimiento intrínseco del mecanismo de los deslizamientos es, todavía, un campo en estudio y desarrollo; los estudios de Zonificación de Riesgo dan como resultado indicadores que ayudan en una correcta toma de decisiones y no deben confundirse con análisis más detallados que involucran cálculo de factores de seguridad o probabilidades. Estos análisis detallados son sólo posibles en áreas menores y para taludes específicos. La Zonificación de Riesgo es una herramienta que permite abarcar grandes áreas y hace posible la identificación de zonas donde debe prestarse mayor atención.

En el contexto del "Estudio de Zonificación de Áreas de Riesgo y Medidas de Mitigación Deslizamiento Complejo Pampahasi – Callapa" la zonificación de riesgos es un componente importante para la valoración e identificación de las condiciones que tienden a generar más movimientos dentro de la zona de estudio para así proponer medidas de mitigación.

3. OBJETIVOS

Los objetivos del presente informe son los siguientes:

- Describir el modelo a utilizar para la Zonificación de Riesgos.
- Describir las variables involucradas y sus valoraciones.
- Presentar los resultados del modelo.
- Realizar un análisis de sensibilidad con algunas variables del modelo.
- Presentar conclusiones del trabajo realizado.



Figura 1 - Vista aérea de Pampahasi - Callapa antes de febrero 2011

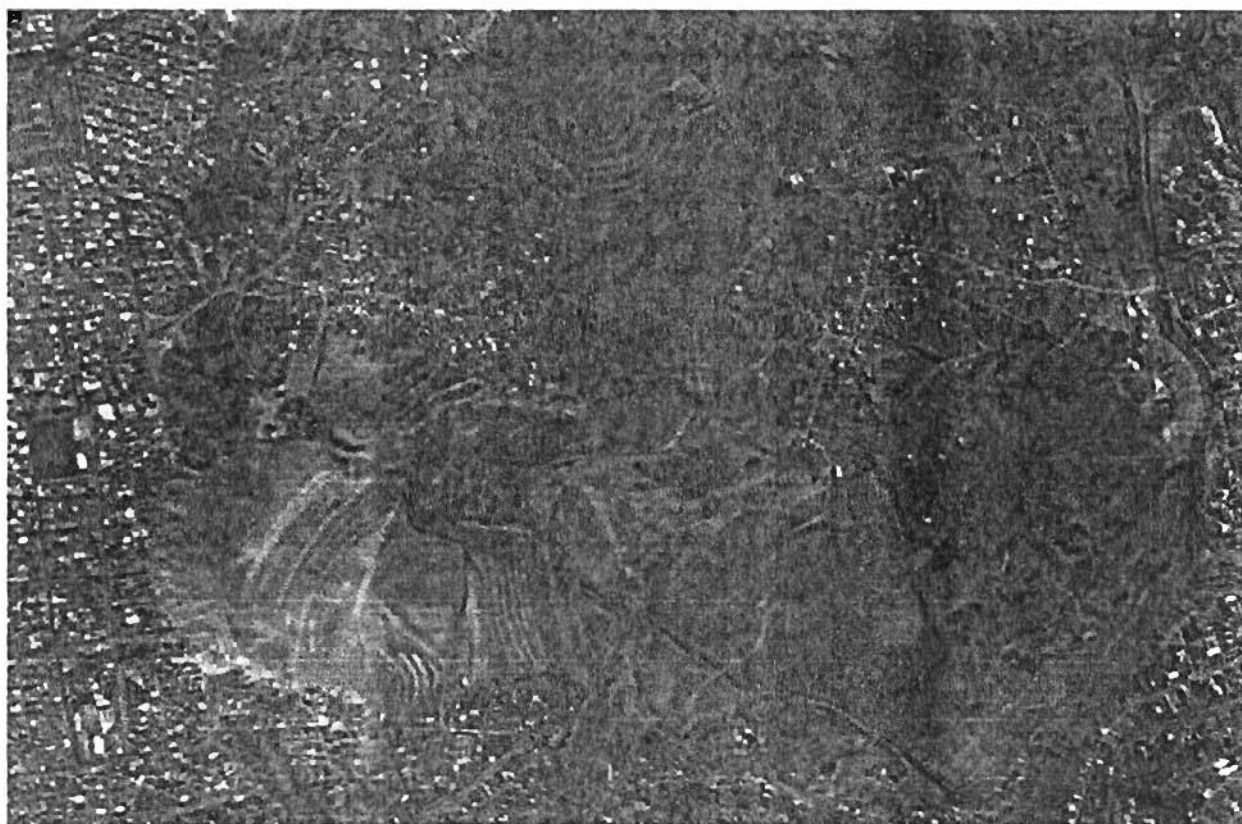


Figura 2 - Vista aérea de Pampahasi - Callapa después de febrero 2011

4. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos antes descritos se procederá con los siguientes pasos:

1. Recolección de la información disponible.
2. Elaboración de mapas temáticos (capas de información) en base a la información antes recolectada.
3. Con el equipo de profesionales, valorar cada capa de información tomando sus indicadores como punto de partida.
4. Construir y ejecutar el modelo de Zonificación de Riesgo, haciendo uso de un software SIG (Sistema de Información Geográfica).
5. Construir escenarios de evaluación para un análisis de sensibilidad.
6. Presentar el mapa de Zonificación de Riesgo resultante

A continuación se explica el marco conceptual del modelo, su implementación, las variables involucradas y su valoración.

5. CARACTERISTICAS DE LA CIUDAD DE LA PAZ

El valle de la ciudad de La Paz está situado en un área caracterizada por tres rasgos fisiográficos bien definidos: la Cordillera Real, el Altiplano y profundos valles intermedios.

Debido a la acción de sucesivos eventos geológicos y fenómenos de erosión hídrica, glacial y eólica, se formaron las cuencas de los principales ríos que lo atraviesan (Choqueyapu, Orkojahuirá, Irpavi, Achumani, Auquisamaña) en cuyos flancos se desarrollan las laderas de la ciudad. La ladera oeste se inicia al borde del Altiplano descendiendo en forma abrupta hasta llegar al centro de la ciudad a través de numerosos cursos de agua, en los que la degradación se manifiesta principalmente en forma de cárcavas, torrenteras y deslizamientos que ponen en riesgo los densos asentamientos humanos ubicados en este espacio urbano. La ladera oeste se forma a partir de las estribaciones de la Cordillera Real, descendiendo en un ámbito menos urbanizado, donde los intensos procesos de erosión provocan que los ríos arrastren una gran cantidad de sedimentos hacia la parte baja. Las laderas intermedias, situadas entre ambas, han sufrido un intenso proceso de ocupación del territorio, con un caótico desarrollo urbano que por lo general reactiva antiguas amenazas naturales presentes desde muchos siglos atrás.

Estos asentamientos ocurrieron en los últimos lustros debido a la migración campo-ciudad, que ejerce una gran presión sobre El Alto y La Paz., produciendo la expansión urbana caótica en forma de ascenso por las laderas. La situación de pobreza casi marginal de la población migrante, la obliga a buscar espacios donde asentarse, provocando el deterioro ambiental de las zonas de alta pendiente. Esta expansión urbana tuvo al principio carácter clandestino y se inició con la destrucción de la incipiente cobertura vegetal y la realización de excavaciones para habilitar terrenos en sectores que por lo general presentan problemas geológicos.

Ante esta degradación de las cuencas, las precipitaciones pluviales caracterizadas por su alta intensidad y corta duración, erosionan fácilmente el suelo provocando el arrastre de sólidos en forma de mazamoras, las cuales arrasan lo que encuentran a su paso y provocan inundaciones en las partes bajas donde, debido a su pérdida de energía, depositan el material transportado desde la parte alta de la cuenca. Afloramientos de corrientes subterráneas agravan aún más el problema, pues causan la saturación de la masa de los taludes originando movimientos que terminan en grandes deslizamientos.

Esta conjunción de situaciones críticas originó que el mes de febrero de 2011 se haya producido el Deslizamiento complejo Pampahasi - Callapa, cuyo factor final fue la erosión de la margen derecha del río Chujlluncani, que provocó el primer deslizamiento en el sector Valle de Las Flores. Ante este movimiento de masa, el sector superior colindante con Pampahasi perdió su estabilidad originando la caída del talud que se inicia en la planicie de este último barrio. Sucesivos movimientos acumularon material, que produjo el movimiento en la parte baja donde está situado Callapa, como también en sectores intermedios y colindantes con el pie del deslizamiento.

6. EVOLUCION GEOLOGICA DEL VALLE DE LA PAZ

Si bien la belleza panorámica que ofrece la ciudad de La Paz a los ojos de cualquier observador da una impresión de grandiosidad e imponentia, dejando entrever un triunfo de la expansión urbana sobre la topografía, muy pocas personas saben que debajo de la superficie construida la naturaleza ha tejido una estructura geológica complicada, tal vez la más compleja del mundo ligada al emplazamiento de una ciudad.

Esta configuración geológica, sumada a las condiciones topográficas, geotécnicas e hidrológicas, es responsable de que la ciudad se halle frecuentemente afectada por fenómenos de inestabilidad como deslizamientos y mazamoras que han ocasionado invalorables pérdidas materiales e inclusive de vidas humanas.

Los estudios geológicos llevados a cabo hasta la fecha, permiten realizar una reconstrucción completa de todos los acontecimientos geológicos del pasado, responsables de la configuración que actualmente presenta el valle de La Paz.

Hace aproximadamente 12 millones de años tuvo lugar el plegamiento o nacimiento de la Cordillera Real, a cuya consecuencia se formaron en sus laderas una serie de cuencas que paulatinamente fueron rellenas por materiales provenientes de la erosión de las partes altas. La historia de una de estas cuencas está relacionada con el lugar de emplazamiento de la ciudad; se trataba de una depresión alargada en sentido norte-sur que tenía como límite oriental la cordillera y que se extendía por el norte hasta el Lago Titicaca; por el oeste su límite constituía una línea que une las localidades de Aigachi, Pucarani, Laja y Viacha y por el sur la cuenca se extendía hasta más allá de Calamarca (Dobrovolsky, 1962).

La cuenca referida fue rellena paulatinamente con sedimentos finos, actualmente conocidos como arcillas de la Formación La Paz y que son ampliamente observables en las laderas de la ciudad y sobre las cuales se asientan numerosos barrios. Una vez que se relleno totalmente la cuenca, se desarrolló una superficie con pendiente general hacia el sud-oeste y sobre la cual corrían ríos que, naciendo en la cordillera drenaban en dirección hacia Viacha.

Posteriormente, en la Cordillera Real se originaron enormes glaciales que en su avance pendiente abajo acarrearón grandes cantidades de materiales que alcanzaron las cercanías de la actual ubicación de la ciudad, cubriendo los depósitos arcillosos de la Formación La Paz con potentes espesores de materiales de la Formación Patapatani.

Con posterioridad, la explosión de algún volcán cercano de la Cordillera Occidental (Dobrovolsky, 1962) produjo una cantidad de ceniza volcánica que alcanzó a depositarse en toda el área de La Paz y sus alrededores, formando una unidad característica conocida en la terminología geológica como Cinerita Chijini y en lenguaje corriente como poke; esta unidad muy visible en todas las laderas que dominan la ciudad, constituye un excelente horizonte guía, presentando un color blanco o rosado, con espesores de 2 a 4 metros (Lieberman, 1991).

Después de la deposición de la ceniza volcánica, nuevamente se registra el avance de gigantescos glaciales que acarrearón enormes depósitos de materiales gruesos acompañados de un gran aporte de aguas de deshielo formando nuevos ríos y lagos; por lo que el poder erosivo de las aguas se incrementó notablemente y en consecuencia comenzó a delimitarse el actual valle del río La Paz con una dirección norte-sud. Durante este período se depositaron los materiales pertenecientes a las Formaciones Calvario, Purapurani y Milluni.

Las aguas provenientes de los deshielos, durante un período largo de tiempo, castigaron considerablemente todas las zonas profundizando cada vez más los valles de los ríos, llegándose a delimitar perfectamente los ríos Choqueyapu y Orkojahuira, alcanzando niveles similares a los que tienen actualmente (Maldonado, 1988). En este período se produce un nuevo avance glacial pero esta vez los materiales acarreados ingresan a través de los valles encajonados que presentan los ríos Choqueyapu, Orkojahuira e Irpavi. Estos materiales gruesos rellenan parcialmente dichos valles originando de esta manera las superficies planas

sobre las cuales en la actualidad se asientan la zona central, El Prado, Miraflores, Alto Irpavi, etc. En esta época se depositaron las Gravas Miraflores y las Gravas Irpavi (De Félix, 1990).

En este mismo periodo, debido al continuo aporte de aguas de la cordillera, enormes masas de materiales se llegaron a saturar deslizándose por las pendientes, dando lugar a grandes torrentes de barro como el de Achocalla.

Nuevamente el poder erosivo de los ríos dejó sentir su acción profundizante hasta alcanzar los niveles actuales. En este lapso, antes de la fundación de la ciudad de La Paz, se originaron algunos de los grandes deslizamientos como el de Laykacota, Llojeta, el gran deslizamiento que abarca las zonas de Tembladerani y Sopocachi, etc.

Todos los procesos descritos han dado lugar a una serie de sedimentos sobrepuestos que pueden ser resumidos en una columna que permite clasificar las diferentes formaciones geológicas que la componen en dos grupos de comportamiento diferente: Las arcillas de la Formación La Paz, juntamente con la Cinerita Chijini que ocupan la parte inferior, constituyen una unidad altamente impermeable conformada por materiales finos; mientras que los depósitos superiores, debido a su composición gruesa, son esencialmente permeables. Esta disposición, con materiales impermeables en la base cubiertos por depósitos permeables, constituye un factor negativo para la estabilidad de las laderas del valle de La Paz.

Los materiales que constituyen el valle han sido depositados en una gran cuenca, por consiguiente tienen un desarrollo horizontal grande, tanto hacia la cordillera como hacia el altiplano; las aguas de deshielo y las de lluvia alcanzan amplias superficies formadas por materiales permeables y se infiltran en ellos dando lugar a un régimen de aguas subterráneas que ha jugado y sigue jugando un papel preponderante en la formación de quebradas y en la estabilidad de las laderas de la ciudad.

La infiltración de aguas se produce hasta encontrar la unidad permeable donde las aguas, al no poder descender a niveles más bajos, saturan profundamente los materiales cercanos al contacto permeable-impermeable y originan una circulación en sentido horizontal controlada por la inclinación del referido contacto. En algunos casos, cuando la salida se produce a través de conglomerados similares a la Grava Miraflores, pueden producirse súbitas caldas de bloques de material que dejan notorias incisiones en los taludes, como ocurre en los farallones que bordean la Avenida Libertadores.

El mapa hidrogeológico de la ciudad de La Paz demuestra que a la cuenca de la ciudad llegan aguas subterráneas tanto del lado de la cordillera como del altiplano. Las aguas infiltradas al pie de la cordillera dan lugar a las vertientes de Achachicala, Agua de La Vida y Villa Fátima, como también en las zonas de Callapa, San Antonio, Villa Copacabana, San Isidro, mientras que las que se infiltran en la zona altiplánica afloran hacia la ciudad a través de más de 70 vertientes ubicadas por debajo de la ceja de El Alto, desde Purapura hasta el valle de Achocalla (Makdonado, 1991).

Puesto que el contacto de los materiales permeables e impermeables se ubica a considerable altura respecto al curso de los ríos principales, las aguas, una vez que afloran, dan lugar a un ciclo secundario de circulación alternándose sucesivamente en su carácter superficial y subterráneo.

El régimen descrito reviste gran importancia en los problemas de inestabilidad de la ciudad ya que la mayor parte de los recorridos subterráneos se realizan por debajo de sectores completamente edificados. Por otra parte, este ciclo natural está siendo alterado irracionalmente por la acción del hombre: lagunas ubicadas en las partes altas han sido tapadas sin darles la conducción necesaria, pequeñas vertientes están siendo paulatinamente bloqueadas por construcciones, obligando a las aguas a buscar niveles de circulación más profundos, por lo que no es de extrañar la aparición frecuente de vertientes en las zonas bajas de la ciudad.

7. LOS FENOMENOS DE EROSION EN LAS LADERAS DE LA PAZ

La erosión se define como la degradación y pérdida de suelo por acción de agentes internos y externos. En un sentido amplio se identifican varios tipos de erosión:

- Erosión Geomorfológica o Natural

Se refiere al desgaste natural de la superficie terrestre por acción y efecto de distintos procesos geomorfológicos: clima, temperatura, precipitación, viento, radiación solar, etc. Da lugar a una modificación del relieve terrestre sin que el hombre tenga participación directa.

- Erosión pedológica o edáfica

Se refiere a la incidencia excesiva de los procesos que participan en la formación del suelo, muchos de los cuales son procesos químicos, tales como carbonatación, oxidación, reducción, hidrólisis, lixiviación. Cuando estos procesos son influenciados por el clima y son muy intensos, no existe pérdida física del suelo pero sí ocurre una pérdida de profundidad por lavado o lixiviación de bases cambiables y otros nutrientes, coloides del suelo y otros materiales solubles que dan lugar a suelos esqueléticos o infértiles. Por efecto de una intensa hidrólisis, ocurre la destrucción de muchos minerales en sus elementos constitutivos.

- Erosión económica

Es el uso inadecuado de los suelos de alto potencial y/o con problemas, que debido a intereses de tipo económico y comercial se los destina a otros fines como ser urbanizaciones, aeropuertos, etc. dando lugar a la pérdida de su capacidad potencial o poniendo en riesgo la infraestructura construida.

- Erosión acelerada o antrópica

Ocurre cuando se acentúa la erosión geomorfológica o natural por acción del hombre, quien realiza actividades depredadoras, provocando una erosión acelerada o antrópica a través del sobrepastoreo, construcción de caminos en áreas inestables, monocultivos, aplicación de tóxicos, prácticas inadecuadas, surcos en sentido de la pendiente, explotación irracional de bosques, utilización del suelo sin conocer su capacidad de uso, etc.

7.1 La erosión natural

La erosión natural es un proceso geológico que forma parte del ciclo geológico externo de erosión-transporte-sedimentación, que se deriva en última instancia de la fuerza gravitatoria. Por tanto, la erosión puede actuar en toda la superficie del planeta, condicionada por factores de control geológicos y climáticos, así como por la variación de los mismos debido a la intervención antrópica.

a) Erosión hídrica

La erosión natural, en sus distintas formas, depende de los sistemas morfogenéticos y morfoclimáticos en que se encuentran (Ayala, 1987). Entre ellas, la erosión hídrica constituye la causa fundamental de los procesos de erosión en las cuencas urbanas. Este tipo de erosión se da principalmente por la generación de excedentes hídricos en la superficie debido a la menor o mayor capacidad del terreno para posibilitar la infiltración del agua proveniente de las precipitaciones pluviales. Los aspectos fundamentales que influyen en esta capacidad son (Krynine, 1972):

b) Tectónica

La tipología y distribución de fracturas de origen tectónico condicionan la capacidad de drenaje e infiltración, así como la resistencia del terreno.

c) Litología

Determina la resistencia de los materiales a la erosión como también su capacidad de infiltración. La erosión hídrica actúa con mayor intensidad sobre las formaciones superficiales y edáficas y sobre formaciones poco consolidadas. Las partículas que requieren la mínima energía para ser movilizadas están alrededor de 0.5 mm de diámetro, siendo los suelos limosos los más susceptibles a ser erosionados (SEMC, 1989). Las arcillas presentan mejor resistencia debido a su cohesión y facilidad de combinarse con la materia orgánica. En general, esta última puede formar agregados estables cuando su presencia es superior al 2%. La capacidad de infiltración depende del tamaño y tipo de poros, guardando directa relación con la textura y granulometría.

d) Vegetación

Impide el inicio y desarrollo de la erosión ya que reduce el impacto directo de las gotas de lluvia, proporciona sujeción al suelo gracias a su sistema radicular, aporta materia orgánica para la formación de agregados estables, reduce la velocidad de circulación del agua, favorece la capacidad de infiltración, crea situaciones micro climáticas que favorecen la conservación del suelo mediante la disminución de la radiación solar, reducción de temperaturas extremas, incremento de la evapotranspiración, etc. (Zavaleta, 1992).

e) Antropismo

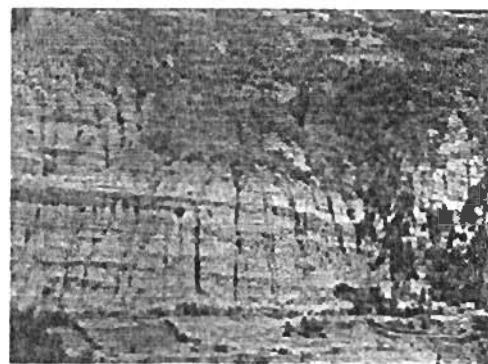
La actividad humana ha producido importantes cambios en los sistemas ecológicos y en los procesos que sobre ellos actúan, que en muchos casos han llegado a ser irreversibles. La modificación de diversos parámetros naturales en la dinámica fluvial, el uso del suelo y los cambios climáticos, permiten afirmar que el hombre es un agente productor de una erosión acelerada.

7.1.1 Formas de la erosión hídrica

La erosión hídrica puede producir la alteración del relieve de distintas formas, como ser:

- Laminar

Cuando la pendiente o la naturaleza del terreno son favorables, se produce la remoción de delgadas capas de suelo que se extienden en forma más o menos uniforme por toda la superficie, ocurriendo la degradación del suelo por capas sucesivas. Los efectos de mayor importancia tienen lugar en zonas desprovistas de cobertura vegetal, en suelos con poca cohesión o con escasa materia orgánica y pueden ser agravados por la existencia de un substrato de naturaleza impermeable.



Fotografía 1 – Cárcavas presentes en un talud

- Cárcavas

Constituyen cursos de agua concentrada, con importante profundidad, donde la corriente fluye con un poder erosivo capaz de seguir abriendo incisiones en el terreno (ver figura 2.3). Es agravada por la caída de lluvias intensas y se presenta en terrenos con pendiente alta y suelos de naturaleza heterogénea. A medida que se profundizan originan erosión lateral en las márgenes.

- Torrenteras

Conforman los ejes de un sistema de cárcavas y constituyen el sistema de evacuación y transporte principal del agua y material movilizado. Tienen profundidad y ancho de mediana a gran magnitud y se forman a partir de la ampliación y unión de varias cárcavas.

- **Socavación y sedimentación**

En los cursos de agua mayores, se producen fenómenos de socavación cuando la energía de la corriente de agua es tal que logra vencer la resistencia de las márgenes y el propio fondo del río, provocando depresiones mayores a las previamente existentes y transportando sólidos corriente abajo. En los lugares donde la corriente de agua pierde energía, por expansión del río, reducción de la pendiente o mayor rugosidad del lecho, se produce el proceso contrario debido a que el agua es incapaz de seguir transportando algunos sólidos, ocasionando fenómenos de sedimentación. De acuerdo a las condicionantes del terreno y al tipo de precipitación ocurrida, estos ciclos pueden alternarse ocurriendo socavaciones donde anteriormente se producían sedimentaciones y viceversa.

7.2 El uso inadecuado de la tierra

Los fenómenos migratorios ocurridos en los últimos años provocan una fuerte presión sobre la tierra. Los migrantes campo-ciudad encuentran en la ciudad de El Alto un primer espacio donde habitar en forma relativamente económica. Sin embargo, los moradores originarios de esta urbe, así como los migrantes con algunos años de permanencia, inician su traslado hacia la ciudad de La Paz con objeto de fijar su residencia más cerca de las principales fuentes de trabajo. Este traslado origina problemas como ser:

a) Urbanizaciones clandestinas

La gran demanda de terrenos con fines habitacionales, encuentra en las laderas, en especial la situada al Oeste de la ciudad, un espacio propicio. Los asentamientos se suceden sin tomar en cuenta las condiciones geológicas ni los riesgos naturales presentes en estas áreas. Las precarias viviendas, hechas básicamente de adobe, son construidas en pocos días sin que los organismos municipales encargados de su control tengan la capacidad de controlar estas invasiones.

b) Deforestación

Similarmemente, en áreas declaradas como forestales, el proceso de urbanización ocurre con la tala de árboles y destrucción de la cobertura vegetal con el fin de habilitar terrenos para viviendas. Esta acción reduce cada vez más los espacios verdes en la ciudad al mismo tiempo que deja las laderas de alta pendiente sin el elemento biológico fundamental para garantizar su estabilidad.

c) Falta de servicios y contaminación

La totalidad de estos asentamientos clandestinos se limitan a habilitar espacios para viviendas sin contar con dotación de servicios básicos. El agua se la obtiene de vertientes cercanas o del mismo curso del río, siendo dudosa su potabilidad. Las aguas servidas son evacuadas mediante pozos sépticos o directamente al río, que se convierte en emisario sanitario y depósito de los desechos sólidos. La carencia de servicios higiénicos es sustituida con la utilización de los aires de río para las necesidades humanas. Esta forma de vida provoca una seria contaminación de las aguas, suelo y aire, con la consiguiente aparición de enfermedades entre los pobladores.

Otros servicios, como los de asistencia médica mediante postas sanitarias son inexistentes. Tampoco se cuenta con áreas para el esparcimiento y recreación de la población. Definitivamente, este proceso de urbanización no busca en absoluto elevar la calidad de vida humana.

8. LAS AMENAZAS NATURALES

Constituyen riesgos naturales los riesgos biológicos, los riesgos físicos o abióticos y los riesgos de los sistemas terrestres globales. Entre los riesgos físicos, los geológicos y geoclimáticos cobran alta importancia en la degradación de una cuenca (Ayala, 1987). Los principales son:

8.1 Inundaciones

Los sectores bajos de las cuencas y los situados en los aires de río tienen la ventaja de tener menor pendiente. Sin embargo, son susceptibles a sufrir inundaciones periódicas debido a las crecidas súbitas de estos cursos de agua tormentosos.

Estas crecidas provocan el anegamiento y destrucción de viviendas poniendo en serio riesgo la vida de los pobladores. Aunque su duración se limita a pocas horas, es suficiente para dejar a sus habitantes sin techo y sin los escasos enseres con que cuentan. Esta situación se agrava cuando las crecidas contienen material de arrastre y se producen las temidas mazamoras.

8.2 Deslizamientos

Los deslizamientos por lo general ocurren en áreas de condiciones geológicas pobres y con pendientes relativamente elevadas. No obstante, en las laderas de la ciudad de La Paz, este fenómeno puede presentarse aún en taludes poco inclinados y de condiciones geológicas medias debido a la presencia de agua.

El agua presente en las laderas puede tener dos fuentes principales: las vertientes de aguas subterráneas y las infiltraciones de aguas servidas desde las viviendas existentes.

a) Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas se originan en los deshielos de la Cordillera Real y tienen un rumbo general hacia la cuenca endorreica del Lago Titicaca. Sin embargo, algunas de ellas se desvían aflorando en las laderas de la ciudad. Al salir a superficie, normalmente en el contacto entre una formación permeable y otra impermeable, provocan la saturación de la masa de los taludes.

b) Infiltración de aguas servidas

Gran parte de los asentamientos humanos en las laderas no cuentan con sistemas de alcantarillado pluvial y sanitario. La evacuación de aguas pluviales se la realiza por superficie sobre las calles y sendas existentes, hasta el curso del río. En cambio, las aguas servidas que no pueden ser evacuadas directamente al río, utilizan como receptores pozos sépticos cavados en el terreno. No existiendo ningún tipo de tratamiento y/o impermeabilización, el agua se infiltra en el talud relativamente permeable causando la saturación que a la larga contribuye a que los deslizamientos ocurran.

De esta manera, la masa térrica de las laderas se satura de agua dando lugar al incremento del peso específico aparente y la disminución de la cohesión, hasta llegar a un límite en el cual se inician los primeros movimientos que desencadenan en deslizamientos.

9. MEDIDAS TÉCNICAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

Son variadas las medidas técnicas que se pueden utilizar para el control y estabilización de deslizamientos en áreas urbanas. De acuerdo a la experiencia lograda y los excelentes resultados obtenidos en laderas de alta pendiente de la ciudad de La Paz, se plantea utilizar las siguientes, destacándose que el éxito de las mismas radica en que sean integralmente aplicadas junto con las medidas biológicas.

9.1 Estabilización de taludes

La estabilización de taludes puede ser conseguida mediante el cambio de la propia geometría del talud, lo cual implica ejecutar un movimiento de tierras con el empleo de maquinaria pesada, efectuando cortes y rellenos, llegando a una conformación final que proporciona mayor estabilidad. Esta técnica requiere del análisis pormenorizado de las características geotécnicas de los materiales constitutivos del talud y de sucesivos cálculos de estabilidad con objeto de definir la geometría que brinda mayor seguridad dentro de aceptables límites de costo.

Es posible también estabilizar los taludes mediante la aplicación de obras de contención, como ser muros de sostenimiento al pie del deslizamiento y obras de anclaje en el cuerpo del talud.

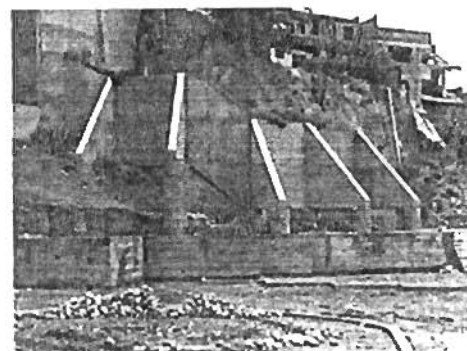
Los muros al pie pueden ser rígidos o flexibles. En el primer caso, son ejecutados con la técnica del hormigón ciclópeo, el hormigón armado o pretensado siendo menos frecuente el empleo de elementos metálicos. En el segundo caso es frecuente el empleo de la tierra armada, los que tienen notorias ventajas debido a su sencillez de ejecución, bajo requerimiento de mano de obra calificada y menor costo de construcción.

El cálculo y diseño de los muros de contención implica el conocimiento de las condiciones geomecánicas del talud inestable y la magnitud de empujes a resistir. Estos empujes crecen considerablemente según la altura del muro, la inclinación del talud y la influencia del deslizamiento propiamente dicho, existiendo rangos económicos en que resulta conveniente el empleo de uno u otro tipo de solución. Su estudio se lo realiza en forma particular en cada deslizamiento y aún en cada sector del mismo donde se presenten diferentes características.

Las técnicas de anclaje de taludes térreos no se han desarrollado con amplitud en nuestro medio debido a los altos costos que implican y a las dificultades de su ejecución. Se los ha aplicado con mayor frecuencia en taludes rocosos de túneles y carreteras donde resultaba inaplicable otro tipo de medida de estabilización.



Fotografía 2 – Muro de geotextiles



Fotografía 3 – Muro rígido sobre pilotes



Fotografía 4 – Muro y rápida de gaviones

En todos los anteriores casos, el drenaje de las aguas existentes al interior de la masa del talud es fundamental para el logro de los objetivos propuestos. Las galerías filtrantes constituyen elementos de drenaje que han sido desarrollados con mucho éxito en las condiciones imperantes en la ciudad de La Paz. Estas consisten en socavones construidos al nivel en que afloran las aguas subterráneas, los cuales son entibados con elementos de hormigón armado.

Este sistema permite drenar las aguas del interior del talud hasta la salida de la galería, de manera que al secarse parcialmente el talud, la cohesión se incrementa, el peso específico disminuye y se eliminan los planos de lubricación, aumentando de forma considerable la estabilidad del talud (Maldonado, 1996).

9.2 Drenaje de aguas subterráneas

Siendo la presencia de aguas subterráneas uno de los factores determinantes en producir la inestabilidad de las laderas, su drenaje mediante diversos métodos es una de las principales tareas para mejorar la estabilidad de taludes.

Por lo general, conocido el punto de salida y la traza del contacto entre las formaciones más permeables y las menos permeables, es posible emplazar una obra de drenaje denominada galería filtrante, cuyo propósito es captar y conducir estas aguas, en determinado sector al interior del talud, con objeto de que no provoque la saturación del resto del talud. En taludes con bastante inclinación, que permita una pendiente adecuada de la galería, es posible emplazar estas obras subterráneas.

En sectores donde el talud no se encuentra tan próximo o donde la pendiente es muy suave, se debe recurrir a otra técnica consistente en los drenajes verticales, que posibilitan crear una virtual cortina vertical por debajo del terreno, que capta las aguas conduciéndolas hacia sectores de menor altura y/o de mayor permeabilidad. Su combinación con drenes horizontales situados al fondo de estos drenajes verticales, logra una mayor eficiencia para la evacuación de aguas.

9.3 Canalización y embovedado

La canalización de los cursos de agua se realiza mediante obras consistentes en canales paralelos de mampostería de piedra con una solera entre ellos para la circulación del agua. Estas obras permiten mejorar las condiciones hidráulicas de los ríos y delimitar el área por donde ocurrirá el escurrimiento de aguas. De esta manera, se logra recuperar áreas situadas en los aires del río e incorporar un elemento que evita la profundización del lecho por socavación. Estos canales tienen una pendiente máxima para evitar el desgaste de los materiales constituyentes y se adecuan a la topografía del terreno mediante caldas regulares donde se colocan los vertederos y disipadores hidráulicos.



Fotografía 5 – Canalización de Ho. armado

Cuando la canalización se complementa con un embovedado, se consiguen sustanciales ventajas adicionales como ser:

- La sección cerrada evita el desborde de aguas en caso de crecidas extraordinarias que pudiesen rebasar la altura de los canales.
- Se evita el vertido de basura y otros desechos hacia el curso del canal por parte de los habitantes de las riberas.

- La estructura de canales y bóveda, cuando está adecuadamente dimensionada, sirve como elemento de estabilización de los deslizamientos laterales.
- La bóveda superior sirve como una tapa a la canalización permitiendo incorporar un relleno de tierra por encima de la misma. En esta forma, es posible colocar una masa de tierra en la parte inferior de un deslizamiento, para mejorar la distribución de esfuerzos e incorporar un elemento resistente a los movimientos de la masa del talud.

10. FACTORES PRESENTES EN EL ANALISIS DE AMENAZAS A DESLIZAMIENTOS

Tomando en cuenta las particularidades de las laderas en el área urbana de La Paz, se propone efectuar la valoración en grado creciente según su incidencia a crear las condiciones para un deslizamiento, es decir, valores bajos representarán poca incidencia, mientras que los valores altos representarán significarán gran incidencia en crear las condiciones aptas para un deslizamiento. A continuación se describe la base de valoración de cada uno de los factores:

10.1 Pendientes

La valoración a asignar a las pendientes deberá estar basada en su grado de inclinación. Es evidente que una pendiente plana, exceptuando la dificultad para el escurrimiento de aguas, constituye la situación más idónea para la estabilidad de una ladera. Por tal motivo, la valoración será inversamente proporcional al grado de inclinación de cada sector de la zona de estudio. Constituye uno de los elementos decisivos ya que muchos de los fenómenos que causan la inestabilidad de las laderas tienen directa relación con la inclinación de la pendiente. Su modificación parcial puede ser efectuada con importantes trabajos de movimiento de tierras que implican inversiones considerables.

10.2 Geología – Geotecnia

Las diferentes formaciones presentes en cada una de los sectores del área de estudio deberán ser valoradas tomando en cuenta su mayor o menor grado de resistencia al intemperismo, su compacidad y grado de impermeabilidad, así como su aptitud a servir de sustento a obras civiles o biológicas, y su condición de material "in situ", deslizado o producto de la intervención antrópica. En gran medida, los factores enmarcados en las características geológicas constituyen parámetros fijos muy difíciles de alterar. En muchas ocasiones pueden determinar la imposibilidad de la aplicación de medidas de estabilización. La excepción está dada cuando una modificación del relieve permite dejar al descubierto formaciones subyacentes a las existentes en principio, o cuando las medidas técnicas consiguen efectuar rellenos en depresiones antes expuestas; en tal caso, ocurre una ligera modificación de las condiciones geológicas que, dependiendo del grado de control técnico con que se realicen estas intervenciones, pueden ser favorables en términos de reducir la posibilidad de deslizamientos.

10.3 Uso del suelo

Los factores de esta variable serán valorados tomando en cuenta la mayor o menor incidencia que tienen en la degradación de los taludes, entendiéndose como tal la sobrecarga que se introduce por efecto de la implantación de edificaciones más o menos altas, el potencial aporte de aguas servidas que pudiesen infiltrarse en el terreno y la modificación de la morfología del terreno, con propósitos de emplazar las edificaciones.

El tipo de ocupación en ámbitos urbanos tiene directa relación con las condiciones geomorfológicas presentes en el sitio, pues dependiendo del tipo de geoforma presente, puede ser posible la ocupación del espacio, existiendo severas limitaciones cuando aquella presenta condiciones netamente desfavorables. La geomorfología, y en especial el grado de erosión, índice en el deterioro

del suelo, el riesgo que implica para la implantación de obras técnicas y biológicas y su mayor o menor facilidad de ser controlados para permitir una conservación de la ladera, en especial en los sectores próximos a los cursos naturales. La degradación de la ladera tiene en el grado de erosión una fiel expresión. Su control y corrección implica la adopción de importantes medidas biotécnicas cuyo costo es proporcional a la magnitud en que la cuenca ha sido erosionada, pudiendo en algunos casos resultar prácticamente imposible desarrollar edificaciones en ámbitos con geoformas desfavorables.

10.4 Saturación del suelo

El grado de saturación de los suelos incide de manera directa en la estabilidad de las laderas. A mayor grado de saturación, mayor la pérdida de las propiedades geomecánicas de las diferentes formaciones, lo que tiende a crear las condiciones favorables a la ocurrencia de un deslizamiento. Este factor está directamente relacionado con la tasa de infiltración de agua en el terreno, lo que dependerá del balance entre la precipitación acumulada y la evapotranspiración acumulada en igual período de tiempo. Cuanto mayor sea la diferencia entre estos dos últimos valores, mayor la incidencia a crear las condiciones para un deslizamiento.

10.5 Precipitación pluvial

Sin duda que la precipitación pluvial que cae sobre una ladera es el factor que puede desencadenar un deslizamiento, debido a que agrava las condiciones presentes, en términos de alterar directamente las propiedades de los suelos e incrementar las cargas que hacen proclive el deslizamiento. En particular, en el ámbito urbano de la ciudad de La Paz, las precipitaciones cortas e intensas pueden constituir una amenaza mayor que una precipitación prolongada pero de menor intensidad, a pesar que la combinación de esta última cuyo efecto es saturar el terreno, con la primera, cuyo efecto es producir intensos grados de erosión, puede ser un peligroso factor acumulativo, como ocurrió previamente al deslizamiento complejo de febrero de 2011.

11. VALORACION DE LOS FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LOS DESLIZAMIENTOS

11.1 PENDIENTES

Las pendientes se las ha clasificado en seis categorías, según el grado de inclinación.

Zona llana

Comprende inclinaciones entre el 0% (horizontal) y el 3.5%. Está muy próximo a las ventajas de un terreno llano, es decir que favorece a la estabilidad, aunque podría ocurrir una ligera acumulación de agua cuando no existe inclinación. Por estos motivos se le asigna una valoración de 1

Zona suave

Comprende inclinaciones entre el 3.5% y 10%. Las aguas escurren sin dificultad y en términos de estabilidad, es favorable para las laderas y permite el asentamiento de obras civiles, infraestructura y viviendas. Se le asigna valoración 2.

Zona moderada

Comprende inclinaciones entre el 10% y 20%. Permite el desarrollo de vegetación, así como obras de urbanización e infraestructura sin llegar a inversiones considerables. Las aguas pueden escurrir fácilmente, aunque pueden llegar a provocar ligera erosión de forma laminar. En términos de estabilidad, con estas inclinaciones la ladera no llega a deslizarse. Por tanto, se le asigna una valoración de 3.

Zona fuerte

Comprende inclinaciones entre el 20% y 30%. Permite el desarrollo de vegetación. Las obras de urbanización e infraestructura deben contar con elementos especiales para sortear los desniveles y permitir su funcionalidad, lo cual implica realizar mayores inversiones. Es necesario que el drenaje cuente con obras de control que eviten la erosión del terreno. La circulación peatonal requiere cierto esfuerzo para ascender por estas pendientes. En general, para esta inclinación, las laderas permanecen estables. Se le asigna una valoración de 4

Zona muy fuerte

Comprende inclinaciones en el rango de 30% a 50%. Es posible el desarrollo de vegetación con determinadas características. Las obras de urbanización e infraestructura requieren de obras especiales que pueden tomar un proyecto económicamente poco factible. Este rango de pendientes también tiene un efecto psicológico adverso en las personas y demanda alto esfuerzo para el ascenso. Las aguas deben ser adecuadamente canalizadas para evitar que la erosión forme cárcavas en el terreno. Dependiendo de los materiales y grado de saturación, las laderas pueden permanecer más o menos estables. Se le asigna una valoración de 5.

Zona abrupta

Comprende inclinaciones superiores al 50%. El desarrollo de la vegetación no alcanza los niveles deseados, a no ser que se adopte sistemas especiales para favorecer su desarrollo. Cualquier obra civil está expuesta a serios riesgos además de no ser económicamente factible. El agua que circula libremente por estas laderas provoca erosión en forma de cárcavas y quebradas, arrastrando gran cantidad de material en forma de mazamorra. El ascenso de estas pendientes demanda el uso de equipos especiales y preparación física adecuada. Por estas dificultades se le asigna una valoración de 6.

11.2 GEOLOGIA – GEOTECNIA

Formación La Paz

Constituye el basamento de la zona, con profundidades variables, siendo que en algunos lugares aflora en superficie, y en otros puede estar a más de 200 metros de profundidad. Sus propiedades geomecánicas indican que tiene buena compacidad, alta cohesión y buena capacidad portante, además de una baja permeabilidad, lo que significa condiciones muy favorables para evitar la



Fotografía 6 – Afloramiento de Formación La Paz



Fotografía 7 – Talud de Gravas Pampahasi

ocurrencia de deslizamientos, motivo por el cual puede estar presente formando paredes casi verticales. Por estas razones, se le asigna una valoración de 1.

Gravas Pampahasi

Presenta buenas propiedades geomecánicas, como ser buena compacidad y buena capacidad portante, aunque su permeabilidad es mayor lo cual hace que su matriz fina pueda ser lavada cuando la circulación de agua es intensa y constante. Puede formar taludes subverticales, pero es susceptible a ser erodado por la calda de las gotas de lluvia. Es un material de buenas condiciones para mantener la estabilidad de las laderas. Por estos motivos, se le asigna una valoración de 2.

Flujos y torrentes

Constituyen unidades que han sufrido procesos de remoción, que tienen cierto grado de compacidad pero son susceptibles a la acción del agua. Su capacidad portante puede ser regular dependiendo del grado de consolidación que haya adquirido. En condiciones confinadas puede ser usado para el soporte de infraestructura y obras civiles, siempre y cuando se tomen recaudos para un adecuado drenaje de las aguas. Por estos motivos, se asigna una valoración de 3.



Fotografía 8 – Depósitos aluviales

Depósitos aluviales

Están ubicados principalmente en los aires del río Irpavi, constituyendo tanto depósitos como terrazas. Son bastante permeables, aunque sus propiedades de soporte son buenas. En condiciones no confinadas pueden ser arrastradas por las crecidas del río debido a su poca compacidad por falta de materiales finos. En cambio, en condiciones confinadas constituye un buen material de soporte. Por estos motivos, se asigna una valoración de 4.

Rellenos artificiales

Comprenden materiales sueltos, de constitución heterogénea, que en muchos casos no han recibido adecuada compactación. Sus propiedades pueden ser mejoradas incorporando acciones y medidas técnicas de confinamiento y compactación. Se le asigna una valoración de 5.



Fotografía 9 – Banquinas y vías artificiales

Coluvios

En esta categoría se incluye los materiales provenientes de la meteorización de otras formaciones, que por acción de la gravedad y el intemperismo, se desprenden y caen pendiente abajo, formando acumulaciones muy sueltas propensas a saturarse de agua, por lo que requieren un reacomodo para servir de elementos de soporte. Dependiendo de su grado de consolidación y condiciones de drenaje de aguas, es posible mantener su inactividad a largo plazo. Se asigna una valoración de 6.

Deslizamientos

Constituyen los materiales removidos por el deslizamiento complejo, que aún no se han logrado estabilizar y que mantienen un alto grado de humedad próximo a la saturación. De no incorporarse medidas técnicas de contención y drenaje, es de esperar movimientos ante presencia de agua o modificaciones de geometría, lo cual hace que la implantación de infraestructura y edificaciones sea difícil. Por estos motivos, se le asigna una valoración de 6.

11.3 USO DE SUELO

Se analizan categorías de uso de suelo. Se recalca nuevamente que el área de estudio no debe tener uso agrícola, por lo que no se incluyen ninguna categoría relativa al mismo. Por otra parte, se ha realizado una combinación del tipo de uso con las condiciones geomorfológicas, debido a que existe una relación de complementariedad entre ambas.

Área forestal

Surgen como producto de un plan de reforestación adecuadamente implementado. Su existencia implica una óptima cobertura para protección del suelo, retención de humedad y disminución de la escorrentía. Por otra parte, su papel en la fijación del terreno es considerable cuando se emplean especies apropiadas. Contribuyen a mejorar el paisaje realizando el aspecto visual y estético, tan importante en estas laderas deprimidas. Por otra parte, también pueden servir como áreas de esparcimiento y educación ambiental de la población. Debido a las múltiples funciones benéficas para evitar los deslizamientos se le asigna una valoración de 1

Área de recreación

Comprenden propiamente áreas donde los pobladores pueden desarrollar actividades deportivas, dar expresión a manifestaciones culturales o propiamente utilizarlas para el descanso y la recreación. Su implementación por lo general facilita la comunicación entre el vecindario, estableciendo relaciones de cooperación y solidaridad. Al mismo tiempo, permiten el disfrute de las distintas generaciones de la familia posibilitando una relación armoniosa de sus miembros. Estarán combinadas con áreas verdes de tamaño más bien reducido, dotadas de eficientes sistemas de drenaje. Se le asigna una valoración de 2

Área de equipamiento

Comprende las áreas donde se situarán los servicios para la comunidad, como ser postas sanitarias, pequeños mercados, etc. Su implementación y funcionamiento elevan la calidad de vida de la población. Se incluye edificaciones de una sola planta, de amplitud regular, donde la concentración del agua pluvial puede ser mayor, por tanto demandarán sistemas especiales de evacuación de aguas y protección de taludes. Se asigna una valoración de 3.

Área habitacional con restricción estricta

Contará con soluciones habitacionales solamente de planta baja, dotadas de cimentaciones especiales y sistemas prefabricados livianos, con los cuales se puede realizar ajustes. Por el hecho de contar con servicios de agua potable y alcantarillado, con tuberías vistas, la probabilidad de infiltraciones de agua en el terreno es reducida. Su valoración es 3.

Área habitacional con restricción

Contará con soluciones habitacionales hasta de dos plantas, con cimentaciones especiales, materiales livianos y ajustables. Por su dimensión, las cargas sobre el terreno son mayores, y deben tener sistemas de agua potable y alcantarillado vistos. Su valoración es 4.

Área habitacional sin restricción

Donde las edificaciones no tendrán sistemas especiales en sus estructuras. Pueden influir decisivamente en la generación de alteraciones al terreno que produzcan deslizamientos. Su valoración asignada es 5.

Campos deportivos

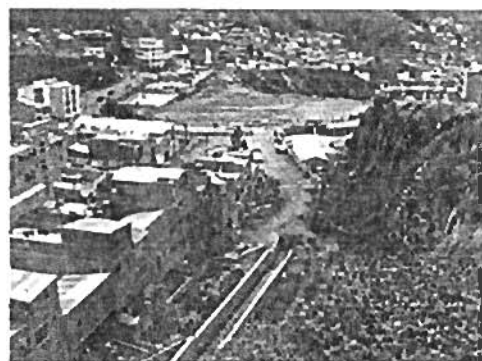
Corresponden a espacios abiertos para la práctica del deporte, cuyas dimensiones son considerables y no están dotados de sistemas de drenaje adecuados. Debido a que son planos, el agua puede llegar a acumularse y favorecer la infiltración en el terreno. Por estas condiciones ligeramente desfavorables, se les asigna una valoración de 5.

Terrenos baldíos

Corresponden a espacios que en la actualidad no tienen un uso determinado, que en determinado momento pueden ser objeto de invasión y uso de suelo inadecuado. Por lo general carecen de cobertura vegetal de manera que la erosión se ve favorecida. Por estos motivos, se le asigna una valoración de 5.

Cárcavas

Se refiere a los espacios donde la erosión es más que incipiente y existen desfavorables condiciones de drenaje, que hacen propenso el arrastre de materiales. Implica una degradación mayor del suelo, requiriéndose de medidas biotécnicas más amplias para su control. Por este motivo, se asigna un valor de 6.



Fotografía 10 – Ocupación irrestricta



Fotografía 11 – Campos deportivos en laderas



Fotografía 12 – Quebradas en formación

Quebradas

Son sectores que se han formado por la conjunción de varias cárcavas y sirven como un receptor a la escorrentía que circula por éstas. Normalmente constituyen la red de drenaje de las laderas, transportando las aguas hacia el curso principal. Por lo general el escurrimiento de aguas no se da en forma permanente y existe una gran diferencia entre los caudales ordinarios y los caudales en crecidas. Su profundidad y ancho es considerable por lo que su control requiere medidas biotécnicas y movimiento de tierras de consideración. Se le asigna una valoración de 7.

Cursos de río

Se ha denominado así a los sectores de los aires del río Callapa - Irapavi, que pueden ser colmados de agua durante las crecidas. De acuerdo a la velocidad del agua y a la cantidad de materiales sólidos en suspensión que arrastre, pueden ocurrir fenómenos de socavación de las márgenes y el lecho o fenómenos de sedimentación. En cualquiera de los casos, el paisaje y el terreno de sustento de cualquier obra civil o biológica pueden ser severamente afectados llegando al extremo de perderla completamente. Se asigna una valoración de 7.



Fotografía 13 - Curso de un río principal

Farallones

Son sectores donde los taludes están prácticamente verticales, carentes de cobertura vegetal. Debido a su completa exposición al intemperismo, los fenómenos erosivos son constantes, resultando impracticable la aplicación de medidas biotécnicas corrientes para su control, demandando obras de alto costo. La ocurrencia de deslizamientos puede darse en forma de caída de derrubios o por el desplazamiento súbito de bloques. Con tan desfavorable consideración, se asigna una valoración de 8.



Fotografía 14 - Farallones expuestos

11.4 SATURACION DEL SUELO

Producida por la incorporación de agua al suelo por efecto de las precipitaciones pluviales. Causa la reducción de los parámetros geomecánicos y el incremento del peso específico aparente de las masas térrneas, lo cual puede llegar a activar los deslizamientos. Los rangos de precipitación que tienen incidencia en la zona del deslizamiento complejo han sido tomados del Balance Hídrico realizado en el Estudio de Hidrología.

Precipitación mensual media menor a 108 mm/mes

Debido a que es una cantidad menor a la evapotranspiración potencial promedio en la temporada de lluvias, su incidencia no altera las condiciones del terreno, de manera que se le asigna una valoración de 1.

Precipitación mensual media entre 108 y 140 mm/mes

Produce cierta recarga en la humedad del terreno, que puede dar inicio a procesos de desestabilización. Se le asigna una valoración de 2.

Precipitación mensual media mayor a 140 mm/mes

Causa la saturación del terreno con importantes cambios en las propiedades geomecánicas, pudiendo iniciar el movimiento de masas. Se le asigna una valoración de 3.

11.5 INTENSIDAD DE PRECIPITACION

Representa un factor detonante para producir los deslizamientos. Tomando en cuenta los resultados de la evaluación del registro de precipitaciones contenidas en el estudio Hidrológico, se han definido los siguientes rangos:

Precipitación baja de menos de 11.45 mm/hora

Corresponde a una precipitación intensa para un período de retorno de 10 años y 120 minutos de duración, la cual produce el flujo de aguas que pueden ser controladas por los sistemas de drenaje de uso frecuente en el ámbito urbano de la ciudad de La Paz. Por este motivo, se le asigna una valoración de 1

Precipitación media, entre 20 a 40 mm/día

Corresponde a una precipitación intensa para un período de retorno de 100 años, con una duración de 120 minutos. El flujo de aguas puede desbordar los sistemas usuales de drenaje, de manera que por esta situación desfavorable se le asigna una valoración de 2.

12. VULNERABILIDAD

De acuerdo a lo explicado anteriormente, la ocupación de laderas en el entorno urbano de La Paz, está condicionada por una conjunción de factores sociales, económicos, políticos e institucionales, que han provocado un desborde del proceso de expansión urbana y ocupación desordenada del territorio, generando un alto grado de hacinamiento, precariedad en las construcciones y déficit, incluso total ausencia, de servicios básicos, en especial agua potable y alcantarillado.

La vulnerabilidad física en estos asentamientos, debido a su emplazamiento en áreas deleznable y/o de alta pendiente y a la deficiente calidad de las construcciones e infraestructura, se puede evidenciar mediante un análisis somero del tipo de urbanización presente antes del deslizamiento. Por otra parte, el proceso de construcción de las viviendas, efectuando cortes en taludes inestables y relleno con la consiguiente sobrecarga en los mismos, han modificado las condiciones de los taludes, ya de por sí precarias. El uso de materiales locales, por lo general de peso excesivo (como los adobes), introducen factores de desequilibrio que crecen paulatinamente. La deficiencia, cuando no la falta de acceso, en los servicios básicos, especialmente alcantarillado, provocan la saturación de los terrenos aumentando la vulnerabilidad física y ambiental en las laderas.

Por otra parte, las vulnerabilidades sociales, políticas e institucionales, requieren de instrumentos especializados para su cuantificación, realizándose por lo general solamente un análisis cualitativo.

La implementación de las medidas de mitigación tiene el propósito de reducir los grados de vulnerabilidad en las zonas afectadas, a través del control y reducción de la inestabilidad presente. Entre estas medidas, cobran especial importancia aquellas destinadas a estabilizar los taludes y lograr el drenaje adecuado de las aguas subterráneas, así como el drenaje controlado de las aguas superficiales. Sin embargo, estas medidas no serán suficientes si no vienen acompañadas con un Plan de uso de suelo que se traduzca en un adecuado ordenamiento territorial por las entidades encargadas, con el fin de evitar que nuevamente se generen las condiciones que den lugar a una nueva construcción social del riesgo.

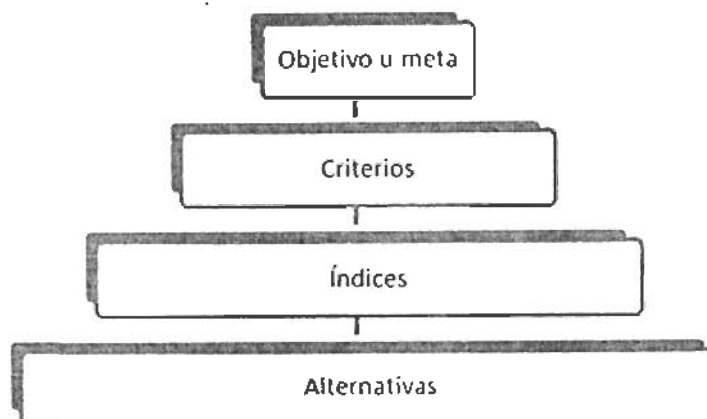
13. MODELO DE DECISIÓN MULTICRITERIO – PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)

Para tomar una decisión es necesario conocer el problema, la necesidad y el propósito de la decisión, los criterios de la decisión, sus subcriterios y las alternativas a tomar. Luego intentar determinar la mejor alternativa. Una herramienta que nos ayuda en este trabajo es el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) desarrollado por Saaty, a fines de la década del 70, que es una herramienta de Evaluación Multicriterio que está siendo ampliamente utilizada en varios campos de la economía, ingeniería, etc.

Para tomar una decisión haciendo uso del Proceso Analítico Multicriterio es necesario descomponer el problema de decisión siguiendo los siguientes pasos:

1. Definir el problema. Para el presente caso, corresponde a una zona que comprende varios Distritos ubicados en la ladera Este de la ciudad de La Paz, margen derecha del río Irpavi, que fueron afectados por el deslizamiento complejo acaecido en febrero de 2011.
2. Establecer la necesidad. Dentro del presente estudio se trata de lograr la rehabilitación, por medio de la implementación de medidas de mitigación, de gran parte de los distritos que fueron destruidos por el desastre.
3. Lograr el propósito del estudio, que consiste en proponer un nuevo mapa de zonificación del riesgo, resultante de la reducción de la vulnerabilidad por medio de la incorporación de las medidas de mitigación.
4. Estructurar la decisión en forma jerárquica (Figura 1), desde arriba con la meta de la decisión, luego los objetivos desde una perspectiva amplia, pasando a través de los niveles intermedios (criterios de los cuales los elementos subsecuentes dependen) hasta el nivel más bajo (que usualmente es un grupo de alternativas).

Figura 1. Esquema jerárquico para la toma de decisiones con el AHP (Fuente: Elaboración Propia)



5. Elaborar un grupo de matrices de comparación de a pares. Se comienza con el primer nivel, donde se realizan las comparaciones con respecto a la meta general, luego se desciende en los niveles jerárquicos, siempre realizando comparaciones de a pares referidos al nivel inmediatamente superior, hasta llegar al último nivel donde se encuentran las alternativas.
6. Usar las prioridades obtenidas de las comparaciones para asignar ponderaciones a las prioridades en el nivel inmediatamente inferior. Hacer esto para cada elemento. Luego para cada elemento en el nivel inferior sumar sus valores ponderados y obtener su prioridad global. Continuar este proceso de asignación de ponderaciones y adición hasta obtener las prioridades de todas las alternativas en el nivel más bajo.

Para hacer las comparaciones es necesaria una escala numérica que indique cuantas veces más importante o dominante es un elemento de otro, con respecto al criterio o propiedad utilizado para compararlos. En la Tabla 1 se exhibe esta escala.

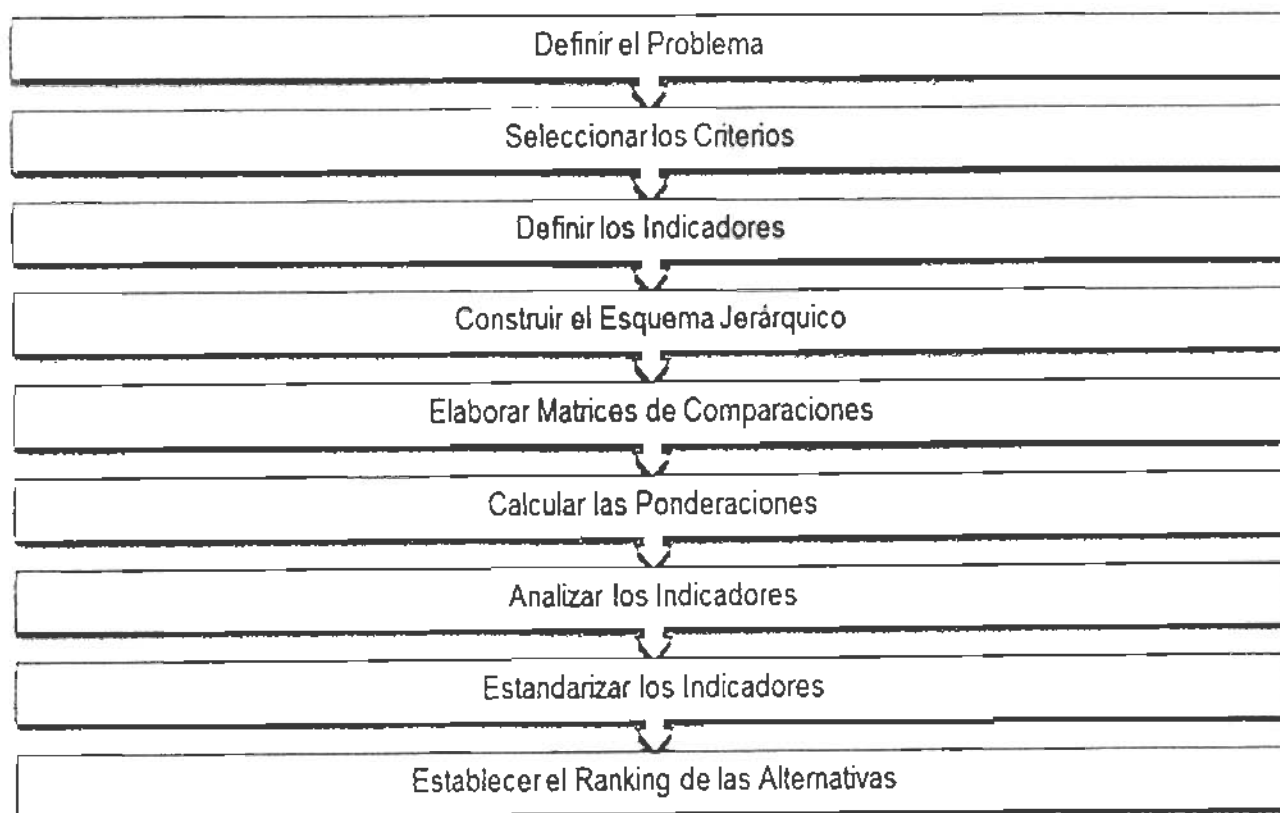
Tabla 1 La escala Fundamental de números absolutos (Fuente: Saaty, T. L. 2008)

Intensidad de la Importancia	Definición	Explicación
1	Igual Importancia	Las dos actividades contribuyen igualmente al objetivo
2	Débil o ligera	
3	Moderada Importancia	La Experiencia y el juicio ligeramente favorecen una actividad sobre otra
4	Más que Moderada	
5	Fuerte Importancia	La Experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra
6	Más que Fuerte	
7	Muy fuerte o Demostrada Importancia	Una actividad es muy fuertemente favorecida sobre otra, su dominio es demostrado en la práctica
8	Muy, muy fuerte	
9	Extrema Importancia	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del más alto orden.
Recíprocos de los números de arriba	Si la actividad <i>i</i> tiene uno de los números de arriba distintos de cero asignados cuando es comparada con la actividad <i>j</i> , la actividad <i>j</i> tiene el valor recíproco cuando es comparado con la actividad <i>i</i>	
1.1 – 1.9	Si las actividades son muy cercanas	Puede ser difícil asignar el mejor valor pero cuando son comparadas con otra actividad en contraste la magnitud de estos pequeños valores puede no ser significativa, pero, sin embargo, puede seguir indicando la relativa importancia de ambas actividades.

Los pasos a seguir para implementar esta metodología se muestran en la Figura 2. Siguiendo este esquema construiremos un modelo que nos ayude en el proceso de evaluar la amenaza de deslizamientos para la zona de Pampahasi - Callapa.

Figura 2. Proceso de una Evaluación Multicriterio (Fuente: Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES, 2008))

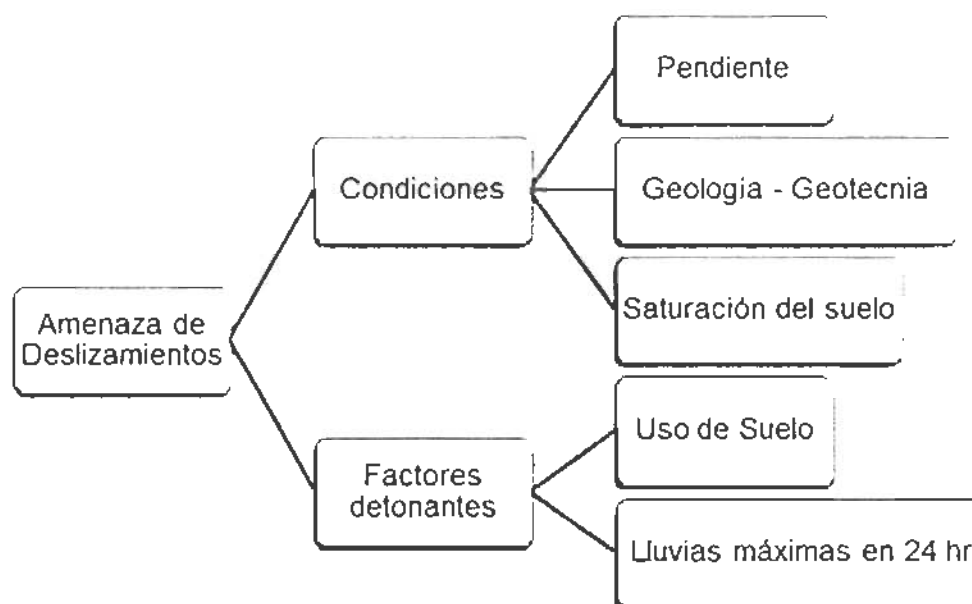
14.



CONSTRUCCION DEL MODELO

Aplicando las ideas expuestas arriba, obtenemos el esquema jerárquico propuesto para Evaluación de Amenaza de Deslizamientos para la zona de Pampahasi - Callapa.

Figura 3. Esquema Jerárquico para la Evaluación de Amenaza de Deslizamientos (Fuente: Elaboración Propia)



Luego se procede a valorar cada uno de los parámetros. Para realizar esto se ha utilizado una escala numérica diferente para cada variable. Esto es debido a que han sido agrupadas en distinto número de categorías. En general, una mayor valoración asignada a una variable implica que ese valor propicia las mejores condiciones para la ocurrencia de un deslizamiento o condiciones más favorables.

15. ANALISIS DEL RIESGO

Aplicando el Método de Mora-Vahrson, cuya aplicabilidad y sencillez se justifica en el área estudiada, se tiene la siguiente expresión:

$$SD = (P \times GT \times S) \times (U + Pr)$$

Donde:

SD = Susceptibilidad al deslizamiento

P = Pendiente

GT = Geología geotecnia

S = Saturación del terreno

U = Uso de suelo

Pr = Precipitación

16. ANALISIS DE MULTICRITERIO

Se puede utilizar también el Método de las Jerarquías Analíticas (Saaty) simplificado, utilizando solamente una escala de 1 a 4, con el siguiente significado:

1	IGUAL PREFERENCIA	LOS DOS CRITERIOS CONTRIBUYEN DE IGUAL MANERA AL PROCESO DE DESLIZAMIENTO
2	MODERADA PREFERENCIA	PASADAS EXPERIENCIAS FAVORECEN LIGERAMENTE UN CRITERIO SOBRE EL OTRO
3	FUERTE PREFERENCIA	PRACTICAMENTE HAY DOMINANCIA DE UN CRITERIO SOBRE EL OTRO
4	ABSOLUTA PREFERENCIA	EXISTE EVIDENCIA DE LA SUPREMACÍA DE UN CRITERIO SOBRE EL OTRO

Con la siguiente definición de los pesos para los factores involucrados:

INTERACCION DE FACTORES	PENDIENTE	GEOLOGIA-GEOTECNIA	SATURACION DEL SUELO	USO DE SUELO	PRECIPITACIONES MAXIMAS	PESO RELATIVO
PENDIENTE	1	3	2	4	4	0,36
GEOLOGIA-GEOTECNIA	1/3	1	3	3	4	0,29
SATURACION DEL SUELO	1/2	1/3	1	3	2	0,18
USO DE SUELO	1/4	1/3	1/3	1	2	0,10
PRECIPITACIONES MAXIMAS	1/4	1/4	1/2	1/2	1	0,06

Con estos factores y sus correspondientes pesos específicos, es posible realizar el tratamiento de los respectivos planos temáticos, elaborados en una base de Sistema de Información Geográfica, con el fin de determinar la susceptibilidad al deslizamiento de los diferentes sectores estudiados.

En forma similar, se puede realizar un análisis de sensibilidad para conocer el comportamiento ante la variabilidad de algunos de los factores.

Este análisis multicriterio es la base para la zonificación de las áreas de riesgo, tanto en la situación actual (después de ocurrido el deslizamiento complejo), como en la situación futura (con la incorporación de las medidas de mitigación).

17. ZONIFICACION DE AREAS DE RIESGO

Como se puede apreciar, las medidas de mitigación proyectadas permitirán una disminución sustancial de las amenazas presentes en la zona de estudio. El cambio en el mapa de amenazas de la situación actual a la situación futura (con proyecto), permite afirmar que se logrará la relativa estabilización de la zona afectada, orientada a determinados usos. Tomando en cuenta el mapa de amenazas obtenido para la situación futura, la Zonificación de Áreas de Riesgo correspondiente es la siguiente:

17.1 Zona Roja (Riesgo Alto)

Áreas susceptibles a sufrir deslizamientos de magnitud en eventos súbitos

Se debe tener estricto control tanto en las medidas de estabilización como en los sistemas de drenaje. Ameritan también contar con un adecuado monitoreo y mantenimiento periódico de las obras. No se debe dejar el suelo expuesto al intemperismo y tampoco se debe permitir el emplazamiento de sobrecargas que podrían generar movimientos en los taludes. En lo posible, el acceso será restringido únicamente al personal que tiene a su cargo las labores de monitoreo y mantenimiento.

17.2 Zona Naranja (Riesgo Alto mitigable)

Áreas susceptibles a sufrir deslizamientos de magnitud en eventos de mediana duración

Corresponde a una categoría similar a la anterior, donde las medidas de mitigación a implementar permitirán la mitigación relativa del riesgo en términos de posibilitar la instalación de cierta infraestructura pública de bajo porte, con cargas muy livianas, dotadas de eficientes sistemas de drenaje y contención, de manera que no se pueda generar un "efecto cascada" en caso de presentarse deslizamientos localizados. El mantenimiento debe ser periódico, recomendándose un monitoreo constante.

17.3 Zona Amarilla (Riesgo Mediano)

Áreas susceptibles a sufrir deslizamientos localizados en eventos de mediana duración

Áreas donde las obras de mitigación han permitido reducir las amenazas presentes y sobre todo incorporar eficientes sistemas de contención y drenaje para evitar deslizamientos y socavación de magnitud. La sensibilidad a sufrir movimientos es menor, sin embargo se debe controlar en forma constante los sistemas de drenaje y evitar añadir sobrecargas de alto porte. Cualquier instalación de infraestructura deberá estar controlada por las instituciones competentes y requerirá necesariamente de un estudio geológico-geotécnico específico.

17.4. A Zona Gris (Riesgo Bajo a Mediano)

Áreas susceptibles a sufrir deslizamientos localizados en eventos de larga duración

Corresponde a sectores donde las medidas de mitigación han producido una reducción sustancial en las amenazas, de manera que es posible efectuar una ocupación ordenada del territorio, con ligeras sobrecargas y control estricto de los sistemas de drenaje. El monitoreo y mantenimiento de las obras emplazadas debe ser permanente, con objeto de evitar que se reviertan las condiciones logradas con el proyecto. Cualquier instalación de infraestructura deberá estar controlada por las instituciones competentes y requerirá necesariamente de un estudio geológico-geotécnico específico.

17.5. B Zona Verde (Riesgo Bajo)

Áreas susceptibles a sufrir movimientos de ajuste en eventos de larga duración

Son las áreas que gracias a la incorporación de las medidas de mitigación han alcanzado un grado de estabilidad tal que permite un uso más amplio en términos de ocupación del territorio, a condición de efectuar un monitoreo constante de las obras, especialmente del drenaje y realizar las obras mayores en el sector inferior del cauce del río Irpavi en forma oportuna. Cualquier instalación de infraestructura deberá estar controlada por las instituciones competentes y requerirá necesariamente de un estudio geológico-geotécnico específico.

18. USO DE SUELO RECOMENDADO

De acuerdo a la Zonificación de Áreas de Riesgo obtenida, se ha elaborado las recomendaciones de uso de suelo, tomando en cuenta que se trata de un entorno urbano, sobre el cual existía anteriormente una urbanización. Se debe destacar que tanto la zonificación como el uso de suelo recomendado se podrán lograr cuando las medidas de mitigación planteadas en el proyecto estén implementadas, pudiendo llevarse a cabo las mismas de manera paulatina, conforme a la estrategia de ejecución recomendada.

18.1 Zona Roja (Riesgo Alto)

El uso de suelo recomendado es el siguiente:

- Área forestal exclusiva, con implantación de especies forestales adecuadas al medio existente, en una combinación eficiente de especies herbáceas y arbustivas, que produzcan la fijación del terreno, el amortiguamiento de la calda de gotas de lluvia y la penetración de raíces en el terreno con objeto de evitar su erosión. De ser posible se evitará especies arbóreas de gran porte debido a que representan una sobrecarga notable sobre el terreno.
- Las restricciones más importantes son que se debe evitar especies que requieran riego y que se puedan desarrollar con las condiciones de humedad naturales de la zona.
- Los sistemas de drenaje evitarán la infiltración de agua al terreno y posibilitarán una rápida y eficiente evacuación de aguas pluviales.
- El acceso a esta zona deberá ser restringido con objeto de evitar el deterioro de las condiciones establecidas luego de la incorporación de las medidas de mitigación.

18.2 Zona Naranja (Riesgo Alto mitigable)

- Área de recreación, constituida por paseos, jardines y miradores de porte reducido, senderos para personas minusválidas y espacios de contemplación.
- Los jardines que se incorporen no podrán recibir riego, debiendo ser especies que sobrevivan con las condiciones naturales presentes en el área.
- El sistema de captación de aguas debe evitar desbordes y su conducción hacia los cursos principales de agua se hará mediante sistemas superficiales debidamente monitoreados.

18.3 Zona Amarilla (Riesgo Mediano)

- Área de equipamiento, constituida por edificaciones de bajo porte, como ser talleres y galpones de una sola planta.
- El sistema de drenaje debe ser superficial, con eficientes sistemas de conducción y evacuación de aguas.

- Las redes de agua, agua potable y alcantarillado deben ser superficiales, con tuberías flexibles de PVC, con el fin de evitar su ruptura y detectarla de manera inmediata en caso de producirse.
- Las viviendas deberán ser de una sola planta. En los sectores de pendiente suave deberán contar con losa radier y en los sectores de mayor pendiente con pilotes apoyados en terreno firme. Se prohíbe el corte de los taludes para aplanar los terrenos, por lo que las casas deberán tener forma escalonada.
- El sistema de agua potable deberá ser instalado con tuberías de PVC adosadas a las paredes de manera visible, para detectar fugas de manera inmediata.
- El sistema de alcantarillado sanitario será constituido por tubería de PVC usando el sistema condominial, alojado debajo de las aceras, contando con tapas de inspección para detectar fugas de manera inmediata.
- Cualquier nueva edificación deberá contar con un estudio geológico-geotécnico específico y la autorización de las instituciones competentes.

18.4. A Zona Gris (Riesgo Bajo a Mediano)

- Área habitable con restricción estricta.
- Las viviendas deberán ser de una sola planta. En los sectores de pendiente suave deberán contar con losa radier y en los sectores de mayor pendiente con pilotes apoyados en terreno firme. Se prohíbe el corte de los taludes para aplanar los terrenos, por lo que las casas deberán tener forma escalonada.
- El sistema de agua potable deberá ser instalado con tuberías de PVC adosadas a las paredes de manera visible, para detectar fugas de manera inmediata.
- El sistema de alcantarillado sanitario será constituido por tubería de PVC usando el sistema condominial, alojado debajo de las aceras, contando con tapas de inspección para detectar fugas de manera inmediata.
- No se permitirá la instalación de equipos o maquinaria que produzca vibraciones en el terreno.
- Se prohibirá la instalación de cultivos, jardines o labores que demanden riego.
- Cualquier nueva edificación deberá contar con un estudio geológico-geotécnico específico y la autorización de las instituciones competentes.

18.5.B Zona Verde (Riesgo Bajo)

- Área habitable con restricción.
- Las viviendas podrán ser hasta de dos plantas. Deberán contar con losa radier en los sectores de pendiente suave. Deberán tener cimientos arriostrados y pilotes para las ubicadas en zonas de mayor pendiente.
- Las viviendas que en la actualidad tienen más de dos plantas deberán ser demolidas en su parte superior para dejar solamente dos plantas.
- El sistema de agua potable deberá ser instalado con tuberías de PVC adosadas a las paredes de manera visible, para detectar fugas de manera inmediata.
- El sistema de alcantarillado sanitario será constituido por tubería de PVC usando el sistema condominial, alojado debajo de las aceras, contando con tapas de inspección para detectar fugas de manera inmediata.

- No se permitirá la instalación de equipos o maquinaria que produzca vibraciones en el terreno.
- Se prohibirá la instalación de cultivos o labores que demanden riego. En caso de contar con jardines, serán emplazados con macetas con sistemas de evacuación de agua que no permita el derrame directo al terreno.
- Cualquier nueva edificación deberá contar con un estudio geológico-geotécnico específico y la autorización de las instituciones competentes.

Tabla 3 – RESUMEN ZONIFICACION Y USO DE SUELO RECOMENDADO

ZONIFICACION	USO DE SUELO RECOMENDADO	PRINCIPALES RESTRICCIONES
ZONA ROJA – RIESGO ALTO		
Áreas susceptibles a sufrir deslizamientos de magnitud en eventos súbitos	Área forestal exclusiva	Evitar especies que requieren riego
		Eficientes sistemas de drenaje para evacuación de aguas
		Acceso restringido a la zona
ZONA NARANJA – RIESGO ALTO MITIGABLE		
Áreas susceptibles a sufrir deslizamientos de magnitud en eventos de mediana duración	Área de recreación	Paseos, jardines y miradores de reducido tamaño
		Jardines no deberán requerir riego
		Eficientes sistemas de drenaje para evacuación de aguas
		Monitoreo permanente de movimientos
ZONA AMARILLA – RIESGO MEDIANO		
Áreas susceptibles a sufrir deslizamientos localizados en eventos de mediana duración	Área de equipamiento	Edificaciones de bajo porte, como talleres y galpones
		Sistema de drenaje superficial eficiente
		Viviendas de una sola planta, con losa radier y/o pilotes
		Materiales livianos y sistemas ajustables para viviendas
		Prohibición de excavar los taludes
		Red de agua potable de PVC adosada a las paredes
		Alcantarillado de PVC sistema condominial
		Estudio geológico-geotécnico para nuevas construcciones
ZONA GRIS – RIESGO BAJO A MEDIANO		
Áreas susceptibles a sufrir deslizamientos	Área habitable	Viviendas de una sola planta
		Losa radier en sectores planos
		Pilotes en sectores más empinados

localizados en eventos de larga duración	con restricción estricta	Prohibición de excavar taludes
		Prohibición de instalar equipos que produzcan vibraciones
		Red de agua potable de PVC adosada a las paredes
		Alcantarillado de PVC sistema condominial
		Prohibición de cultivos y jardines
		Estudio geológico-geotécnico para nuevas construcciones
ZONA VERDE – RIESGO BAJO		
Áreas susceptibles a sufrir movimientos de ajuste en eventos de larga duración	Área habitable con restricción	Viviendas hasta de dos plantas
		Losa radier o cimientos arriostrados en sectores planos
		Pilotaje en sectores más empinados
		Red de agua potable de PVC adosada a las paredes
		Alcantarillado de PVC sistema condominial
		Prohibición de cultivos y jardines
		Estudio geológico-geotécnico para nuevas construcciones

ZONIFICACION DE AREAS DE RIESGO

(CON LAS MEDIDAS DE MITIGACION)

SIMBOLOGIA



ZONA DE RIESGO ALTO

Susceptible a deslizamientos de magnitud en eventos débiles

USO DE SUELO RECOMENDADO:

Area forestal exclusiva



ZONA DE RIESGO ALTO MITIGABLE

Susceptible a deslizamientos de magnitud en eventos de mediana duración

USO DE SUELO RECOMENDADO:

Area de recreación

ZONA DE RIESGO MEDIANO

Susceptible a deslizamientos localizados en eventos de mediana duración

USO DE SUELO RECOMENDADO:

Area de equipamiento y uso colectivo

Area habitable con estrictas restricciones

ZONA DE RIESGO BAJO - A

Susceptible a deslizamientos localizados en eventos de larga duración

USO DE SUELO RECOMENDADO:

Area habitable con estrictas restricciones

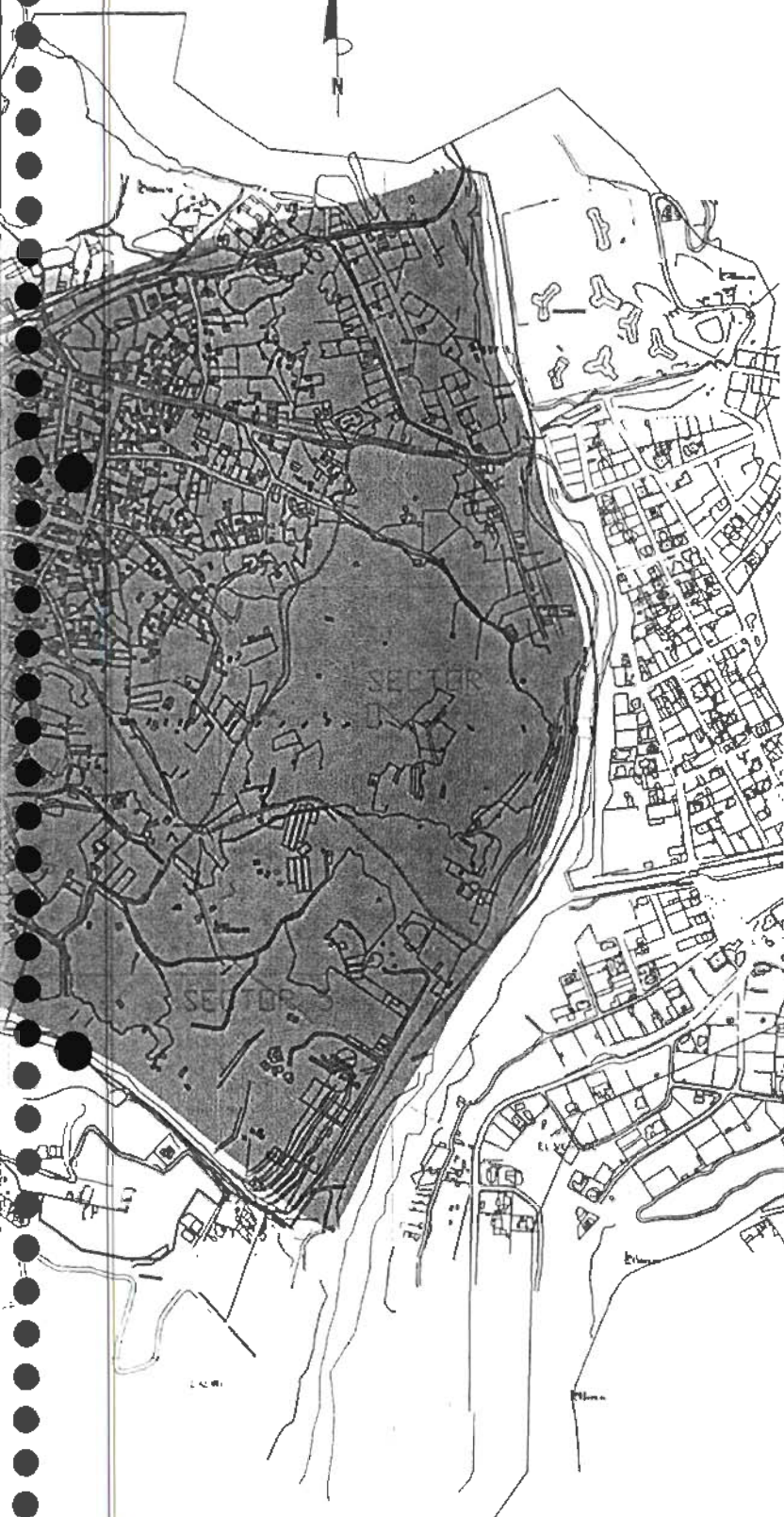


ZONA DE RIESGO BAJO - B

Susceptible a movimientos de ajuste en eventos de larga duración

USO DE SUELO RECOMENDADO:

Area habitable con restricciones



PROYECTO
ESTUDIO DE ZONIFICACION DE
AREAS DE RIESGO Y MEDIDAS DE MITIGACION
DESIZAMIENTO COMPLEJO PAMPAHASI-CALLAPA

LAMINA
Zonificación de Areas de riesgo
Zonificación con las medidas de mitigación

ESCALA
INDICADA

NÚMERO DE PLANO

DPC - ZON - 02

FECHA
AGOSTO 2012

N 1529000

N 8174000

N 8178000

N 8174000

E 845600

E 846000

E 846800

E 847200



CONSULTORA



ASOCIACIÓN ACCIDENTAL "PROYECTO BOLIVIA"



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA
Vice ministerio de Medio Ambiente

UBICACION :

PAMPAHASI - CALLAPA

ELABORACION

DIBUJO

REVISION

APROBACION

AGO/2012

AGO/2012

AGO/2012

AGO/2012

OBSERVACIONES :