

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS

CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TRABAJO DIRIGIDO

“ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y  
ESTABILIZACIÓN DEL ÁREA “LAS  
CARMELITAS” COTA COTA - LA PAZ”

AUTOR: STEPHANIE MARIEL GUTIERREZ LEAÑO

TUTOR: ING. MARCO ANTONIO GUZMAN

LA PAZ - BOLIVIA

2017

### Dedicatoria

Agradesco infinitamente a mis padres y hermanas Mariana, Patricia y Solange que me dieron el impulso para acabar mi carrera, porque toda mi familia se alegraba por cada materia aprobada, principalmente agradezco a mis padres Mario Gutierrez Vargas y Marcela Leño Money por su motivación continua y apoyo incondicional.

Por otra parte están las personas más importantes de mi vida, mi hijo Thiago Jimenez Gutierrez y mi esposo Martin Jimenez Oldoni que son el motor de mi vida y que sin mi esposo y su apoyo no hubiera logrado terminar este trabajo, es la persona que mas me ayudo y dejo muchas cosas del lado para que yo siga adelante, y mi hijo que fue mi mayor inspiración para sacar mi título, mi bebe es lo mas lindo de mi vida y gracias a su inspiración y de alguna manera su amor es el que me ayudo a terminar este trabajo.

Tambien agradezco a cada uno de mis docentes de la carrera que ellos en primera instancia te hacen amar y gustar la geología, cada uno de ellos con su forma de ser, algunos más estrictos que otros pero que marcan tu vida enseñándote tanto en la teoría como en campo, cada una de las lindas materias que conforman la carrera, agradezco a mi tutor el Ing. Marco Antonio Guzman por su apoyo y aporte en este trabajo.

De manera muy especial agradezco al Ing. Felix Espinoza que es la persona que mas me colabore en todo momento, por su infinita paciencia y buen humor, una persona muy sencilla y que con su apoyo y constante colaboración culmine satisfactoriamente este trabajo.

A mis mejores amigas Diva y Dayana que fueron parte importante en mi vida de carrera, que entre las tres nos colaboramos en lo que podíamos y gracias a ellas quedan lindos recuerdos de clases y campo, y que nuestra amistad perdura en todo momento.

Sin dejar del lado a Dios que es el que me puso en este camino de la geología, que existen malos momentos que te da ganas de dejarlo todo, pero es Dios el que te da fortaleza para seguir adelante.

## INDICE GENERAL

1.1. RESUMEN .....	2
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.3. OBJETIVOS .....	3
1.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.4. METODOLOGÍA .....	3
1.4.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	3
1.4.2. TRABAJO DE CAMPO.....	4
1.4.3. TRABAJO DE GABINETE.....	4
1.5. GEOGRAFÍA.....	4
1.5.1. UBICACIÓN.....	4
1.6. ACCESIBILIDAD.....	5
1.7. CLIMA.....	6
2. PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA .....	8
2.1.2. DERRUMBES Y CAÍDAS DE BLOQUES.....	11
2.1.3. AVALANCHAS DE ROCA / DE DETRITOS .....	11
2.1.4. VOLCAMIENTO O BASCULAMIENTO .....	11
2.1.5. REPTACIÓN DE SUELO .....	11
2.1.6. DESLIZAMIENTOS .....	12
A. DESLIZAMIENTOS PELICULARES O SUPERFICIALES.....	12
B. DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES O CIRCULARES (SLUMP) .....	12
C. DESLIZAMIENTOS TRASLACIONALES.....	13
D. DESLIZAMIENTOS COMPLEJOS.....	14
2.1.7. COLADAS O FLUJOS (FLOWS) .....	14

A. TORRENTE DE BARRO (MUD FLOW) .....	15
B. FLUJO DE TIERRA (EARTH FLOW) .....	15
C. FLUJO DE DETRITOS (DEBRIS FLOW).....	15
D. DESLIZAMIENTOS COMPUESTOS .....	15
2.2. INDICADORES ANTECEDENTES Y POTENCIALES ÁREAS AFECTADAS POR INESTABILIDAD DE LADERAS. ....	15
2.3. FOTOGEOLOGÍA .....	17
2.3.1. FACTORES ANALÍTICOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE LAS IMÁGENES DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS, PARA UNA BUENA INTERPRETACIÓN FOTOGEOLÓGICA. .....	18
2.3.2. FORMA .....	18
2.3.3. LA CLASIFICACIÓN DE REDES DE DRENAJE.....	19
A. FORMAS BÁSICAS .....	19
2.3.4. INDICADORES DE CONTROL ESTRUCTURAL EN LAS REDES DE DRENAJE: ..	21
2.3.5. TEXTURA DEL DRENAJE .....	22
2.4. ASPECTOS GEOLÓGICOS DEL VALLE DE LA PAZ.....	23
2.5. HIDROGEOLOGÍA.....	24
2.5.1. CONCEPTOS GENERALES DE HIDROGEOLOGÍA: .....	24
A. CICLO HIDROGEOOLÓGICO .....	24
B. AGUA SUPERFICIAL .....	25
C. AGUA SUBTERRÁNEA.....	25
D. ACUÍFEROS .....	25
E. ACUÍFERO LIBRE .....	25
F. ACUÍFERO CONFINADO .....	26
G. ACUÍFERO SEMICONFINADO .....	26
H. ACUÍFERO ARTESIANO .....	26
I. ACUICLUDO.....	26

J. ACUITARDO.....	26
K. ACUIFUGO .....	26
2.6. AGUAS SUPERFICIALES.....	26
2.7. GEOTECNIA .....	27
2.7.1. DENSIDAD .....	27
2.7.2. PLASTICIDAD .....	27
2.7.3. GRANULOMETRÍA .....	27
2.7.4.SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.) SEGÚN: (VILLALAZ, 1980) .....	28
2.8. RIESGOS.....	30
2.8.1. RIESGO.....	30
2.8.2. AMENAZA.....	30
2.8.3. VULNERABILIDAD.....	31
2.8.4. MAGNITUD.....	31
2.8.5. INTENSIDAD O AMENAZAS.....	31
2.8.6. FRECUENCIA O PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (AMENAZA) .....	32
3. ESTADO ACTUAL DE LAS INFRAESTRUCTURAS.....	34
3.1.2. CALLE 35 B.....	36
3.1.3. CALLE 1.....	40
3.1.4. PASAJE 30 .....	43
3.1.5. CALLE LOS MOLLES .....	44
3.2. SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y PLUVIAL .....	48
3.3. DRENAJE DE AGUAS SUPERFICIALES.....	48
3.4. OBRAS DE ESTABILIZACION IMPLEMENTADAS POR EL G.A.M.L.P. ....	50
3.4.1. ALTERNATIVA 1: MUROS DE CONTENCIÓN DE HORMIGÓN CICLÓPEO. (NO SE IMPLEMENTÓ) .....	50
3.4.2. ALTERNATIVA 2: MURO TIPO PANTALLA DE HORMIGÓN ARMADO.....	51

3.4.3. ALTERNATIVA 3: MUROS DE GAVIONES. (NO SE IMPLEMENTÓ) .....	52
3.4.4. ALTERNATIVA 4: MURO DE GAVIONES CON TIERRA ARMADA. (NO SE IMPLEMENTÓ) .....	52
3.4.5. NUEVA ALTERNATIVA CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA. ....	53
4. GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO .....	56
4.1. LITOLOGIA .....	56
4.1.1. FORMACIÓN LA PAZ .....	56
4.1. LA EROSIÓN EN LA FORMACION LAPAZ.....	57
4.1.1. TORRENTE DE BARRO COTA COTA.....	58
4.1.2. DEPOSITOS DE DESLIZAMIENTOS.....	60
4.1.3. DEPÓSITOS ALUVIALES.....	61
4.2. GEOMORFOLOGIA.....	61
4.2.2. LOS FACTORES DE EROSIÓN DEL SUELO .....	63
4.3. DISEÑO DE DRENAJE .....	64
4.4. DISEÑO DE DRENAJE DENDRÍTICO.....	66
4.5. ANOMALÍAS DE DRENAJE .....	66
5. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS.....	69
5.1. MAPEO GEOLOGICO .....	69
5.2. PERFILES GEOLÓGICOS .....	70
5.3. MAPA FOTOGEOLÓGICO.....	70
5.4. MAPEO DE GRIETAS .....	72
5.5. MAPA DE AMENAZA DE DESLIZAMIENTO .....	73
6. ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS.....	78
6.2. INTERPRETACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	79
6.3. DELIMITACION DE LA CUENCA DE APORTE .....	82
7. ASPECTOS GEOTECNICOS .....	84

7.1. IMPORTANCIA DE LA GEOTECNIA EN LA PAZ .....	84
7.2. DESLIZAMIENTOS IDENTIFICADOS EN EL AREA DE ESTUDIO .....	84
7.3. RECONOCIMIENTO DEL SUBSUELO.....	85
7.3.2. TIPOS DE ARCILLAS .....	89
A. SUELOS EXPANSIVOS .....	89
B. SUELOS COLAPSABLES .....	90
7.4. DISCUSION DE LOS RESULTADOS .....	91
7.5. DISTRIBUCION DE AREAS CRÍTICAS.....	92
7.5.1. TRAMO LOS MOLLES.....	93
7.5.2. TRAMO CARMELITAS (QDZr) .....	94
7.6. TRAMO RÍO JILLUSAYA.....	95
8. CONCLUSIONES.....	98
8.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	100

### INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA OBJETO DE ESTUDIO. DATUM: UTM, WGS84, ZONA 19 S. ....	5
FIGURA 1.2. HISTÓRICO DE PRECIPITACIONES - ESTACIÓN CALACOTO (2001).....	6
FIGURA 2.1. NOMENCLATURA DE LAS DIFERENTES PARTES DE UN DESLIZAMIENTO.(SEGÚN VARNES) .....	13
FIGURA 3.1. MAPA DE GRIETAS, DEL SECTOR ESTUDIADO.....	34
FIGURA 3.2. MAPA DE UBICACIÓN DE CALLES .....	35
FIGURA 3.3. GRIETA VERTICAL 1.5 CM DE RECHAZO VERTICAL.....	36
FIGURA 3.4. GRIETA VERTICAL 4 CM DE RECHAZO VERTICAL.....	36
FIGURA 3.5. GRIETA VERTICAL RECHAZO 1 CM.....	37
FIGURA 3.6. GRIETA VERTICAL RECHAZO 18 CM.....	37

FIGURA 3.7. TESTIGO DE MONITOREO. FECHA 13/02/2009 COLOCADO POR EL G.A.M.L.P. ....	38
FIGURA 3.8. CALLE 35 B PUERTA FUERA DE MARCO .....	38
FIGURA 3.9. ILUSTRACIÓN 3 PUERTA FUERA DE MARCO .....	39
FIGURA 3.10. MOVIMIENTO DEL DESLIZAMIENTO ORIENTADO HACIA EL NOROESTE .....	39
FIGURA 3.11. MOVIMIENTO DEL DESLIZAMIENTO .....	40
FIGURA 3.12. UBICACIÓN CONVENTO LAS CARMELITAS.....	40
FIGURA 3.13. GRIETAS EN MURO PERIMETRAL CARMELITAS.....	41
FIGURA 3.14. GRIETA MURO PERIMETRAL CON RECHAZO DE 6 CM. ....	41
FIGURA 3.15. GRIETA VERTICAL CON SEPARACIÓN DE 4.5 CM. ....	42
FIGURA 3.16. GRIETA HORIZONTAL CON SEPARACION DE 2 CM.....	42
FIGURA 3.17. GRIETA OBLICUA CON NUEVA SEPARACION. ....	43
FIGURA 3.18. PASAJE 30 VIVIENDA AGRIETADA.....	43
FIGURA 3.19. MURO DE CONTENCIÓN CON PRESENCIA DE GRIETAS.....	44
FIGURA 3.20. GARAJE EDIF. ROMA CON GRIETAS.....	44
FIGURA 3.21. MURO PERIMETRAL EDIF. ROMA GRIETA VERTICAL.....	45
FIGURA 3.22. ILUSTRACIÓN 6 TESTIGO DEL EDIF. ROMA.....	45
FIGURA 3.23. GRIETA OBLICUA CON TESTIGO EDIF. ROMA.....	46
FIGURA 3.24. GRIETAS VERTICALES GARAJE EDIF. ROMA .....	46
FIGURA 3.25. HUMEDAD EDIFICIO ROMA.....	47
FIGURA 3.26. HUMEDAD GARAJE EDIF. ROMA .....	47
FIGURA 3.27. CUNETAS DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	49
FIGURA 3.28. SUMIDEROS OBSTRUIDOS, DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	50
FIGURA 3.29. PLANO DE UBICACIÓN DE PILOTES.....	52
FIGURA 4.1. INTERCALACION DE ARCILLAS Y ARENAS GRAVOSAS DE LA FORMACION LA PAZ. ....	57



FIGURA 4.2. CONTACTO ENTRE FORMACION LA PAZ Y TORRENTE DE BARRO COTA COTA.	62
FIGURA 4.3. IMAGEN QUE ILUSTRA LINEAMIENTO REGIONAL	65
FIGURA 4.4. ILUSTRACIÓN DISEÑO DE DRENAJE DENDRÍTICO QUE SE OBSERVA EN MEDIO DE LA IMAGEN.	66
FIGURA 4.5. LINEAMIENTO DESDE LA ANGULARIDAD DEL RIO JILLUSAYA.	67
FIGURA 5.1. PLANO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.	69
FIGURA 5.2. IMAGEN AÉREA 1956 DONDE SE OBSERVA LOS ESCARPES PRINCIPALES.	71
FIGURA 5.3. ESCARPES SECUNDARIOS ALEDAÑOS AL RIO JILLUSAYA.	72
FIGURA 6.1. MAPA DE DRENAJE.	79
FIGURA 6.2. PLANO UBICACIÓN DE POZOS.	81
FIGURA 6.3. DELIMITACIÓN DE CUENCA DE APORTE	82
FIGURA 7.1. PLANO DE UBICACIÓN DE POZOS.	87
FIGURA 7.2. DESLIZAMIENTO ANTIGUO	94
FIGURA 7.3. DESLIZAMIENTO ANTIGUO	94
FIGURA 7.4. FOTO AÉREA 1962 CONVENTO "CARMELITAS" CON DISEÑO DE DRENAJE DENDRÍTICO.	95
FIGURA 7.5. FOTO AÉREA 1988	95

## INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1. CLASIFICACIÓN DE ESTABILIDAD DE LADERAS SEGÚN (CRUZ L., ET AL. 2005)	10
TABLA 2.2. TABLA 2 CLASIFICACIÓN MÁS UTILIZADA SEGÚN VARNES	10
TABLA 2.3. CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE UN DESLIZAMIENTO	16
TABLA 2.4. ORDEN DE GLACIACIONES E INTERGLACIACIONES.	23
TABLA 2.5. SISTEMA UNIFICADO DE SUELOS DE LAS UNIDADES FORMACIONALES DE LAS	

CARMELITAS.....	28
TABLA 2.6. COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES SEGÚN (VILLALAZ, 1980).....	29
TABLA 3.2. RESUMEN DE SITUACIÓN ACTUAL.....	35
TABLA 4.1. PARÁMETROS SEGÚN BRGM.....	59
TABLA 5.1. DESCRIPCION DEL SIGNIFICADO DE VALORES. ....	73
TABLA 5.2. VALORES DE AMENAZA SEGÚN LA UNIDAD FORMACIONAL.....	74
TABLA 5.3. VALORES DE AMENAZA, DESIGNADOS PARA EL MAPA GEOMORFOLÓGICO. ....	75
TABLA 6.2. RESULTADOS DE CAUDAL DE AGUA SUBTERRANEA.....	82
TABLA 7.1. TIPOS DE ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO E INSITU. ....	85
TABLA 7.2. DATOS DE CLASIFICACIÓN DEL SUELO .....	88

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

## **1.1. RESUMEN**

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona de Cota Cota, que abarca desde la calle 34 hasta la calle 36, esta zona se caracteriza por ser un antiguo deslizamiento donde se han construido viviendas. Para realizar una evaluación a detalle, se perforaron 8 pozos de 3 – 6 m de profundidad, donde se ha evidenciado la presencia de aguas subterráneas, uno de los principales problemas en la zona de estudio. También se elaboraron mapas: geológico, de grietas, fotogeológico y de amenazas (para determinar las áreas críticas de la zona).

El año 2009 el G.A.M.L.P. (Gobierno Autónomo Municipal de La Paz) efectuó un estudio a detalle, para la implementación de obras de estabilización. El año 2014 se construyó un muro tipo pantalla con hormigón armado. Actualmente, se verificó, en campo, que esta obra no dio fin a los desajustes que se presentan en las viviendas y calles de la zona. Por lo tanto, durante la evaluación geotécnica del área, se determinó que el deslizamiento aún es activo, manifestándose en una serie de grietas horizontales, verticales, oblicuas, las cuales muestran un rechazo (nueva apertura de la grieta) que se encuentran en calles, aceras, muros perimetrales, interior de las viviendas y muros de contención, estas grietas tienen rechazos de 2 mm hasta 15 cm en algunos casos.

En este estudio se proponen nuevas soluciones como la construcción de hidrotúneles, para la captación de todas las aguas subterráneas, por medio de pozos austriacos, controlar los deslizamientos principales y hacer una serie de recomendaciones.

## **1.2. ANTECEDENTES.**

El área de estudio se encuentra ubicada en la zona de Cota Cota, la misma que abarca desde la calle 34 hasta la calle 36, específicamente al lado del Río Jillusaya.

Según Arispe (1971), los depósitos del sector se habrían originado por el ingreso de un frente glacial que invadió en el valle con dirección Este – Oeste y que alcanzó en su avance hasta el inicio de la terraza de Chasquipampa, como lo atestiguan las Morrenas frontales existentes en el sector. El retroceso posterior de este glaciar habría dado origen a una serie de materiales fluvioglaciares, que rellenaron las partes bajas de la cuenca, y a la ocurrencia de una serie de deslizamientos modernos.

Los depósitos de la zona de Cota Cota están constituidos por materiales que fueron

trasladados desde la parte superior de la cuenca, sector de Ovejuyo y Valle de Animas, que fueron depositados sobre materiales de arrastre de los ríos Huayñajahuira y Jillusaya. Por estas razones el G.A.M.L.P. contrató los servicios de la empresa Argos, para realizar un estudio geotécnico, de acuerdo a este estudio efectuado el año 2009, Argos sugiere que en la cuenca de Cota Cota afloran rocas neógenas pertenecientes a la formación La Paz y sedimentos cuaternarios como son los torrente de barro Cota Cota, depósitos de materiales deslizados, depósitos de rellenos artificiales y depósitos aluviales.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL**

Determinar las condiciones actuales de inestabilidad del sector y las causas que las han originado, así como caracterizar los efectos y proponer soluciones para prevenir mayores daños.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los suelos del área Carmelitas
- Realizar un levantamiento de información, referente a los daños a las infraestructuras que presentan diferentes amenazas.
- Establecer una evaluación geológica del area las Carmelitas.
- Efectuar una evaluación geomorfológica del area las Carmelitas.
- Determinar las características geotécnicas.
- Realizar una evaluación hidrogeológica, para hacer énfasis a las Aguas Subterráneas.

### **1.4. METODOLOGÍA**

#### **1.4.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN**

En esta etapa se realizó una exhaustiva búsqueda de información tanto en tesis, libros y artículos, presentes en las diferentes instituciones estatales y privadas de la ciudad de La Paz, vinculados con el ramo. Sin embargo, la mayor información tomada fue de la Biblioteca de la Facultad de Ciencias Geológicas, así como de la Secretaria Municipal de Gestión Integral de Riesgos, dependiente del Gobierno Autónomo Municipal de La Paz. Además, se efectuó la consecución de las fotografías aéreas de la zona de estudio, para hacer una previa fotointerpretación de los trabajos de campo y construir un mapa fotogeológico.

### **1.4.2. TRABAJO DE CAMPO**

Con el mapa fotogeológico se verificó, en campo, las posibles corrientes de agua.

- Sobre la base del plano topográfico y fotogeológico se realizó un relevamiento geológico, donde se delimitaron las unidades geológicas, diferenciadas en el sector, y en la lectura de los pozos.
- Se excavaron varios pozos, con una profundidad de 6 – 8 m, en campo, con el objetivo de obtener mayor información del subsuelo y de posibles corrientes de aguas subterráneas en el sector.
- Se tomaron muestras en campo, las cuales fueron llevadas al laboratorio de suelos, para determinar sus propiedades físico – mecánicas y geomecánicas, mediante ensayos corrientes y ensayos especiales.

### **1.4.3. TRABAJO DE GABINETE**

Con toda la información obtenida en campo, fueron efectuados trabajos de interpretación de los aspectos geológicos, geodinámicos, hidrológicos y de las condiciones geotécnicas, de la zona de estudio, que permitieron evaluar las condiciones de estabilidad en diferentes sectores del barrio Las Carmelitas, de la zona de Cota Cota, y al mismo tiempo proponer proyectos de estabilización en los sectores críticos.

Definidos los sectores críticos se han proyectado medidas correctivas que permitirán estabilizar estos sectores o por lo menos mitigar los efectos destructivos, que hoy se manifiestan a través de la aparición de fracturas y grietas o el avance significativo de las ya existentes.

## **1.5. GEOGRAFÍA**

### **1.5.1. UBICACIÓN**

El área de estudio "Las Carmelitas", Macrodistrito Sur, se encuentra ubicado en la zona de Cota Cota, zona Sur de la urbe paceña y en la prolongación occidental continúa a la meseta de Chasquipampa. La zona del proyecto específicamente está situada entre el campus Universitario (parte Sur) y el Río Jillusaya (parte norte), además entre la calle 36, al este y en la calle 34, al oeste (Figura 1. 1.).

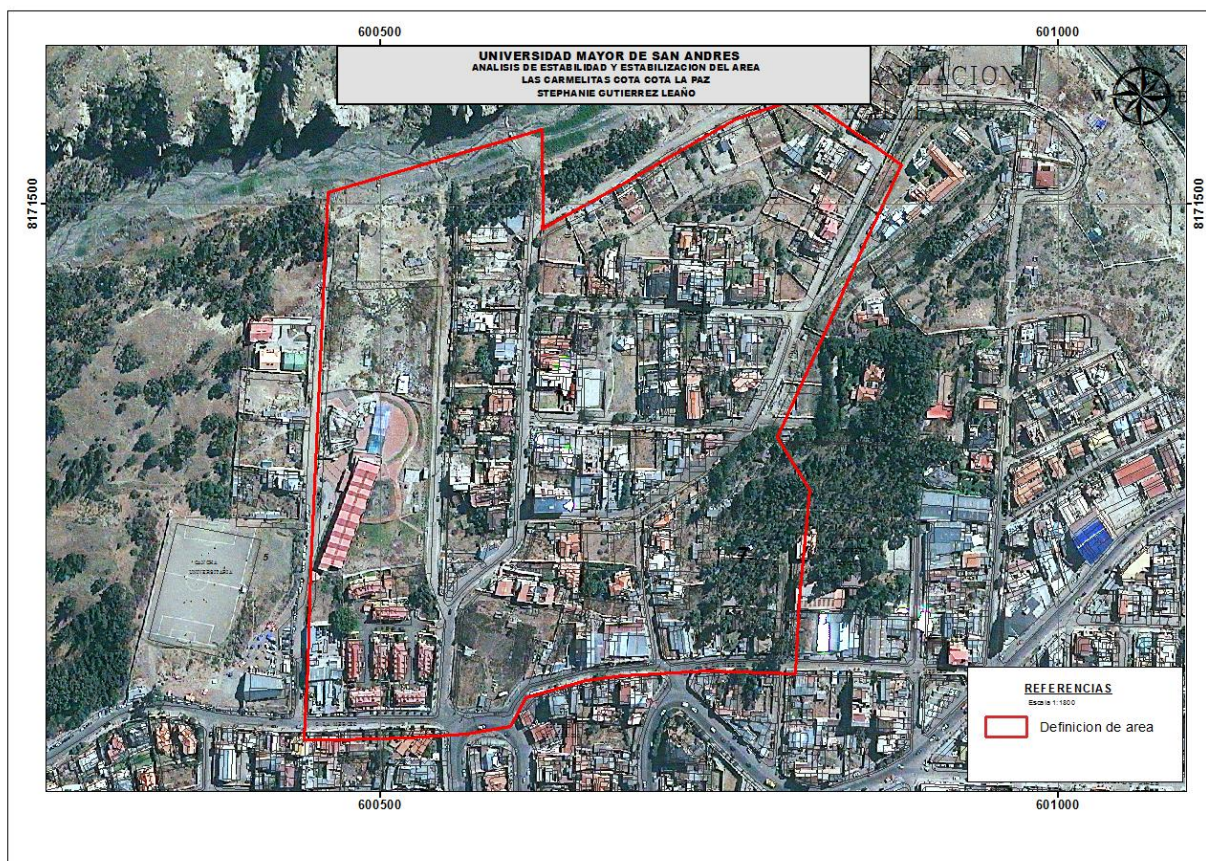


Figura 1.1. Ubicación del área objeto de estudio. Datum: UTM, WGS84, Zona 19 S.

## 1.6. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad a la zona de Cota Cota es más posible, tomando en cuenta la abundante existencia de transporte público, procedente del centro de la ciudad. Se pueden abordar los siguientes medios de transporte: microbuses, minibuses, trufis y el Puma Katari, este último sale del Parque Urbano Central.

La ruta del transporte público, en su mayoría, es por la avenida Hernando Siles (barrio Obrajes), llegando a la zona de Calacoto, a través de la avenida principal denominada Gral. José Ballivián y pasando por la zona de Calacoto; luego se ingresa a la zona de Cota Cota por la avenida Muñoz Reyes, finalmente llegando a la calle 34 se logra alcanzar el área de estudio, abarcando hasta la calle 36.

## 1.7. CLIMA

La zona de estudio corresponde a un clima templado. (Según Koppen 2011). Las variaciones climáticas con precipitación pluvial, se desarrollan entre los meses de noviembre a marzo y la época de sequía perdura los meses restantes del año.

Según los datos históricos de las estaciones meteorológicas, ubicadas en las cuencas de La Paz. Se ha observado que la época seca está comprendida entre Junio y Agosto; por tanto, en los meses restantes, la precipitación no supera los 150 mm, como se observa en la Figura 1. 2.

Las épocas de lluvias son más frecuentes en el periodo indicado (noviembre – marzo), mostrando precipitaciones con una intensidad de 16.54 – 149.58 mm; existen días secos y otros con intensidad de lluvias, incrementando de esta manera la susceptibilidad a la erosión de origen hídrico, en las laderas, especialmente en las pendientes adyacentes al Río Jillusaya.

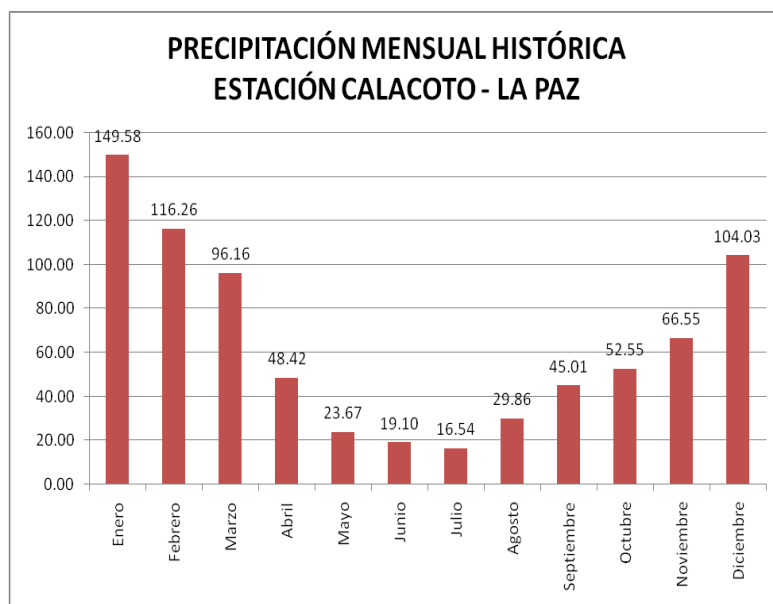


Figura 1.2. Histórico de Precipitaciones - Estación Calacoto (2001)



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

## 2. PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

Los movimientos en masa son movimientos ladera abajo de diferentes materiales, a causa de la gravedad. Estos movimientos pueden ser lentos como la reptación y otros de velocidades extremas como los deslizamientos. (COSUDE, 2005).

En el área de estudio se determinaron 2 tipos de remoción en masa, por un lado un torrente de barro que abarca todo el sector y que infrayace a los deslizamientos del sector que son de tipo rotacional.

Los deslizamientos encontrados son de tipo rotacional se ha distinguido al menos 3 eventos desde la ladera comenzando desde la ladera superior que se encuentra alrededor del sector objeto de estudio, este deslizamiento se encuentra hasta la parte central.

La inestabilidad de ladera es un fenómeno que no ocurre de manera individual, sino una combinación de diferentes tipos de eventos. Entre las clasificaciones de movimientos en masa existentes están:

- Por el contenido de agua
- La velocidad de movimiento
- La profundidad de la superficie de ruptura
- El tipo de ruptura
- Estado de la actividad
- Tipo de movimiento.

En la ciudad de La Paz el problema mayor de la inestabilidad de laderas, es la saturación del talud, debido a que no existe un buen sistema de alcantarillado y en algunas laderas de La Paz no poseen este servicio por lo cual los vecinos vierten aguas servidas y pluviales directamente al talud, provocando desajustes de gran magnitud como se observa en diferentes lugares de la urbe paceña.

La estabilidad de laderas se clasifica según 4 factores:

- Por el grado de actividad
- Por la velocidad de propagación

- Por la profundidad
- Por el mecanismo

Estos factores son mejor descritos en la Tabla 2.1. Clasificación de estabilidad de laderas.

Los principales factores que intervienen en la remoción en masa son:

**Material:** La remoción en masa ocurre en toda clase de material. La podemos distinguir en material rocoso, más o menos desintegrado, hasta en material suelto y fino. Es evidente que cierta clase de material es más susceptible a remoción en masa que otro. En este aspecto son importantes las características físicas del material, como la fricción interna y la cohesión, permeabilidad que constituyen la fuerza del suelo.

**Pendiente:** Remoción en masa que ocurre en cualquier pendiente. Conocemos importantes movimientos en masa de pendientes hasta de 1° (Goosen, 1972 en P.M.A. 2007), sin embargo se concentrará en pendientes relativamente fuertes como simple consecuencia de un mecanismo, la gravedad. En estas pendientes el vector del peso del material paralelo a la pendiente será más grande que en pendientes suaves.

**Condiciones del suelo:** Cuando consideramos a la gravedad como el principal mecanismo de remoción en masa, el agua es en varios casos un agente indispensable. Al llenarse los poros con agua la cohesión se reduce por efecto de la tensión capilar, mientras que la fricción disminuye debido al efecto flotante (ley de Arquímedes = es un principio físico que afirma que: Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja ), que trae como resultado la disminución de la presión inter granular. Además, el agua hace aumentar el peso del material que resulta en un vector más grande a lo largo de la pendiente. El agua también funciona a menudo como lubricante en el plano de deslizamiento. La humedad del suelo influye en la susceptibilidad a un desplazamiento y en ciertos casos el suelo debe estar más o menos saturado antes de que ocurra la remoción en masa. (Ellison, 1944)

A continuación se muestra una propuesta según (Cruz L., et al. 2005), Clasificación de estabilidad de laderas.

Tabla 2.1. Clasificación de estabilidad de laderas según (Cruz L., et al. 2005)

Por el grado de actividad	<p><b>Inactivo:</b> No presenta movimientos.</p> <p><b>Poco Activo:</b> Presenta poco movimiento.</p> <p><b>Activo:</b> Presenta movimientos actualmente, con movimientos primarios y reactivaciones.</p>
Por la velocidad de propagación	<p><b>Extremadamente rapido</b> &gt; 5 m/s.</p> <p><b>Rapido</b> &gt;1.5 m/día.</p> <p><b>Moderado</b> 1.5 m/mes a 1.5 m/día</p> <p><b>Lento</b> 1.5 m/año.</p>
Por la profundidad de lasuperficie	<p><b>Superficial</b> entre 0 y 2 m.</p> <p><b>Semi - profundo</b> entre 2 y 10 m.</p> <p><b>Profundo</b> mayor a 10 m.</p>
Por el mecanismo de movilización	<p>Derrumbes</p> <p>Caida de bloques</p> <p>Basculamiento o volcamiento</p> <p>Reptacion</p> <p>Deslizamientos</p> <p>Flujos o coladas de detritos o tierra</p>

Otra clasificación muy aceptada de inestabilidad de laderas es la propuesta según Varnes en 1996 que se manifiesta a continuación: (propagación y movilización)

Tabla 2.2. Tabla 2 Clasificación más utilizada según Varnes

Clasificación de la inestabilidad de ladera según Varnes.	1. Derrumbes y caídas de bloques.
	2. Avalanchas de rocas/detritos
	3. Volcamiento o basculamiento.
	4. Reptación de suelos
	5. Deslizamientos
	6. Coladas de flujos
	7. Deslizamientos compuestos.

### **2.1.2. DERRUMBES Y CAÍDAS DE BLOQUES**

Fenómenos que presentan una ruptura brusca y caída más o menos libre y a gran velocidad de un bloque o una masa rocosa "en seco". Gran parte del transporte se da en el medio aéreo, pero también existe un componente de salto y rodamiento. (COSUDE, 2005).

Como ejemplo de este fenómeno es el evento que ocurrió en el mes de junio de 2016, en la ciudad de La Paz en la Zona de la Periférica, en el Pasaje Batallón Colorados afectando una vivienda, este se suscitó en Depósitos de Formación La Paz.

Este fenómeno también ocurrió en diferentes lugares de la urbe paceña como:

- Zona Niño Kollo, Av. Niño Kollo.
- Zona Agua de la vida, Calle Julián Apaza.

### **2.1.3. AVALANCHAS DE ROCA / DE DETRITOS**

Fenómenos que presentan una ruptura brusca y caída más o menos libre y a gran velocidad de una masa rocosa "en seco". La mayor parte del transporte se da en el medio aéreo, donde también existe un componente de salto y rodamiento. Se considera un evento catastrófico, temporalmente instantáneo y de muy alta recurrencia. (COSUDE, 2005).

### **2.1.4. VOLCAMIENTO O BASCULAMIENTO**

Es el doblamiento de la parte superior de estratos o niveles de rocas afectadas por separaciones. Es causado por acción de la gravedad terrestre o de procesos tectónicos distensivos. Existen dos variantes: el doblamiento plástico (en rocas metamórficas y, en menor medida, en pelíticas) y el doblamiento rígido, que podría ser llamado, más apropiadamente, basculamiento. (COSUDE, 2005).

### **2.1.5. REPTACIÓN DE SUELO**

Es el desplazamiento lento, prácticamente imperceptible, que afecta a los materiales menos cohesivos de la cubierta de suelo (cubierta edáfica), es decir, a los materiales poco consolidados (particularmente a los terrenos de cultivo), afecta los suelos hasta una profundidad promedio de un metro. Es un fenómeno prácticamente invisible a nivel morfológico, por lo que puede ser reconocido sólo en cortes o a través de signos indirectos. (COSUDE, 2005).

## **2.1.6. DESLIZAMIENTOS**

### **A. DESLIZAMIENTOS PELICULARES O SUPERFICIALES**

Presentan una superficie de deslizamiento y provoca cambios notables de la estructura del suelo. Es un fenómeno abundante en Latinoamérica, en laderas empinadas con amplias (pero no muy profundas) cubiertas eluviales (suelos por meteorización) y regolíticas (suelos procedentes de la misma composición de la roca madre), utilizadas para agricultura.

La principal característica de estos deslizamientos es la morfología de cáscara de naranja, lo que se conoce como caminos de vaca, con ondulaciones pequeñas que corresponden a pequeños deslizamientos rotacionales, con diámetro promedio (profundidad máxima) de hasta uno o dos metros. Esta forma de cáscara de naranja forma escalones que son aprovechados por el ganado y la gente, evolucionando hacia una forma de escalones en trama enrejada o en rombos, que en algunos casos, progresivamente se desploman, formándose gradas en las laderas, desapareciendo estas posteriormente, en otros casos son removidos de forma abrupta. (COSUDE, 2005).

### **B. DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES O CIRCULARES (SLUMP)**

Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o ambos, a lo largo de una superficie de ruptura en forma circular (que coincide con la de transporte) sobre la cual se mueve una masa. En su fase inicial, existe poca distorsión de los materiales.

En algunos casos, a medida que la masa se desplaza, los materiales se dislocan progresivamente y el mecanismo de inestabilidad deviene complejo.

Eventualmente se da en terrenos homogéneos, isotrópicos, cohesivos. Su ocurrencia en la naturaleza es rara en estado puro o efímero pues rápidamente evoluciona hacia mecanismos combinados.

Este tipo de movimientos pueden involucrar tanto volúmenes pequeños como volúmenes grandes de material. Las velocidades de propagación de la masa desplazada pueden ser también muy variables. (COSUDE, 2005).

Este tipo de deslizamiento ocurrió en el área objeto de estudio, propagándose desde las laderas cercanas al área y depositando el material en el sector.

Un ejemplo de este tipo de Deslizamiento se suscitó el año 2011, en la zona de Valle de las Flores afectando a más de 100 familias, el G.A.M.L.P. lo denominó como el Megadeslizamiento, que afectó prácticamente 3 zonas: Pampahasi, Valle de las Flores y parte de Kupini.

El deslizamiento rotacional tiene las siguientes partes principales:

- Cabeza
- Cuerpo
- Pie
- Base

Estas partes principales son mostradas y desarrolladas en la Figura 2.1.

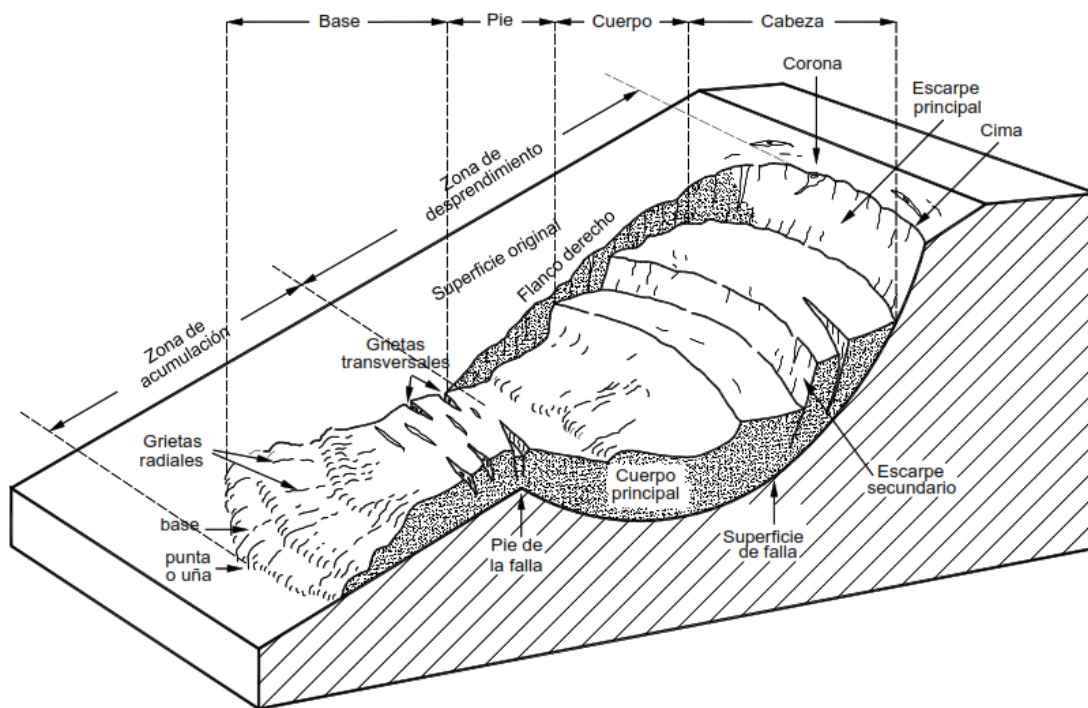


Figura 2.1. Nomenclatura de las diferentes partes de un deslizamiento. (Según Varnes)

### C. DESLIZAMIENTOS TRASLACIONALES

Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de deslizamiento planar. Se originan en zonas que presentan superficies de discontinuidad, de

niveles poco competentes; también en bloques tabulares o paquetes de estratos dentro de estructuras conformes de estratificación o esquistosidad; sobre capas poco competentes o niveles de alteración; sobre planos de fallas o sistemas de diaclasas conformes (a favor de la pendiente).

El material afectado es rocoso, estratificado o diaclasado, formando placas o paquetes cuyas bases quedan desprovistas de soporte, ya sea por erosión natural o por cortes artificiales en un talud (es tal vez el problema geodinámico más comúnmente desencadenado por la intervención humana, cuando se hacen cortes para carreteras, canales, etc.).

#### **D. DESLIZAMIENTOS COMPLEJOS**

Se aplica a grandes deslizamientos donde aparecen mecanismos combinados, debido a una larga evolución. Por lo general se trata de deslizamientos de edades antiguas hasta la actualidad, de gran talla y de evolución muy lenta, con periódicos episodios de aceleración. Puede decirse que son deslizamientos permanentes, regidos por la acción de los esfuerzos residuales posteriores a la fase de ruptura.

Pueden llegar a cubrir varios kilómetros cuadrados de superficie, involucrando cientos y hasta miles de millones de metros cúbicos de masa en movimiento y hasta algunas centenas de metros de profundidad. (COSUDE, 2005).

##### **2.1.7. COLADAS O FLUJOS (FLOWS)**

Son masas de material sin cohesión que fluye como un fluido viscoso al sobrepasar su límite líquido, pueden formarse en cualquier material poco consolidado (inclusive puede llegar a afectar los niveles superiores de roca alterada o intemperizada) y hasta en rocas, especialmente pelíticas y esquistosas más o menos descompuestas. Se pueden desplazar grandes distancias.

Son fenómenos básicamente estacionales, es decir, frecuentes en temporada de lluvias, aunque son numerosos los casos relacionados con roturas de conductos de agua, depósitos de agua, o por efecto de la aceleración de deslizamientos, por trastornos en el régimen hidrogeológico e, inclusive, por sacudida sísmica (licuación de arenas). En dependencia del material movilizado puede haber:



## **A. TORRENTE DE BARRO (MUD FLOW)**

Suelen involucrar volúmenes variables de material fino con alto contenido de limos y arcillas. Las velocidades de desplazamiento igualmente pueden ser variables y suelen estar relacionadas con factores como la pendiente de la ladera y la cantidad de agua involucrada en la movilización del material. Este depósito es característico de la zona de estudio.

## **B. FLUJO DE TIERRA (EARTH FLOW)**

Suelen presentar grandes volúmenes de material terroso con menos de 2 mm de diámetro predominando sobre limos y arcillas, generando formas de lengua o de un gran lóbulo. Las velocidades medias del movimiento pueden variar entre: cm – dm / año a cm – m / día (estas pueden no ser homogéneas en toda la colada). (COSUDE, 2005).

## **C. FLUJO DE DETRITOS (DEBRIS FLOW)**

Suelen involucrar volúmenes de medianos a grandes de hasta 10.000 m<sup>3</sup> de material grueso de diferente diámetro que incluye bloques de rocas, derrubios y roca descompuesta. Generan trazas lineales bien definidas, como un corredor alargado, con embudos o conos divergentes en los extremos, generalmente con conexión con la red de drenaje. Las velocidades de movilización suelen ser rápidas a muy rápidas. (COSUDE, 2005).

## **D. DESLIZAMIENTOS COMPUESTOS**

Cuando un movimiento de ladera presenta más de un mecanismo de movilización de los materiales en diferentes lugares de la masa en movimiento.

## **2.2. INDICADORES ANTECEDENTES Y POTENCIALES ÁREAS AFECTADAS POR INESTABILIDAD DE LADERAS.**

La formación de movimientos de ladera genera una serie de cambios en las características de las rocas y forma del relieve, que nos permiten detectar aquellas zonas que han sido afectadas por inestabilidad. Estos indicadores, que se pueden observar directamente sobre el terreno como relieve topográfico, valles, ríos y algunos de ellos a través de fotos aéreas, son los denominados Indicadores Antecedentes, porque son aquellos que indican áreas que ya han sido afectadas por inestabilidad de la ladera.

Otro tipo de indicadores, son aquellos que nos permiten identificar áreas que posiblemente no

han sido afectadas por inestabilidades de laderas, pero en las cuales el terreno presenta alguna característica que las hace potencialmente inestables.

Este tipo de indicadores, se denominan Indicadores Potenciales, porque indican áreas que si bien no han sido afectadas por inestabilidades, pueden ser afectadas en un futuro próximo.

A la vez, los indicadores pueden ser clasificados por su naturaleza como geomorfológica, geológica, hidrogeológica, vegetal, estructural, etc.

*Tabla 2.3. Criterios para la identificación de un deslizamiento*

<b>Tipología de indicadores por su naturaleza</b>	<b>Indicadores antecedentes</b>	<b>Indicadores potenciales</b>
Geomorfológicos	Terreno en pequeñas depresiones, relieve ondulado, existencia de escarpes y/o contrapendientes, etc.	Terreno en pequeñas depresiones, relieve ondulado, apertura de grietas en el terreno.
Geológicos	Afloramiento de rocas alteradas en nichos de arranque, estructuras de formas irregulares, etc.	Planos de fracturación a favor de la pendiente, rocas alteradas, estructuras de formas irregulares, material poco consolidado o deleznable.
Hidrogeológicos	Abundancia relativa de agua (zonas con mayor verdor), saturación de suelos, régimen cambiante de manantiales, aparición de pantanos en las cabeceras, en la parte media y al pie de los deslizamientos, desviación de ríos, etc,	Abundancia relativa de agua (zonas con mayor verdor), zonas de surgencia de agua.  Suelos húmedos o mojados en tiempo continuo.
	Existencia de plantas típicas de	Existencia de plantas típicas

Vegetales	zonas húmedas, troncos torcidos y/o inclinados, rotura de raíces y raíces tensas, discontinuidades repentinas en la cobertura vegetal, etc.	de zonas húmedas, raíces tensas.  Arboles cumbados en la parte baja del tronco.
Estructurales	Postes inclinados, cables tensos o flojos, casas o construcciones agrietadas o inclinadas, grietas u ondulaciones en los pavimentos, cercos desplazados, etc.	
Toponimia	Nombres de lugares que pueden sugerir inestabilidad del terreno.	Igual a indicadores antecedentes.
Históricos	Testimonios o documentos de eventos pasados.	

Por otra parte una herramienta muy importante para empezar el mapeo geológico, es la fotogeología donde podemos determinar los antiguos escarpes y el área de la masa deslizada. Para tener una idea general de las formaciones que tenemos en el área, tipo de drenaje e incluso determinar la litología.

### 2.3. FOTOGEOLOGÍA

Diferenciando las características de textura, tono, formas de relieve, el drenaje es visualizado en la fotografía Vision de HURT de (1956) escala 1:50000, la formación de relieves topográficos que marcan los límites de los antiguos escarpes por movimientos en masa.

Por ejemplo en el área de estudio se ha observado escarpes principales y secundarios de antiguos movimientos en masa que ocurrieron en distintas épocas.

### **2.3.1. FACTORES ANALÍTICOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE LAS IMÁGENES DE LAS FOTOGRAFÍAS AÉREAS, PARA UNA BUENA INTERPRETACIÓN FOTOGEOLÓGICA.**

El primer grupo de aplicación general, está constituido por los factores derivados de características físicas de las fotografías mismas, tales como se observan en las copias de contacto o positivas de películas en blanco y negro como:

- Tono de la fotografía
- Textura de la imagen fotográfica

El segundo grupo, también de uso general, se halla compuesto, por los factores derivados de características, no ya de las propias fotografías (Guerra, 2003), sino de los rasgos u objetos reales cuyas imágenes aparecen en ellas tales como:

#### **2.3.2. FORMA**

- Tamaño
- Sombra
- Tipo de configuración
- Relaciones con objetos o rasgos asociados

El tercer grupo, principalmente fotogeológico, lo integran los factores derivados de las formas de la topografía, según estas se exhiben en el modelo tridimensional formado por la visión estereoscópica de los pares fotográficos aéreos, como:

- Formas de la topografía
- Emplazamiento
- Gradiente
- Discordancias
- Anomalías topográficas
- Ruptura de pendiente
- Alineaciones

Cuarto grupo, que recoge el máximo de esencia fotogeológico, los factores derivados de las características de los rasgos geomorfológicos de la superficie terrestre, reproducida por sus imágenes en las fotografías aéreas (Guerra, 2003), como son:

- Erosión
- Drenaje
- Anomalías Geomorfológicas

Quinto Grupo, también fotogeológico, en gran parte de los factores derivados de las características de los suelos, de la vegetación natural, y de la agricultura, todos los cuales se correlacionan entre sí, como:

- Suelos
- Cubierta Vegetal
- Uso del suelo por el hombre

### **2.3.3. LA CLASIFICACIÓN DE REDES DE DRENAJE**

- La integración indica la existencia de conexión entre los cursos de agua de órdenes sucesivos.
- La densidad es la cantidad de drenajes superficiales por unidad de superficie.
- La orientación no se refiere a un curso o rama en particular, sino al conjunto integrado o no de cursos principales y tributarios de las zonas.
- El control estructural se refiere a los cambios bruscos de dirección, que son indicios de modificaciones de las características litológicas o morfológicas del subsuelo.
- La forma de la red viene supeditada a la estructura de las rocas
- La textura de la red depende en principio de la permeabilidad del suelo y del volumen de agua disponible para penetrar en ese suelo en un periodo dado.

### **A. FORMAS BÁSICAS**

Basado en Strandberg. Las formas de drenaje más comunes son:

- Dendrítica
- En Enrejado
- Radial
- Paralela
- Anular
- Rectangular

#### **A.1. DENDRÍTICA**

No tiene orientación definida, y las ramas que constituyen la red no guardan ninguna preferencia, abundando las curvas suaves, sin evidencia de control estructural desarrollándose en zonas de pendientes suaves. (Guerra, 2003)

En el área de estudio se observa este tipo de drenaje regionalmente, podemos apreciar al Noroeste del área.

#### **A.2. ENREJADA**

En este tipo los tributarios de primer orden son largos y de trazado recto, siendo a menudo paralelos a un curso principal. Los tributarios cortos confluyen con los canales mayores formando ángulos aproximadamente rectos. (Guerra, 2003)

#### **A.3. RADIAL**

Las formas radiales pueden ser centrifugas centrípetas. En las formas centrifugas los ríos fluyen de una zona central hacia la periferia, lo cual es característico de los plegamientos en domo, o de las laderas volcánicas.

#### **A.4. RADIAL CENTRÍPETA**

Las formas radiales centripedas se forman cuando el agua corre hacia el interior de una cubeta o cuenca cerrada. Estas formas son comunes en las regiones áridas o en depresiones formadas por rocas solubles, dando lugar a cuencas cerradas donde el agua se evapora o infiltra, que puede indicar litologías calcáreas de tipo Karstico. (Guerra, 2003)

#### **A.5. PARALELA**

En este tipo los tributarios se desarrollan todas paralelas o casi paralelamente entre sí, confluyendo con el canal principal formando casi el mismo ángulo, configurando un tipo de drenaje fuertemente controlado, con pendientes importantes.

#### **A.6. ANULAR**

Las formas anulares se desarrollan cuando el drenaje se acomoda alrededor de un domo de material resistente. Puede originarse en una modificación de una forma radial, si el domo ha plegado estratos alternados de diferente resistencia. Los tributarios seguirán los estratos

débiles, confluyendo en ángulo recto con los cursos radiales.

#### **A.7. RECTANGULAR**

Las formas rectangulares se desarrollan en zonas donde el control es debido a que el subsuelo presenta una red de diaclasas. Los trazados del drenaje están fuertemente controlado con recodos abruptos. (Guerra, 2003)

Regionalmente en el área de estudio se observa este tipo de drenaje, al Noreste del área. Aledaño a la calle 38 A.

#### **2.3.4. INDICADORES DE CONTROL ESTRUCTURAL EN LAS REDES DE DRENAJE:**

La existencia de anomalías en la formas de las redes de drenaje, indican controles estructurales.

- Un lecho de drenaje cortado indica un levantamiento estructural. Un estrechamiento del lecho de inundación de un río indica cambios litológicos debidos al plegamiento o fractura de la zona.
- Un ensanchamiento del lecho de inundación indica una influencia estructural en la parte baja del río.
- Los cambios bruscos de dirección pueden reflejar elevaciones locales por plegamiento o falla. La alineación de las curvas puede indicar los ejes de esos plegamientos o fallas.
- Los cambios bruscos en la periodicidad de los meandros indican fallas locales o pliegues perpendiculares a la dirección del escurrimiento.
- La existencia de anomalías en la forma de las redes de drenaje, indican fallas locales o pliegues perpendiculares a la dirección del escurrimiento.
- Un lecho de drenaje cortado indica un levantamiento estructural. Un estrechamiento del lecho de inundación indica una influencia estructural en la parte baja del río.
- Un ensanchamiento del lecho de inundación indica una influencia estructural en la parte baja del río.
- Los cambios bruscos en la periodicidad de los meandros indican fallas locales o pliegues perpendiculares a la dirección del escurrimiento.

### 2.3.5. TEXTURA DEL DRENAJE

La textura se refiere al número y espaciado relativo de los cursos de agua por unidad de área dentro de la cuenca.

- A veces se separa la textura en dos componentes: densidad y frecuencia.
- Los términos comparativos y relativos: fina, media y gruesa, se usan normalmente para describir la textura del drenaje. Puede realizarse también una comparación numérica, calculando la densidad como longitud total del drenaje sobre el área de la cuenca.
- Entre los principales controles que tienen influencia en la textura del drenaje están: clima, litología, permeabilidad del suelo, estructura geológica, topografía y condiciones biológicas.
- Entre los factores más importantes, debemos descartar la permeabilidad del suelo.
- La densidad del drenaje en cuencas donde predominan areniscas y gravas es más pequeña que la existente en las cuencas cubiertas de arcilla o esquistos.
- La litología es de suma importancia, ya que su alteración se forman los distintos tipos de suelo. Por ejemplo, los feldespatos forman arcillas impermeables cuando se descomponen.
- La estructura geológica controla la topografía ya que la pendiente viene influenciada por el buzamiento de los estratos y la influencia de fallas y fracturas.
- A veces se separa la textura en dos componentes: densidad y frecuencia.
- Los términos comparativos y relativos: fina, media y gruesa, se usan normalmente para describir la textura del drenaje. Puede realizarse también una comparación numérica, calculando la densidad como longitud total de drenaje sobre el área de la cuenca.
- Entre los principales controles que tienen influencia en la textura del drenaje están: clima, litología, permeabilidad del suelo, estructura geológica, topografía y condiciones biológicas.
- Entre los factores más importantes, debemos destacar la permeabilidad del suelo.
- La densidad del drenaje en cuencas donde predominan areniscas y gravas es más pequeña que la existente en las cuencas cubiertas de arcilla o esquistos.
- La litología es de suma importancia, ya que de su alteración se forman los distintos tipos de suelo. Por ejemplo, los feldespatos forman arcillas impermeables cuando se descomponen.
- La estructura geológica controla la topografía ya que la pendiente viene influenciada



por el buzamiento de los estratos y la influencia de fallas y fracturas.

Por tanto, con todo el conocimiento geomorfológico y geológico se realizó, un mapa fotogeológico, donde se marco episodios de remoción en masa que abarca casi toda la zona y otros eventos al Noreste de la zona donde su escarpe es marcado.

El principal deposito del área de estudio, se denomina Cuaternario deslizamiento antiguo, el cual se caracteriza por tener mayor contenido de arcilla con limo, y gravas limo arcillosas con arena, este depósito se encuentra en la parte central del mapa.

El Cuaternario deslizamiento reciente, se caracteriza por sus depósitos de arcillas con gravas limosas, que se encuentra al Noreste del mapa que suprayace a Cuaternario deslizamiento antiguo y Torrente de Barro.

## 2.4. ASPECTOS GEOLÓGICOS DEL VALLE DE LA PAZ

*Tabla 2.4. Orden de glaciaciones e interglaciaciones*

<b>Orden de las Glaciaciones</b>	<b>Nombre Glaciacion</b>	<b>Interglaciacion</b>
Primera glaciacion	Calvario	Calvario Kaluyo
Segunda glaciacion	Kaluyo	Kaluyo Sorata
Tercera glaciacion	Sorata	

La cuarta etapa glacial, correspondiente a un glacial de valle, deposito la Formación Cota Cota, limitada por los valles de los ríos Huañajahuira y Jillusaya y que corrió con una dirección E. O., formando un profundo valle en "U" dando lugar, además, a las formas de acumulación características, tales como las morrenas observables en las inmediaciones del Club Los Pinos, y en la parte superior del lago de Cota Cota.

El origen de el lago Cota Cota se encuentra ubicada en la Ciudad Universitaria, tiene origen post glacial, aunque en la actualidad se encuentra alimentado por aguas, pluviales y subterráneas poco profundas. (Arispe, 1971)

Cabe recalcar que en la etapa de campo del presente trabajo no se ha evidenciado ningún

rasgo que nos permita decir que el sector es de origen glacial.

Los depósitos del Lago Calacoto fueron estudiados por Drobovolny. Estos depósitos afloran en una extensión de aproximadamente 1.5 Km. En la hoyada de la urbe paceña y se extenderían desde obrajes, Irpavi, Calacoto, hasta las cercanías de Mallasa. Actualmente debido a la gran cantidad de edificaciones en estas zonas de La Paz, prácticamente no se reconocen sus afloramientos, quedando remanentes a orillas del Río Choqueyapu desde Obrajes hasta la garganta de Aranjuez (al sur oeste de Calacoto). La altitud máxima reconocible del lago Calacoto fue 3360 m.

Sus depósitos son locales, tienen un espesor máximo de 45 m. y están constituidos por arcillas limosas de color gris, limos rojizos, arenas con cantos derivados del cretácico superior. Sobre estos depósitos se encuentran gravas correspondientes a una llanura aluvial. Drobovolny 1954.

## **2.5. HIDROGEOLOGÍA**

El agua subterránea en el sentido más amplio es "toda el agua que existe por debajo de la superficie", es aquella que se encuentra cerca de la superficie y por encima del nivel freático agua subsuperficial y aquella por encima de la superficie, agua superficial. El agua subterránea se encuentra ocupando los intersticios (poros y fracturas) de rocas y /o sedimentos de formaciones geológicas. En el caso que exista cantidad suficiente para ser extraída, se denomina acuífero. (Padilla, 2012)

En el área de estudio el agua subterránea juega un papel importante, este factor es el que está activando posiblemente el deslizamiento principal del sector, se llegó a esta conclusión porque en los pozos perforados se ha encontrado nivel freático y además las nuevas grietas presentes en las viviendas, aceras y vías.

### **2.5.1. CONCEPTOS GENERALES DE HIDROGEOLOGÍA:**

#### **A. CICLO HIDROGEOLÓGICO**

La energía necesaria para mantener el ciclo hidrogeológico proviene de la Precipitación, del sol y los procesos geológicos internos.

La velocidad a la que se mueve el agua en un concepto clave del Ciclo hidrológico, mientras

que el agua de la atmósfera puede viajar centenares de Kilómetros cada día, el agua superficial se mueve en decenas de Kilómetros.

El agua subterránea se mueve frente a la presencia de gradientes hidráulicos, desde las zonas de mayor y menor energía potencial, las velocidades a las que se mueve son muy bajas, debido a los obstáculos. Las características del medio geológico condicionan la velocidad a la que se desplazará el agua. (Padilla, 2012)

## **B. AGUA SUPERFICIAL**

Toda el agua que se encuentra por encima de la superficie del terreno y que incluye el agua de los ríos, lagos, océanos, glaciares, etc. (Padilla, 2012)

## **C. AGUA SUBTERRÁNEA**

El agua subterránea puede encontrarse en dos entornos diferenciados; Primero: El agua puede localizarse en una zona en la que los huecos (poros) de la roca o suelo están ocupados parcialmente por aire o por otro gas, la cual se conoce como zona de aireación. Por debajo de ella cuando toda la porosidad se encuentra ocupada por agua, tenemos la zona saturada. La superficie de separación entre ambas zonas se denomina nivel freático. La parte inferior de la zona vadosa corresponde a un dominio de espesor variable, dependiendo del material geológico, que es la zona o franja capilar. (Padilla, 2012)

## **D. ACUÍFEROS**

Se define como "Aquella formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua y a partir de la cual se puede extraer agua en cantidad suficiente y económica para cierto fin. (Padilla, 2012)

## **E. ACUÍFERO LIBRE**

También llamado freático o no confinado, es aquel que se encuentra inmediatamente debajo de la superficie. Contiene al nivel freático, está a presión atmosférica y su superficie freática es aproximadamente paralela a la topografía y fluctúa según las estaciones del año.

## **F. ACUÍFERO CONFINADO**

Es aquel que se encuentra por debajo del acuífero libre a una mayor profundidad. Esta limitado tanto por encima como por debajo por una capa impermeable.

## **G. ACUÍFERO SEMICONFINADO**

Es similar al confinado, pero que recibe agua muy lentamente a través de la capa superior que es semi – impermeable. (Padilla, 2012)

## **H. ACUÍFERO ARTESIANO**

Es aquel acuífero confinado que al ser interceptado por un pozo de paredes selladas permite que el agua ascienda por encima de la superficie topográfica hasta alcanzar la superficie potenciométrica. (Padilla, 2012)

## **I. ACUICLUSO**

Es una capa totalmente impermeable, es decir que no permite el flujo del agua a través de sí.

## **J. ACUITARDO**

Es una capa semi – impermeable que permite el flujo lento de agua a través de sí.

## **K. ACUIFUGO**

Es una capa (estrato o conjunto de estratos) que no almacena agua, ni es capaz de transmitir agua.

## **2.6. AGUAS SUPERFICIALES**

Aguas superficiales son aquellas que se encuentran sobre la superficie del suelo, son producidas por escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas.

En el área de estudio las aguas superficiales son conducidas adecuadamente por mediante cunetas y sumideros, las viviendas de este sector manejan las aguas superficiales mediante un sistema de tuberías de pvc, que están conectadas al sistema de alcantarillado. Sin embargo las aguas superficiales juegan un rol importante, porque parte de esta se infiltra y contribuye a

los desajustes del sector.

## **2.7. GEOTÉCNIA**

### **2.7.1. DENSIDAD**

La densidad absoluta de un cuerpo es la masa de dicho cuerpo contenida en la unidad de volumen, sin incluir sus vacíos. La densidad aparente es la masa de un cuerpo contenida en la unidad de volumen, incluyendo sus vacíos. (Villalaz, 1980)

### **2.7.2. PLASTICIDAD**

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, quien por medio de ellos separó los cuatro estados de consistencia de los suelos coherentes. (Villalaz, 1980)

Los mencionados límites son: Límite líquido (L.L.). Límite Plástico (L.P.), Límite de contracción (L.C.) y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio.

En los estudios de laboratorio, se tiene datos de límite líquido, límites de plasticidad e índice plástico, presentados en Anexo 6.

Los resultados de plasticidad en capítulo 7 Aspectos Geotécnicos.

### **2.7.3. GRANULOMETRÍA**

El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado suelo existen diferentes procedimientos. Para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más expedito es el del tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos el tamizado se hace cada vez más difícil, teniendo entonces que recurrir a procedimientos por sedimentación. (Villalaz, 1980)

En el análisis de laboratorio se determinó la Granulometría, estos resultados están adjuntos en el Anexo 11.

La interpretación de granulometría es presentada en el capítulo 7 aspectos geotécnicos.

#### 2.7.4. SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.) SEGÚN: (VILLALAZ, 1980)

Tabla 2.5. Sistema unificado de suelos de las unidades formacionales de las Carmelitas

Unidad Formacional	S.U.C.S.
Qdza	GC – GM GC – GM, GM - CL, CL – CL.
Qdzt	GM- CL
Nlp	GM

GW= Gravas, mezcla de gravas y arena con poco de finos.

GP= Gravas mal gradadas, mezcla de gravas y arenas con poco o nada de finos.

GM= Gravas limosas, mezclas de gravas, arena y finos.

GC= Gravas arcillosas mezcla de gravas arenas y arcillas.

SW= Arenas bien gradadas, arenas con gravas, con poco o nada de finos.

SP= Arenas mal gradadas, arenas con gravas, con poco o nada de finos.

SM= Arenas limosas, mezclas de arenas y limos.

SC= Arenas arcillosas mezclas de arenas y arcilla.

ML= Limos orgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos.

CL= Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad.

OL= Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.

En el área de estudio se ha encontrado mayormente:

CL= Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad.

SM= Arenas limosas, mezclas de arenas y limos.

SC= Arenas arcillosas mezclas de arenas y arcilla.

SP= Arenas mal gradadas, arenas con gravas, con poco o nada de finos.

En el área de estudio la litología que predomina, es la arcilla arenosa, CL, material fino que es característico de una zona inestable.

*Tabla 2.6. Comportamiento de los materiales según (Villalaz, 1980).*

Tipo de suelo	Permeabilidad	Resistencia a la licuefacción	Resistencia al cortante.	Susceptibilidad al agrietamiento.
GW	Permeable	Alta	Muy alta	No susceptible al agrietamiento
GP	Permeable a muy permeable	De alta a media	Alta	
SW	Semimpermeable a permeable	Alta a media	Muy alta	
SP	Semipermeable a permeable	Baja a muy baja	Alta	
GM	Semipermeable	Alta a media	Alta	Mediana a alta
GC	Impermeable	Muy Alta	Alta	Mediana a alta
SM	Semimpermeable a impermeable	Media a baja	Alta	Mediana a alta
SC	Impermeable	Alta	Alta a media	Mediana a baja

ML	Impermeable	Baja a muy baja	Media a baja	Muy susceptible; deben colocarse
MH	Muy Impermeable	Baja	Baja	con alto grado de saturación.
CL	Impermeable	Media	Media	Mediana a alta
CH	Muy Impermeable	Muy Alta	Baja a media	
OL	Impermeable	Media	Baja	

## 2.8. RIESGOS

### 2.8.1. RIESGO

Es la probabilidad de que se produzca pérdidas socio – económicas en un determinado momento y en un área del territorio determinada, a causa de una amenaza.

Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. (COSUDE, 2005)

### 2.8.2. AMENAZA

Es la probabilidad de ocurrencias de un evento (sismo, deslizamientos, inundaciones, huracanes, tsunamis, erupciones volcánicas, etc.) potencialmente dañino caracterizado por una cierta intensidad, dentro de un periodo dado y un área determinada. (COSUDE, 2005)

Para realizar el mapa de amenazas de la región de estudio, se ha empleado la técnica de sumatoria de mapas del programa Arcgis, que indica que es necesario estudiar:

- Mapa geológico
- Mapa geomorfológico
- Mapa de pendientes



La descripción a detalle se encuentra en el capítulo caracterización de suelos en la descripción de mapa de amenazas.

### **2.8.3. VULNERABILIDAD**

Es el sistema de condiciones y procesos resultado de los factores físicos, sociales, económicos, culturales y ambientales, que aumentan o disminuyen la susceptibilidad de una comunidad o infraestructura al impacto de las amenazas. (COSUDE, 2005). La vulnerabilidad no será considerada en este trabajo.

### **2.8.4. MAGNITUD**

La mayoría de los autores emplean el término magnitud de un movimiento en masa para referirse al tamaño, ya sea en volumen o en área. En ambos casos debe indicarse cuando se trata de volumen (o área) del movimiento inicial, de la zona de depósito, o el total. Frecuentemente se emplea como medida de magnitud el área total, la cual se estima aproximadamente con base en el análisis de productos de sensores remotos. Para el cálculo de volumen, se estima el área y espesor de la zona de arranque o se emplean fórmulas empíricas que relacionan el área de la zona de arranque con el volumen. (COSUDE, 2005).

### **2.8.5. INTENSIDAD O AMENAZAS**

Para referirse al potencial destructivo de un movimiento en masa, o intensidad, se emplean parámetros tales como la velocidad, las fuerzas de impacto, el espesor o la altura. La intensidad varía de acuerdo con la localización. (Cruden y Varnes 1996) en (COSUDE, 2005) establecen una escala de velocidades para movimientos en masa en 7 categorías, desde extremadamente lenta ( $5 \times 10^{-10}$  mm/s) a extremadamente rápida (mayor a 5 m/s). Sin embargo, algunos movimientos en masa importantes por su potencial destructivo, como son los flujos de detritos, se encuentran todos por encima de la categoría "extremadamente rápido". A este tipo de movimiento en masa se le categoriza como catastrófico por su potencial de causar pérdida de vidas humanas. Se establecen una escala de velocidades para movimientos en masa en 7 categorías, desde extremadamente lenta ( $5 \times 10^{-10}$  mm/s) a extremadamente rápida (mayor a 5 m/s). Sin embargo, algunos movimientos en masa importantes por su potencial destructivo, como son los flujos de detritos, se encuentran todos por encima de la categoría "extremadamente rápido". A este tipo de movimiento en masa se le categoriza como catastrófico por su potencial de causar pérdida de vidas humanas.

## **2.8.6. FRECUENCIA O PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (AMENAZA)**

Además de la caracterización del proceso, la estimación de la frecuencia es el segundo componente en la evaluación de la amenaza por movimientos en masa. COSUDE. (2005) describen los métodos para la estimación de la frecuencia, su aplicabilidad y limitaciones. Entre ellos se mencionan los siguientes:

- Evaluación de registros históricos de movimientos en masa.
- Relación entre movimientos en masa y geología/ geomorfología.
- Análisis multivariado entre la ocurrencia de movimientos en masa y parámetros tales como geología, geomorfología, geometría, etc.
- Relación entre la ocurrencia de movimientos en masa, geometría de la ladera y registros históricos de precipitación y su duración.
- Relación entre la ocurrencia de movimientos en masa, geometría de la ladera y registros históricos de precipitación y propiedades geotécnicas.
- Modelamiento de niveles piezométricos en la ladera versus precipitación, y su relación con ocurrencia de movimientos en masa o con el factor de seguridad.
- Empleo de métodos probabilísticos.

Los parámetros antes descritos caracterizan la amenaza que pueden representar los movimientos en masa. De esta manera un estudio y mapa de amenazas por movimientos en masa idealmente debería contener información sobre lo siguiente:

El tipo de proceso; localización; el potencial de daño que pueda causar, ya sea expresado en términos de su magnitud (volumen) o su intensidad; y la posibilidad de su ocurrencia, ya sea expresada cualitativamente en términos de posibilidad (alta, media o baja) o cuantitativamente en términos de frecuencia o probabilidad. (PMA, 2007)

Las tablas diseñadas para el cálculo de amenazas con referencia a estos factores se encuentran en el capítulo 5.

## **CAPÍTULO III**

### **SITUACIÓN ACTUAL**

### 3. ESTADO ACTUAL DE LAS INFRAESTRUCTURAS

Este capítulo contempla una evaluación de los movimientos de suelos a través de la observación y mapeo de elementos estructurales por ejemplo grietas, fracturas en casas, fracturas en terrenos y posibles fallas.

Muchas construcciones han sido afectadas en el pasado por la inestabilidad del terreno, es así que el G.A.M.L.P. en épocas pasadas colocó testigos de monitoreo para establecer el movimiento del suelo en determinadas épocas, de esta manera un testigo de monitoreo es un material frágil (estuco) colocado con fecha del día, en la grieta, para realizar el seguimiento de nuevas aperturas del estuco comúnmente llamado nuevo rechazo.

Estos fueron mapeados en varios lugares de la zona como se verá en la Figura 3.1.

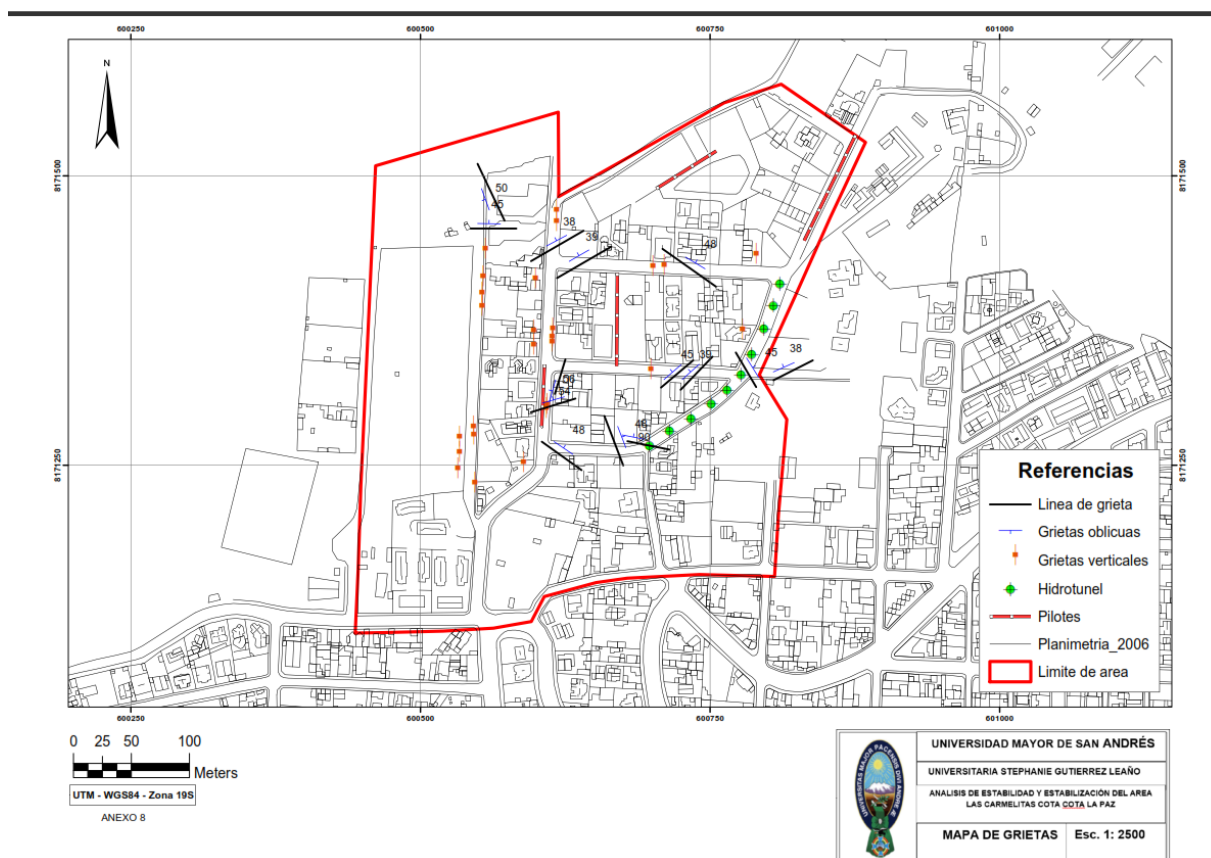


Figura 3.1. Mapa de grietas, del sector estudiado.

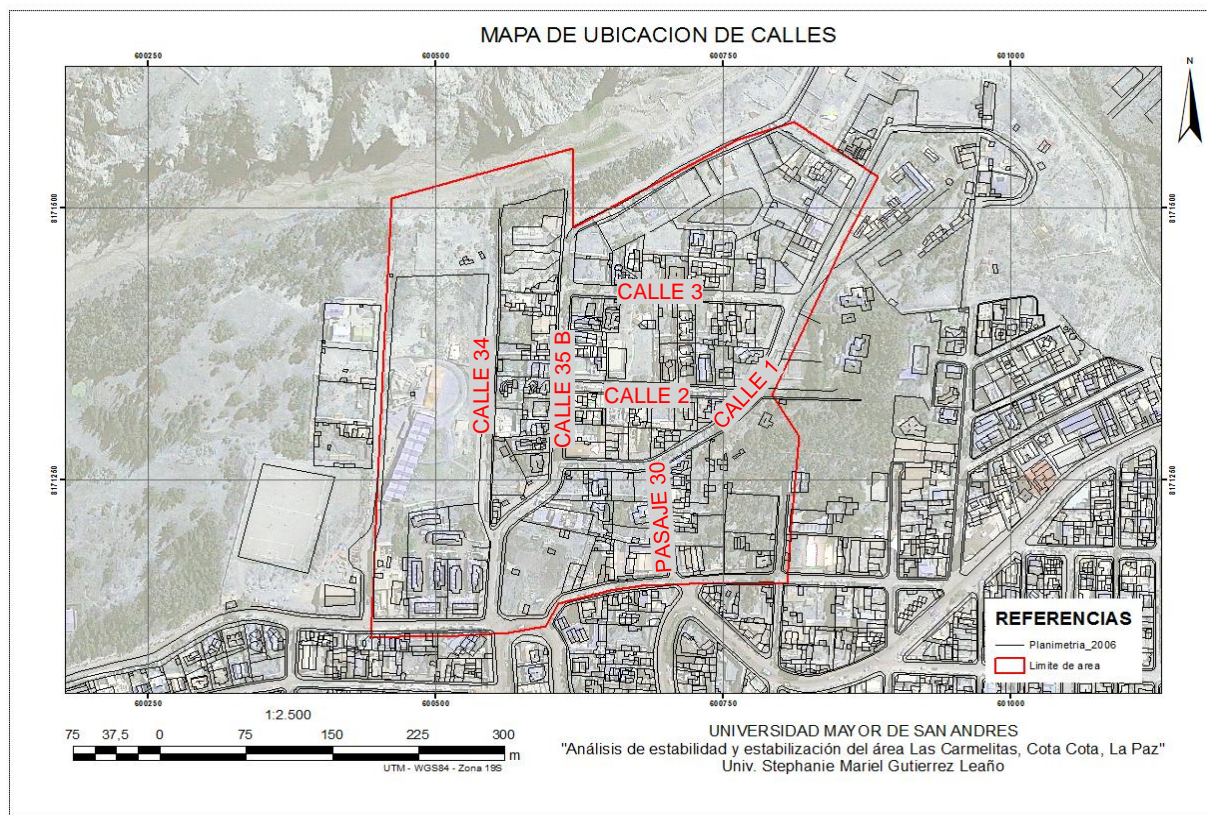


Figura 3.2. Mapa de ubicación de calles

Se realizó una evaluación a detalle, de las viviendas del sector donde se ha podido detectar grietas oblicuas, horizontales, verticales, también se pudo evidenciar grietas en las calles y aceras. Con el objeto de generar un mapa de Grietas Figura 3.1.

A continuación tenemos un resumen detallado de la evaluación que se realizó en las Calles:

Tabla 3.2. Resumen de situación actual

Calle	Grieta oblicua.	Grieta horizontal	Grieta vertical.	Viviendas con grietas.	Calles con grietas	Testigos de monitoreo.	Estado de grietas	Estado de testigos
35	✓		✓	✓	✓	✓	Rechazo 18 cm.	Maltratados
1	✓	✓	✓	✓	✓		Rechazo 6 cm.	No presenta
Pasaje 30	✓	✓	✓	✓	✓		No presenta rechazo	No presenta

Los molles	√	√	√	√	√	√	Rechazo 15 cm.	Maltratados
------------	---	---	---	---	---	---	-------------------	-------------

### 3.1.2. CALLE 35 B

La mayoría de las viviendas han sido construidas en base a ladrillo y Hormigón armado.

En la Calle 35 B, se observan grietas de consideración, en su mayoría con dirección Noroeste, grietas verticales con un rechazo de 18 cm como máximo, en algunos casos, grietas oblicuas con un rechazo de 3 cm. y también se observa separación de juntas. Como se observa en las Figura 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6.

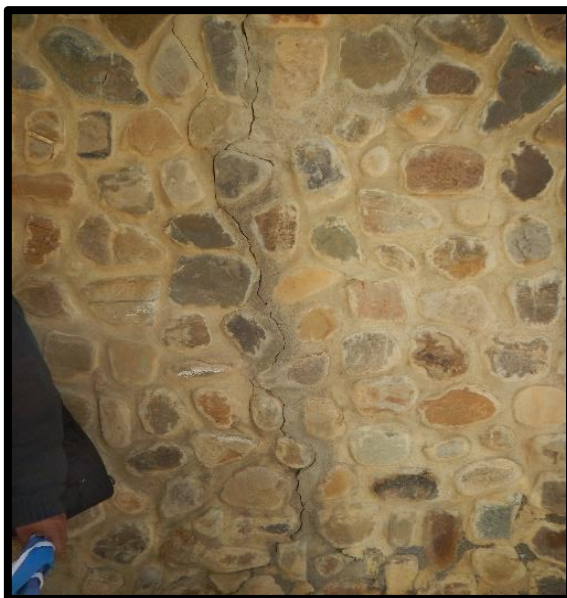


*Figura 3.3. Grieta vertical 1.5 cm de rechazo vertical.*



*Figura 3.4. Grieta vertical 4 cm de rechazo vertical.*





*Figura 3.5. Grieta vertical rechazo 1 cm.*



*Figura 3.6. Grieta vertical rechazo 18 cm.*

En la calle 35 B se encontró un testigo de monitoreo (para calcular el movimiento de la grieta) que fue colocado en fecha 13/02/09, por el Gobierno Autónomo Municipal de La Paz, para monitorear el movimiento del deslizamiento. Se observó un rechazo de 1 cm. en fecha 11/12/2015. Como se observa en la Figura 3.6.



*Figura 3.7. Testigo de monitoreo. Fecha 13/02/2009 colocado por el G.A.M.L.P.*

También se ha observado que las columnas de algunas viviendas presentan grietas, esto significa que también existe un problema estructural, en la Calle 35 B, también se observó que las puertas, están fuera de marco. Como se observa en la Figura 3.8.



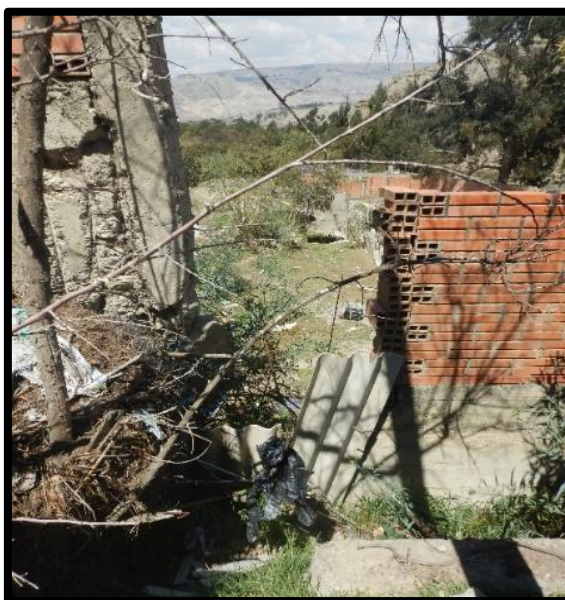
*Figura 3.8. Calle 35 B puerta fuera de marco*





*Figura 3.9. Ilustración 3 Puerta fuera de marco*

Las viviendas de la Calle 35 B, presentan desajustes que tienen relación con la dirección del movimiento del deslizamiento, con dirección a la pendiente que en este caso viene siendo Noroeste, el cual se evidencia un rechazo de juntas. Como se observa en la Figura 3.10 y 3.11.



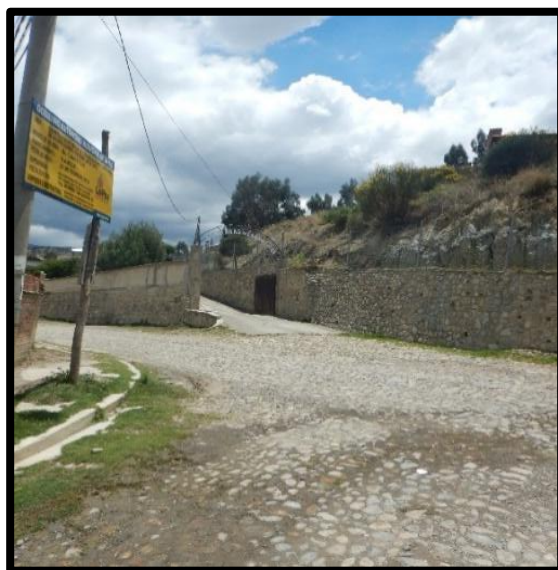
*Figura 3.10. Movimiento del deslizamiento orientado hacia el Noroeste*



*Figura 3.11. Movimiento del deslizamiento*

### **3.1.3. CALLE 1**

En la calle 1 tenemos el convento Las Carmelitas, que hace alusión al nombre del Sector, en el muro perimetral del convento, se presenta varias grietas verticales y oblicuas, con un rechazo desde 1 mm. hasta 6 cm. estas grietas son verticales como se observan en las siguientes Figuras 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15.



*Figura 3.12. Ubicación convento Las Carmelitas*



*Figura 3.13. Grietas en muro perimetral Carmelitas*



*Figura 3.14. Grieta muro perimetral con rechazo de 6 cm.*





*Figura 3.15. Grieta vertical con separación de 4.5 cm.*

Se observa grietas oblicuas en los muros perimetrales de la Calle 1, con un nuevo rechazo de 2 cm, pese a que algunas grietas han sido reparadas por los propietarios de los predios de la Calle 1. Como se observa en las Figuras 3.16 y 3.17.



*Figura 3.16. Grieta horizontal con separación de 2 cm.*



*Figura 3.17. Grieta oblicua con nueva separacion.*

#### **3.1.4. PASAJE 30**

En el Pasaje 30 se encuentra una vivienda que abarca casi todo el Pasaje de la acera izquierda (Observando desde Norte a Sur), que no presenta daños, sin embargo frente a esta vivienda se encuentra una vivienda con muro de contención (construido a base de material ciclópeo), que esta agrietado y con separación de juntas. Como se observa en la Figura 3.19.



*Figura 3.18. Pasaje 30 vivienda agrietada*



*Figura 3.19. Muro de contención con presencia de grietas*

### **3.1.5. CALLE LOS MOLLES**

En la calle Los Molles se tiene un caso especial, que se trata del Edificio Roma que según declaraciones de los vecinos en las noches se escucha ruido, posiblemente esto significa que el sector tiene un movimiento, en cuanto al deslizamiento. Se ha podido evidenciar una serie de grietas que están presentes en el garaje del Edificio Roma se ha observado una grieta de 15 cm. de rechazo como máximo que ha reventado los ladrillos del muro perimetral y como mínimo grietas de 2 mm. Como se observa en la Figura 3.20 y 3.21.



*Figura 3.20. Garaje Edif. Roma con grietas*



*Figura 3.21. Muro perimetral Edif. Roma Grieta vertical*

Mayormente las grietas del Edificio Roma son verticales y alcanzan rechazos desde 3 mm. hasta 15 cm. en algunos casos; por lo tanto, los administradores del Edificio Roma han colocado testigos para monitorear las grietas en fecha 29/03/2011, estos testigos de monitoreo tienen nuevos rechazos de 0.5 mm, corroborados en 11/12/16. Como se observa en la Figura 3.22, 3.23 y 3.24.

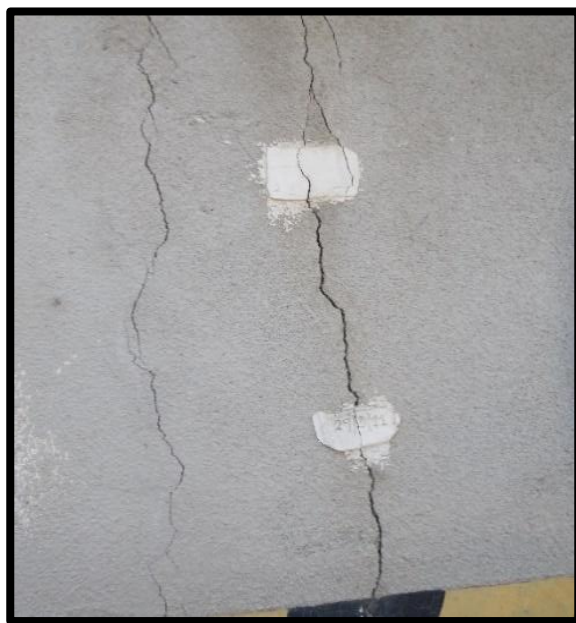


*Figura 3.22. Ilustración 6 Testigo del Edif. Roma*





*Figura 3.23. Grieta oblicua con testigo Edif. Roma*



*Figura 3.24. Grietas verticales garaje Edif. Roma*

Cabe recalcar que en la parte posterior al predio, en el Garaje del Edificio Roma, existe una pared colindante con la vivienda vecina del Noreste, que se encuentra totalmente humedecida.



Este humedecimiento se debe a la infiltración de aguas superficiales provenientes del terreno baldío del lado (Ubicado al Noreste), que se encuentra en un nivel más alto con respecto al Edificio Roma, misma que no presenta un sistema de drenaje para el control de las aguas superficiales. Como se observa en las Figuras 3.25 y 3.26.



*Figura 3.25. Humedad edificio Roma*



*Figura 3.26. Humedad Garaje Edif. Roma*

Se ha podido corroborar mediante una evaluación a detalle de la zona de estudio, que existen nuevos rechazos en las grietas, esto significa que el deslizamiento sigue activo y las obras que implemento el G.A.M.L.P. no han dado fin a los desajustes del sector.

Todas las grietas encontradas han sido mapeadas en el mapa de grietas Anexo 8.

### **3.2. SISTEMA DE ALCANTARILLADO Y PLUVIAL**

Todas las viviendas del sector cuentan con sistema de alcantarillado que se encuentra conectado a la red principal de sistema de drenaje.

En el año 2009, el personal técnico de la Subalcaldía Sur y EPSAS cambiaron los sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial en toda la calle 3 – Los Molles. Se ha observado que ambas tuberías de hormigón de 6 y 8 pulgadas respectivamente, estaban completamente fracturadas (por antigüedad).

Esto hace presuponer que todo el sistema de recolección de agua en la calle 35 presenta problemas parecidos. Como consecuencia cabe la posibilidad de que los sistemas de evacuación de aguas domiciliarias están quebradas.

La filtración de aguas a través de fracturas de los sistemas de alcantarillado, constituye un factor más para agravar la inestabilidad del sector, debido a que puede provocar saturación de humedad de los suelos.

Por tratarse de una zona inestable, los vecinos del sector deberían hacer el mantenimiento y revisión de su alcantarillado al interior de las viviendas, mínimamente cada 6 meses para evitar infiltraciones y provocar más desajustes.

Por otro lado la Subalcaldía Sur y la empresa privada EPSAS, deberían hacer una evaluación general del sistema de alcantarillado de todas las calles del área de estudio.

### **3.3. DRENAJE DE AGUAS SUPERFICIALES**

Las aguas superficiales deben ser bien conducidas, para no coadyuvar a la infiltración y no provocar mayor saturación de los suelos. Se ha observado obstrucción de sumideros en la zona de estudio. Como se observa en la Figura 3.27.

Es importante que los terrenos baldíos, del área de estudio conduzcan de manera adecuada

el agua de lluvia, porque si no afecta a los predios colindantes, provocando un escurrimiento y posterior infiltración, manifestándose en humedecimiento de las paredes de predios que se encuentran al lado de los terrenos baldíos.

Otro problema con las aguas superficiales, es la erosión de materiales poco resistentes como es el caso de las arcillas de la zona de estudio, que son fácilmente erosionables, provocando cárcavas profundas que son características de las zonas deslizadas, que están localizadas al Norte del área de estudio.

El drenaje superficial de la zona, es manejado mediante un sistema de tubos que se encuentran conectados al sistema de red de alcantarillado, en las calles del área de estudio se observa las cunetas debidamente construidas con canales que conducen de manera adecuada el agua superficial. Como se observa en la Figura 3.27.



*Figura 3.27. Cunetas del área de estudio*



*Figura 3.28. Sumideros obstruidos, del área de estudio*

### **3.4. OBRAS DE ESTABILIZACION IMPLEMENTADAS POR EL G.A.M.L.P.**

La empresa Argos en el año 2009, realizó un Estudio Geotécnico, de estabilidad, evaluación socioeconómica, evaluación de Impacto Ambiental y Estudio Topográfico, con el objetivo de implementar obras de estabilización para controlar los desajustes geodinámico y controlar el agua subterránea, por esta razón se planteó 4 alternativas que son descritas líneas abajo.

Cabe recalcar que el G.A.M.L.P., optó por la alternativa 2 que se trata de Muro pantalla de hormigón armado, esta obra se encuentra e 3 tramos:

- 1er. Tramo: Calle 1
- 2do. Tramo: Los Molles
- 3er. Tramo: Calle 34

#### **3.4.1. ALTERNATIVA 1: MUROS DE CONTENCIÓN DE HORMIGÓN CICLÓPEO. (NO SE IMPLEMENTÓ)**

Dada la posibilidad de utilizar espacio para el desarrollo de un muro ancho como suelen ser los muros de hormigón ciclópeo, esta opción es adecuada.

La primera alternativa propuesta consiste en la implementación de un sistema de contención en base a muro de hormigón ciclópeo con sistema de drenaje. También se ha establecido que el costo de implementación de esta alternativa es alta por el costo adicional de tener que fundar

más de 2 metros de profundidad sobre el río Jillusaya.

Según la empresa Argos 2009, una solución de este tipo evita la implementación de un sistema de drenaje basado en geotextiles puesto que con una adecuada ejecución de barbacanas, se evita la presión hidrostática en el trasdós del muro de contención.

### **3.4.2. ALTERNATIVA 2: MURO TIPO PANTALLA DE HORMIGÓN ARMADO.**

La solución se realiza mediante una zapata de 30 cm. de espesor por 3 mts. de ancho y una pantalla de 5 mts de altura. Con este tipo de solución, se pueden encontrar variantes como ser losas de estabilización en el intrados del muro así como contrafuertes los cuales pueden ser planteados ya sea en el intrados del muro o en el trasdós de este.

Esta alternativa fue la que se implementó como obra de estabilización, en el área las Carmelitas Cota Cota La Paz, pilotes de 1 metro de diámetro y 12 metros de profundidad con una pantalla de 4 m. completamente enterrados, con un costo aproximado de 3. 884. 913.36 Bs.

Se ha corroborado en el campo, que esta obra no ha sido una solución a los desajustes de la zona, esta obra implementada no capta toda el agua subterránea coadyuvando a los nuevos desajustes que se tiene en el área.

Para la implementación de pilotes con muro pantalla el G.A.M.L.P. perforó una serie de calicatas donde se muestra los resultados en ANEXO 12.



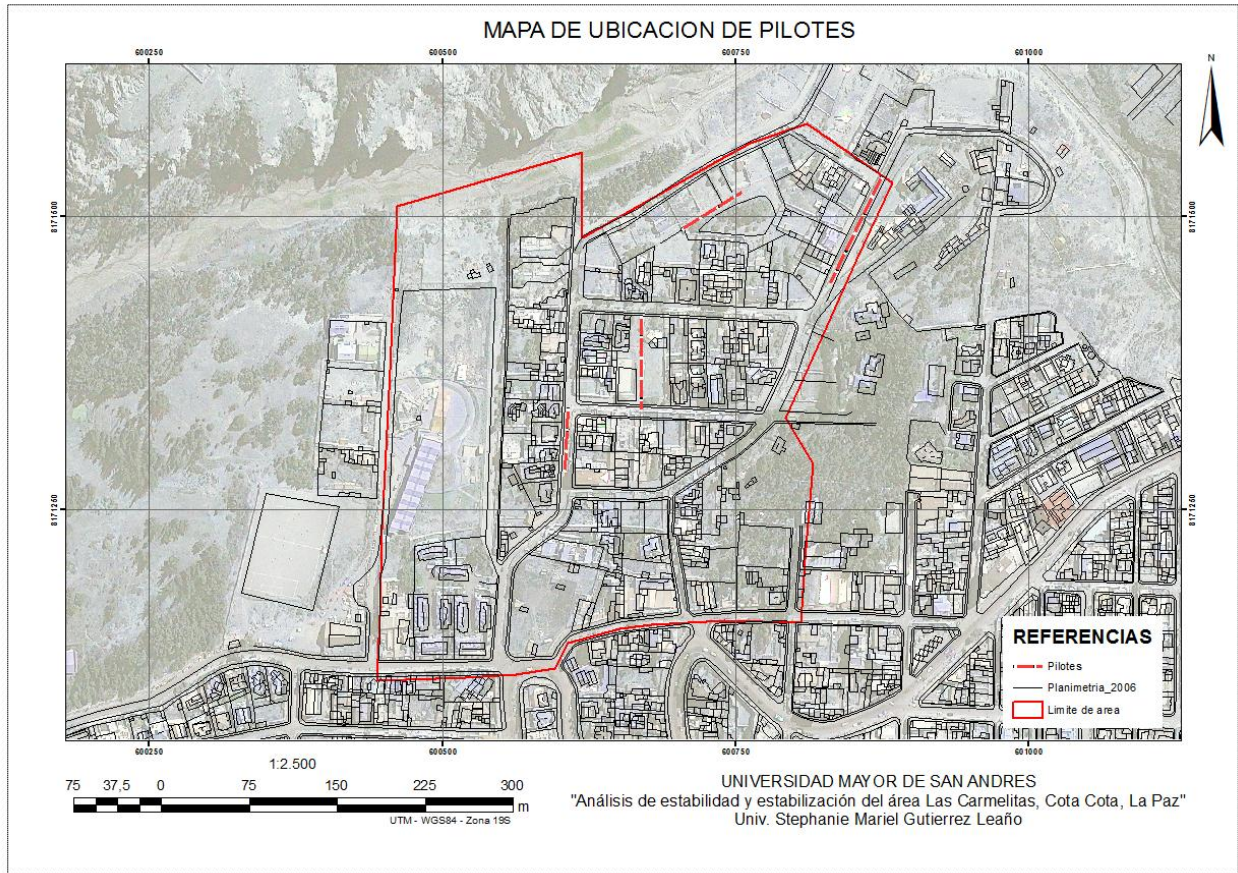


Figura 3.29. Plano de ubicación de pilotes

### 3.4.3. ALTERNATIVA 3: MUROS DE GAVIONES. (NO SE IMPLEMENTÓ)

Al igual que la opción 1 se tiene todo el espacio necesario para desarrollar un muro de este tipo. Las ventajas económicas son grandes respecto a las anteriores opciones por los materiales utilizados y la facilidad de su ejecución.

Esta alternativa analizada promueve la ejecución de una obra de contención consistente en un muro de contención de gaviones combinado con un sistema de protección de la base con colchonetas que se extienden hacia el actual lecho de río. (Argos 2009)

### 3.4.4. ALTERNATIVA 4: MURO DE GAVIONES CON TIERRA ARMADA. (NO SE IMPLEMENTÓ)

La solución con tierra armada. Se tiene una mejor cuña pasiva para impedir el paulatino movimiento del terreno. La combinación de la tierra armada viene en dos niveles: Sistema de

tierra armada con gaviones de un metro de ancho y sistema de tierra armada verde. (Aclarado líneas abajo)

El primer nivel está compuesto por gaviones de 1 metro de ancho con una prolongación de la malla de 3 metros hacia el terreno. Además, para mejorar las condiciones de estabilidad del sistema, se adicionan 3 metros de malla geotextil. La altura total es de 5 metros.

En niveles superiores y a 6 metros del borde de los gaviones, se propone la implementación de una "tierra armada verde" el cual, combinado con una reforestación de los taludes inestables promueve una integración adecuada con el entorno. Se aprovecha el nivel de biodegradamiento de este material. Las bondades de elemento de contención de la tierra armada son reemplazadas en el tiempo con el enraizado de vegetación a ser plantada, preferentemente, cactus, retamas o cualquier otra especie que necesite poco riego y con raíces profundas.

Las ventajas de la tierra armada son:

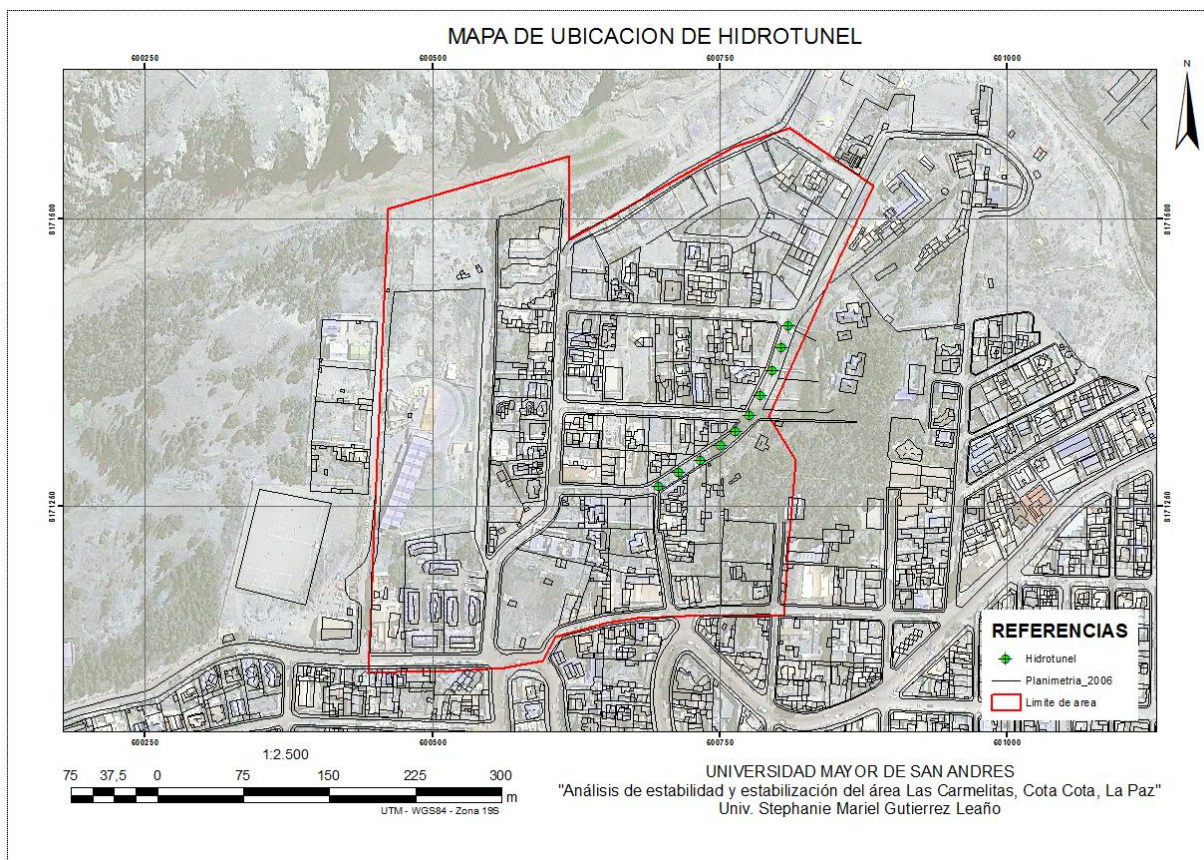
- Adaptabilidad a topografías difíciles, espacios restringidos, laderas etc.
- Rapidez de ejecución
- Economía
- Durabilidad
- Flexibilidad
- Comportamiento ante acciones dinámicas y sismo.

#### **3.4.5. NUEVA ALTERNATIVA CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA.**

Una nueva alternativa de solución, es la de captar toda el agua subterránea mediante la construcción de hidrotuneles con pozos austriacos (pozos con perforaciones internas para el escurrimiento de agua subterránea).

La obra propuesta es un hidrotunel, que sería capaz de captar el agua subterránea, que es el mayor problema para la reactivación del deslizamiento.

Para evitar futuros roturas en el sistema de alcantarillado, debería hacerse un sistema de alcantarillado expuesto para así impedir la infiltración a la litología que es susceptible a desajustes, el principal problema de este sector es el agua subterránea y desajustes del sistema de alcantarillado, que desencadenan en un flujo que erosiona y desajusta el sector.





## **CAPÍTULO IV**

# **CONSIDERACIONES GEOLÓGICAS**

#### **4. GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO**

En el área de estudio se han encontrado las siguientes unidades geológicas:

- Formación La Paz
- Torrente de barro
- Llanura aluvial
- Cuaternario deslizamiento antiguo
- Cuaternario deslizamiento reciente

Las mismas que se encuentran representados en el mapa geológico Anexo 1.

##### **4.1. LITOLOGIA**

###### **4.1.1. FORMACIÓN LA PAZ**

Depósitos de esta formación abundan en la cuenca y se encuentran ampliamente distribuidos en el valle, con una mejor exposición en el flanco Occidental; observándose en la zona afloramientos de esta unidad litológica se manifiesta claramente en el extremo Noreste del área de estudio, en el pie del talud Oriental del río Jillusaya y por la avenida Muñoz Reyes y av. del Escultor.

Estos sedimentos se caracterizan por conformar un conjunto de arcillas y lentes delgados de gravas arenosas correspondientes a los horizontes superiores de la formación, como se observa en la Figura 4.1. estableciendo el basamento lito estratigráfico de la zona, el ambiente de deposición es continental – fluvial. (Corrales, 1973)



*Figura 4.1. Intercalacion de arcillas y arenas gravosas de la Formacion La Paz.*

Los estratos están en posición sub horizontal, infrayaciendo a los materiales del Torrente de barro de Cota Cota.

#### **4.1. LA EROSIÓN EN LA FORMACION LAPAZ**

El poder erosivo de las lluvias se origina por el impacto de la gota de agua que cae sobre la superficie del suelo y la escorrentía difusa del agua sobre el suelo. El impacto de agua sobre la roca es responsable del desprendimiento de las partículas que posteriormente se transportan debido a la escorrentía del agua (Ellison, 1944). Estudios realizados por varios autores nos enseñan que la erosividad se relaciona directamente con la energía cinética de la lluvia. Sin embargo, existen lluvias suaves que no tienen poder erosivo.

La introducción de un valor límite de la erosividad es de suma importancia para explicar la gran diferencia en la ocurrencia de erosión del suelo entre climas templados y climas semiáridos y tropicales. (Ellison, 1944)

Las diferentes rocas reaccionan de maneras diferentes sobre los procesos de erosión. Ciertas rocas poseen una resistencia más grande contra la erosión que otras, lo que resultará a lo

largo del tiempo que las rocas más resistentes serán menos erodadas que aquellas que no tienen la misma resistencia. Expresado esto en formas de relieve implica que las rocas más resistentes tendrán un relieve más alto o más abrupto, mientras que las rocas más blandas tendrán un relieve más suave y a menudo más bajo. (Ellison, 1944)

En el área de estudio se observan materiales gravosos, niveles arenosos y niveles arcillosos de la formación La Paz, donde las arcillas erodan mas rápido por que son de menos resistencia ante el agua, en cambio las arenas y gravas erodan presentan mayor resistencia a la erosión.

#### **4.1.1. TORRENTE DE BARRO COTA COTA.**

En la zona de estudio se ha observado el torrente de barro denominado "torrente de barro Cota Cota" y además antiguos deslizamientos.

El torrente de barro de Cota Cota cubre una extensión de 5 Km. aproximadamente desde la calle 60 de Chasquipampa hasta la calle 22 de Calacoto. Fue erosionado por la actividad de los Rios Jillusaya y Huañajahuira.

Esta unidad presente, con una profundidad de 15 – 18 m. aproximadamente, está conformada por gravas, arenas, limos y arcillas, estos materiales son provenientes de la Formación La Paz y depósitos aluviales antiguos principalmente que suprayacen a las arcillas de la Formación La Paz (Drobovolny, 1963).

Los afloramientos del Torrente de barro Cota Cota, su ubicación y profundidad de 20 m. que aflora en la calle S/N, cerca de la calle 4 del área de estudio como se observa en el mapa geológico Anexo 1, tienen mucha importancia desde el punto de vista geotécnico; puesto que define el comportamiento dinámico que se manifiesta en el área, en razón a que el contacto con la unidad suprayacente, correspondería al plano del deslizamiento (Argos, 2008).

En el área de estudio el torrente de barro de Cota Cota esta caracterizada por limo, arcilla y arena de color pardo claro a grisáceo.

Según la BRGM, 1977 reconoce los siguientes parámetros para Torrente de barro Cota Cota:

Tabla 4.1. Parámetros según BRGM.

<b>Parámetros según la BRGM para Torrente de barro Cota Cota</b>	
Clasificación	Sobre todo CL, también ML, a veces CM.
Granulometría	Menos de 20 % $\geq 2$ mm, más de 50 % $\leq 80$ $\mu$ , 5-45 % $\leq 2\mu$ .
Plasticidad de alta a media.	IP= 10 – 25, WL= 25 – 45, WP= 15 -20

CL= Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad.

CM= Arcillas con contenido de limos.

ML= Limos inorgánicos, polvo de roca.

IP, WL, WP= Índice de plasticidad y límites de Atterberg (liquidez, plasticidad)

El comportamiento del torrente de barro con respecto al agua:

- Erosión subterránea localmente intensa (pseudo Karts)
- Las propiedades geomecánicas son no aptas para la construcción civil.
- La presencia de agua conlleva a una saturación y presión hidrostática alta, las cuales conducen a hundimientos y asentamientos, flujos, deslizamientos lentos y continuos o a veces rápidos
- Permeabilidad muy heterogénea, generalmente baja un 20 % en sectores extendidos, circulaciones importantes de agua a través de los huecos y túneles de erosión subterránea, o bien por los bloques gravosos deslizados, aún por los aluvios antiguos cubiertos por los terrenos del "torrente de barro". (BRGM, 1977).

Todos estos parámetros nombrados por la BRGM, característicos de los depósitos de Torrente de barro, han sido corroborados en el área de estudio.

El torrente de barro característico del lugar de estudio, se caracterizan por arcilla, limo, arena

y grava depositada por corrientes saciadas de escombros y con una perturbada composición. El torrente se encuentra suprayacente a la Formación La Paz, son flujos de barro que se desplazan de 5 – 7 Km. aproximadamente, cubriendo grandes extensiones y originando la morfología actual que se observa en el área de estudio. Con un espesor de 15 m. aproximadamente, y extensión en toda el área de estudio por encima de la Formación La Paz y cubiertos por deslizamientos recientes.

El torrente de barro Cota Cota, en el área de estudio esta afectado por deslizamientos antiguos y deslizamientos recientes varios de los cuales se encuentran activos.

#### **4.1.2. DEPOSITOS DE DESLIZAMIENTOS**

Sobre el torrente de barro de Cota Cota en el área de estudio se ha identificado los siguientes deslizamientos.

El deslizamiento principal denominado (Cuaternario deslizamiento antiguo) de edad Holocena, compuesto principalmente de una mezcla de gravas arenas y gran porcentaje de arcillas, se encuentra en la parte central del mapa geológico, fue sometida a varias fases de deslizamiento producto de las reactivaciones secuenciales, diferenciadas en función al tiempo y afecta a la unidad geológica Torrente de barro Cota Cota y a la Formación La paz.

En sus depósitos uno de los problemas constantes es la erosión superficial que causa:

- Carcavas
- Espacios vacíos
- Erosión interna
- Saturación

Otro problema es que se caracteriza por sus aptitudes no aptas para la construcción de estructuras por efecto de la saturación de aguas. Con un espesor aproximado de 20m.

Estos deslizamientos antiguos y recientes de edad Holocena se originaron gracias a los movimientos en masa generados por la saturación total de los afloramientos que se desarrollan en las partes altas de la región, que colaborados por la gravedad y sobre una pendiente variable se desplazaron unos cuantos kilómetros y originando la morfología actual que se observa en el área objeto de estudio.

Este material de deslizamiento es una mezcla de materiales de diverso origen y naturaleza en planicies onduladas e inclinadas – generalmente predominancia de material fino, pero se pueden observar depósitos de gravas. Se pueden encontrar bloques deslizados con su estratificación original intacta y terrenos sujetos a la erosión subterránea (BRGM, 1977).

Estos depósitos de remoción en masa se produjeron a consecuencia del desajuste de los materiales ocasionados por los taludes de pendiente fuerte y la erosión del pie de talud, la poca consistencia de los materiales, la actividad antrópica y la presencia de aguas subterráneas, han ocasionado el deslizamiento de materiales hacia las partes bajas a través de planos de rotura y escarpes de deslizamientos. Las áreas deslizadas se encuentran principalmente constituidas por mezclas caóticas de gravas, arenas, limos y arcillas.

Por otra parte tenemos los deslizamientos recientes que afecta a la unidad formacional Torrente de barro y a la Formación La Paz estos presentan dimensiones pequeñas.

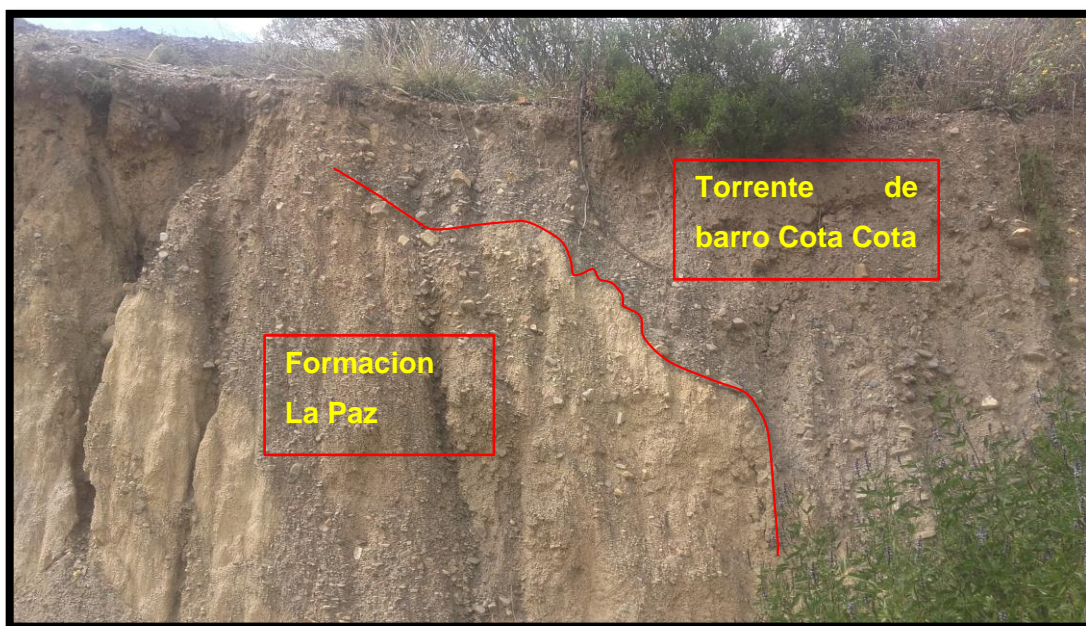
#### **4.1.3. DEPÓSITOS ALUVIALES**

Compuesto por gravas, arenas y ocasionalmente arcillas. Se presentan en el Río Jillusaya de 8 a 10 m. de profundidad en algunos sectores forman pequeñas terrazas.

#### **4.2. GEOMORFOLOGIA**

La zona de Cota Cota se caracteriza por presentar un relieve ondulado y pendientes suaves a moderadas con una inclinación preferencial al Sudoeste y Noroeste. Estas pendientes son bruscamente interrumpidas que forman los Valles de los ríos Huañajahura y Jillusaya.

En las paredes del valle del río Jillusaya y en otros sectores como en la calle 38, se observa el contacto entre la Formación La Paz y el torrente de barro de Cota Cota, el contacto es ligeramente ondulado y bien marcado.



*Figura 4.2. Contacto entre Formacion La Paz y Torrente de barro Cota Cota.*

Los procesos de erosión y deposición desarrollados por el sistema de drenaje que descende del Valle de las Ánimas, han alterado la superficie original creando en este sector taludes empinados y valles encajonados.

En el área de estudio se han identificado las siguientes geoformas:

- Ladera fuertemente disectada de pendiente fuerte
- Ladera inclinada de pendiente moderada
- Ladera medianamente disectada de pendiente fuerte
- Deslizamiento reconformado
- Meseta plana
- Llanura aluvial
- Deposito coluvial
- Deslizamiento
- Relleno organico e inorgánico
- Terraza aluvial
- Torrente de barro
- Relleno modificado antropicamente



Como primer evento se han formado las laderas fuertemente disectadas de pendiente fuerte que han sido afectadas por el cauce del Río Jillusaya, dejando como consecuencia el Cuaternario aluvial y posteriormente las terrazas aladañas al río, y producto de la erosión tenemos la ladera medianamente disectada de pendiente fuerte estos depósitos de laderas corresponden a depósitos de la Formación La Paz.

Posteriormente se depositó el torrente de barro que tiene una pendiente media, sobre este depósito y la ladera inclinada de pendiente media tenemos los deslizamientos y deslizamientos reconfigurados mayormente compuestos de arcilla.

Por último tenemos los depósitos coluviales que se encuentran en pendientes abruptas, y aladaño al río Jillusaya tenemos Depósitos de relleno y relleno antrópico.

#### **4.2.2. LOS FACTORES DE EROSIÓN DEL SUELO**

En la erosión del suelo existe una interacción de dos factores la lluvia y el suelo. Se sabe que una lluvia es capaz de provocar una erosión mucho más fuerte que otras lluvias de poca intensidad, mientras al otro lado la misma lluvia puede tener efectos muy diferentes sobre los tipos de suelo. Por lo tanto si queremos estudiar la erosión del suelo hacemos bien de separar estos dos factores. El factor que se relaciona con la lluvia se denomina erosividad (capacidad de una lluvia para producir erosión del material superficial de los terrenos) mientras que el factor relacionado con el suelo se denomina erodabilidad. Los podemos definir de la siguiente forma:

La erodabilidad es la susceptibilidad del suelo a la erosión. La erodabilidad es función de las características del suelo y uso potencial, manejo de la cuenca de drenaje y características topográficas del relieve.

En el área de estudio los rasgos de este tipo de erosión (erosividad) son poco predominantes afectan al Norte del área que se encuentra poco protegido por edificaciones y relieve del terreno.

Otro factor importante en el área es la erosión por el agua, estos sectores deslizados son vulnerables a ser erosionados. El tipo de suelo más erodable son los que contienen mayor contenido de arcillas.

La erosión de suelos se subdivide en:

- Erosión laminar
- Erosión en surcos
- Erosión en cárcavas

La erosión laminar es la remoción similar del suelo, sin que se formen claramente canales por los cuales la erosión ha afectado estos sectores, toda el área de estudio manifiesta lugares de erosión laminar que desemboca posteriormente en el desarrollo de relieves con una profundidad de 4 m. aproximadamente y posteriormente terminan en cárcavas.

La remoción en surcos se desarrolla a partir de la erosión laminar y la formación de surcos ocurre en una cantidad muy grande de pequeños canales donde se concentra la escorrentía.

La erosión en cárcavas es la remoción de grandes cantidades de materiales en cauces, ya definidos y profundamente erosionados aproximadamente 5 m. de profundidad. Esta erosión se observa claramente en los taludes del Río Jillusaya.

La zona de cárcavas más notable se encuentra entre las calles 34 B y 35 B, en el margen derecho del Río Jillusaya estas cárcavas se desarrollan en materiales de la Formación La Paz.

Otro tipo de erosión es la provocada por viento que actúa llevándose las partículas limosas y arcillosas forma tempestades de polvo y el material que queda es demasiado grueso para ser aprovechado por las plantas.

#### **4.3. DISEÑO DE DRENAJE**

De manera regional la región conocida como Zona sur de la ciudad de La Paz presenta un diseño de drenaje dendrítico con los ríos Irpavi, Jillusaya, Trancajahuira y Chacopaya que confluyen en las cercanías del río Irpavi para conformar luego una parte del río Choqueyapu.

En la zona de Cota Cota se observa un diseño de drenaje dendrítico donde los ríos Jillusaya y Chacopaya limitan la zona de estudio, muchas quebradas y valles confluyen en estos ríos en un diseño también del tipo dendrítico.

La zona de cota cota presenta un diseño de drenaje dendrítico con una orientación preferencial de los ríos hacia el Sur oeste, frente a los taludes de las serranía de Achumani se tiene cambios de pendiente donde se observa el desarrollo de diseño de drenaje en abanico existen algunas anomalías en el drenaje, Figura 4.3. donde se encuentra un segmento, de ríos que indican

fracturas y lineamientos.

El Rio Jillusaya desde su inicio en su trayecto hacia el oeste muestra un cambio abrupto en un angulo aparente de  $90^{\circ}$  que fue suavizado por el curso del rio.

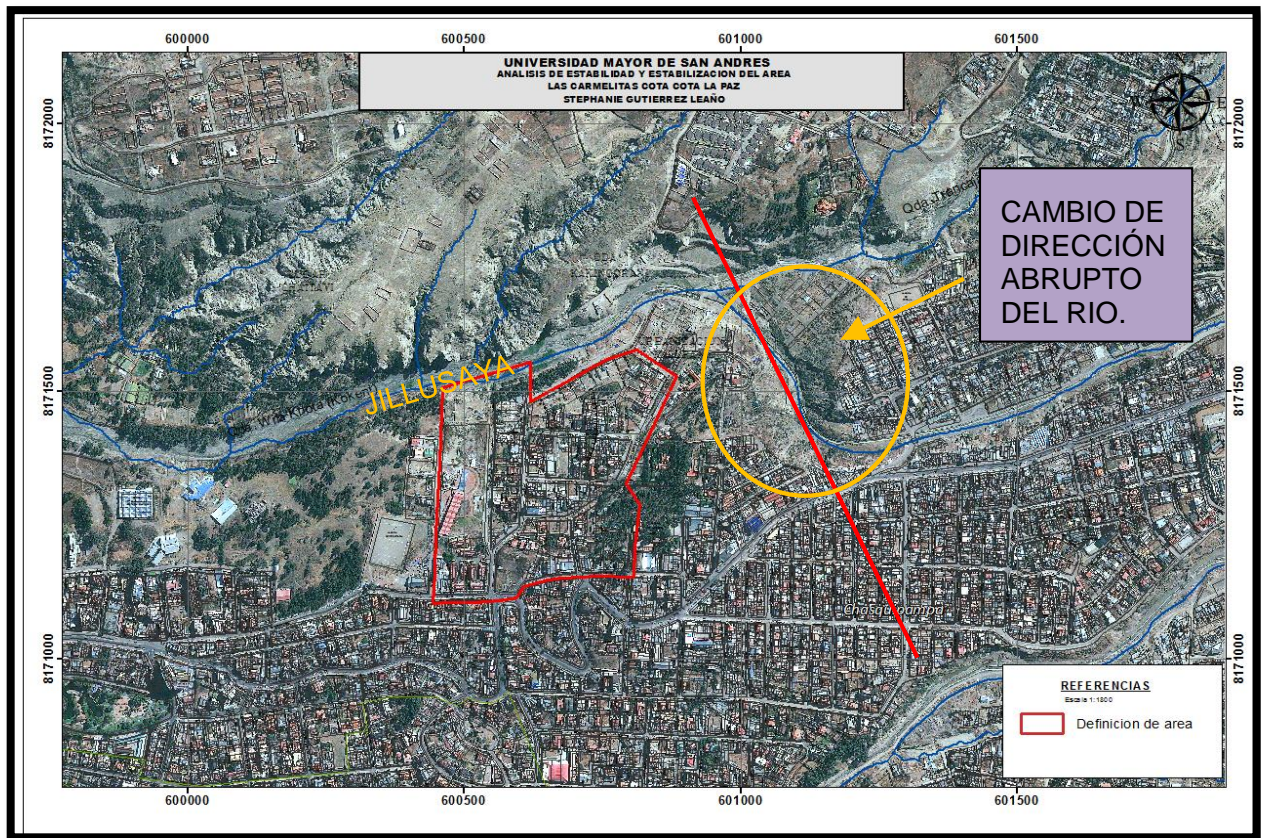


Figura 4.3. Imagen que ilustra lineamiento regional

En la zona de estudio el rio Jillusaya es el rio principal a el desembocan otros rios de pequeña dimension formando un diseño de drenaje dendrítico, Figura 4.3. muy localmente en la zona de donde se localiza el diseño en abanico, los rios que confluyen al rio Jillusaya muestran un marcado paralelismo, quizá marcando fracturas o diaclasas en la Formacion La Paz.

Se ha observado los siguientes drenajes:

- Dendrítico
- Anomalías



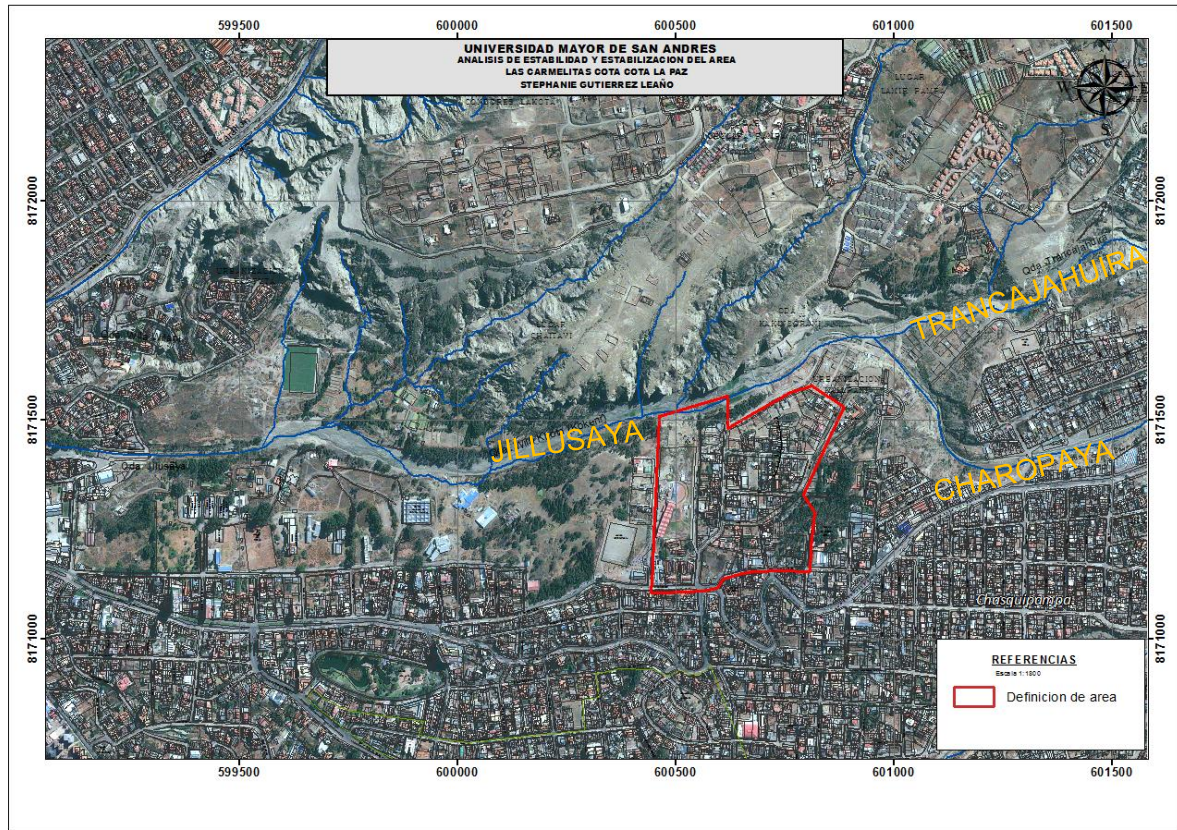


Figura 4.4. Ilustración Diseño de drenaje dendrítico que se observa en medio de la imagen.

#### 4.4. DISEÑO DE DRENAJE DENDRÍTICO

Tiene una orientación definida (Noreste), y las ramas que constituyen la red, guardan una preferencia, abundando las curvas suaves, desarrollándose en zonas de pendientes suaves. Es característico sobre materiales uniformes de granulometría fina, tales como areniscas. (Guerra, 1961)

#### 4.5. ANOMALÍAS DE DRENAJE

Regionalmente se observan las formas rectangulares que se desarrollan en zonas donde el control es debido a que el subsuelo presenta una red de diaclasas. Los trazados de drenaje están fuertemente controlados, con recodos abruptos. (Guerra, 1961)

Se observa un alineamiento del segmento del Río Jillusaya, un cambio brusco en la dirección del río. (Noreste del mapa).



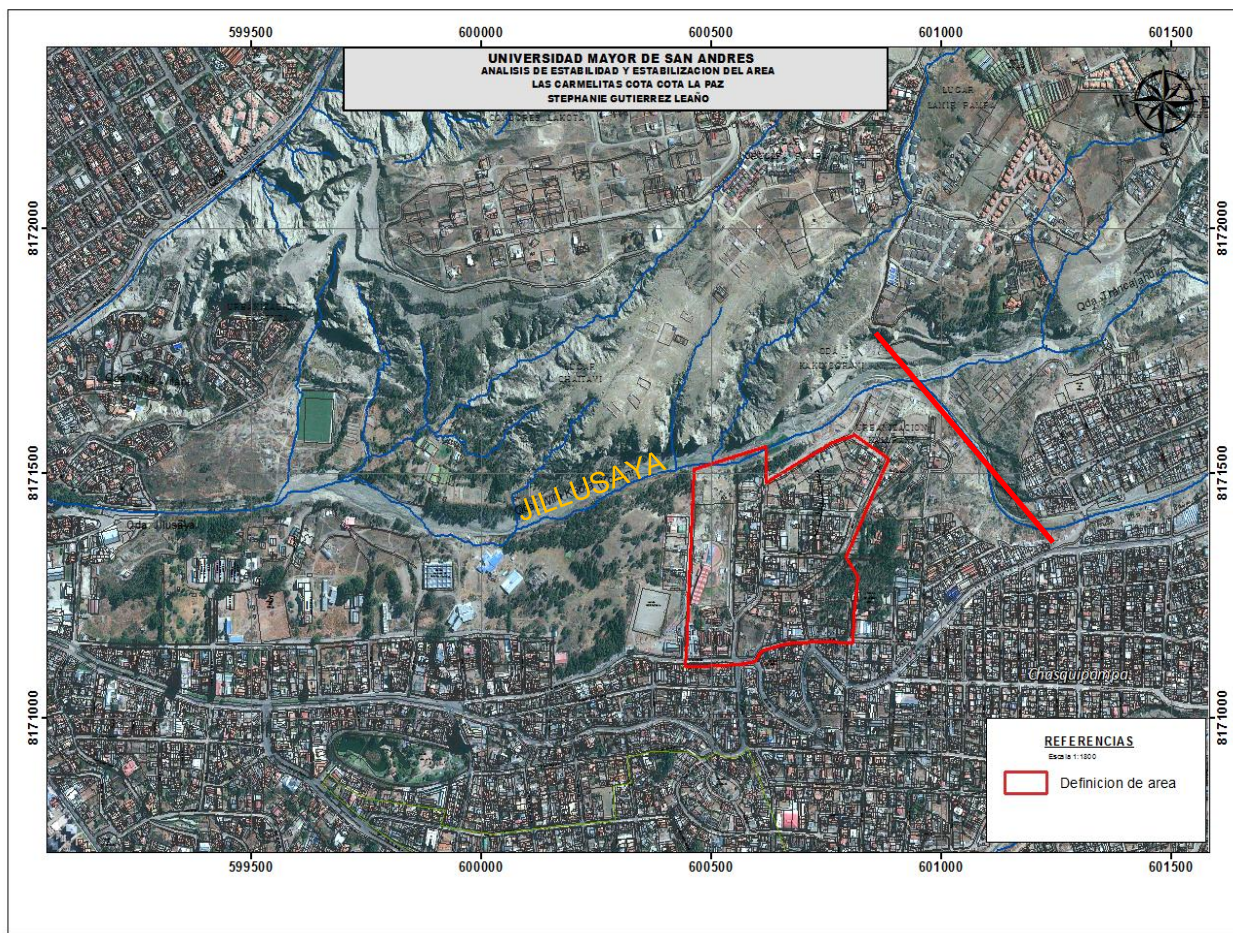


Figura 4.5. Lineamiento desde la angularidad del Rio Jillusaya.

## CAPITULO V

# CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

## 5. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

La caracterización de suelos se logró mediante la construcción de una serie de mapas geológico, drenaje, grietas, amenazas y perfiles geológicos a continuación se describe cada uno de ellos:

### 5.1. MAPEO GEOLOGICO

La geología del área ha originado laderas relativamente suaves con zonas semiplanas en el fondo del valle. Los procesos de erosión y deposición desarrollados por los ríos que descienden del Valle de las Ánimas han alterado la superficie original creando en este sector taludes empinados, valles encajonados. Como se observa en el Anexo 1.

Como se ha visto en párrafos anteriores el torrente de barro ocupa grandes extensiones, afectando la Formación La Paz, sobre el Torrente de Barro Cota Cota se han desarrollado numerosos deslizamientos. Como se observa en el Anexo 1.

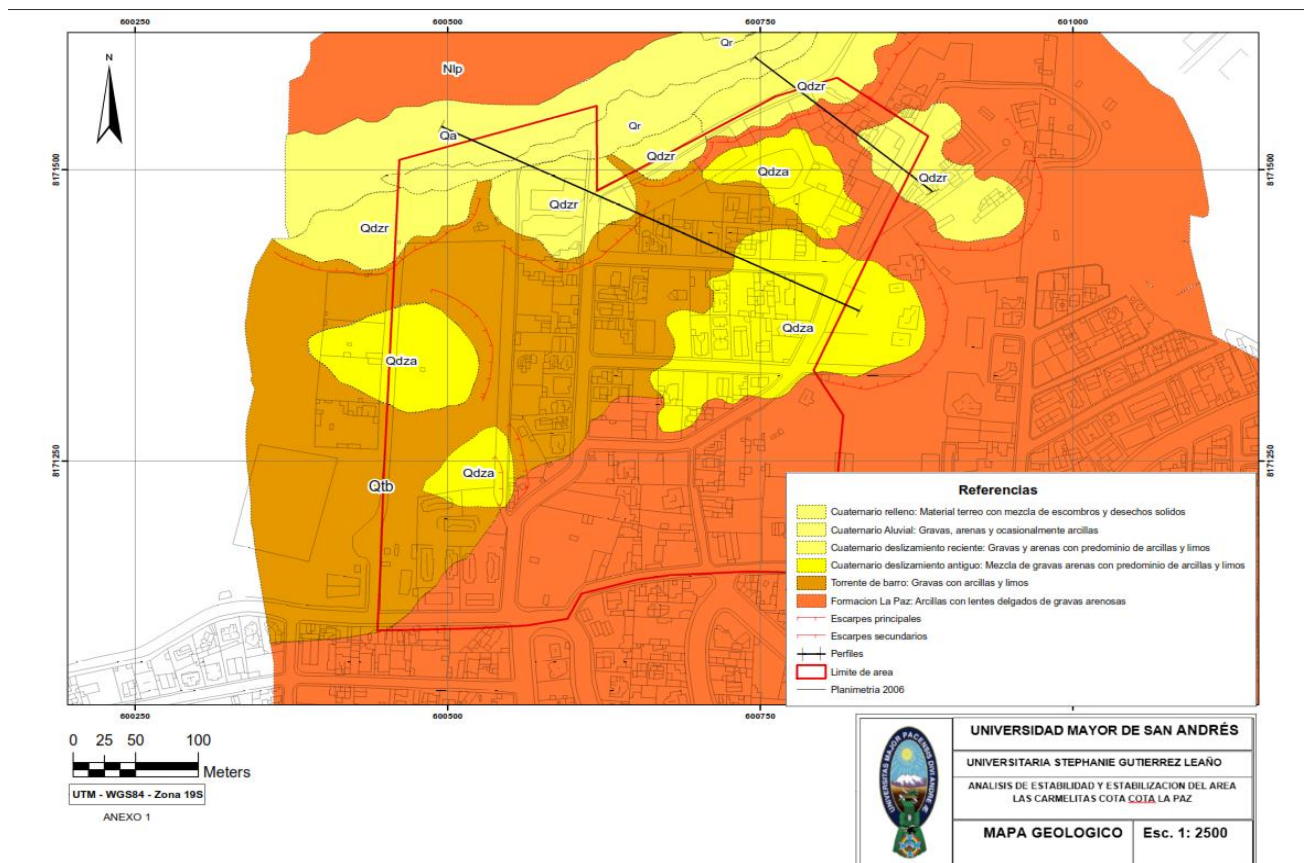


Figura 5.1. Plano geológico del área de estudio.

## **5.2. PERFILES GEOLÓGICOS**

De la información de los perfiles A - A', B - B' se ha extraído que las fracturas y planos de movimiento afectan a la Formación La Paz y Torrente de Barro de esta manera el perfil A - A' muestra una zona activa con muchas fracturas casi verticales e inclinadas hacia el Norte, la Formación La Paz presenta bloques movidos con buzamiento ligeramente inclinados al Sur, que indican movimientos rotacionales en la cabecera de los deslizamientos.

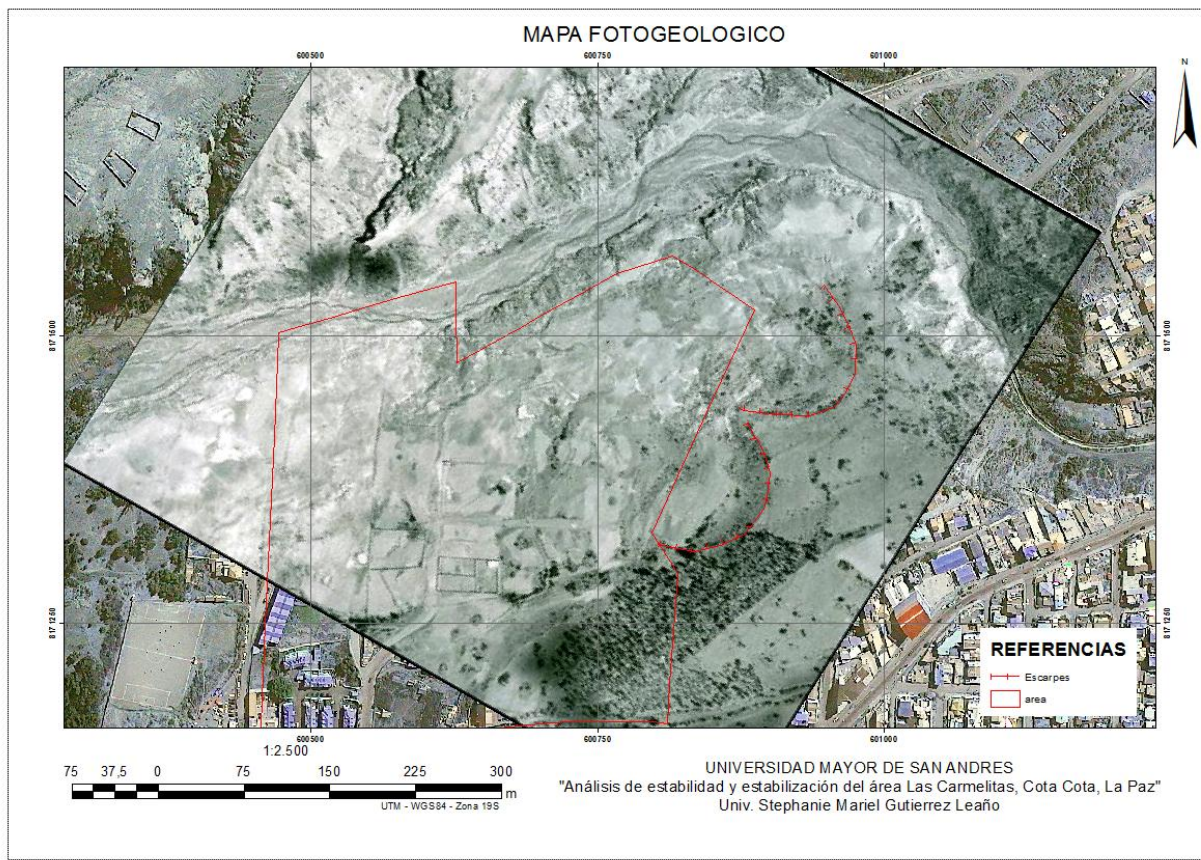
## **5.3. MAPA FOTOGEOLÓGICO**

Inicialmente el análisis analógico con base de un estereoscopio de espejos permite la demarcación de las principales unidades geológicas que se encuentran desarrolladas en el área, generalmente de forma paralela los datos tanto de la interpretación como la toma de información en campo es procesada en gabinete y utilizando software adecuados como el AutoCad, ArcGis y otros facilitan la interpretación y vectorización de los datos.

Diferenciando las características de textura, tono, formas de relieve, el drenaje es visualizado en la fotografía de (1956), la formación de relieves topográficos que marcan los límites de los antiguos escarpes por movimientos en masa.

Existen escarpes bien marcados sobre la calle 2, calle 1, del área Las Carmelitas, así mismo es advertible el lecho del río Jillusaya sin ninguna intervención de obra hidráulica.





*Figura 5.2. Imagen aérea 1956 donde se observa los escarpes principales.*

La principal morfología regional tiene como su origen en las partes altas de la zona de Ovejuyo donde se inicia los avances del movimiento de la masa que ingresa por la calle 35 hacia la parte de Cota Cota, regionalmente en dos direcciones el primero con preferencia al río Jillusaya y el segundo hacia el río Huayñajahuira, conforme esta situación se ha desarrollado en ambos márgenes donde se producen nuevos eventos geodinámicos como deslizamientos de gran magnitud obedeciendo la misma dirección preferencial.

Aparte de los escarpes bien marcados de la Calle 1 y 2, se ha advertido que existen escarpes secundarios acompañados de deslizamientos de pequeña magnitud, que han sido provocados por la erosión natural del río Jillusaya.

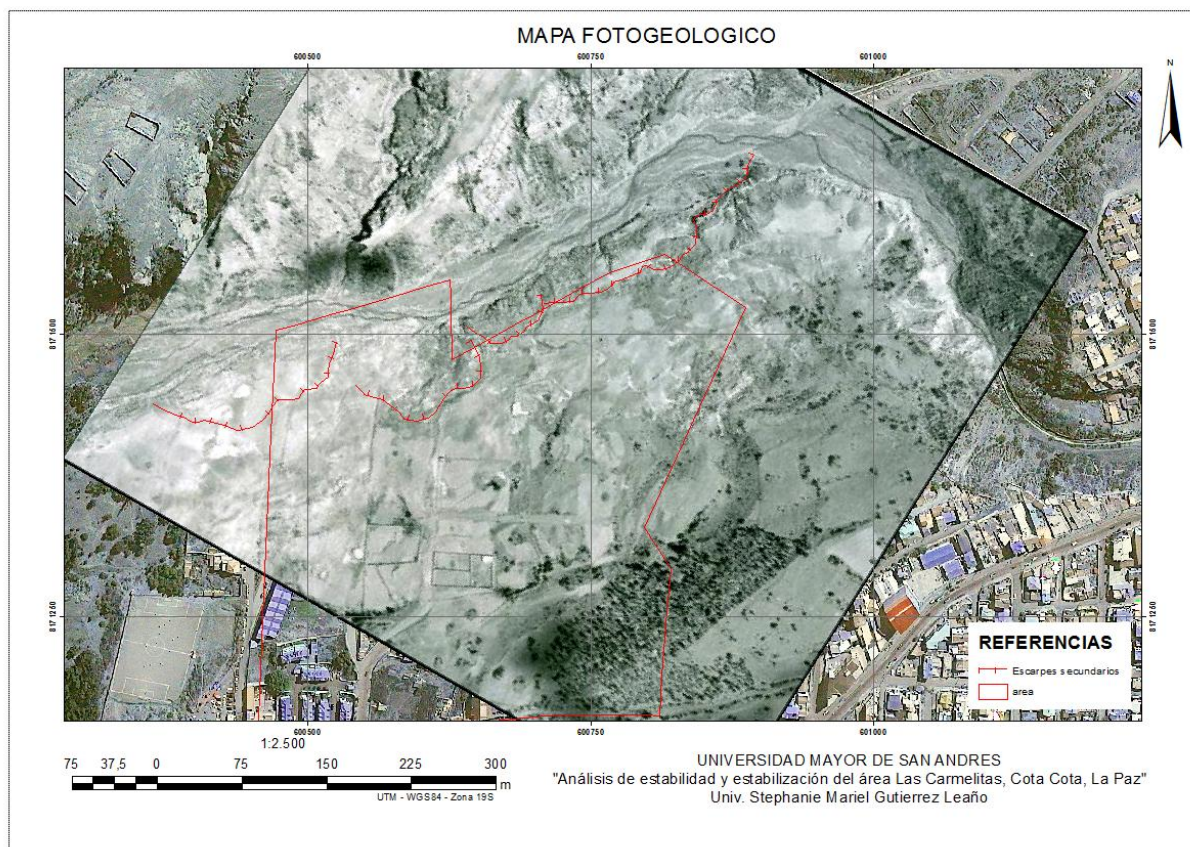


Figura 5.3. Escarpes secundarios aledaños al Río Jillusaya.

Fuera del área de estudio cruzando el Río Jillusaya, que viene a ser el sector Porvenir y Las Kantutas, se observa estratificación horizontal e intercalación de materiales típicos de la Formación La Paz, con una textura mas rugosa y marcadas cárcavas.

#### 5.4. MAPEO DE GRIETAS

En general todas las casas e infraestructura del área están afectadas con fisuras en mayor o menor grado; en la imagen satelital se han marcado todas las grietas existentes en el sector, dando énfasis al sistema de grietas con marcada tendencia y que coincide con la línea de los escarpes de los deslizamientos, en razón a que constituyen los sectores potenciales de deslizamientos futuros. Las grietas mapeadas se aprecian en el mapa de grietas. Anexo No. 8.

El sistema de grietas se manifiesta desde incipientes hasta mayores a 15 cm; en algunos casos mostrando desplazamientos verticales, perceptibles por el cambio de la pendiente de las aceras, cordones, calles e incluso en la inclinación de los muros perimetrales de viviendas.

Las grietas que mantienen una tendencia que coincide con la línea de los escarpes de los deslizamientos que afectan el área, marcando un paralelismo concordante a la escarpa principal.

Existen grietas antiguas y nuevas, las grietas antiguas datan antes de que el G.A.M.L.P. implemente la obra de estabilización que es el sistema de pilotaje, cabe recalcar que las grietas nuevas y las antiguas con nuevos rechazos indican que el deslizamiento continúa activo, dichas grietas afectan a muros de viviendas, su distribución areal y la correlación de las mismas.

El sector de la calle 3, los molles, colindante con el Río Jillusaya muestra los sectores más críticos del área de estudio. Las grietas se manifiestan desde zonas casi sin movimiento hasta zonas deslizadas mostrando un área activa. Debido a la existencia de varios escarpes en este sector y la cercanía al río.

En general las grietas tienen el mismo sentido del deslizamiento, como se observa en el mapa de grietas anexo 8.

ANEXO 8.

## 5.5. MAPA DE AMENAZA DE DESLIZAMIENTO

El mapa de amenazas ha sido realizado tomando en cuenta 3 mapas que son: mapa de pendientes, mapa geológico y mapa geomorfológico.

Se ha determinado valores del 1 al 4, estos valores son descritos a continuación:

*Tabla 5.1. Descripción del significado de valores.*

Valor	Descripción de su significado
1	Amenaza baja, área no susceptible a deslizamiento.
2	Amenaza media, área no susceptible a deslizamiento.
3	Amenaza alta, susceptible a deslizamiento

4	Amenaza muy alta, susceptible a deslizamiento
---	---

En cuanto al mapa geológico y según las unidades geológicas que afloran en el área de estudio se ha designado valores del 1 al 4, según el grado de amenaza que implica cada unidad, estos valores son mostrados a continuación:

*Tabla 5.2. Valores de amenaza según la unidad formacional.*

<b>MAPA GEOLOGICO</b>	
<b>Valor de amenaza</b>	<b>Criterio</b>
1	Relleno
1	Aluvial
4	Deslizamiento reciente
4	Deslizamiento antiguo
3	Torrente de barro
2	Formacion La Paz

Para el mapa geomorfológico se ha determinado valores de amenaza según la geoforma existente en el área de estudio, tomando en cuenta las características geomorfológicas para cada sector. Tomando en cuenta las características geomorfológicas para cada sector, se ha determinado valores de amenaza según la geoforma existente en el área de estudio. Como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 5.3. Valores de amenaza, designados para el mapa geomorfológico.

MAPA GEOMORFOLOGICO	
VALOR DE AMENAZA	CRITERIO
1	Llanura aluvial
1	Torrente de barro
1	Terraza aluvial
1	Meseta plana
2	Relleno orgánico e inorgánico
2	Relleno modificado antropicamente
2	Ladera inclinada de pendiente moderada
2	Ladera fuertemente disectada de pendiente moderada
2	Depósito coluvial
2	Ladera inclinada de pendiente moderada
3	Ladera moderadamente disectada de pendiente fuerte
4	Deslizamiento reconfigurado
4	Deslizamiento

Para el mapa de pendientes también se asignó valores de amenaza según el grado de pendiente que presente cada sector.



MAPA DE PENDIENTES	
VALOR DE AMENAZAS	CRITERIO
1	0 - 10
1	10 - 20
2	20 - 30
2	30 - 40
3	40 - 50
3	50 - 60
4	60 - 70
4	70 - 80
4	80 - 90

De esta manera se observa amenazas muy altas en la zona cercana al rio Jillusaya esto donde existen deslizamientos recientes – activos, además de la zona colindante a la calle 1 donde se localiza el deslizamiento antiguo. Las amenazas moderadas se encuentran en las unidades correspondientes al torrente de barro y Formacion La Paz, lo cual es consistente con el trabajo debido a que no existe elevadas pendientes y la litología es más aceptable en términos geotécnicos.

La zona de amenazas bajas se localiza en los sectores de la calle 35, av. del escultor e ingreso a la calle 34 donde existe la presencia de grietas, la deformación del suelo y rajaduras en las viviendas es minima.

## **CAPÍTULO VI**

# **ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS**

## 6. ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS

Los materiales geológicos que conforman la zona de Cota Cota consisten mayormente en arcillas con gravas arenosas de torrente de barro y cuyo interior está conformado por una serie de paleocanales por los que las aguas subterráneas circulan siguiendo su pendiente.

Estas particularidades están en función de la porosidad y permeabilidad de los materiales, y por ende en la capacidad de éstos de poder almacenar y transmitir agua, siendo así que los materiales gruesos tendrán mayor permeabilidad que los de grano fino.

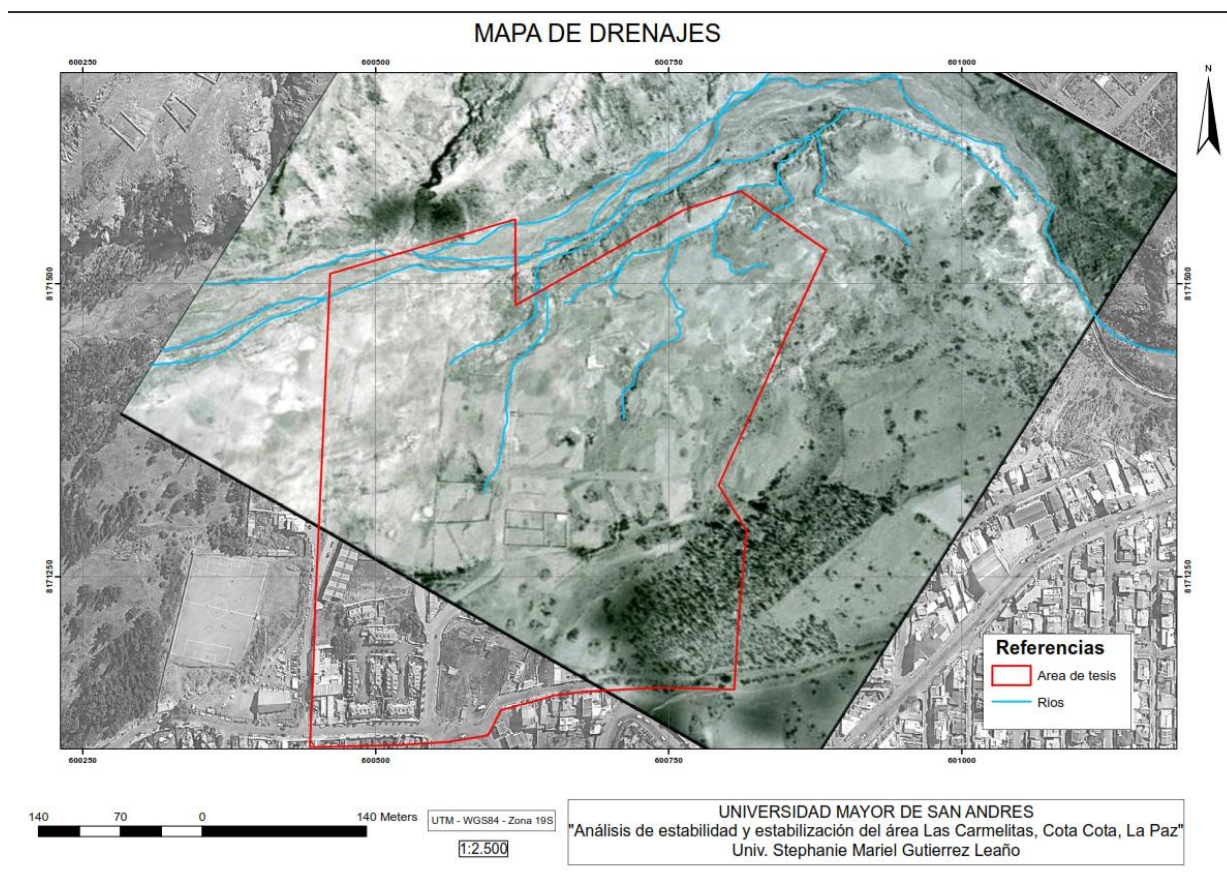
El drenaje correcto de estas aguas es muy importante debido a que son la principal causa de inestabilidad en la zona, produciendo modificaciones en los parámetros físico-mecánicos de los suelos que se manifiestan en asentamientos diferenciales además de estimular los procesos de reptación que es el avance lento pendiente abajo del suelo ocasionando deformación y fisuras en las edificaciones. Mapa de drenaje Anexo 9.

En época de lluvias al caer el agua en superficie, esta toma 3 caminos: una parte es retenida por las plantas para su aprovechamiento, otra se escurre por sobre la superficie buscando su máxima pendiente para circular como arroyada difusa y otra parte se infiltra en el subsuelo para fluir por el interior del terreno hasta nuevamente retornar a la superficie por una vertiente pero en una cota menor respecto a la que se infiltró.

Las aguas subterráneas que circulan el subsuelo en el área de estudio poseen una dirección preferencial de SE a NW.

No existe un material totalmente impermeable, las arcillas pese a tener un coeficiente de permeabilidad bastante bajo, el agua puede fluir a través de estas, aunque de manera sumamente lenta, es por este motivo que si bien las arcillas pueden estar saturadas de agua, la extracción es muy difícil.





*Figura 6.1. Mapa de drenaje.*

## 6.2. INTERPRETACIÓN HIDROGEOLÓGICA

Las aguas detectadas en subsuelo, mediante la excavación de los pozos a cielo abierto, vertientes manifestadas en varias viviendas del sector, así como los cursos de agua superficiales y lagunas que fueron tapadas paulatinamente con el crecimiento de la mancha urbana, y que fueron observadas en el análisis comparativo realizado mediante la interpretación fotogramétrica, son claros indicadores de la presencia de aguas subterráneas en la zona.

Aparentemente el Flujo de agua subterránea se dirige al Norte hacia el nivel de base representado por el Río Jillusaya.

El contacto entre los depósitos de remoción en masa (torrente barro, deslizamientos) y las arcillas de la Formación La Paz, identificados en el área de estudio, establece condiciones favorables para el almacenamiento y circulación de agua subterránea; los primeros actúan

como material drenante, y el basamento impermeable de la unidad infrayacente que define el nivel que dirección a el flujo.

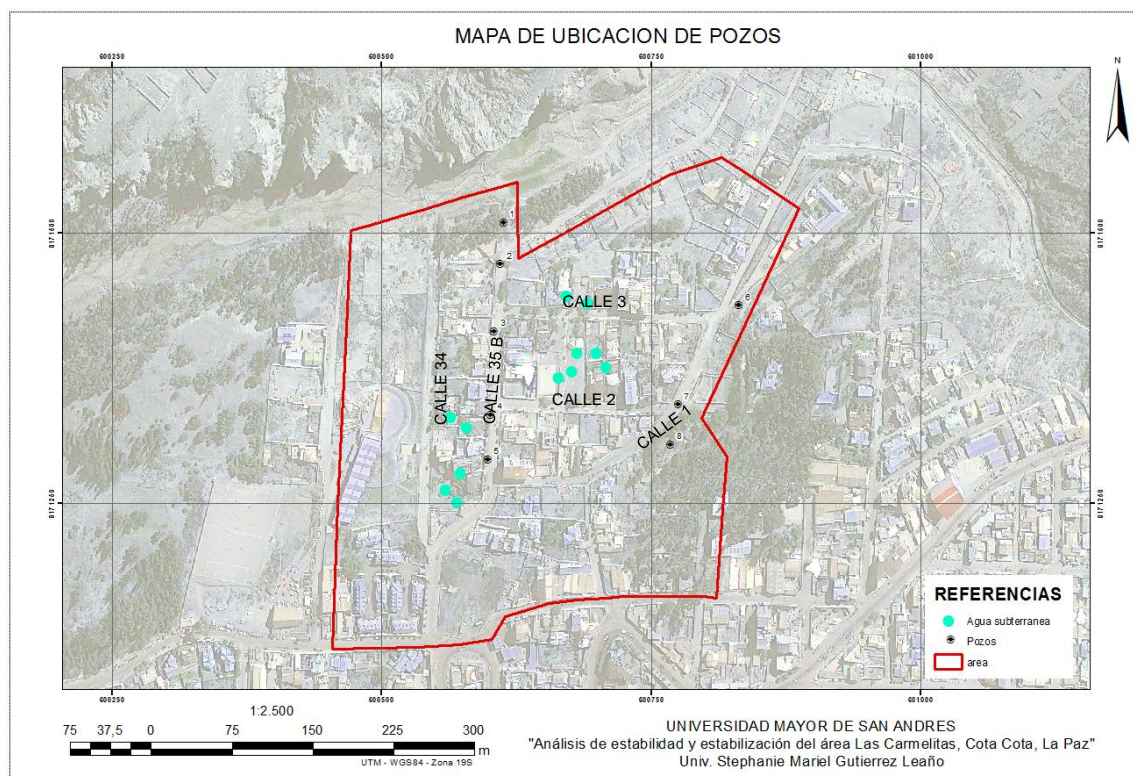
Si bien es cierto que la mayor cantidad de aguas fluyen por el contacto indicado y que habría sido la causa del deslizamiento inicial de la zona hasta inmediaciones del Campus Universitario; las lagunas actuales como la de Cota Cota, corresponderían a un flujo de aguas subterráneas que circulan por niveles más superficiales, como acuíferos "colgados" y confinados por materiales impermeables.

Esto explicaría que en la exploración del subsuelo por medio de la excavación de 8 pozos, con una profundidad máxima de 6.60 m, no es posible definir a cabalidad los acuíferos encontrados; más aun tomando en cuenta que en cinco de los pozos, no se encontró corrientes subterráneas; conservando los materiales incluso, el porcentaje normal de humedad.

La presencia de aguas subterráneas y la socavación del talud por las aguas del río Jillusaya, serían las causas principales para los fenómenos de inestabilidades pasadas y recientes de la zona; así como también, para las deficientes condiciones físicas mecánicas de los suelos. El flujo de agua subterránea, es incrementado por las precipitaciones pluviales, riego de jardines, malas conexiones domiciliarias, especialmente clandestinas, pozos sépticos y fugas del sistema sanitario que en la zona está totalmente deteriorado, sobre todo en los sectores de los deslizamientos.

Relacionando con las unidades geológicas, es posible inferir el nivel freático en base a los perfiles litológicos expuestos en los pozos excavados y zonas de máxima humedad.

En los pozos No. 4, 6, y 8 se localizan en el mapa alrededor de la calle 35 B y 1, ubicados en diferentes niveles topográficos, se ha detectado aguas subterráneas a profundidades que varían entre 1.5 m a 2.0 m de boca de pozo. Asimismo, en pozos de agua en varias viviendas, ubicadas en las calles 2, 3 y 35, entre 1.20 m. a 2.00 m. de profundidad. Como se observa en la siguiente imagen.



*Figura 6.2. Plano Ubicación de pozos.*

La acción de las aguas que se manifiestan en el sector, son también responsables de los desajustes en las viviendas e infraestructura manifestado en grietas, por efecto de la disminución de los valores de las propiedades físico – mecánicas de los suelos, hundimientos y asentamientos diferenciales en las obras civiles.

A objeto de conocer el caudal de las aguas subterráneas se ha procedido al aforo de las mismas, estos aforos indican un caudal relativamente fuerte, habiéndose obtenido los siguientes resultados:



Tabla 6.2. Resultados de caudal de agua subterranea

Nº DE POZO	PROFUNDIDAD (m)	CAUDAL (l <sup>3</sup> /seg)
4	2.00	2.94
6	2.30	2.03
8	2.50	1.59

En los materiales donde se encuentra agua existe una mayor susceptibilidad al movimiento, de esta manera, el deslizamiento antiguo Qdza, es potencialmente susceptible al movimiento debido a la presencia de importantes caudales de agua.

### 6.3. DELIMITACION DE LA CUENCA DE APOORTE

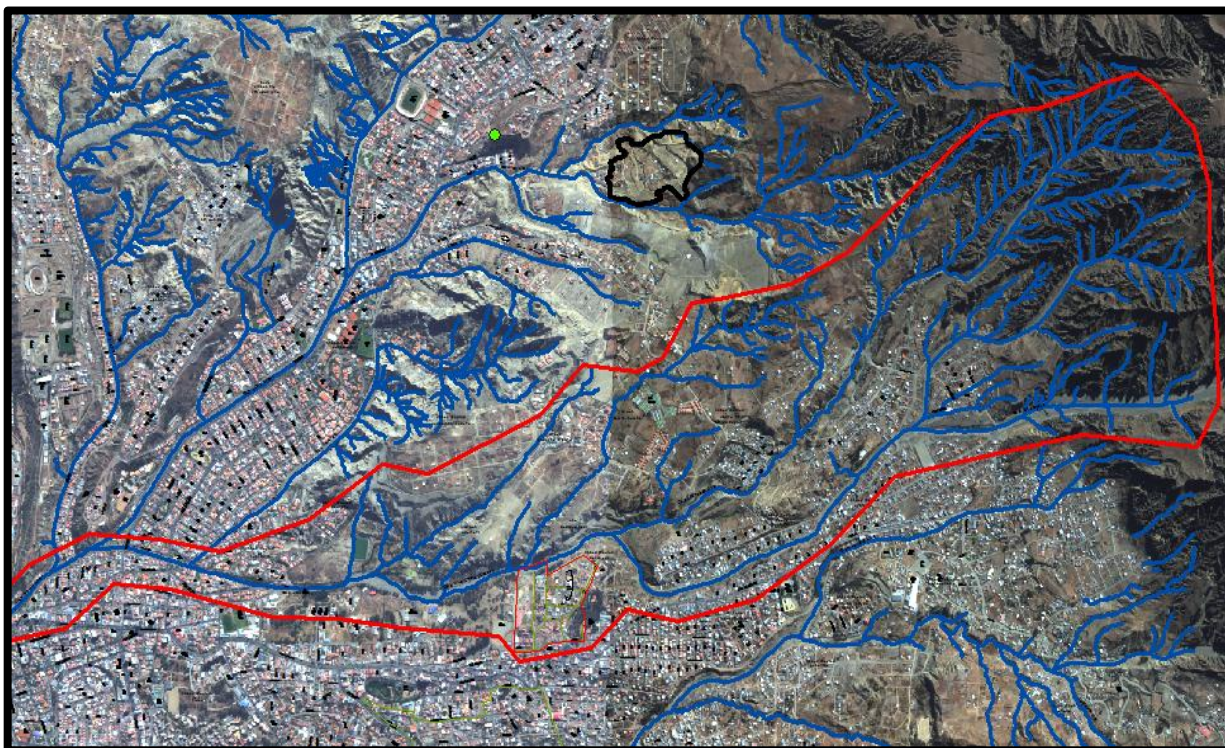


Figura 6.3. Delimitación de cuenca de aporte

La cuenca de aporte empieza en chijipata con la quebrada Kapa Kapani, Rio Kellumani, Achumani, Aleman, Koani, Irpavi, los ríos más cercanos al area de estudio son: Río Trancajahuira, Wila Khota, Kaluyo Chillca Huinto, Huañajahuira y Jillusaya, estos ríos nombrados se encuentran en Wilacota, Casegural, Ovejuyo y Nuevo amanecer.

## **CAPITULO VII**

# **ASPECTOS GEOTECNICOS**

## **7. ASPECTOS GEOTECNICOS**

### **7.1. IMPORTANCIA DE LA GEOTECNIA EN LA PAZ**

La ciudad de La Paz está caracterizada por sus estructuras en las laderas, próximas a los taludes y muchos continúan esta práctica de construcción, en zonas de alta pendiente, están expuestos a riesgos y amenazas de toda índole.

Debido al crecimiento urbano hoy en día las construcciones ocupan todo tipo de suelos.

En zonas donde antiguamente ocurrieron deslizamientos, la alcaldía interviene con maquinaria pesada para la construcción de banquinas, en las cuales los pobladores vuelven a asentarse, provocando peso de las estructuras, en algunos casos saturando el material con aguas de precipitación, mal manejo de aguas servidas o presencia de aguas subterráneas, todos estos factores desencadenan en una reactivación del deslizamiento como fue el caso del Megadeslizamiento de Callapa – Valle de las Flores.

Antes de construir una vivienda se debe consultar a un geólogo, especializado en Geotecnia para que oriente de manera adecuada según el tipo de material y la estructura que es adecuada para cada tipo de suelo.

### **7.2. DESLIZAMIENTOS IDENTIFICADOS EN EL AREA DE ESTUDIO**

Definidos el aspecto geológico e hidrogeológico, además de haber identificado los factores que generan la inestabilidad de la zona, el estudio se centra en interpretar las condiciones dinámicas que afectan el área de trabajo describir las principales causas de deformaciones en las estructuras.

Las observaciones realizadas han permitido establecer que el área ha experimentado dos etapas secuenciales de deslizamientos identificados en el mapa geológico como deslizamiento antiguo (Qdza), deslizamientos recientes (Qdzt).

Los sitios donde se manifiestan estos fenómenos dinámicos que afectaron y afectan a la zona de estudio están relacionados con la lubricación de los suelos por efecto de aguas subterráneas, superficiales y aguas provenientes de fugas alcantarillas, coadyuvado por movimientos de tierra en algunos casos, socavación del talud aledaño al río, peso de las estructuras que en algunos casos se observa estructuras de 5 pisos.

### 7.3. RECONOCIMIENTO DEL SUBSUELO

Es importante y necesario la investigación del subsuelo, ya que algunas de las manifestaciones así como el comportamiento de los materiales no son apreciables en superficie, por otra parte permite de forma directa identificar los tipos de suelo que se encuentran a diferentes profundidades, tipo de litologías, contactos entre formaciones, presencia de nivel freático.

Teniendo en cuenta la obtención de la mayor cantidad posible de información y que esta sea representativa para todo el área de estudio, se aperturaron 8 pozos, pozo No. 1, 2 localizados en la unidad formacional Cuaternario Deslizamiento reciente, los pozos 3, 4, 5, 6 y 8 localizados en el Torrente de barro y el pozo en el Deslizamiento antiguo, con profundidades que varían de 3 m. a 6 m., estos trabajos permiten realizar una descripción detallada de las paredes de cada pozo denotando sus principales características litológicas, composición, granulometría, aspectos texturales, humedad, si existen algunas deformaciones, realizar perfiles correlativos y la ejecución de ensayos de penetración normal. (SPT)

Se han obtenido muestras de horizontes de suelos generalmente alteradas de todos los pozos para realizar pruebas de laboratorio.

En todos los niveles excavados y de acuerdo a las condiciones geológicas, donde se han observado variaciones litológicas, se han tomado muestras alteradas. En el laboratorio se han realizado ensayos granulométricos, contenidos de humedad, datos que han permitido identificar los suelos dentro de la Clasificación Unificada. (SUCS)

*Tabla 7.1. Tipos de ensayos realizados en laboratorio e insitu.*

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Insitu</b>	<b>Laboratorio</b>
Granulometría		√
Capacidad admisible	√	
Standart Penetration Test	√	
Clasificación unificada de suelos		√
Limite liquido		√
Limite plastico		√
Humedad Natural		√

En los pozos de exploración, excavados a distintas profundidades y distribuidos en lugares estratégicos de acuerdo a las condiciones topográficas y geológicas.

Los ensayos realizados tanto en sitio como en laboratorio, cubren una serie de análisis que son considerados normales y que permiten determinar los parámetros geomecánicos de los suelos.

Se ha logrado identificar esencialmente un tipo de suelo (Deslizamiento compuesto de arcillas y gravas arenosas), tanto en el trabajo de campo como en la confección de perfiles geológicos, así como por los ensayos efectuados en laboratorio.

Los ensayos granulométricos han permitido efectuar la clasificación de los suelos, según la Norma Unificada, como suelos con predominio de finos clasificados como arcillas limosas de baja a mediana plasticidad, con lentes que corresponden a gravas y arenas.

No obstante a que los resultados de laboratorio, determinan una distribución de suelos relativamente homogéneos, las propiedades geomecánicas, la capacidad de soporte de los materiales, por la naturaleza de estos materiales (Torrentes de barro y deslizamientos), pueden variar en valores significativos en distancia relativamente cortas.

La mayoría de los pozos fueron excavados en depósitos de remoción en masa, donde el pozo 4 se caracteriza por mayor contenido de gravas limosas y el pozo 3 que está cerca es mayormente arcilloso.

También se llevaron a cabo ensayos mediante el método Stándar Penetration Test (SPT), conocido como Penetrómetro de Terzaghi, y toma de muestras para su respectivo análisis en laboratorio orientado básicamente a establecer las características litológicas y físico-mecánicas de los suelos del área de estudio.

Los ensayos se efectuaron por debajo de los materiales de relleno por tratarse de depósitos no aptos para fundación de estructuras debido a su alto componente de material orgánico, aún cuando estuvieron sometidos a procesos de consolidación a través de muchos años.

Por lo expuesto, para el cálculo de las estructuras (que realizan los estructuristas, para la edificación) recomendadas se adoptan valores representativos para los suelos finos y gruesos, sobre la base de los análisis y de la información rescatada de trabajos anteriores.



Los suelos clasificados con las siglas CL, son arcillas de baja plasticidad, cuando están en condiciones secas tienen buena aptitud geotécnica; sin embargo, cuando están sometidas a procesos de saturación disminuyen sus valores de las propiedades de resistencia al corte. Bajo estas condiciones no presentan grandes variaciones de volumen.

Los suelos de la fracción gruesa como las gravas se presentan en forma lenticular en el torrente de barro y corresponden a la clasificación GM; en general se caracterizan por ser permeables lo cual facilita el flujo del agua dando lugar a la formación de reservorios de aguas subterráneas, tal como acontece en la zona.

Estos depósitos de suelos tienen baja plasticidad, los parámetros de corte disminuyen en menor magnitud cuando están bajo condiciones de saturación; pero tienen el inconveniente de que los flujos de agua subterránea pueden generar segregación de las partículas finas generando consecuentemente tubificación del depósito.

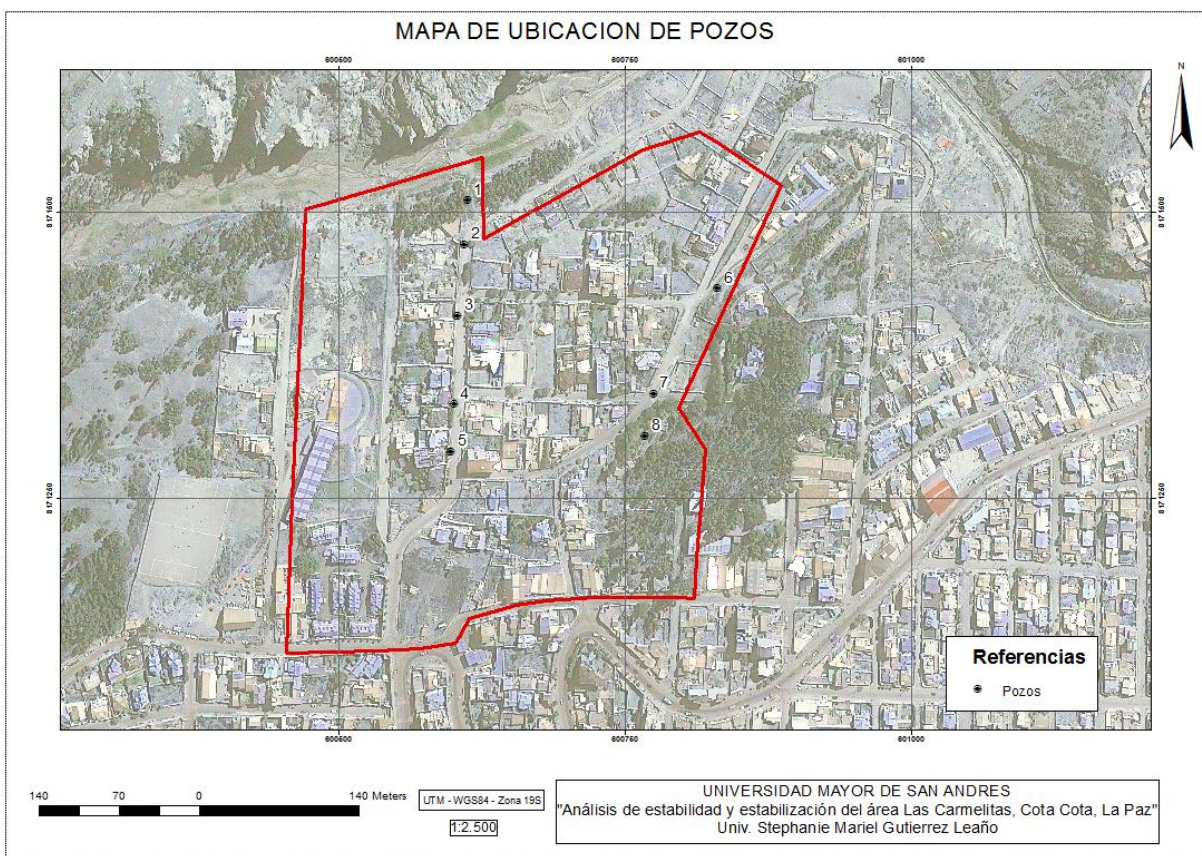


Figura 7.1. Plano de Ubicación de pozos.

Tabla 7.2. Datos de Clasificación del suelo

Pozo 1	Unidad Formac io-nal	Prof.	Cap. Admisi -ble Kg/cm <sup>2</sup>	Clasificación del suelo	Descrip- ción	Limite liquido	Limite plástico	W natural
Pozo 1	Qdzt	3.00 m.	1.4	GC	Grava arcillosa con arena	26.1	9.6	9.5
		6.00 m.	1.0	CL	Arcilla ligera arenosa			
Pozo 2	Qdzt	1.50 m.	0.7	CL	Arcilla ligera y tipo grava			
		3.00 m.	0.8	CL	Arcilla ligera con arena	24.9	17.8	8.6
Pozo 3	Qtb	2.00 m.	0.8	CL	Arcilla ligera			
		3.80 m.	1.0	CL	Arcilla ligera	33.5	22.7	13.6
Pozo 4	Qtb	1.50 m.	1.6	GM	Gravas limosas con arena			
		2.70 m.	0.6	CL	Arcilla ligera y tipo grava	15.9	12.2	10.1
Pozo 5	Qtb	3.00 m.	2.1	GM	Grava limosa con arena			
		6.00 m.	2.3	GM	Grava limosa con arena	N.P.	N.P	5.4
Pozo 6	Qtb	2.5 m.	2.3	GM	Gravas limosas con	N.P.	N.P.	10.6

					arenas			
Pozo 7	Qdza	4.00 m.	1.2	CL	Arcilla ligera			
		6.50 m.	1.3	CL	Arcilla ligera	24.2	15.7	9.2
Pozo 8	Qdza	3.00 m	2.1	GC –GM	Grava limo arcillosa con arena			
		4.50 m.	2.4	GC -GM	Grava limo arcillosa con arena	20.6	16.1	6.5

En la Tabla No. 7.2 se observa los datos de laboratorio obtenidos en las muestras de los pozos excavados en el área de estudio, la carga admisible los valores de 0.6 a 1.2 Kg/cm<sup>2</sup> son valores bajos o que indican suelos poco aptos para las construcciones que necesitan tecnologías de construcción, de 1.2 a 2.5 Kg/cm<sup>2</sup> son valores altos o con una aptitud moderada a buena para la construcción donde podemos implementar construcciones con métodos tradicionales.

La descripción litológica de las calicatas se presenta en el Anexo 13 y la correlación de los pozos Anexo 15.

Estos valores de carga admisible de los materiales, cuando entran en contacto con el agua de diferente origen, como ocurre en época húmeda, aquí nos referimos a la disminución de los valores de parámetro geomecánicos.

En la mayoría de los pozos se ha encontrado material arcilloso, la arcilla es problemática por los siguientes tipos de arcillas, que son descritos a continuación:

### 7.3.2. TIPOS DE ARCILLAS

#### A. SUELOS EXPANSIVOS

Se considera expansivo un suelo que se manifiesta, ante una modificación de su estado (de tensiones, de humedad, o ambos conjuntamente), un incremento de volumen (caso de que el estado de tensiones así lo permita) como consecuencia de la generación de una tensión vertical en el seno de su estructura interna (tensión llamada de hinchamiento.)

Si el estado de tensiones es tal que la tensión a la que está sometido el suelo iguala o supera la llamada tensión de hinchamiento, la presencia de agua en el medio no induce una variación de volumen, aunque conlleva una modificación en la situación de tensiones del suelo respecto los materiales o estructuras con que está en relación (zapatas que apoyen en el mismo, base de un terraplén, un firme, por ejemplo.)

El agente causante que da lugar a este proceso es el agua. Los componentes del suelo que son susceptibles de manifestar procesos de expansividad son determinados tipos de minerales del grupo de las arcillas.

Este tipo de suelos es el característico de la zona de estudio, en ciertos sectores entra en contacto con agua de diferente origen y pasa por el proceso que es descrito líneas arriba.

## **B. SUELOS COLAPSABLES**

Determinados tipos de suelos pueden sufrir una disminución de volumen a la que se asocia un asentamiento sin necesidad de que les sea aplicada ninguna carga vertical, siendo debido el proceso a una saturación sobrevenida.

Este fenómeno puede estar originado por diversas causas:

- Composición mineralógica con presencia de elementos solubles en agua: el acceso de agua a la estructura del material supondrá un proceso de disolución de parte de la estructura, colapsando el resto para reordenarse hasta alcanzar un grado de empaquetado conforme al estado de tensiones en que se encuentre el terreno. Se han descrito riesgos y patologías asociadas a procesos de colapso inducidos por disolución en formaciones que alternan arcillas y yesos.
- Textura granular con una estructura soportada por la matriz, en la cual los elementos de la fracción gruesa se encuentran separados y unidos entre ellos por elementos de granulometría fina (puentes o agregados de limos o arcillas) que pueden verse alterados por la saturación del material.
- Falta de compacidad de determinados suelos, de granulometría muy fina y baja plasticidad (limos): algunas formaciones de limos sedimentados en régimen eólico y bajo clima árido pueden sufrir un proceso de colapso si su humedad supera un determinado límite, por encima del cual las tensiones capilares (que juegan un papel esencial en el mantenimiento de la

estructura) se desequilibran. Este mismo fenómeno es común al asiento por colapso que manifiesta un relleno antrópico no compactado.

– Fenómenos asociados a procesos de pérdidas de la granulometría más fina (limo, arcilla) por erosión interna o por lavado inducido por un gradiente hidráulico sobrevenido (por bombeo de un pozo, por ejemplo.)

Este tipo de arcilla no está presente en el área de estudio.

#### **7.4. DISCUSION DE LOS RESULTADOS**

- El sector evaluado correspondiente a la Urbanización Las Carmelitas, geológicamente está conformado por el torrente de barro de Cota Cota, por deslizamientos antiguos y deslizamientos recientes.

- La composición litológica del torrente de barro de Cota Cota es heterogénea, constituida por sedimentos provenientes de las Formaciones La Paz y depósitos aluviales antiguos principalmente.

- La formación La Paz y el torrente de barro de Cota Cota en el área de estudio está afectado por deslizamientos antiguos Qdza y deslizamientos recientes Qdzt, varios de los cuales se muestran activos, tal como se advierte a lo largo de la parte baja del área de estudio y colindante al río Jilusaya, los mismos que están constituidos litológicamente por mezcla heterogénea de arcillas limos y gravas limosas.

- El principal depósito Cuaternario deslizamiento antiguo, que es la zona más activa donde se ha obtenido las propiedades físico mecánicas no aptas para las construcciones.

- De acuerdo al mapa de grietas y fisuras en muros principalmente, el sector que se encuentra por debajo de la calle 3 – Molles colindante al río Jilusaya, se muestra los sectores más críticos en cuanto a inestabilidad de suelos con una dirección oeste del movimiento geodinámico.

- En base a todos los datos obtenidos precedentemente y relacionados a la interpretación fotogeológica, mapeo de grietas, zonas inestables y afloramiento de aguas subterráneas principalmente, se ha realizado la excavación de 8 pozos de reconocimiento que alcanzaron diferentes profundidades, distribuidos convenientemente en lugares estratégicos y calles principales del área objeto de estudio y niveles topográficos que muestra el terreno.

- El objetivo principal de los pozos de reconocimiento, ha sido el de poder advertir planos de fractura en subsuelo, sus propiedades físico-mecánicas como suelos de fundación y el de detectar aguas subterráneas en subsuelo, su profundidad y dirección de flujo principalmente.

-En los pozos excavados, a diferentes profundidades, se ejecutaron los correspondientes ensayos de penetración a objeto de determinar la capacidad portante de los suelos y cuyos valores varían entre  $0.63 \text{ Kg/cm}^2$  -  $1.3 \text{ Kg/cm}^2$  característico de un deslizamiento, de  $1.3 \text{ Kg/cm}^2$  -  $2.50 \text{ Kg/cm}^2$  como máximo, característicos de suelos estables.

-Durante la investigación de subsuelo en los pozos excavados No. 4, 6 y 8 ubicados en diferentes niveles topográficos, se han detectado flujos de agua subterránea en materiales gravosos, a profundidades que varían entre 1.5 m a 2.5 m de bocas de pozo.

-A objeto de conocer el caudal de las aguas subterráneas se ha procedido al aforo de las mismas, correspondiendo a 2.94 lts/min en el pozo N° 4, a 2.03 lts/min en el pozo N° 6 y a 1.59 lts/min en el pozo N° 8.

-La evaluación geotécnica del área de la Urbanización Las Carmelitas, se ha basado fundamentalmente en el estudio geológico de campo, en la interpretación fotogeológica en fotos de diferentes años, en el afloramiento de las aguas subterráneas, en los agrietamientos de muros, en las secciones litológicas de los pozos excavados y en toda la información de las propiedades físico-mecánicas de los suelos examinados en laboratorio, los que en conjunto han permitido evaluar y cuantificar las condiciones geotécnicas y de estabilidad de suelos.

-Una solución nueva para el sector objeto de estudio sería hacer la captación de toda el agua subterránea, a través de la implementación de un hidrotunel con pozos austriacos (excavación vertical de un pozo, con el método austriaco, este método consiste en excavar por ejemplo 1 metro y revestir la excavación con un anillo de hormigón armado, cuando el hormigón armado adquiere resistencia, se puede continuar la excavación, los anillos tienen una forma leve troco conica que permite el colocado del encofrado y el vaciado, del hormigón, en la anilla inferior, se puede alcanzar una profundidad de hasta 25 m)

## **7.5. DISTRIBUCION DE AREAS CRÍTICAS**

Las observaciones realizadas han permitido establecer en el área estudiada, sectores susceptibles de producirse procesos dinámicos, asociados con deslizamientos de tipo

rotacional, que estarían activos a lo largo de superficies de falla curva y cóncava. Sectores de las construcciones e infraestructura, ubicadas en el cuerpo del deslizamiento presentan cierta inclinación en sentido contrario a la dirección del potencial movimiento de los terrenos, produciendo roturas acentuadas en el piso de las construcciones, vías, cordones, aceras, etc.

Se debe hacer hincapié que se trata de deslizamientos en proceso de reactivación; estos deslizamientos presentan agrietamientos considerables y desplazamientos verticales como el inicio de nuevos desplazamientos de la masa afectada.

Con estas observaciones se ha determinado 3 áreas críticas:

- Los Molles
- Las carmelitas
- Jillusaya

Se realizó el análisis de estabilidad de los tres sectores considerados como sectores críticos. En los cuales, de acuerdo a este estudio geológico, se identifican, en mayor o menor grado, cuatro unidades litológicas, cuya conformación y disposición se detalla en los perfiles de cada sector utilizados para el análisis.

El nivel más profundo es aquel constituido por las arcillas de la Formación La Paz (Nlp), sobre el que se depositó el torrente de barro (Qtb), de espesor varía según el sector. Sobre el torrente de barro se encuentra una capa de material deslizado (Qdz) y materiales de variable espesor de relleno (Qra).

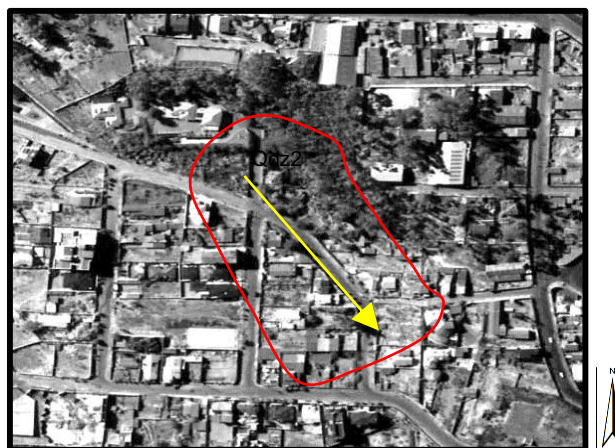
Se elaboraron dos perfiles geológicos que permita, mostrar la extensión y la relación y reconstrucción de las unidades litológicas determinadas en el mapeo geológico, así como la extensión de los deslizamientos de los sectores determinados como críticos.

La identificación de estos sitios responde al aspecto relevante que se manifiesta en la zona.

#### **7.5.1. TRAMO LOS MOLLES**

Corresponde a un deslizamiento antiguo (Qdza) de mediana magnitud, se identifica, aproximadamente, entre la calle 1 y 3; el límite del escarpe vertical que forma un semiarco y delimita el sector del deslizamiento. En el talud se observan los materiales que corresponden al Torrente de Barro.





*Figura 7.2. Deslizamiento antiguo*



*Figura 7.3. Deslizamiento antiguo*

Se trata de un deslizamiento alargado en sentido Noreste - Sudoeste; debe su origen básicamente a la acción combinada de aguas subterráneas y a movimientos de tierra, realizados en el pie del deslizamiento con fines urbanísticos.

Con la información geológica y los valores de corte obtenidos en ensayos de laboratorio de suelos, se realizó un modelo de las condiciones del subsuelo que están ubicadas en un perfil topográfico geológico, el cual coincide con el eje del sector deslizado.

#### **7.5.2. TRAMO CARMELITAS (QDZr)**

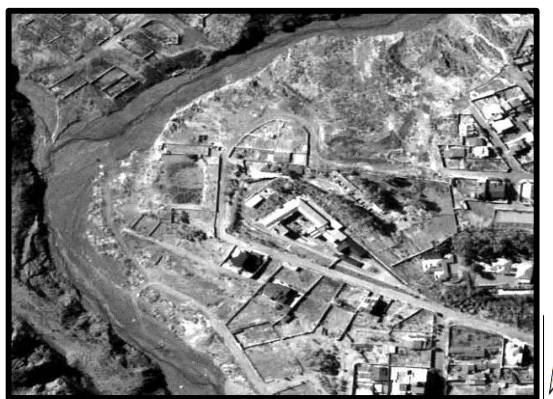
Un segundo deslizamiento, de mediana magnitud, se ubica en la Calle 1 o también



denominada Carmelitas, abarca prácticamente toda la superficie donde se asienta el Convento de las Hermanas Carmelitas; es de menor extensión que el anterior (Tramo molles) y también debe su origen a la acción de aguas subterráneas y a movimientos de tierra (cortes) del pie de talud, aparentemente para la construcción del convento Hermanas Carmelitas y habilitación de la calle homónima. En este sector existen fracturas verticales con dirección al Norte con una separación de 20 cm.



*Figura 7.4. Foto aérea 1962 convento "Carmelitas" con diseño de drenaje dendrítico.*



*Figura 7.5. Foto aérea 1988*

Es importante mencionar que este fenómeno se mantiene activo hasta la fecha.

## **7.6. TRAMO RÍO JILLUSAYA**

Deslizamientos en etapa de formación, de pequeña magnitud se observan principalmente a lo largo del río Jillusaya y deben su ocurrencia a la erosión de las aguas al pie de los taludes; estos deslizamientos presentan agrietamientos, que han producido roturas acentuadas en el

piso de las construcciones, deformación en los muros de contención, así como desplazamientos verticales, como indicador inminente de futuros desplazamientos de la masa afectada.

Litológicamente estos deslizamientos están constituidos por los mismos materiales afectados en los fenómenos, aunque con menor grado de consolidación, así como por materiales de relleno.

## **CAPITULO VIII**

## **CONCLUSIONES**

## 8. CONCLUSIONES

- El zócalo litológico del sector está caracterizado por arcillas de la Formación La Paz, por encima está el depósito de cuaternario torrente de barro Cota Cota, a estos 2 depósitos le suprayacen depósitos de diferentes deslizamientos como cuaternario deslizamiento antiguos y recientes, que se encuentran en proceso de reactivación.
- El principal depósito del área de estudio es Cuaternario deslizamiento antiguo catalogado como Qdza, caracterizado por una mezcla de material heterogéneo que presenta parámetros geomecánicos bajos y con la presencia de agua subterránea, tal es el caso del área de estudio este factor desencadena en todo el desajuste que se observa y calles y viviendas del sector.
- Existen 3 tramos críticos, primero Los Molles deslizamiento reciente, segundo Carmelitas que está dentro del deslizamiento principal antiguo, y el tercer deslizamiento de pequeña magnitud que se encuentra a lo largo del Río Jillusaya.
- En el mapa fotogeológico, se identificó 2 etapas de remoción en masa el deslizamiento antiguo que es el evento principal, el deslizamiento reciente, la mayoría de los eventos recientes se encuentra en la calle 3 y 4, donde los escarpes se encuentran bien marcados.
- Se ha realizado un mapa de amenazas con parámetros como: mapa geológico, mapa de pendientes, mapa geomorfológico, donde dieron amenazas muy altas colindante a la calle 1, donde se encuentra el deslizamiento antiguo, de igual manera al río Jillusaya donde existen deslizamientos recientes, amenaza media en la calle 34, 35 correspondiente al torrente de barro, y amenaza baja para la av. de escultor, calle 35, ingreso de la calle 34, y margen hidráulico derecho del río Jillusaya correspondiente a formación La Paz.
- Se ha realizado una evaluación a detalle de la zona, construyendo un mapa de grietas horizontales, oblicuas, verticales con rechazos de 2mm. hasta 15 cm. en algunos casos, las grietas tienen una dirección Noroeste.
- Una nueva solución para los desajustes que se manifiestan en el sector como grietas oblicuas, verticales, horizontales puertas fuera de marco, grietas en muros perimetrales y en algunos casos grietas en muros de contención y calles del sector, sería hacer un hidrotúnel con pozos austriacos.
- En el área de estudio el G.A.M.L.P. ha implementado una obra de estabilización que

se trata de Muro tipo pantalla de Hormigón Armado con pilotes de 1 m. de diámetro y 12 metros de profundidad con una pantalla de 4 m. que se encuentran totalmente enterrados. Cabe recalcar que esta obra no ha sido una solución certera para la estabilización del sector, este dato se ha podido corroborar en campo, los desajustes geodinámico persisten manifestados en nuevos rechazos.

- En el área de estudio se tiene que tener un cuidado especial con el tema de aguas de cualquier origen, este factor está dando paso a la reactivación del deslizamiento.
- El principal río denominado Jillusaya que pasa por el sector, que se encuentra en la parte Noreste del sector objeto de estudio se caracteriza por una notable angularidad que presumiblemente se trata de una falla, porque se observa un lineamiento de manera regional que cruza hasta la Zona de Achumani (Condores Lakota).
- Cabe recalcar que la topografía del sector es de pendiente moderada, esto quiere decir que no puede ocurrir un deslizamiento de gran magnitud, sino que estos desajustes seguirán de manera lenta hasta que se conduzca de manera adecuada el agua subterránea, y evitar que el deslizamiento siga reactivándose.
- Las viviendas deberían ser no más de 2 planta, para no sobrecargar el área.

## 8.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arispe R., (1971) *Estudio Geotécnico Zona Cota Cota, Tesis de Grado, Facultad de Geología, UMSA, La Paz Bolivia. 60 P.*
- Ballivian O., *El pliocuaternario de la región de La Paz (Andes orientales bolivianos), Universidad Mayor de San Andres – Misión O.R.S.T.O.M., La Paz Bolivia, 113 P.*
- Argos., (2009), *Estudio Geológico Geotécnico de Estabilización Deslizamiento "Las carmelitas", Consultora Argos, La Paz Bolivia, 37 P.*
- Corrales G. (1973), *Estudio Geotécnico de la Ciudad Universitaria Zona Cota – Cota, Tesis de Grado, Facultad de Geología, UMSA. 46 P.*
- Dobrovolny E., 1954, *A post glacial mudflow of large volume in the La Paz valley Bolivia, Servicio Geológico de Bolivia, Departamento Nacional de Geología, Bolivia.*
- Dobrovolny E., (1963) *Geología del Valle de La Paz, Departamento Nacional de Geología, La Paz, 151 P.*
- Ellison M., (1944) *Apuntes de Geomorfología en los alrededores de Ecuador, Editorial Omega, Quito Ecuador. 62 P.*
- GEMMA Grupo de Estandares para Movimientos en masa, *Movimientos en masa en la región andina: Una guía para la evaluación de amenazas, Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional (2007) No. 4, Canadá. 404 P.*
- Guerra F., (1961), *Las doce principales reglas de la interpretación fotogeológica y las bases fundamentales de que se derivan, Anuario de Geografía, Volumen I, Facultad de Filosofía y Letras, Boletín del instituto de Geografía, UNAM, México. 116 P.*
- Koppen V. (2011), *página web, Clasificación de climas, Madrid, España. Distrito Federal México, <http://clasificaciondeclimas.df.mx>.*
- Malatrait A.(1977), *Características Geomorfológicas de la Cuenca de La Paz y Alrededores, Consultora BRGM, La Paz. 107 P.*
- Mareño P. et al (2011). *Mapa de Riesgos de los distritos urbanos del Municipio de La Paz, Memoria explicativa, Gobierno Autónomo Municipal de la Paz, Dirección Especial de Gestión Integral de Riesgos, Sistema de alerta temprana, La Paz Bolivia. 59 P.*
- Met A. (2005), *Inestabilidad de laderas - Mapas de amenazas – Recomendaciones técnicas para su elaboración, Managua Nicaragua. 88 P.*
- Navarro, A. (1977), *Características geotécnicas de la cuenca de La Paz y sus alrededores, Consultora BRGM, La Paz Bolivia. 105 P.*

- *Padilla, F. (2012), Geología Aplicada, Ingeniería Geológica, Universidad de A Coruña, Coruña, España. 159 P.*
- *Thornbury W. (1966), Principios de la Geomorfología, Buenos Aires Argentina, 659 P.*
- *Villalaz C. (1976), Mecánica de suelos y cimentaciones, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 652 P.*