



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

“La Universidad Católica de Loja”

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

**Caracterización geológica del deslizamiento en el sector La Banda y la
influencia de la precipitación.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Aldeán Arévalo, David Mauricio

DIRECTOR: Soto Luzuriaga, John Egverto. M.Sc.

LOJA - ECUADOR

2016



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2016

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Máster.

M.Sc. John Egverto Soto Luzuriaga.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN DE GEOLOGÍA Y MINAS

Certifica:

El presente trabajo de titulación: **“Caracterización geológica del deslizamiento en el sector “La Banda” y la influencia de la precipitación”**, realizado por Aldeán Arévalo David Mauricio, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, julio de 2016

f).

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

"Yo Aldeán Arévalo David Mauricio declaro ser autor del presente trabajo de titulación: **Caracterización geológica del deslizamiento en el sector "La Banda" y la influencia de la precipitación**, de la Titulación de Geología y Minas siendo el Ing. John Soto Luzuriaga director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad"

F.....

Autor. Aldeán Arévalo David Mauricio

Cédula 1104641962

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a Dios primeramente, por darme la vida y salud. A mis padres Dr. Mauro Aldeán e Isabel Arévalo, que me han apoyado en el transcurso de todo este proyecto y de mi vida como estudiante. A mis hermanos, Mayra y Jorge, por estar siempre conmigo, a mis sobrinos Mayra, Mauro, Jorge y Romina.

Finalmente a todos mis familiares y amigos, que de una y otra forma han brindado su ayuda en el transcurso de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer sinceramente al Ing. John Soto, por darme la oportunidad de realizar este proyecto de tesis y fungir como director de la misma. De igual manera al Ing. Jorge Veintimilla y al Ing. Ángel Tapia, por su apoyo incondicional para que este trabajo se pueda realizar. Así mismo al Ing. Diego Castillo, quien fue un apoyo fundamental en esta investigación.

Por último, pero no menos importante, agradecer a todos los futuros colegas, amigos y familia, que me apoyaron en todo el transcurso de la investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA	ii
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
RESUMEN EJECUTIVO	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	5
1.1. Antecedentes.....	6
1.2. Justificación.....	7
1.3. Objetivos.....	7
CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOGRÁFICAS DE LA ZONA.....	8
2.1 Ubicación.....	9
2.2 Acceso.....	9
2.3 Relieve Topográfico.....	10
2.4 Climatología.....	10
2.5 Hidrografía.....	12
CAPÍTULO III: MARCO TEORICO.....	13
3.1 Conceptos básicos.....	14
3.1.1 Hidrogeología.....	14
3.1.2 Cuenca hidrográfica.....	14
3.1.3 Mineralogía.....	15
3.1.4 Estratigrafía.....	15
3.1.5 Topografía.....	15
3.2 Movimientos de ladera.....	15
3.2.1 Clasificación de los movimientos de ladera.....	15
3.2.2 Factores que influyen en los movimientos de ladera.....	17
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA Y TRABAJO DE CAMPO.....	23
4.1 Recopilación de información y análisis de datos.....	24
4.2 Trabajo de campo.....	25
4.2.1 Toma de muestras para los ensayos de laboratorio	28
4.3 Trabajo de gabinete final y procesamiento de datos	30
CAPÍTULO V: RESULTADOS	31
5.1 Caracterización Geológica del área de estudio.....	32

5.1.1	Unidad de conglomerado	33
5.1.2	Unidad de arenisca	34
5.1.3	Unidad de arenisca arcillosa	35
5.1.4	Unidad de lutita arcillosa	36
5.1.5	Unidad de lutita calcárea.....	38
5.1.6	Unidad de terrazas aluviales	40
5.2	Características principales del movimiento de ladera.	42
5.3	Principales agentes condicionantes y detonantes en el movimiento de ladera.	47
5.3.1	Agentes condicionantes	47
5.3.2	Agentes detonantes	50
5.4	Caracterización geotécnica.....	53
5.4.1	Conglomerado ML1.....	54
5.4.2	Arenisca ML2	55
5.4.3	Lutita arcillosa ML3	57
5.4.4	Lutita calcárea ML4.....	58
5.4.5	Arenisca ML5.....	60
5.4.6	Arcilla plano de falla ML6	61
5.5	Análisis de la precipitación.....	63
5.5.1	Balance hídrico	65
5.5.2	Análisis estadístico de la precipitación diaria y la influencia sobre el deslizamiento	88
CONCLUSIONES		96
RECOMENDACIONES.....		98
BIBLIOGRAFÍA.....		99
ANEXOS.....		100
Anexo N° 1. Informe de los resultados del ensayo de agua.		101
Anexo N° 2. Resultado de los ensayos de laboratorio.....		102
Anexo N° 3. Ensayo Triaxial.		108
Anexo N° 4. Ensayo de corte directo.....		112
Anexo N° 5. Perfiles litológicos.		116

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación tiene como objetivo principal, conocer el comportamiento geológico- estructural que presenta la zona del movimiento de ladera en el sector La Banda, con énfasis en la influencia que la precipitación tiene sobre el mismo y de este modo determinar los factores condicionantes y detonantes que produjeron el movimiento de ladera. Para ello se realizó un mapa geológico del sector a escala 1:1000 en el que se muestra las principales litologías del sector, el balance hídrico de la microcuenca de la quebrada La Banda y un análisis estadístico de la precipitación diaria, de un período de tiempo determinado, comprendido en años previos y posteriores al evento.

PALABRAS CLAVES: movimientos de ladera, factores condicionantes, factores detonantes, litología, balance hídrico, análisis estadístico.

ABSTRACT

This investigation has as principal objective the geological – structural behavior that the hillside movement presents in La Banda, with emphasis in the influence that the raining has on it and with this, determinate the conditional and detonating factors that made the hillside movement happen. For it was conducted a geological map at 1:1000 in which shows the main types of lithology, an hydric balance of the microbasin in the La Banda ravine and a statistic analysis of the daily rainfall in a time frame in previous and subsequent years to the event.

KEYWORDS: hillside movements, geological description, conditional factors, detonating factors, influence zone, rainfall, hydric balance, statistical analysis.

INTRODUCCIÓN

La Ingeniería Geológica como ciencia aplicada al estudio y solución de problemas producidos por la interacción del medio geológico y la actividad humana, tiene entre sus principales aplicaciones la evaluación, prevención y mitigación de los riesgos geológicos; es decir, los daños ocasionados por los procesos geodinámicos. En este contexto, los fenómenos de remoción en masa (FRM), ya sean producidos por el carácter dinámico del medio geológico y la evolución natural del relieve, o bien por actividad antrópica, han causado en la mayoría de casos muchas víctimas y grandes pérdidas económicas.

Desde el punto de vista del marco geodinámico regional, el Ecuador se ubica en una zona de alta sismicidad, tectonismo y volcanismo activo, de tal manera que son grandes las probabilidades de que los fenómenos de remoción en masa se presenten en todo el territorio nacional, debido a que estos ocurren como fenómenos secundarios relacionados con agentes de primer orden como fallas (regionales o locales), pérdida en la estabilidad de los taludes (por construcciones, aperturas de vías), saturación del suelo, entre otras. Existen otros factores importantes para la ocurrencia de FRM, como son las condiciones hidrometeorológicas manifestadas en la humedad del suelo, precipitaciones e intensidad de lluvias que se incrementan en algunos periodos del año.

El crecimiento y desarrollo urbano de la ciudad de Loja, ha conllevado a la expansión acelerada de la población y al asentamiento zonas expuestas a peligros naturales, especialmente de los asociados a la inestabilidad de taludes y laderas, en los que confluyen el comportamiento físico-mecánico de los materiales geológicos y los agentes climáticos que provocan la reducción de la resistencia y la movilización de estos materiales (Soto J., 2010).

Por tanto el presente trabajo trata de identificar y dar una explicación técnica de los factores condicionantes y detonantes que ocasionaron este movimiento de ladera, con énfasis al análisis de la precipitación; de tal manera que podamos especificar, si la lluvia interviene como el principal agente detonante del movimiento de ladera.

Toda esta información se encuentra estructurada en cinco capítulos. En el primer capítulo se encuentran los antecedentes, la justificación y los objetivos de esta investigación. El segundo capítulo explica las características físicas y geográficas de la zona, tales como: ubicación, acceso a la zona, relieve, climatología e hidrografía de la zona de estudio. El capítulo tres, está dedicado al marco teórico de la investigación, en el que se describen los conceptos básicos utilizados en el trabajo de fin de titulación. El capítulo cuatro, describe la metodología y el trabajo de campo; comenzando por una recopilación de información previa, la descripción del trabajo de campo, descripción del movimiento de ladera, el trabajo de gabinete, procesamiento de datos y finalmente el análisis en el laboratorio de las distintas muestras de litología recolectadas. En el último capítulo, se describen los resultados obtenidos a lo largo de la investigación, para luego pasar a un apartado de conclusiones, en los que se definen los objetivos planteados al inicio del trabajo y posteriormente a unas recomendaciones para futuras investigaciones.

CAPITULO I
GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.

Loja, por sus características geológicas, geotécnicas, morfológicas y climáticas, es una ciudad muy propensa a desastres naturales, especialmente a Movimientos de Ladera. Esto, obviamente crea problemas en la sociedad, ya que afecta a viviendas, infraestructuras, vialidad, agricultura, ganadería y a la vida de las personas que habitan en esta ciudad. Los problemas se agravan, en su mayoría, porque no existe un estudio completo de las zonas más propensas a desastres, un ordenamiento territorial adecuado, en el que se considere todos los parámetros tanto geológicos como ingenieriles de los suelos y, básicamente el desconocimiento de las personas al momento de construir o comprar un terreno.

La ciudad crece a un ritmo muy acelerado y descontrolado en algunos sectores, en los que no existen estudios ni planificación adecuada, entonces cada día es más común encontrar urbanizaciones en zonas en las cuales los materiales no permiten construcciones de gran envergadura, lo que deriva casi siempre, en un problema socio-económico para sus habitantes e instituciones relacionadas.

En la ciudad de Loja, con frecuencia, se han registrado lluvias de gran intensidad como las ocurridas los años 1999 a 2001, que causaron una gran cantidad de deslizamientos e inundaciones afectando a la población e infraestructura en varios sectores de la ciudad (Soto, J., 2010).

Si bien existen investigaciones previas de nuestra zona de estudio, como "Vulnerabilidad a nivel Municipal de la ciudad de Loja" realizado por la Universidad Nacional de Loja y la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, "Estudio del peligro de deslizamiento en el norte de la ciudad de Loja, provincia de Loja " (Tambo, 2010); Plan de desarrollo y Ordenamiento territorial 2012" de la ciudad de Loja, realizada por el GAD Loja; tratan únicamente, parámetros geológicos, estructurales e ingenieriles, pero no han evaluado la influencia que la precipitación y el agua que escurre en el terreno (manantiales de agua, falta de alcantarillado, daños en tuberías, etc.), tienen sobre la resistencia y propiedades del suelo.

1.2 Justificación.

Estudiar las características físicas, químicas y mecánicas de las rocas y materiales, nos ayuda a entender su comportamiento, frente a los distintos factores (ambientales, humanos y naturales) que causan su deformación, movimiento, fracturación y meteorización. El cantón Loja, con regularidad es escenario de desastres naturales de tipo geológico, entre los cuales, los deslizamientos, son los más comunes y los que más pérdidas, tanto humanas como económicas, provocan.

Por ello, la Titulación de Geología y Minas, de la Universidad Técnica Particular de Loja, entre sus líneas de investigación realiza estudios sobre los movimientos de ladera, analizando factores condicionantes y detonantes de los mismos. De allí se desprende esta investigación para determinar la influencia que la precipitación como posible detonante del movimiento de ladera, y su correlación con la caracterización geológica y geotécnica.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general:

Realizar la caracterización geológica y el estudio del movimiento de ladera en el sector “La Banda”.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Realizar un levantamiento geológico a detalle en la zona de estudio.
- Realizar la caracterización geológica y geotécnica a través de ensayos en el laboratorio.
- Determinar los factores condicionantes, factores detonantes y efectos que causa la precipitación en el deslizamiento del sector “La Banda”.
- Elaborar el mapa geológico. Escala 1:1000.

CAPÍTULO II
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOGRÁFICAS DEL SECTOR LA BANDA.

2.1 Ubicación.

El área de estudio se ubica en la provincia de Loja al sur del Ecuador, cantón Loja y en plena zona urbana de la ciudad del mismo nombre, en el sector La Banda al norte de la ciudad. Ocupa una superficie de 2000 m², a una altura aproximada de 2045 m.s.n.m., como se muestra en la figura 1.

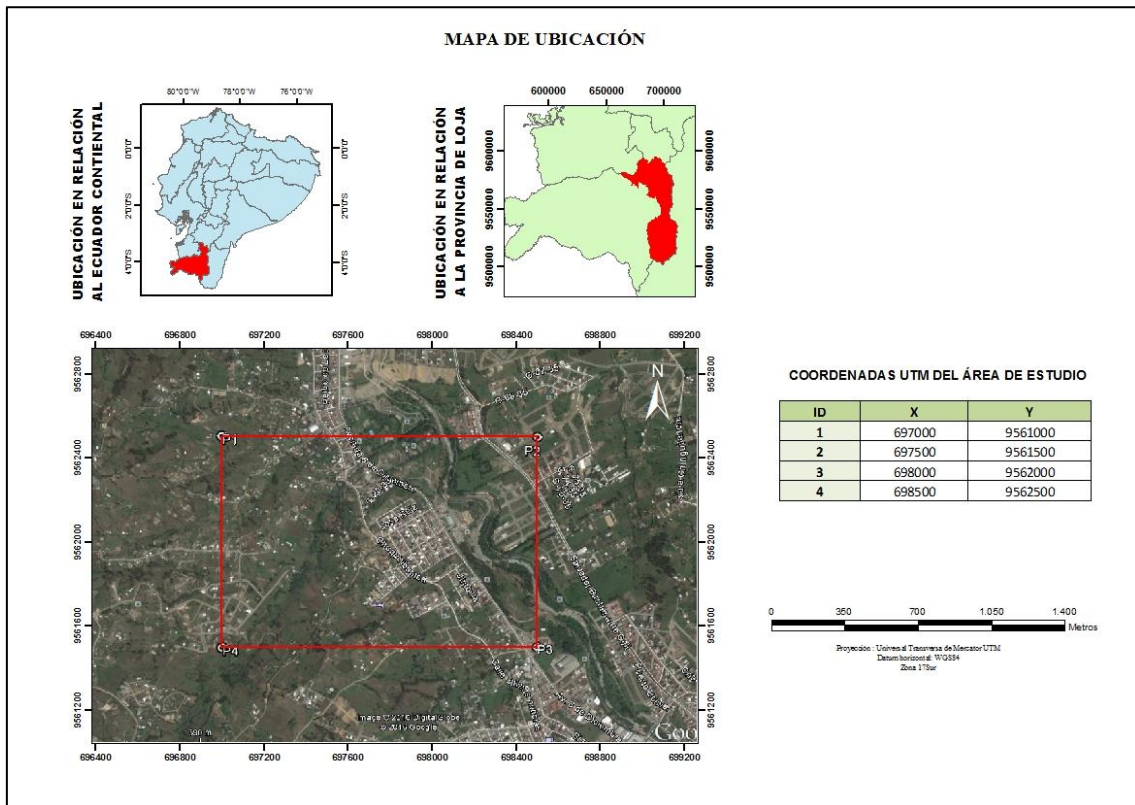


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Fuente y elaboración: autor.

2.2 Acceso.

Para acceder a la zona de estudio se debe llegar primero a la ciudad de Loja. Las vías de acceso terrestre son desde Cuenca, por la carretera Panamericana o desde la costa Ecuatoriana por la carretera Guayaquil-Machala-Loja. También se puede llegar por vía aérea hasta el aeropuerto Camilo Ponce Enríquez de la ciudad de Catamayo, luego por vía terrestre a 36 Km hasta la ciudad de Loja.

2.3 Relieve.

La hoya de Loja, se encuentra aproximadamente a unos 2060 m.s.n.m., si bien, la ciudad de Loja se sienta sobre un valle, en el que no existen grandes elevaciones. Sin embargo resaltan algunos relieves importantes como: cerro El trigal (2500 m.s.n.m.); cerro Villonaco (2946 m.s.n.m.); cerro Peña Negra (2600 m.s.n.m.); loma de Salapa (2400 m.s.n.m.); loma Blanca (2300 m.s.n.m.); cerro Huachinchambo (2855 m.s.n.m.); cerro Chiriaco (2700 m.s.n.m.); cerro Membrillo (2800 m.s.n.m.); cerro Uritusinga (3038 m.s.n.m.); loma de Agua Dulce (2700 m.s.n.m.); loma Las Minas (2600 m.s.n.m.); cerro Torroche (2937 m.s.n.m.); loma El tablón (2500 m.s.n.m.); cerro La Isla (2500 m.s.n.m.); cerro Sañe (2600 m.s.n.m.); cerro Uatayacu (2700 m.s.n.m.); cerro Campana (2600 m.s.n.m.).

En cuanto a la topografía del área de estudio, es levemente accidentada, con pendientes moderadas, entre 8° a 16° (Clases de pendientes, Van Zuidam 1986) además se encuentra en una micro – cuenca hidrográfica de segundo orden, cuyo drenaje principal es la quebrada La Banda, alimentada por pequeños afluentes aún no datados y desembocan en el río Zamora. En la zona de estudio, no existen elevaciones importantes. El punto de máxima altura del sector, es de 2130 m.s.n.m., el deslizamiento se encuentra entre los 2052 – 2048 m.s.n.m.

2.4 Climatología.

La cuenca sedimentaria de Loja tiene un clima templado – semihúmedo, este tipo de clima se debe principalmente a su ubicación geográfica, a la zona de convergencia intertropical (ZCIT), a el efecto de interacción Océano Pacífico-atmósfera y su cubierta vegetal. (Paladines 2007).

La temperatura media de Loja es de 16°C. Entre los meses de junio y septiembre, existe menor temperatura media (14°C). Julio es el mes más frío llegando a una temperatura de 14,9°C. Pero en el último trimestre del año, se presentan las mayores temperaturas medias y por ello también las temperaturas mínimas absolutas. (Paladines, 2007).

En los últimos 40 años, se ha registrado un incremento de la temperatura de la ciudad de 0.7°C, según un estudio de Geo-Loja; los años 2003 – 2004 fueron los años de temperatura más alta, que han llegado hasta los 28°C. Entre los meses de octubre, noviembre y diciembre, se registró una temperatura media de 24,5°C, 20,7°C y 26,7°C respectivamente para el año 2003; los meses de septiembre (26,8°C), noviembre (25,3°C) y diciembre (27,1°C), resultaron ser los de mayor temperatura para el año 2004.

Loja, es una ciudad en la que la lluvia está presente durante todo el año, por casi todos los meses, habiendo días que son mucho más lluviosos que otros, incluso en los meses más secos, se registra lluvia; por tanto su clima es muy variado y no existen estaciones climáticas específicas, como en la mayor parte del país. Por ejemplo la lluvia promedio para el período de tiempo que hemos analizado en este trabajo (1980 – 2013), según datos de la estación La Argelia, es de 87,35 ml/año. Sin embargo, existen años, dentro de los cuales algunos meses, presentan un déficit de lluvia y otros en los que llueve mucho más, como lo muestra la figura a continuación.



Figura 2. Lluvia promedio mensual para el período de tiempo 1980 – 2013.

Fuente: INAMHI – Estación La Argelia.

2.5 Hidrografía.

Loja, pertenece al sistema hídrico Amazónico. Al suroeste de la subcuenca del río Zamora, con un sistema de drenaje dendrítico, como lo muestra la figura 3. El sistema hídrico de la hoya de Loja, está conformado por dos pequeños ríos: el Malacatos y el Zamora Huayco; nace del nudo de Cajanuma, límite meridional del valle de Loja. Estos ríos se unen al norte, conformando al río Zamora, al cual engrosan su caudal varios afluentes más pequeños (quebradas, riachuelos, etc.). Aguas abajo de la unión con el Malacatos septentrional, el río Jipiro, es el afluente más importante del río Zamora, que se une al caudal principal desde la margen derecha (Paladines, 2007).

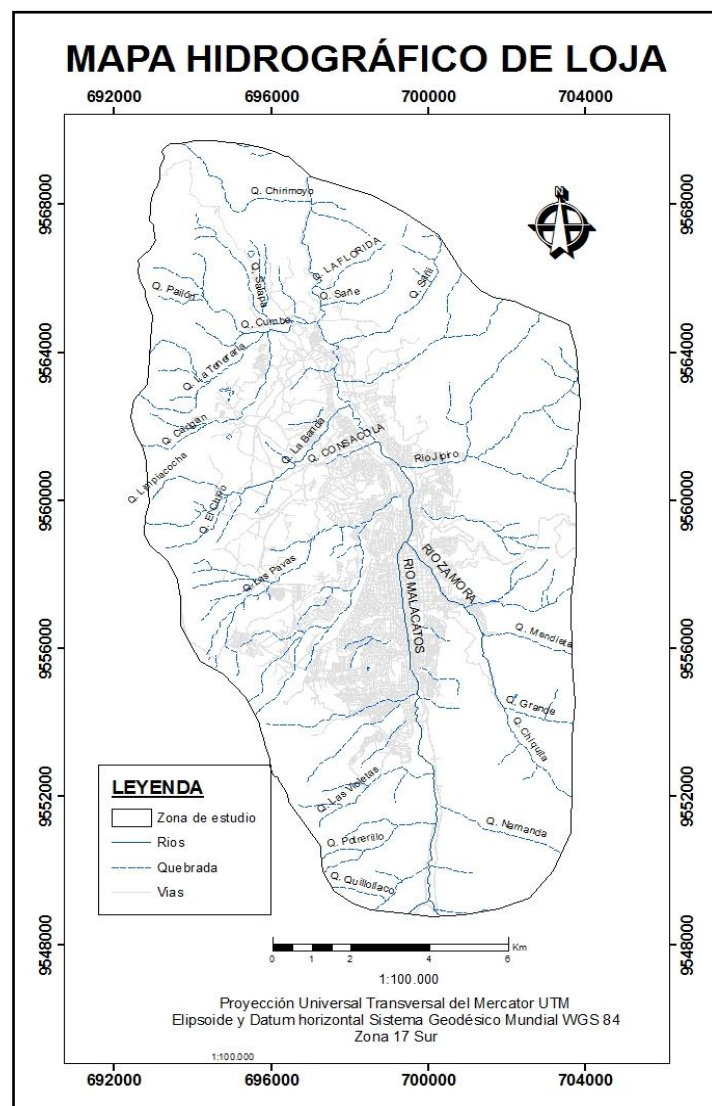


Figura 3. Mapa hidrográfico de Loja.

Fuente: Katia Olivos, 2014.

CAPÍTULO III
MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se exponen los conceptos relacionados al tema de investigación, tanto de las ciencias que intervienen como de los fundamentos en que nos basamos.

3.1 Conceptos básicos.

3.1.1 Hidrogeología. La hidrogeología es una rama de las ciencias geológicas que estudia las aguas subterráneas en lo relacionado con su origen, su circulación, sus condicionamientos geológicos, su interacción con los suelos, rocas y humedales (freatogénicos); su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas) y su captación.

3.1.2 Cuenca Hidrográfica. Cuenca hidrográfica es un área de la superficie terrestre drenada por un único sistema fluvial. Sus límites están formados por las divisorias de aguas que la separan de zonas adyacentes pertenecientes a otras cuencas fluviales. El tamaño y forma de una cuenca viene determinado generalmente por las condiciones geológicas del terreno. El patrón y densidad de las corrientes y ríos que drenan este territorio no sólo dependen de su estructura geológica, sino también del relieve de la superficie terrestre, el clima, el tipo de suelo, la vegetación y, cada vez en mayor medida, de las repercusiones de la acción humana en el medio ambiente de la cuenca.

Las cuencas pueden considerarse como sistemas abiertos en los que es posible estudiar los procesos hidrológicos; se llama sistema abierto al conjunto de elementos y alteraciones interrelacionadas que intercambian energía y materia con las zonas circundantes. La medición y análisis cuantitativo de sus características hidrográficas se denomina morfometría de la cuenca. Por este motivo, la cuenca representa la unidad fundamental empleada en hidrología, la ciencia que se ocupa del estudio de las diferentes aguas en el medio ambiente natural. Constituye uno de los rasgos principales del paisaje, cuyo proceso de formación en la mayoría de los continentes está determinado por la erosión fluvial y el transporte y deposición de sedimentos. Ésta es la razón por la que las cuencas también son la unidad básica de estudio de la geografía física.

3.1.3 Mineralogía. La mineralogía es la rama de la geología que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales que se encuentran en el planeta en sus diferentes estados de agregación. Por mineral se entiende una materia de origen inorgánico, que presenta una composición química definida además, generalmente, por una estructura y que suele presentarse en estado sólido y cristalino a la temperatura media de la Tierra, aunque algunos, como el agua y el mercurio, se presentan en estado líquido.

3.1.4 Estratigrafía. La estratigrafía es la rama de la geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal; cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas.

3.1.5 Topografía. Topografía, en cartografía y geodesia, representación de los elementos naturales y humanos de la superficie terrestre. Esta ciencia determina los procedimientos que se siguen para poder representar esos elementos en los mapas y cartas geográficas.

3.2 Movimientos de ladera.

Los movimientos de ladera son procesos esencialmente gravitatorios, por los cuales una parte de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original sin que intervenga un medio de transporte, siendo tan solo necesario que las fuerzas estabilizadoras sean superadas por las desestabilizadoras (Márquez, 1984).

3.2.1 Clasificación de movimientos de ladera.

Varnes y Hutchinson (1998) proponen la siguiente clasificación modificada de movimientos de ladera.

3.2.1.1 Caída. Una caída se inicia con el desprendimiento de suelo o roca en una ladera muy inclinada. El material desciende principalmente a través del aire por caída, rebotando o rolando. Ocurre en forma rápida sin dar tiempo a eludirlas.

3.2.1.2 Volcamiento. Consiste en el giro hacia delante de una masa de suelo o roca respecto a un punto o eje debajo del centro de gravedad del material desplazado, ya sea por acción de la gravedad o presiones ejercidas por el agua.

3.2.1.3 Deslizamiento. Un deslizamiento se define como el movimiento gravitacional hacia el exterior de la ladera y descendente de tierras o rocas sin la ayuda del agua como agente de transporte y se puede presentar de dos formas.

3.2.1.3.1 Deslizamiento Rotacional. Los desplazamientos ocurren o tienen lugar a lo largo de una superficie de ruptura de forma curva o cóncava.

3.2.1.3.2 Deslizamiento Traslacional. Consiste en el desplazamiento de una masa a lo largo de una superficie de ruptura de forma plana u ondulada.

3.2.1.4 Flujo. Se forman en el momento en que la tierra y la vegetación son debilitadas considerablemente por el agua, alcanzando gran fuerza cuando la intensidad de las lluvias y su duración es larga.

3.2.1.5 Reptación. Es la deformación que sufre la masa de suelo o roca como consecuencia de movimientos muy lentos por acción de la gravedad. Se suele manifestar por la inclinación de los árboles y postes, el corrimiento de carreteras y líneas férreas y la aparición de grietas".

Cruden and Varnes 1996, hacen una clasificación de movimientos de masa según la escala de velocidades que se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Escala de velocidades para movimientos en masa.

Clases de velocidad / descripción	Velocidad (mm/seg)	Velocidad típica	Daños probables
7 - Extremadamente rápido	5×10^3	5 m/seg	Nulo
6 - Muy rápido	5×10^1	3 m/min	Nulo
5 - Rápido	5×10^{-1}	1,8 m/h	Evacuación
4 - Moderado	5×10^{-3}	13 m/mes	Evacuación
3 - Lenta	5×10^{-5}	1,6 m/año	Mantenimiento
2 - Muy lenta	5×10^{-7}	16 m/año	Mantenimiento
1 - Extremadamente lenta			Nulo

Fuente: (Cruden and Varnes. 1996).

Elaboración: Autor.

3.2.2 Factores que influyen en los Movimientos de Ladera.

3.2.2.1 Topografía y geomorfología.

Ciertos movimientos en masa necesitan ciertos valores máximos para poderse desarrollar en una zona.

Los deslizamientos (movimientos de ladera) ocurren con mayor frecuencia en terrenos de pendiente pronunciada y desprovista de vegetación. Los valores umbrales para la generación de avalanchas de rocas son los siguientes:

- 150m de desnivel entre la corona y la zona de acumulación.
- 25°pendiente mínima

3.2.2.2 Pendiente de la Ladera.

Forma de la ladera: Cóncavo/Convexo.

Morfología: Ladera, acantilado, depósitos antiguos, presencia de cauce al pie de la ladera, forma de cuenca receptora, entre otros.

Altura de la ladera: alta, media y baja.

Orientación de la ladera: Exposición al sol, respuesta sísmica.

3.2.2.3 Geología.

Condiciona directamente las cualidades geotécnicas del material y la estructura de la ladera. Tipo de roca o suelo, grado de cementación, estructuras.

3.2.2.4 Estratificación.

La orientación de los estratos juega un papel importante ya que al estar dispuestos en la misma dirección que la ladera, es mucho más probable la ocurrencia de los movimientos de masa. Los tipos de rocas y la calidad de los suelos determinan en muchos casos la facilidad con que la superficie se degrada por la acción de los factores externos.

Diferentes materiales reaccionan en manera diferente a cambios de su situación física (contenido de agua, aceleración sísmica entre otros.) que está relacionado en algunas situaciones con la pérdida de su estabilidad.

3.2.2.5 Estructuras.

En los suelos, la litología, estratigrafía y las condiciones hidrogeológicas determinan las propiedades resistentes y el comportamiento del talud. En el caso de macizos rocosos competentes el principal factor condicionante es la estructura geológica: la disposición y frecuencia de las superficies de discontinuidad y el grado de fracturación: en materiales blandos, como los butílicos o pizarrosos, la litología y el grado de alteración juegan también un papel predominante.

3.2.2.6 Litología.

Los tipos de rocas y la calidad de los suelos determinan en muchos casos la facilidad con que la superficie se degrada por la acción de los factores externos. Diferentes materiales reaccionan en manera diferente a cambios de su situación física (contenido de agua y aceleración sísmica) que está relacionado en algunas situaciones con la pérdida de su estabilidad.

3.2.2.7 Sismicidad.

Los sismos pueden producir, además de movimiento vibratorio característico, una serie de efectos inducidos que dan lugar a grandes deformaciones y roturas en el terreno, entre estos encontramos los deslizamientos, y desprendimientos de rocas. Éstos se relacionan con el comportamiento geológico y geotécnico del terreno.

Los movimientos de laderas no sólo depende del sismo para su generación, sino de requiere que la intensidad sea alta para que éstos deslizamientos y desprendimientos tengan lugar.

3.2.2.8 Condiciones Hidrogeológicas.

El agua que ingresa a través de fisuras, grietas y/ o macroporos del suelo, es retenida por fuerzas moleculares o por fuerzas capilares, saturando dichos poros e ingresando al material rocoso subyacente a través de areniscas y gravas; creando las condiciones favorables para que se originen movimientos de masa.

3.2.2.9 Comportamiento Hidrológico.

Las lluvias saturan los suelos arcillosos y las rocas meteorizadas o fracturadas, al mismo tiempo que producen inundaciones capaces de erosionar los suelos y las rocas débiles, lo cual se traduce en deslizamientos de laderas, colapso de taludes de carreteras, socavación de pilas, erosión y deslizamientos de terraplenes, colapso total o parcial de importantes puentes, erosión de

importantes tramos de carreteras, deslizamientos de viviendas construidas en laderas de suelo o de roca pobre. El factor es la presión que ejerce el líquido en los poros y fisuras del suelo.

El clima puede favorecer la inestabilidad del subsuelo al aportar una suficiente cantidad de agua. Las altas precipitaciones en combinación con el tipo de suelo fomentan la formación y aceleración de los movimientos de masa.

3.2.2.10 Erosión.

Una roca sana es capaz de resistir todas las consecuencias generadas por los frecuentes fenómenos hidrometeorológicos, pero un suelo arcilloso, un suelo limoso, un suelo arenoso, un depósito de gravas, una roca meteorizada, una roca alterada, una roca muy fracturada o una roca sedimentaria pobremente cementada, siempre serán susceptibles a la erosión, a la saturación y a los deslizamientos, ya que la presencia del agua tiende a deteriorar sus propiedades geomecánicas.

3.2.2.11 Factores Antrópicos.

La acción del hombre afecta en forma determinante la ocurrencia de deslizamientos de tierra, siendo un permanente modificador de los elementos que conforman la superficie de la tierra y el efecto sobre los taludes ha sido el de agente desestabilizador.

Las principales modificaciones causadas por el hombre y que afectan en forma importante la estabilidad de los taludes son:

3.2.2.11.1 Cambios en la topografía y cargas del talud.

- Descargue del talud por remoción de suelos y rocas por corte.
- Sobrecarga por medio de rellenos, edificios, etc.
- Subsistencia o hundimiento por excavaciones subterráneas (túneles).

3.2.2.11.2 Cambios en las condiciones de humedad.

- Modificación de las condiciones naturales del agua superficial por medio de canales, zanjas, represas, etc.
- Modificación de las condiciones naturales del agua subterránea por medio de pozos de bombeo, concentración de las infiltraciones, etc.
- Infiltración de ductos de agua, especialmente acueductos y alcantarillados.
- Aceleración de infiltración por la presencia de depósitos de basura y residuos sobre el talud.
- Negligencia en el drenaje superficial y subterráneo.
- Cambio general en el régimen de aguas superficiales.
- Construcción de reservorios o presas.

3.2.2.11.3 Vibraciones.

- Vibraciones de máquinas.
- Vías de comunicación.
- Explosivos.
- Efectos de la construcción de obras (especialmente el movimiento de maquinaria).

3.2.2.11.4 Cambios en la cobertura vegetal.

- Cambio de la estructura y condiciones de la capa superficial de suelo por prácticas de agricultura, pastoreo, tala de bosques, etc.

- Modificación del uso del suelo.

3.2.2.11.5 Otros factores antrópicos.

- Negligencia en el manejo de los taludes.
- Utilización de los taludes para el paso de personas y animales.

CAPÍTULO IV
METODOLOGÍA Y TRABAJO DE CAMPO

Para el desarrollo del presente trabajo se empleó sistemáticamente la metodología que a continuación se describe:

4.1 Recopilación de información y análisis de datos.

La recopilación de información, comienza en los estudios recientes que se han hecho, en base a la geología de la Hoya de Loja. Buscando primeramente los proyectos de tesis en la Universidad Técnica Particular de Loja, en la titulación de Geología y Minas. De este modo se puede tener una idea de las diferentes litologías que se presentan en la zona de trabajo, las cuales luego se correlacionan con nueva información.

Existe un mapa esquemático (Tambo, 2011) que indica el peligro de deslizamiento en el norte de Loja. La zona de estudio (Sector La - Banda) aparece en riesgo moderado. (Ver figura 4). Los datos de precipitación, son proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), de las estaciones La Argelia, San Francisco, San Lucas y Catamayo.

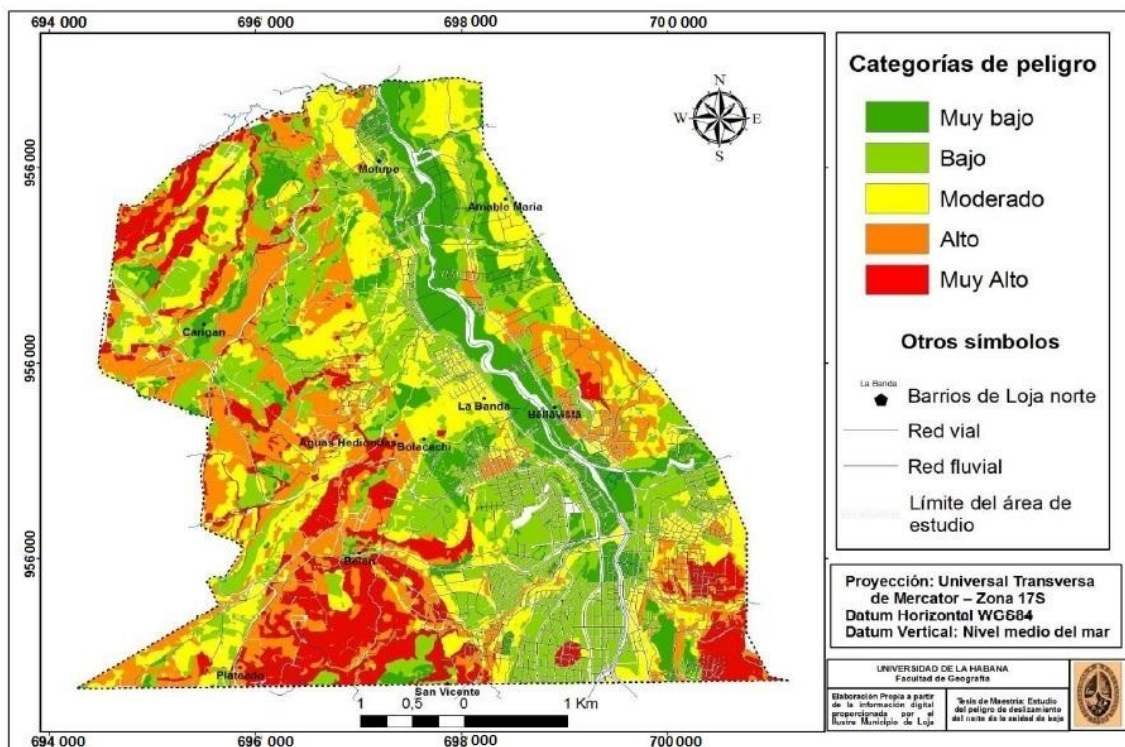


Figura 4. Mapa de peligro de deslizamientos en el norte de la ciudad de Loja.

Fuente: Tambo 2011.

Los testimonios de los moradores, también son importantes, para poder conocer de forma directa, cuales son las principales afectaciones que sufrieron, antes, durante y después de que el movimiento de ladera se produjo.

La información recopilada, compuesta por otras tesis y estudios realizados, constituye la base para la presente investigación y de manera específica para poder interpretar mejor todos los datos que se obtendrán en campo.

4.2 Trabajo de campo.

El trabajo de campo realizado para el presente estudio se estructura de la siguiente manera:

- Primero, se definió en el mapa preliminar con información básica, como curvas de nivel, coordenadas y distribución urbana; los puntos de la zona de estudio.
- Posteriormente inició el recorrido en campo, por los puntos ya definidos, comenzando por una identificación de los principales afloramientos que nos den muestra de la geología que existe en el lugar.
- Se tomaron puntos de referencia con el GPS, para generar el mapa geológico de la zona.
- En cada afloramiento, se recolectó muestras para realizar los ensayos de laboratorio mediante barrenos manuales (ver figura 5) y una descripción de los principales aspectos como: tipo de litología, datos estructurales (ver figura 6), principales minerales observando con la lupa, dureza, longitud del afloramiento, correlación entre los afloramientos, interpretación geológica preliminar. Utilizando herramientas básicas de trabajo de campo, como cinta, brújula, GPS, lupa, martillo, libreta de apuntes. Así como una memoria fotográfica.



Figura 5. Perforación realizada con barrenos manuales.

Fuente: Autor.



Figura 6. Toma de datos estructurales en un afloramiento de lutitas.

Fuente: Autor.

- A la par de la identificación de los afloramientos, se observaron otros puntos de interés como, los principales drenajes, ojos de agua, hundimientos, problemas estructurales (aceras levantadas, tuberías rotas, falta de alcantarillado, daños

en viviendas. Figuras 7 y 8), vegetación (árboles frutales, madereros, pastizales, arbustos, etc.).



Figura 7. Daños en las edificaciones, producto del deslizamiento.

Fuente: Autor.



Figura 8. Deslizamiento al pie de las viviendas.

Fuente: Autor.

- Una vez identificada la litología y los demás aspectos de interés mencionados anteriormente, se procedió a identificar y caracterizar el movimiento de ladera, en el cual se tomaron en cuenta aspectos como: ubicación en el mapa, partes (cabecera, escarpes, flancos, etc.), medidas (largo, ancho, potencia.), afectación e influencia (daños causados a estructuras, vías, personas, etc.), posibles causas y el tipo de litología en el que falló el terreno.

- También se analizó la presencia de agua en el plano de falla del deslizamiento. Para ello, se tomaron medidas en campo con el Multímetro HQ40d, que es un dispositivo que mide las características físicas del agua, mediante diferentes sondas para cada parámetro respectivamente, que determina la conductividad y oxígeno libre, el pH y la salinidad. Los resultados se muestran en anexo 1, del apartado de Anexos al final de esta investigación.
- Finalmente, se procedió a procesar la información obtenida. De tal manera que se pueda realizar el mapa geológico del lugar de la zona de estudio, con todos los puntos de interés correspondientes.

4.2.1 Toma de muestras para los ensayos de laboratorio.

Se procedió a tomar, muestras representativa de las diferentes litologías del lugar, mediante perforaciones, con distintas herramientas (cuchara partida, barreta y pala), a una profundidad de 1.5 metros; para realizar los ensayos de laboratorio (ver tabla 2); de Mecánica de Suelos de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Las normas que se utilizaron, se muestran en la tabla 3 a continuación. Estas normas, determinan el procedimiento para realizar los ensayos, así como los parámetros obtenidos, para clasificar los suelos, en dependencia de los resultados que se obtengan.

Tabla 2. Ensayos de laboratorio y sus Normas correspondientes.

ENSAYOS DE LABORATORIO	NORMAS
Contenido de humedad	ASTM D 2216
Límite líquido	ASTM D 4318
Límite plástico	ASTM D 4318
Granulometría	ASTM D 422

Permeabilidad	ASTM D 2434
Índice de consistencia plástica	N/A
Resistencia a la compresión simple	N/A
Triaxial	ASTM D 2850
Corte directo	ASTM D 3080

Fuente y elaboración: Autor.

El objetivo es determinar las características geológico-geotécnicas de las diferentes litologías que conforman la zona de estudio y el movimiento de ladera; así como también estudiar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del sector entre sus principales ensayos: permeabilidad, consistencia, granulometría, y resistencia al corte directo y triaxial; parámetros que servirán para que se pueda dar solución de los diferentes problemas del lugar de estudio. Los resultados de los ensayos se encuentran detallados en el Anexo 2, de esta investigación.



Figura 9. Perforación realizada en lutita arcillosa.

Fuente: Autor.

4.3 Trabajo de gabinete y procesamiento de datos.

Recolectada toda la información anterior posible, se procedió a realizar la digitalización, mediante el software ArcGIS 9.3, así como la elaboración de una memoria técnica, en donde se transcriben todos los datos obtenidos de afloramientos, puntos de interés y caracterización del deslizamiento, de la misma forma, las fotografías y los puntos GPS. Con esta información, se pudo dar una primera interpretación de la Geología del lugar, para luego corroborar y posteriormente corregir algún error, de manera que se pueda definir con la mayor proximidad de exactitud las diferentes litologías, deslizamiento, afloramientos, fallas, discontinuidades, etc.

Cuando se habla de los factores detonantes y condicionantes para que se produzca un movimiento de ladera, sin duda el agua (lluvia, afluentes, escurrimientos, etc.) es un factor determinante y muy importante al momento de evaluar las causas posibles para que se haya producido. Por lo tanto en esta investigación, se hizo un análisis estadístico de la precipitación diaria en un período de tiempo entre los años 1980 – 2013, así como también la evaluación de la lluvia diaria tomando en cuenta los meses más cercanos antes de que se produzca el evento.

Los resultados, gráficas y explicación, se encuentran en el capítulo 5, en el apartado de Análisis de la precipitación y la influencia sobre el deslizamiento.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1 Caracterización geológica.

Con el trabajo de campo y el de gabinete, sumado a los resultados de los ensayos de laboratorio, se pudo interpretar la geología del lugar de trabajo, como lo muestra la figura siguiente.

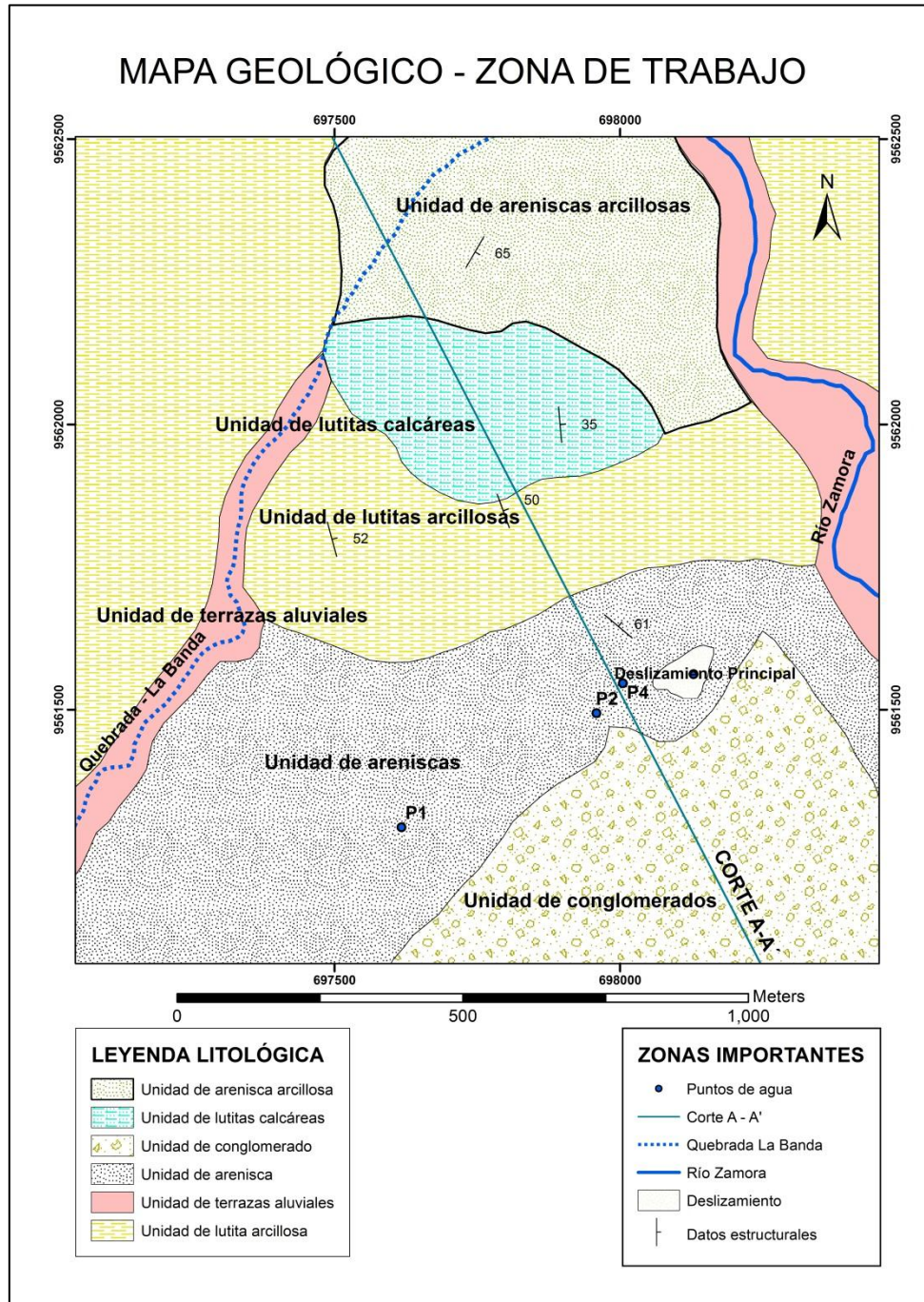


Figura 10. Mapa geológico de la zona de trabajo.

Fuente y elaboración: Autor.

La zona de trabajo, está compuesta por cinco unidades litológicas: compuesta por conglomerados, arenisca arcillosa, lutitas arcillosas, lutitas calcáreas y material aluvial. A continuación, se describe cada una de las unidades encontradas.

5.1.1 Unidad de Conglomerado.

En el sector de La Banda, al noroeste de la zona urbana de Loja, es muy común encontrar este tipo de litología, presenta una matriz limo - arcillosa, con clastos redondeados a subredondeados, presenta algunas oxidaciones, ocasionadas por la alteración de algunos de sus clastos por el agua. La coloración que presenta es mayormente café, siendo más claro o más oscuro en algunos casos, como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Afloramiento de conglomerado.

Fuente: autor.

El conglomerado se encuentra en contacto con las areniscas, (figura 12). Los clastos son mayormente de materiales metamórficos como cuarcitas, esquisto y hasta filitas. La distribución de los clastos va desde bien a mal gradado. Así se puede encontrar clastos que siguen una secuencia desde mayores a 1cm y no mayores a 7cm, en

algunos casos; en otros existen clastos en los que todos conservan una distribución de tamaños más o menos igual.

En la mayoría de los casos, el conglomerado aflora en la superficie, algunas veces, está cubierto por una capa de suelo orgánico con vegetación no mayor a 1 metro y en otras, presenta intercalaciones de arenisca, entre 1 a 2 metros. Esta litología, pertenece a la formación Belén.



Figura 12. Contacto entre el conglomerado y la arenisca.

Fuente: Autor.

5.1.2 Unidad de Arenisca.

Este tipo de litología corresponde a arenisca de grano grueso, con láminas finas de conglomerados con clastos metamórficos y sedimentarios no mayores a 1 cm y un color claro.

Están en contacto con el conglomerado y con las lutitas arcillosas; La mayoría del material expuesto a la superficie, está meteorizado, principalmente por el agua; pero a medida que se excava un poco, se vuelven más resistentes a los golpes del martillo y no se desmorona con tanta facilidad, aunque siguen siendo fáciles de romper.



Figura 13. Afloramiento de arenisca.

Fuente: Autor.

Estas areniscas presentan una matriz arcillo - arenosa, la coloración es más clara y su resistencia es más baja. A esto también tenemos que sumar, el material orgánico que cubre la mayor parte de las litologías del sector, sumado a la vegetación y los sembríos, también influyen en la estabilidad de este material. Tienen una dirección de N 130°, con un buzamiento de 61° NE.

5.1.3 Unidad de arenisca arcillosa.

Esta arenisca se diferencia de la anterior, por la presencia de intercalaciones de arcilla de dos a cinco centímetros de espesor, tal como se muestra en la figura 14. Su color es marrón a verdosa, de grano más fino, con una matriz un tanto más arcillosa que la anterior y está en contacto con las lutitas arcillosas, con las lutitas calcáreas y con el aluvial. Presentan una dirección de N 300°, con un buzamiento de 65° SE.



Figura 14: Afloramiento de arenisca con intercalaciones de arcilla (lutita).

Fuente: Autor.

5.1.4 Unidad de lutita arcillosa.

Las lutitas arcillosas se presentan en forma de capas, entre las cuales sobresalen las lutitas de color amarillento y grises, pequeñas láminas de material orgánico (turba – ver figura 16) y algunas son de coloración rojiza, debido a la oxidación que presentan (figura 17).

Esta unidad está en contacto con las areniscas arcillosas y se extiende hasta las orillas del río Zamora y quebrada La Banda, en donde está por debajo de una capa de material aluvial; continúa hasta los sectores de Amable María y La Banda Alto, de la zona urbana de Loja.



Figura 15. Presencia de turba en lutitas arcillosas.

Fuente y elaboración: Autor.

En algunas zonas, están altamente meteorizadas, pero siguen conservando la forma de estratificación, menores a 10 centímetros de espesor y se evidencia con facilidad, su gran contenido de arcilla. La mayoría de afloramientos, son antrópicos y se encuentran visibles en la vía. Estructuralmente tienen una dirección de N160°, con un buzamiento de 50° NE.

Los estratos presentan fracturas locales, creando unas pequeñas fisuras que luego, por un proceso de recristalización, son rellenadas por yeso, ($\text{SO}_4\text{Ca}+2\text{H}_2\text{O}$), ver figura 17.



Figura 16. Oxidaciones y yeso en lutitas arcillosas.

Fuente y elaboración: Autor.

5.1.5 Unidad de lutita calcárea.

Se presentan en forma de capas estratificadas, con intercalaciones de lutitas arcillosas, aunque predomina el material calcáreo. Se distingue de la lutita arcillosa, por su mayor coherencia y depositación en estratos definidos, además de que las tonalidades son diferentes, siendo éstas mucho más claras (figura 17).

En la zona de trabajo, se encuentra en contacto con la arenisca arcillosa y la lutita arcillosa, desapareciendo en las riveras de la quebrada La Banda (ver figura 18).



Figura 17. Afloramiento de lutitas calcáreas.

Fuente: autor.

La dureza de la roca, hace pensar que se puede tratar de caliza, pero es descartable dicha afirmación, porque no existe una reacción inmediata ni agresiva al ácido clorhídrico, pero se puede evidenciar presencia de carbonatos en la matriz.



Figura 18. Contacto entre las lutitas calcáreas y las lutitas arcillosas.

Fuente: autor.

En la vía se puede observar el contacto, entre la lutita arcillosa y la lutita calcárea, como lo muestra la figura número 18. Los estratos, tienen mayor espesor que los de

las lutitas arcillosas, en algunos casos miden hasta 30 centímetros. De la toma de datos estructurales (figura 19), se puede comprobar que las lutitas calcáreas presentan una dirección de N175° y un buzamiento de 35° NE. Aunque en algunos casos, cambian el ángulo de buzamiento llegando a casi vertical (ver figura 17).



Figura 19. Toma de datos estructurales en lutitas calcáreas.

Fuente y elaboración: Autor.

5.1.6 Unidad de terrazas aluviales.

Estas terrazas aluviales, son producto de sedimentación de materiales arrastrados por la corriente, este material se desplazó a favor de la pendiente y se acumuló a las riveras tanto del río Zamora, como de la quebrada La Banda; por ello es típico encontrar en estas terrazas, capas de diferentes materiales, que contienen clastos, con tamaños que van desde gravas, arenas, limos, y arcillas. Los clastos están constituidos en su mayoría por rocas metamórficas, como cuarcitas, filitas y esquistos.

Su depositación es caótica; es decir no siguen un orden específico en cuanto al tipo de material, todo depende del momento en el que las diferentes litologías se fueron depositando. Como muestra la figura 22. Estas terrazas aluviales tienen un espesor que varía entre 1 a 10 metros (ver figuras 20 y 21), las cuales están recubiertas por una capa de material orgánico de hasta 50 centímetros. Cabe mencionar que a las

orillas del río Zamora, se construye un muro de contención, que en algunos casos aumentan la potencia de las terrazas aluviales, por las excavaciones que se realizan.



Figura 20. Terraza aluvial a orillas del río Zamora, a la altura del zoológico de la ciudad de Loja.

Fuente: Autor.



Figura 21. Aluvial a orillas de la quebrada La Banda.

Fuente: autor.

Para una mejor interpretación de la litología del lugar, se crearon dos perfiles litológicos, los cuales se encuentran en el anexo número 5 al final de esta investigación.

5.2 Características principales del movimiento de ladera.

Muchos son los criterios que se aplican al momento de describir un movimiento de ladera, porque existen diferentes factores detonantes y condicionantes, que lo provocan.

Además las características tanto geológicas, geotécnicas, físicas, químicas y hasta estructurales, son un factor determinante al momento de que se produzca un evento de éstos. También se debe adicionar todos aquellos factores antrópicos que pueden influir en la inestabilidad del talud, aumentando así el riesgo de que el material caiga a favor de la pendiente.

Las delimitaciones se las realizó en fotografías reales, tomadas por un Dron Phantom 3 profesional – DJI.MPXL18. Desde una altura aproximada de 130 metros. De esta manera, se puede tener una idea más clara de la afectación que ha producido el deslizamiento, como se observa en la figura 22, el movimiento de ladera bloqueó una vía de acceso al barrio, además de que se puede evidenciar las casas que han sido afectadas por el mismo.

Con todos los parámetros claros y establecidos, además de la evidencia fotográfica disponible, se puede decir que el tipo de movimiento de ladera, pertenece a un deslizamiento rotacional, ya que el movimiento ocurre a lo largo de un plano de rotura curva o cóncavo.



Figura 22. Delimitación del deslizamiento en una fotografía real.

Fuente y elaboración: Autor.

La principal característica de éstos movimientos, es el pronunciado escarpe principal que presentan y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hasta el escarpe principal (González de Vallejo, 2004). No se puede apreciar de una manera muy clara, la deformación que existe en el terreno, debido al efecto estabilizador que este tipo de movimientos de ladera produce.

Es decir, al existir un corte al pie del talud, el terreno va a ceder en contra de la pendiente, produciendo un movimiento rotacional (cóncavo), hasta que se estabilice y deje de deslizarse; no obstante, puede seguir desplazándose, dependiendo de las condiciones climáticas, factores antrópicos y del material.

Eso fue lo que ocurrió en este caso, aunque hay que añadir, el exceso de carga que se aplicó en la parte alta del deslizamiento, provocado por las edificaciones que se construyeron y que claramente exceden la capacidad portante del terreno. Todo esto agravó el problema y permitió que se produzca el movimiento.

Tabla 3. Principales dimensiones de la masa deslizada.

DIMENSIONES DEL MOVIMIENTO DE LADERA	
PARAMETROS	MEDIDAS (metros)
Ancho de la masa desplazada	70 m
Ancho de la superficie de rotura	50 m
Largo de la masa deslizada	134 m
Largo de la superficie de rotura	60 – 70 m
Profundidad de la masa	35 – 40 m
Profundidad de la superficie de rotura	15 – 20 m
Longitud total	195 – 200 m

Fuente y elaboración: Autor.

Como se ha mencionado anteriormente, en la ciudad de Loja, especialmente al norte de la misma, es muy común encontrar, problemas estructurales, ligados principalmente a deslizamientos. Como se muestra en la figura 22, el movimiento de ladera se produce en una zona urbanizada, en la que se pretendía construir viviendas, que al final colapsaron como efecto del movimiento.

Una vez definido el contorno o delimitación del deslizamiento, la masa deslizada y el plano de falla del mismo, en una fotografía real; se procede a identificar las partes que conforman un el movimiento de ladera.

Las principales partes de un movimiento de ladera son: corona, cabeza, escarpe principal, escarpe secundario, cuerpo. Adicionalmente se determina también la superficie de rotura, superficie de separación, masa movida, zona de acumulación y los flancos, como se muestra en la figura 23.

Así mismo se debe analizar su geometría, que no es otra cosa que las medidas en metros que pueda tener el movimiento (ver tabla 3). Los valores de las dimensiones, se los determinó midiendo con cinta métrica y mediante la diferencia entre cotas y alturas.

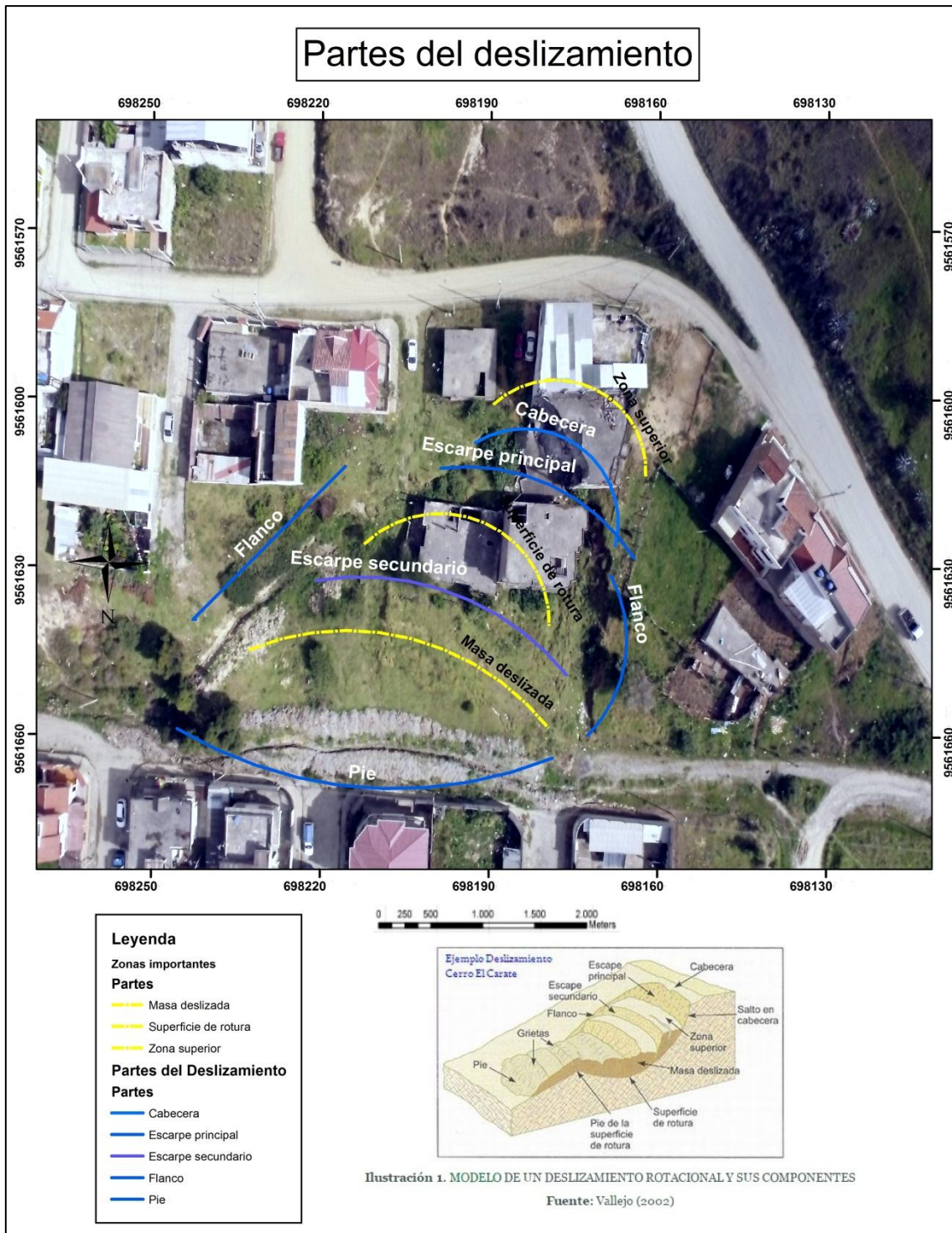


Figura 23. Principales partes del deslizamiento rotacional.

Fuente y elaboración: autor.

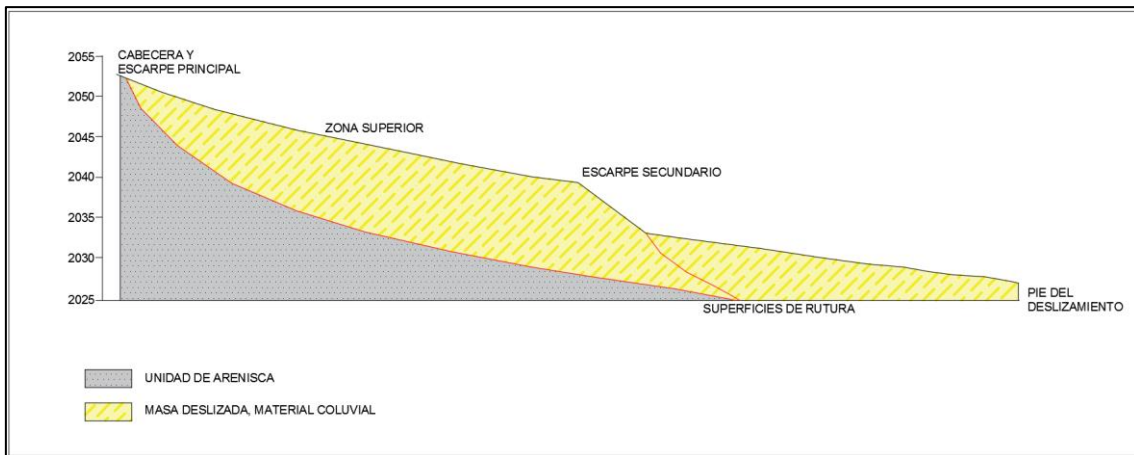


Figura 24. Esquema del perfil del movimiento de ladera de la zona de estudio.

Fuente y elaboración: autor.

La figura 24, muestra un esquema del corte del perfil del deslizamiento, en el cual se muestran las partes descritas en la figura 23. La litología en donde se produjo el deslizamiento, es la arenisca, descrita en el mapa geológico como unidad de areniscas; sin embargo, al deslizamiento se lo cataloga con una litología de coluvio, ya que se trata del material que se movió.

5.3 Principales agentes condicionantes y detonantes en el movimiento de ladera.

Entre los principales agentes condicionantes y detonantes que se pudo determinar en el área de trabajo, tenemos:

5.3.1 Agentes condicionantes.

5.3.1.1 El tipo de litología.

Con el trabajo de campo y la generación del mapa geológico, se determinó que el deslizamiento se produjo sobre un plano de falla arcilloso, el cual muestra características de ser un suelo con una capacidad portante de consistencia blanda formado por arcilla y alto contenido de arena. El plano de falla de arcilla está dentro de la unidad de areniscas, en la figura 25 se muestra la parte superior del deslizamiento,

en el que se puede apreciar partes de arcilla dentro de las areniscas, cubierto por vegetación propia del lugar.



Figura 25. Zona superior del movimiento de ladera, formado por areniscas y arcilla.

Fuente: autor.

5.3.1.2 Capacidad portante del suelo.

La tabla 4, muestra valores para la capacidad portante del suelo, que es importante reconocer al momento de realizar cualquier tipo de edificación en terrenos que son de origen sedimentario.

La presencia de sobrecarga, en el terreno hace que pueda ceder con facilidad, iniciando una reacción en cadena, entre las fuerzas de soporte y fuerzas de empuje; es decir que mientras la presión ejercida al suelo, sea superior a las fuerzas de soporte, el efecto que se produce, es una compensación, que provoca que los gránulos de arena se reacomoden en dependencia a presión ejercida y se mueven en dirección a favor o en contra de la pendiente, en colinas, y en distintas direcciones cuando se trata de terrenos planos.

La sobrecarga se refiere, al excedente de carga (en este caso puntual) que las edificaciones ejercen sobre el terreno, pasando el límite de soporte que tienen las areniscas en este caso y específicamente el plano de falla arcilloso.

Tabla 4. Valores de la capacidad portante del suelo.

Tipo de material	$P(\text{kg}/\text{cm}^2)$
Roca, dura y sana (granito, basalto)	40
Roca, medio dura y sana (pizarras y esquistos)	20
Roca, blanda o fisurada	7
Conglomerado compacto bien graduado	4
Gravas. Mezcla de grava y arena	2*
Arena gruesa. Mezcla de grava y arena.	2*
Arena fina a media. Arena media a gruesa, mezclada con limo o arcilla.	1.5*
Arena fina. Arena media a fina mezclada con limo o arcilla.	1.0*
Arcilla inorgánica firme	1.5
Arcilla inorgánica blanda	0.5
Limo inorgánico, con o sin arena.	0.25

Fuente: Cimentaciones superficiales, Fernando Herrera, 2005.

Elaboración: Autor.

Al existir una inestabilidad en el pie del talud (detallado a continuación) y sumado al exceso de carga en la capacidad portante del material arcillo-arenoso, aumentó aún más el riesgo de que se produzca este movimiento de ladera, provocando daños irreversibles en las edificaciones que se estaban construyendo en este terreno.

5.3.2 Agentes detonantes.

5.3.2.1 Corte del pie del talud.

Con la apertura de una vía de acceso para los moradores del sector, el municipio removió el material del pie del talud (figura 30), sin tomar las precauciones y consideraciones necesarias. Si se resta estabilidad en el pie de un talud, el suelo que lo compone, tratará de compensar la falta de ésta, por tanto, el material se moverá, lo que tenga que moverse hasta tratar de lograr una estabilidad. La tendencia, siempre será seguir la dirección original y a veces, no se necesita mucho material para contrarrestar el daño.



Figura 26. Imagen proyectada del pie del deslizamiento bloqueando la vía de acceso.

Fuente: autor.

5.3.2.2 Esguerrimientos de agua.

La presencia de aguas freáticas y la falta de alcantarillado, son otros de los factores que provocan la inestabilidad en los suelos; ya que el agua que se esgurre a través de los poros de los materiales, va desgastándolo, saturándolo y haciendo que se expanda, formando una franja de saturación que viene a constituir el plano de falla.

En este caso, no fue difícil para el agua penetrar y alterar el terreno y si se suma los factores anteriores, se obtiene una suma de errores, que favorecerán a que se produzca un movimiento de ladera. Anteriormente se describe el agua analizada en el plano de falla, la cual se pudo constatar que se trataba de agua de alcantarilla, por lo tanto esto coincide con la investigación, además de los testimonios vertidos por los moradores del barrio.

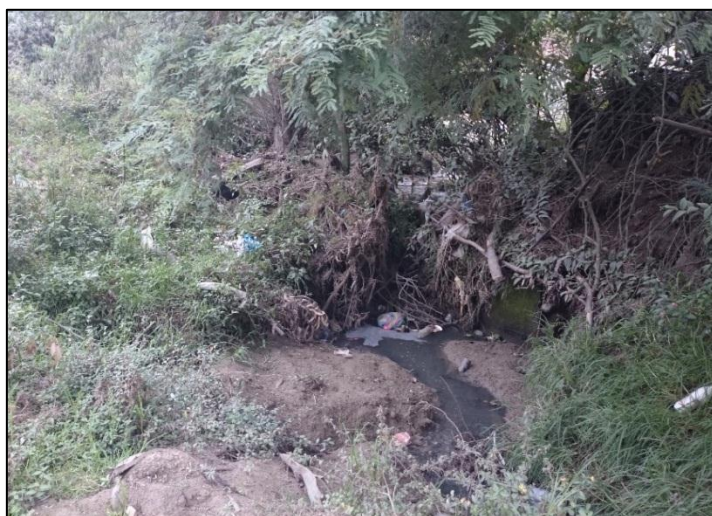


Figura 27. Aguas residuales que evidencian la falta de alcantarillado.

Fuente: autor.

En el transcurso de la investigación, maquinaria del municipio de Loja, removió parte del deslizamiento y creó un canal, para que el agua lluvia tome curso y no se estanque. En dicho canal, que se encuentra en la cabecera del deslizamiento, empezó a aflorar agua, de la cual se desconocía su procedencia, ya que no existen afluentes en la superficie cerca del movimiento de ladera; por ello, se tomó una muestra para

realizar un ensayo físico – químico de esta agua y saber si es agua natural, si es agua potable (apta para consumo humano) o si es aguas servidas (alcantarilla).

Esto para dar un mejor sentido a la influencia del agua sobre el movimiento de ladera y si ésta, es la responsable de que el evento se produjera. Estos análisis se desarrollaron en los Laboratorios UTPL, cuyos resultados se muestran en la tabla 24:

Tabla 5. Resultados del ensayo del agua.

DETERMINACIÓN	UNIDAD	RESULTADOS	U	LMP (TULSMA)
Cloro libre residual	mg/l	<(0,5)	n/d	0,3 – 1,5
Coliformes totales	NMP/100ml	67525	n/d	200
Coliformes fecales	NMP/100ml	73,0	n/d	20

Fuente: LABORATORIOS UTPL.

Tabla 6. Datos de la lectura del Multímetro HACCHA 402.

PARÁMETROS	LECTURA DEL MULTÍMETRO	UNIDADES	LMP (Norma Técnica Ecuatoriana)
Acides y alcalinidad (pH)	7,40	pH	6,5 – 8,5
Sólidos totales disueltos (NaCl)	1089	mg/l	1000
Conductividad – oxígeno libre (O)	1,24 (17,3%)	mg/l	3 - 5%

Fuente: Laboratorios UTPL y Autor.

Las especificaciones del ensayo se muestran en el anexo, al final de esta investigación. Los resultados se compararon con la “Norma para agua de consumo humano” y la “Norma técnica del Agua”, que propone el Ministerio del Ambiente del Ecuador con el código de registro acreditado: OAE LE C 12-005. Los parámetros más importantes del análisis del agua, se describen en la tabla 25. El agua analizada, corresponde a un agua contaminada por coliformes, residuos fecales y residuos de detergente, jabón, aceite, etc. Por lo tanto, esta agua pertenece a un sistema de alcantarillado y agua servidas, provenientes de la red principal de la calle Chuquiribamaba, del sector La Banda.

5.4 Caracterización geotécnica.

Esta caracterización, se la realizó en base a los distintos ensayos de laboratorio de las muestras de las litologías que se obtuvo.

En el capítulo 4, se describió la metodología utilizada en el trabajo y así mismo están detallados los ensayos de laboratorio que se realizaron. A continuación se describen los resultados para cada una de las litologías, las cuales están codificadas de la siguiente manera:

- Conglomerado – ML1
- Arenisca – ML2
- Lutita arcillosa – ML3
- Lutita calcárea – ML4
- Arenisca – ML5
- Arcilla (plano de falla) – ML6

Es importante recalcar que en esta sección se describen las características generales y específicas en cada uno de los parámetros requeridos, los ensayos y su desarrollo en sí, se encuentran en el apartado de anexos, al final de este trabajo.

Con los ensayos de laboratorio para cada una de las litologías, podemos dar una descripción geotécnica, a cada uno de ellas; evaluando los puntos más importantes como: tipo de suelo, capacidad portante, permeabilidad, tamaño de los granos, entre otros.

5.4.1 Conglomerado ML1

Se trata de un conglomerado a micro-conglomerado con clastos redondeados, subredondeados y angulares, provenientes de distintos tipos de rocas, entre los cuales predominan los sedimentarios y metamórficos. Su matriz es limo-arcillosa y el color es café. Este conglomerado es un subproducto de la formación belén.

El suelo en condiciones normales, tiene una humedad del 11,58 %, lo que concuerda con el tipo de matriz que posee. Además se obtuvo parámetros de 38 % y 18 % para los límites, líquido y plástico, respectivamente; lo que determina un índice de plasticidad de 20 %. El tamaño de los granos, están distribuidos de la siguiente manera: grava 31 %, arena 49 % y finos 20 %. Siguiendo la gráfica en relación a los límites y al índice de plasticidad de la clasificación SUCS, este material es una arena arcillosa (SC). Los valores del coeficiente de permeabilidad para esta muestra fueron:

Permeabilidad total (k_T) = $2,7 \times 10^{-7}$ cm/seg Permeabilidad a 20° C (k_{20}) = $2,7 \times 10^{-6}$ cm/seg. Con estos valores podemos determinar que se tratan de un suelo prácticamente impermeable; arenas homogéneas debajo de la zona de intemperismo. Según la tabla de valores relativos de permeabilidad, propuesta por Terzaghi K. y Peck R. 1980.

Tabla 7. Resultados de los ensayos de laboratorio, de la muestra ML1.

ÍTEMS	DESCRIPCIÓN
Características generales	Micro-conglomerado de color café, con clastos subredondeados, redondeados y angulares. Matriz limo-arcillosa.
Tipo – formación	Micro-conglomerado perteneciente a la formación Belén.
Contenido de humedad	11, 58 %
Límite líquido	38,19 = 38 %
Límite plástico	17,71 = 18 %
Granulometría	Grava = 31%; arena = 49%; finos = 20%. Según la clasificación SUCS, se trata de una arena arcillosa. (SC).
Permeabilidad	KT = 2,7E-07 cm/seg; k20 = 2,7E-06 cm/seg. Corresponde a un suelo prácticamente impermeable.

Fuente: Autor.

5.4.2 Arenisca – ML2.

Esta muestra pertenece a una arenisca, de grano fino y de color oscuro, mayormente marrón. El contenido de humedad para éstas areniscas es de 20.80 %. Con valores de 48 % y 22 % para los límites, líquido y plástico, respectivamente; lo que nos determina un valor del índice de plasticidad de 26 %.

El tamaño de los granos están distribuidos de la siguiente manera: Grava = 1 %; arena = 68 %; finos = 31 %. Siguiendo la norma de clasificación SUCS, se trata de una arena arcillosa (SC). Los valores para el índice de plasticidad son: $kT = 1,7 \times 10^{-6}$ cm/seg; $k20$

= $1,7 \times 10^{-6}$ cm/seg. Utilizando la misma clasificación anterior, se determinó que corresponde a un suelo mal drenado. Con arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos.

Para determinar los parámetros del suelo y la relación entre esfuerzo – deformación, a través de la relación del esfuerzo cortante, se realizó el ensayo triaxial, el cual nos permite evaluar dichos parámetros, para los cuales se necesita conocer la cohesión y el ángulo de fricción interna, que en nuestro caso son: cohesión (c) = $2,6 \text{ kg/cm}^2$; ángulo de fricción interna (ϕ) = 49° . Las gráficas de la relación entre el esfuerzo – deformación, y el cálculo de Mohr, se describen en la figura.

Tabla 8. Resultados de los ensayos de laboratorio, muestra ML2.

ÍTEMS	DESCRIPCIÓN
Características generales	Arenisca marrón, de grano fino. Matriz limo-arcillosa.
Tipo – formación	Arenisca marrón. Formación Belén.
Contenido de humedad	20,80 %
Límite líquido	47,43 = 47
Límite plástico	22,41 = 22
Granulometría	Grava = 1%; arena = 68%; finos = 31%. Según la clasificación SUCS, se trata de una arena arcillosa (SC).
Permeabilidad	$K_T = 1,7E-06 \text{ cm/seg}$; $k_{20} = 1,7E-06 \text{ cm/seg}$. Corresponde a un suelo mal drenado. Con arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos.
Triaxial	Cohesión (c) = $2,6 \text{ kg/cm}^2$; ángulo de fricción interna (ϕ) = 49°

Fuente: Autor.

5.4.3 Lutita arcillosa – ML3.

Esta muestra corresponde a las lutitas arcillosas, las mismas que tienen distintas tonalidades claras y grises, entre las que sobresalen las de color amarillo. Su matriz es limo-arcillosa y existen algunas intercalaciones de carbón, además de oxidaciones que hacen que su color se torne un tanto rojizo. Estas lutitas pertenecen a la Unidad de lutitas arcillosas de la Formación La Banda, que recorren el noroeste de la hoya de Loja.

El contenido de humedad es de 26.05%. Con valores de 56 % y 25 % para los límites, líquido y plástico respectivamente. Dando como un índice de plasticidad de 31 %. En cuanto a la clasificación de los granos, se tiene un 0% de grava; arena = 46 %; finos = 54 %. Por lo tanto, en la base a la clasificación SUCS, se trata de una arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL).

La permeabilidad coincide con dicha clasificación, mediante los valores de $k_T = 1,3 \times 10^{-7}$ cm/seg; $k_{20} = 1,3 \times 10^{-6}$ cm/seg; nos dice que corresponde a un suelo mal drenado. Con arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos.

En la prueba de la resistencia a la compresión simple, el valor obtenido para la este material, fue de 1,6 MPa (megapascuales). Lo que sugiere que la roca es muy blanda a blanda (Clasificación de las rocas en función de sus resistencia a la compresión simple, Gonzáles de Vallejo, 2004), por sus características físicas y químicas.

Su gran contenido de arcilla, sus múltiples fracturas y la disposición de los estratos, vuelven el material poco resistente ante una carga mayor a la sugerida.

Tabla 9. Resultados de los ensayos de laboratorio, muestra ML3.

ÍTEMS	DESCRIPCIÓN
Características generales	Lutitas arcillosas, de color amarillento y matriz arcillo-limosa. Se observa algunas intercalaciones de carbón.
Tipo – formación	Lutitas arcillosas, pertenecientes a la Unidad de Lutitas. Formación La Banda.
Contenido de humedad	26,05 %
Límite líquido	55,59 = 56 %
Límite plástico	24,77 = 25 %
Granulometría	Grava = 0%; arena = 46 %; finos = 54 %. Según la clasificación SUCS, se trata de una arcilla inorgánica de baja a media plasticidad. (CL).
Permeabilidad	KT = 1,3E-07 cm/seg; k20 = 1,3E-06 cm/seg. Corresponde a un suelo mal drenado.

Fuente: Autor.

5.4.4 Lutita calcárea – ML4.

Las lutitas calcáreas, que en su mayoría son grises claras, se distinguen de las lutitas arcillosas, por su contenido de carbonatos y menor meteorización en campo. La matriz no es diferente, arcillo – limosa. Estas lutitas, también se encuentran dentro de la Formación La Banda, constituyendo una importante unidad de la misma. El contenido de humedad es más bajo que el de las muestras anteriores, un 13.51 %. En cuanto a su clasificación del tamaño de grano tenemos: grava = 1 %; arena = 42 %; finos = 57 %. Y dentro de la clasificación SUCS, se trata de una arcilla inorgánica de baja a

media plasticidad (CL). En esta litología se encuentra más grava que la que existe en las lutitas arcillosas.

Los valores de los límites, líquido y plástico, de 52 % y 34 % respectivamente, nos sugieren un índice de plasticidad de 18 %. Si nos guiamos en la tabla de Atterberg, se obtiene que las lutitas presenten, una plasticidad alta y la descripción del suelo coincide con los datos anteriores. Las lutitas calcáreas, de la zona de estudio, son rocas blandas a moderadamente blandas.

Tabla 10. Resultados de los ensayos de laboratorio, muestra ML4.

ÍTEMS	DESCRIPCIÓN
Características generales	Lutitas calcáreas, de color gris. Con alteraciones que aparentan un comienzo de metamorfismo, por la dureza de la roca en campo. Matriz arcillo-limosa.
Tipo – formación	Lutitas calcáreas, pertenecientes a la Unidad de Lutitas. Formación La Banda.
Contenido de humedad	13,51 %
Límite líquido	52,01 = 52 %
Límite plástico	34,26= 34 %
Granulometría	Grava = 1 %; arena = 42 %; finos = 57 %. Según la clasificación SUCS, se trata de una arcilla inorgánica de baja a media plasticidad. (CL).
Índice de plasticidad	El valor es de 18, lo que significa que la plasticidad es media. Según la tabla de Atterberg.

Fuente: Autor.

5.4.5 Arenisca – ML5

Este tipo de arenisca, se distingue de la anterior arenisca (ML2), por ser mucho más clara en su tonalidad, llegando incluso a un color verdoso a gris. Sin embargo, existen zonas en las que se conserva el color café claro. Estas areniscas, están en contacto con las lutitas calcáreas. El contenido de humedad que poseen, es de 17.71%. Los valores de los límites son: líquido 42 % y plástico 16 %. Los mismos que determinan un índice de plasticidad de 26 %. La granulometría se presenta de la siguiente manera: grava = 0%; arena = 62%; finos = 38%. Y según la clasificación SUCS, se trata de una arena arcillosa (SC).

Tabla 11. Resultados de los ensayos de laboratorio, ML5.

ÍTEMS	DESCRIPCIÓN
Características generales	Arenisca verdosa, de matriz limo-arcillosa, con intercalaciones de arenisca marrón y en contacto con la unidad de lutitas calcáreas.
Tipo – formación	Arenisca verdosa a gris. Pertenece a la formación Belén.
Contenido de humedad	17,71 %
Límite líquido	41,84 = 42 %
Límite plástico	16,26 = 16 %
Granulometría	Grava = 0%; arena = 62%; finos = 38%. Según la clasificación SUCS, se trata de una arena arcillosa (SC).
Índice de plasticidad	El valor es de 26, perteneciente a una plasticidad media, según la tabla de Atterberg.

Fuente: Autor.

5.4.6 Arcilla del plano de falla – ML6.

El terreno en donde se produjo el deslizamiento (movimiento de ladera), está dominado por las areniscas de la formación Belén, cubierta por vegetación y con una matriz arcillo - arenosa. Esta litología contiene un valor importante de arcilla, la cual se va a analizar tal y como si se tratara de otra litología (ver figura 28).

En el mismo plano de falla, se encontró agua que afloró por trabajo de limpieza del sector, el agua se analiza en el siguiente apartado. El contenido de agua de esta arcilla es de 52.33%, lo que tiene sentido si existe un pequeño afluente que corre por el lugar.

En cuanto a la granulometría, encontramos que está distribuida de la siguiente manera: grava = 0%; arena = 12%; finos = 88%. Según la clasificación SUCS, se trata de una arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH).

Los valores para los parámetros de límite líquido y límite plástico son: 55 % y 26 %, respectivamente. Con un índice de plasticidad de 29 %.



Figura 28. Paquete de arcilla en el plano de falla.

Fuente y elaboración: Autor.

La arcilla encontrada, en el plano de falla del movimiento de ladera, en el campo, si bien se encontró firme, se pudo evidenciar claramente que el agua influía en su consistencia, a tal punto de volverla un barro viscoso. De tal modo que al estar expuesta al agua se expande, sumado a la presión ejercida por las construcciones, provocó que el terreno cediera.

Tabla 12. Resultados de los ensayos de laboratorio, ML6.

ÍTEMS	DESCRIPCIÓN
Características generales	Arcilla perteneciente al plano de falla del deslizamiento.
Límite plástico	55,42 = 53 %
Límite líquido	26,17 = 38 %
Índice de plasticidad	29 %
Contenido de humedad	52,33 %
Granulometría	Grava = 0%; arena = 12%; finos = 88%. Según la clasificación SUCS, se trata de una arcilla inorgánica de elevada plasticidad (CH).
Corte directo	Ángulo de fricción interna = 16°; cohesión = 0,12 kg/cm ² .

Fuente: Autor.

Las tablas con todos los valores del desarrollo de todos los ensayos se encuentran en los anexos al final de este trabajo.

5.5 Análisis de la precipitación.

No se puede obviar, que la lluvia ha influenciado de alguna manera para que se produzca el deslizamiento. Si bien, se ha descartado que sea la única responsable, se la tiene que tomar en cuenta como uno de los factores desencadenantes. Al existir una permeabilidad baja en el terreno, un promedio de humedad de 25%, más agua escurrida casi constante, un tipo de material propenso a deslizarse, sobrecarga en relación a la capacidad portante e inestabilidad del apoyo del talud, no sorprende para nada, que el suelo haya cedido, ante todos éstos factores y si a esto se le agrega,

años previos de grandes lluvias, se convierten en la receta perfecta para que se produzca un deslizamiento.

Las lluvias favorecen a la crecida de ríos, quebradas y estanques; si son constantes, provocan erosión más rápida de la normal y si no existe un buen drenaje, su acumulación es inevitable, permitiendo así que poco a poco vaya disgregando los granos de las rocas y convirtiéndolas en materiales más débiles, que expuestas a las condiciones climáticas, pronto se vuelven inestables.



Figura 29. Escurrimientos de agua por acumulación de lluvias.

Fuente: autor.

Los factores descritos, son los que más se acercan a la realidad para producir el deslizamiento; pero existen muchos más factores que también pueden tener una relación directa con el deslizamiento; como por ejemplo la exposición a las vibraciones de los vehículos de transporte público que pasan cerca del deslizamiento, así mismo otras edificaciones que podrían seguir ejerciendo presión en el terreno y las constantes lluvias características del clima de la ciudad.

Lo importante, es que ya se ha dado el primer paso, para comenzar con una exhaustiva investigación, que permita conocer a fondo el motivo por lo que se produjo el movimiento de ladera, así como la prevención de futuros eventos.

5.5.1 Balance Hídrico

El siguiente trabajo se lo realizó para conocer la red hídrica que existe en el sector de estudio, de tal manera que podamos saber cómo está actuando el agua alrededor del deslizamiento, para luego determinar si ésta influye o no en el movimiento.

Con este estudio, podemos conocer los sectores en los que la lluvia se infiltra con facilidad, donde se escurre y donde se evapora. Para finalmente identificar los sectores más vulnerables y sensibles con las precipitaciones diarias.

5.5.1.1 Características físico-geográficas:

La microcuenca del sector La Banda está ubicada al noreste de la ciudad de Loja, su forma es oval redonda a oval oblonga. Cuyo drenaje principal es la quebrada La Banda.

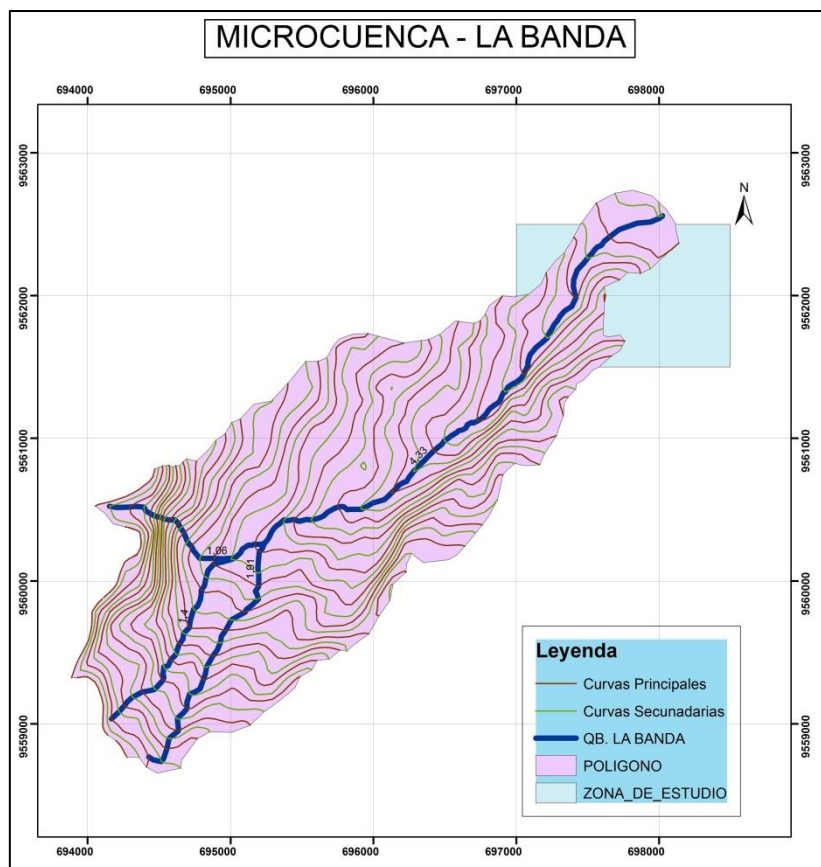


Figura 30. Forma de la microcuenca La Banda (Forma oval redonda a oval oblonga).

Fuente y elaboración: autor.

La cuenca tiene las siguientes medidas:

Área de la microcuenca: 7,27 km².

Perímetro de la microcuenca: 14,08 km.

Tabla 13. Clasificación de tamaño de cuencas.

Clasificación de tamaño de cuencas.	
Tamaño de la cuenca en km².	Descripción.
Menos 25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia pequeña
500 a 2,500	Intermedia grande
2,500 a 5,000	Grande
Más de 5,000	Muy grande

Fuente: Campos, 1992.

Elaboración: Autor.

En base al área y perímetro de la cuenca, es considerada como una cuenca de tamaño pequeña, por lo que tiene una pequeña capacidad de coleccionar agua. Con éstos datos podemos realizar los cálculos morfométricos que se realizan a continuación.

5.5.1.2 Forma de la cuenca de acuerdo al grado de compacidad:

La forma es un parámetro importante que gobierna la tasa a la cual se suministra el agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura.

5.5.1.3 Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad (Kc):

Es la relación entre el perímetro de la hoya y la longitud de la circunferencia de un círculo de igual área a la de la microcuenca (tabla 14).

Tabla 14. Forma de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad de Gravelius.

Kc	Forma de la Cuenca	Tendencia a las crecidas
1.00 – 1.25	Casi redonda a oval redonda	Alta
1.25 – 1.50	Oval redonda a oval oblonga	Media
1.50 – 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga	Baja

Fuente: Ortiz, 2004.

Elaboración: Autor.

$$Kc = \frac{P}{(2 * (\pi * A)^{0.5})}$$

$$Kc = \frac{14.08}{(2 * (\pi * 7.27)^{0.5})}$$

$$Kc = 1.4730$$

El índice de compacidad de Gravelius obtenido fue un valor de 1,47, con lo cual se deduce una forma oval redonda a oval oblonga con una tendencia a la crecida media, aumentando el riesgo de inundaciones.

Las características físicas de la cuenca y la mayor parte del comportamiento hidrológico se encuentran influenciadas por la topografía, puesto que a mayores pendientes corresponden mayores velocidades de las corrientes de agua y menor será el tiempo de concentración de la cuenca, además de que la diferencia de altitudes

determina la temperatura y la precipitación del lugar. Y al existir zonas, en las que se produzcan depresiones de la topografía o hundimientos, debido al tipo de material, es inevitable que se produzca un almacenamiento excesivo de agua y que ésta pueda producir flujos de tierra.

5.5.1.4 Pendiente media ponderada de la microcuenca.

La pendiente de la cuenca guarda una estrecha y compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al caudal de la corriente que afecta la relación de lluvia-escurrimiento, fundamentalmente porque acelera la velocidad del flujo sobre la tierra, disminuyendo el tiempo de concentración y acortando el período de infiltración. Como es lógico a mayor velocidad de drenaje, las probabilidades de avenidas (crecidas) también lo serán.

Horton, basado en el método sugerido por Albor, propone:

$$Sc = \frac{Lt \times D}{A} \times 100$$

Sc = Pendiente media ponderada

D = diferencia de nivel entre curvas contiguas, en Km

Lt = longitud de la curva de nivel, en Km.

A = Área de la cuenca, en Km²

$$Sc = \frac{\sum S}{N}$$

Dónde:

Sc = Pendiente media de la subcuenca, en %

$\sum S$ = Sumatoria de las pendientes media de la faja, en %

N = Número intervalos de curvas.

Existen variadas metodologías, tanto gráficas como analíticas, que permiten estimar la pendiente de la cuenca, para el presente caso fue obtenido mediante el programa ArcGIS, arrojando un resultado igual a 20%, lo que de acuerdo a la clasificación de Ortiz (2004) representa un tipo de relieve accidentado. Esta característica favorece a la escorrentía, dando como respuesta mayores velocidades del agua en las corrientes y menor tiempo de concentración.

Tabla 15. Clases de pendientes de una cuenca.

Clasificación de cuencas de acuerdo a su pendiente.	
Pendiente (%)	Tipo de relieve
0 a 3	Plano
3 a 7	Suave
7 a 12	Mediano
20 a 35	Accidentado
35 a 50	Fuerte
50 a 75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Fuente: Ortiz, 2004.

Elaboración: Autor.

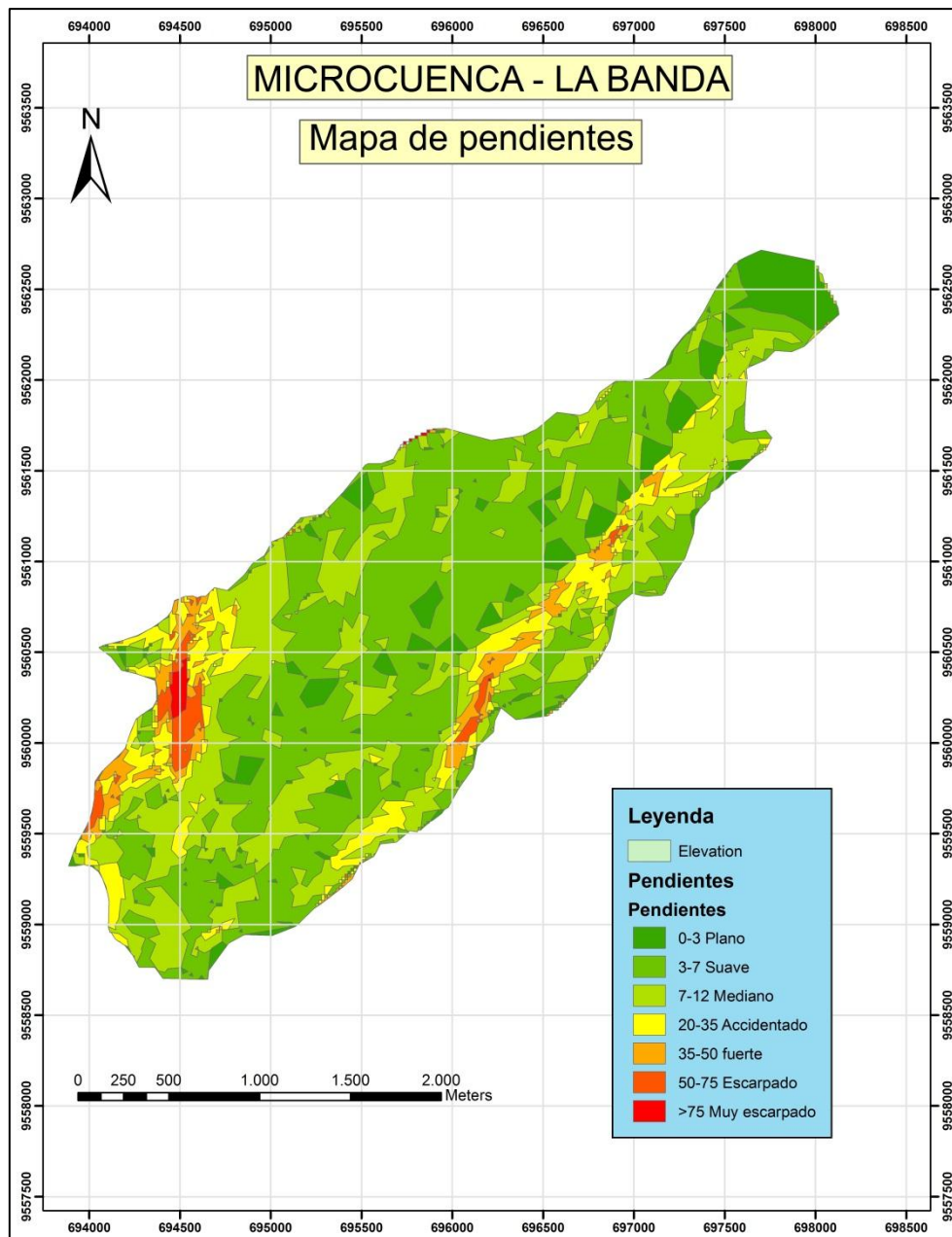


Figura 31. Microcuenca La Banda. Mapa de pendientes ArcGIS.

Fuente: autor.

5.5.1.5 Pendiente longitudinal del cauce (S2).

La pendiente útil en hidrología, corresponde a una media ponderada. Una red de drenaje con un valor bajo, presentara bajos volúmenes de escurrimiento y bajas velocidades de desplazamiento del agua, lo que genera un moderado ascenso en las corrientes.

Con datos de elevación máxima y mínima del cauce principal y la longitud de este, se obtuvo la pendiente del cauce principal arrojando un valor de 7.47% \approx 7%, lo cual habla de una pendiente moderada, esto implica una rápida velocidad del agua.

Tabla 16. Clasificación de valores de pendientes del cauce principal y velocidades del agua.

Clasificación de valores de la pendiente del cauce principal.		
Pendiente cauce principal.	Clase de Pendiente.	Clase de velocidad Del agua.
< 5	Suave	Lenta
6 a .12	Moderada	Rápida
> 12	Fuerte	Muy rápida

Fuente: INE, 2004.

$$S_2 = \frac{H \text{ max} - H \text{ min}}{L} \times 100\%$$

$$r = \frac{2280 - 2040}{3210} * 100$$

$$Sr = 7.47\%$$

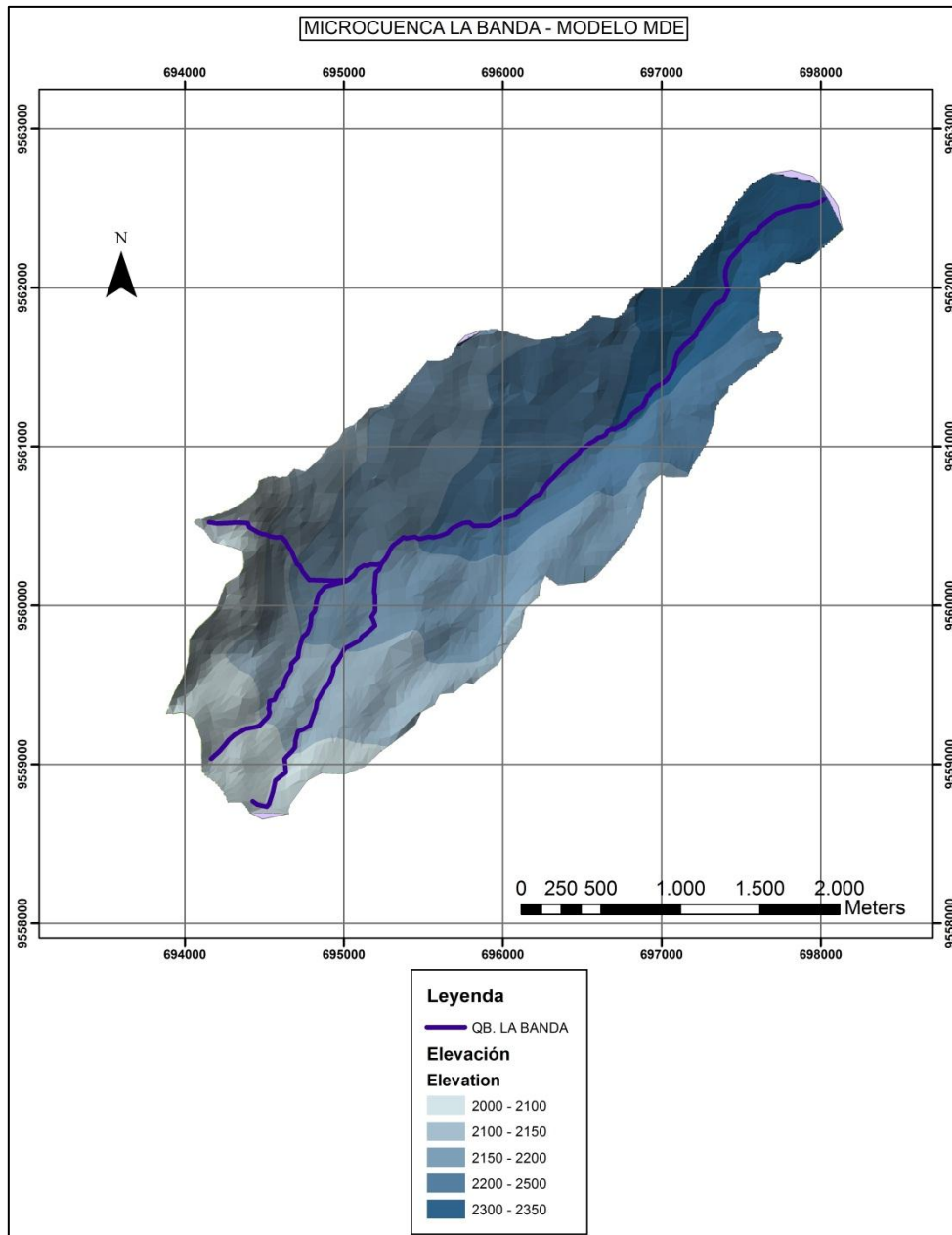


Figura 32. Microcuenca La Banda. Modelo digital de elevaciones.

Fuente: autor.

5.5.6 Densidad de drenaje (Dd).

La densidad de drenaje está íntimamente relacionada con las precipitaciones, pendiente del suelo y fundamentalmente con la dureza de la capa superficial, por lo que es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la microcuenca y su área total.

Tabla 17. Características de la cuenca en función de la densidad de drenaje.

Orden	Nombre del cauce	Longitud (m)
Primer	Q. La Banda	4332.83
Segundo	Q. 1	1058.99
Segundo	Q. 2	1914.56
Segundo	Q. 3	1398.19
	ΣLtc	8704.57
Densidad de drenaje (km / km ²)		Características
0.10 a 1.00		Regularmente drenada
1.00 a 1.50		Normalmente drenada
Mayor a 1.50		Bien drenada

Fuente: autor.

$$Dd = \frac{\Sigma Ltc}{A}$$

$$Dd = \frac{8,70457}{7,27}$$

$$Dd = 1.19$$

Según la tabla 9., para $Dd=1.46 \text{ km/km}^2$, la microcuenca en estudio se encuentra caracterizada como normalmente drenada.

5.5.1.7 Caracterización hidrológica.

De acuerdo a las características físico – geográficas de la cuenca, se desprende que se trata de una cuenca pequeña (microcuenca), donde la forma y pendientes se conjugan para ocasionar que los escurrimientos superficiales se movilicen rápidamente por ella. El buen sistema de drenaje, que conforman la red hídrica, contribuye para acelerar la evacuación de los escurrimientos directos.

5.5.1.8 Régimen de caudales medios.

Estos caudales serán estimados siguiendo la relación precipitación – escorrentía, a partir de precipitaciones mensuales de la microcuenca.

5.5.1.9 Precipitación media de la microcuenca.

Para el análisis se seleccionaron las estaciones vecinas más cercanas:

Tabla 18. Estaciones meteorológicas más cercanas a la microcuenca.

Estación	Código	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		Elevación (msnm)	Fuente
		Latitud	Longitud		
S. Francisco	M-503	3°57'50'	79°04'19"	1620	INECEL
Catamayo	M-060	3°59'34'	79°22'15"	1230	INAMHI
S. Lucas	M-432	3°43'55'	79°15'41"	2525	INAMHI
La Argelia	M-033	4°01'50'	79°11'58"	2160	INAMHI

Fuente: INAMHI.

Elaboración: Autor.

La precipitación media debe responder a una media ponderada, de manera que en ella se conjuguen las diferentes influencias que actúan sobre la cuenca. El método de U.S. Weather Service, aunque originalmente fue concebido con otros fines, ha arrojado magníficos resultados en la estimación de la precipitación media de cuencas pequeñas tomando como referencia su centro de gravedad geométrico.

$$P_m = \frac{\frac{Pa}{Da^2} + \frac{Pb}{Db^2} + \frac{Pc}{Dc^2} + \frac{Pe}{De^2}}{\frac{1}{Da^2} + \frac{1}{Db^2} + \frac{1}{Dc^2} + \frac{1}{De^2}}$$

$$P_m = \frac{\frac{P \text{ la Argelia}}{D^2 \text{ La Argelia}} + \frac{P \text{ Catamayo}}{D^2 \text{ Catamayo}} + \frac{P \text{ San Francisco}}{D^2 \text{ San Francisco}} + \frac{P \text{ San Lucas}}{D^2 \text{ San Lucas}}}{\frac{1}{D^2 \text{ La Argelia}} + \frac{1}{D^2 \text{ Catamayo}} + \frac{1}{D^2 \text{ San Francisco}} + \frac{1}{D^2 \text{ San Lucas}}}$$

$$P_m = \frac{\frac{74.6}{7.55^2} + \frac{29.6}{15.04^2} + \frac{182.3}{18.31^2} + \frac{102.3}{26.85^2}}{\frac{1}{7.55^2} + \frac{1}{15.04^2} + \frac{1}{18.31^2} + \frac{1}{26.85^2}}$$

$$P_m = 80.70 \text{ mm}$$

Factor de corrección de 0.82:

$$P_a = P_m \times 0.82$$

$$P_a = 80.70 \times 0.82$$

$$P_a = 66.18 \text{ mm}$$

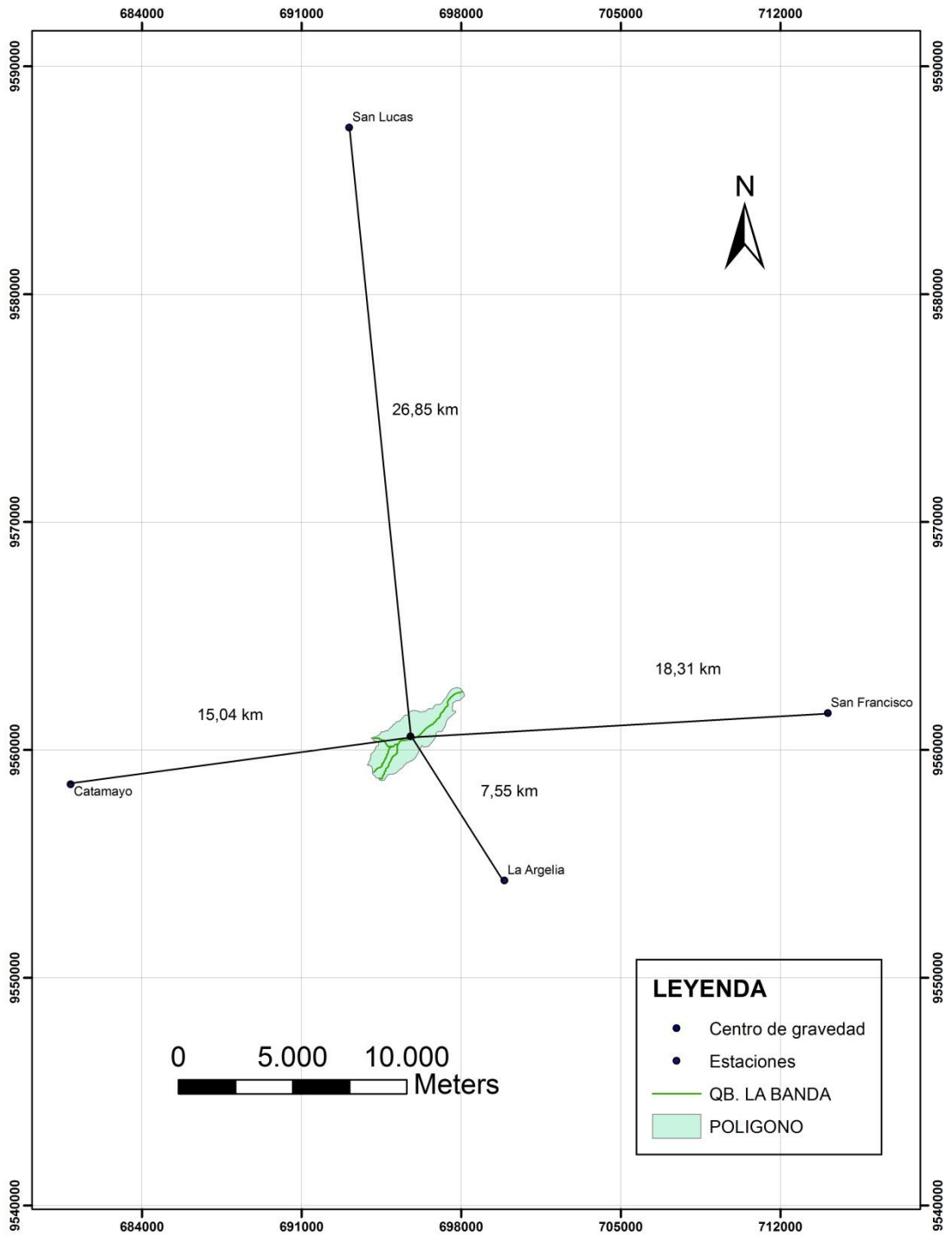


Figura 33. Distancia desde el centro de gravedad a las estaciones meteorológicas más cercanas.

Fuente: Autor.

Caudal medio mensual.

$$Q = \frac{C \times P \times A}{8.64 \times N}$$

Dónde:

Q = caudal (Lt/s)

N = número de días por mes considerado

P = precipitación diaria, mensual, anual, etc. (mm)

A = área (km²)

C = coeficiente de escorrentía adimensional (0,50) (De tabla Sistemas de protección fluvial en el manejo de cuencas hidrográficas - Ing. Ricardo Díaz B, Chile).

$$Q = \frac{C \times P \times A}{8.64 \times N}$$

$$Q = \frac{0.50 \times 66.18 \times 7.27}{8.64 \times 30}$$

$$Q = 0.92 \text{ Lt/s}$$

5.5.1.10 Generalidades del balance hídrico.

El estudio de los aportes, el movimiento y las salidas del agua, en una determinada zona, constituyen la esencia del balance hídrico. La ecuación general plantea:

$$P = \text{Etc} + \Delta HS + I + E$$

Dónde:

P = precipitación (mm) (+ riego si se suministra)

Etc = Evaporación del cultivo (mm)

ΔHS = cambios de humedad del suelo

I = Infiltración al subsuelo (mm)

E = escorrentía (mm)

El análisis para la cuenca en cuestión, se hará a través de balances mensuales. Para realizar correctamente el balance hídrico es necesario contar con datos promedio mensuales plurianuales de la precipitación del área en estudio y determinar las variables: evapotranspiración del cultivo y capacidad de almacenamiento del suelo, utilizando los métodos empíricos que arrojen resultados confiables.

$$P = 2,92 + 50 + 0,15 + 42,3$$

$$P = 95,36 \text{ mm}$$

Evapotranspiración real o uso consuntivo de la vegetación existente (ETc)

Es la cantidad de agua que las plantas consumen para formar su materia verde y para la transpiración, sumada a la cantidad de agua que el suelo pierde por evaporación. La ETc varía dependiendo del factor climático y de factor de cultivo.

Se calcula a partir de la ETo, utilizando un coeficiente de cultivo Kc (requerimiento de agua de un cultivo con la evapotranspiración atmosférica) de tal manera que:

$$ETc = ETo \times Kc$$

$$ETc = 2,45 \times 1,19$$

$$ETc = 2,92 \text{ mm}$$

Evapotranspiración potencial (ETo).

Las condiciones imperantes sugieren el empleo del método de Penman, para predecir los efectos del clima sobre las necesidades de agua de su cobertura vegetal.

Aplicando la ecuación:

$$ETo = c \times (W \times Rn + (1 - W) \times f(u) \times (ea - ed))$$

Dónde:

ETo = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

W = factor de ponderación relacionado con la temperatura

Rn = radiación neta total en equivalente de evaporación (mm/día)

F (u) = función relacionada con el viento

ea = presión del vapor de agua a saturación en mbar

ed = presión del vapor de agua en ambiente mbar

$$ET_o = c \times (W \times R_n + (1 - W) \times F(u) \times (e_a - e_d))$$

$$ET_o = 0,89 \times (0,675 \times 1,72 + (1 - 0,675) \times 1,26 \times (17,72 - 13,82))$$

$$ET_o = 2,45 \text{ mm/día}$$

5.5.1.11 Factor de ponderación (W).

Se obtiene en función de la altitud y la temperatura media diaria interpolando los valores obtenidos de la tabla:

$$w = 0,675$$

Tabla 19. Factor de ponderación W (Ecuación de Penman).

Temp. (°C)	Altitud, en metros sobre el nivel del mar					
	0	500	1000	2000	3000	4000
2	0.43	0.44	0.46	0.49	0.52	0.54
4	0.46	0.48	0.49	0.52	0.55	0.58
6	0.49	0.51	0.52	0.55	0.58	0.61
8	0.52	0.54	0.55	0.58	0.61	0.64
10	0.55	0.57	0.58	0.61	0.64	0.66
12	0.58	0.60	0.61	0.64	0.66	0.69
14	0.61	0.62	0.64	0.66	0.69	0.71
16	0.64	0.65	0.66	0.69	0.71	0.73
18	0.66	0.67	0.69	0.71	0.73	0.75
20	0.68	0.70	0.71	0.73	0.75	0.77

22	0.71	0.72	0.73	0.75	0.77	0.79
24	0.73	0.74	0.75	0.77	0.79	0.81
26	0.75	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82
28	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84
30	0.78	0.79	0.80	0.82	0.84	0.85
32	0.80	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86
34	0.82	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
36	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.89
38	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.90
40	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90

Fuente: Penman 2001.

Elaboración: Autor.

Función del viento $f(u)$.

Esta dada por la fórmula:

$$f(u) = 0,27 \times (1 + (U_2/100))$$

Dónde:

U_2 = intensidad del viento medido a 2m de altura sobre la superficie en Km/día

Para este estudios se tomarán los valores de las variables meteorológicas de la estación La Argelia (Anuario Meteorológico 2009), por la accesibilidad a la información que ha proporcionado INAMHI y por su proximidad a la microcuenca estudiada.

Tabla 20. Datos de la estación La Argelia.

LA ARGELIA – LOJA.	
DATOS de localización	
Latitud	04°01'50" S
Longitud	79°11'58" W
Altitud	2160 msnm
DATOS promedio diario para el mes de Enero.	
t (media diaria)	15.6 °C
Hrmin (media promedio)	66 %
HRmed (media diaria)	78 %
HRmáx (máxima promedio)	90 %
U2 (media promedio)	233 km/día
U día	
U noche	
α	0.25
n	3.49 horas
N	12.26 horas

Fuente: INAMHI.

Elaboración: Autor.

Entonces:

$$f(u) = 0,27 \times (1 + (233/100))$$

$$f(u) = 1,26$$

Debido a que el anemómetro se encuentra a una altura diferente del estándar (2m) se corrige estos valores mediante la expresión:

$$U_2 = f(z) \times U$$

Dónde:

F (z) = coeficiente de corrección para la medición de la velocidad del viento

U = velocidad del viento medida diaria con un anemómetro a una altura z (km/día).

$$U_2 = 1 \times 233 \frac{km}{día} * \frac{1 día}{24 h}$$

$$U_2 = 9,71 \frac{Km}{h}$$

5.5.1.12 Presión de saturación (ea).

Se la obtiene en tablas interpolando los valores medidos en función de la temperatura media:

$$ea = 17,72 \text{ mbar}$$

Tabla 21. Presión del vapor de agua a saturación (ea) en función de la temperatura MEDIA, método de Penman (mod. FAO).

Temperatura MEDIA	ea	Temperatura MEDIA	ea	Temperatura MEDIA	ea
(°C)	(mbar)	(°C)	(mbar)	(°C)	(mbar)
0	6.10	13	15.00	26	33.60
1	6.60	14	16.10	27	35.70
2	7.10	15	17.00	28	37.80
3	7.60	16	18.20	29	40.10
4	8.10	17	19.40	30	42.40
5	8.70	18	20.60	31	44.90
6	9.40	19	22.00	32	47.60
7	10.00	20	23.40	33	50.30
8	10.70	21	24.90	34	53.20
9	11.50	22	26.40	35	56.20
10	12.30	23	28.10	36	59.40
11	13.10	24	29.80	37	62.80
12	14.00	25	31.70	38	66.30

Fuente Penman 2001.

Elaboración: Autor.

5.5.1.13 Presión del vapor de agua (ed).

Se calcula a partir de la presión de saturación e_a en mbar y la humedad relativa media HR_{med} , expresada en %:

$$ed = e_a \times HR_{med}/100$$

$$ed = 17,72 \times 78/100$$

$$ed = 13,82 \text{ mbar}$$

La humedad relativa media diaria se calcula con la fórmula:

$$HR_{med} = \frac{(HR_{max} + HR_{min})}{2}$$

$$HR_{med} = \frac{81\% + 52\%}{2}$$

$$HR_{med} = 67 \%$$

5.5.1.14 Radiación media (Rn).

Se mide en (mm/día) con un radiómetro mediante la radiación solar neta de onda corta R_{ns} y la radiación solar neta de onda larga R_{nl} .

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s$$

$$R_{ns} = (1 - 0,25) 3,52$$

$$R_{ns} = 2,64$$

$$R_{nl} = f(t) \cdot f(ed) \cdot f(n/N)$$

$$R_{nl} = 13,8 \cdot 0,18 \cdot 0,37$$

$$Rnl = 0,92$$

$$Rn = Rns - Rnl$$

$$Rn = 2,64 - 0,92$$

$$Rn = 1,72$$

Dónde:

Rns = Radiación neta de onda corta

Rnl = Radiación neta de onda larga

Rs = Radiación de onda corta

α = albedo de cultivo o coeficiente de reflexión (Tablas)

Ra = Radiación extra-terrestre registrada al tope de la atmósfera

n = el número de horas de insolación solar real en horas/día

N = el número máximo posible de horas de insolación en horas/día

$$Rs = (0.25 + 0,50 n/N)Ra$$

$$Rs = (0.25 + 0,50 (3,49/12,26))15,5$$

$$Rs = 3,52$$

Tabla 22. Factores de corrección para la Radiación Neta de Onda Larga (Rnl), Método de Penman (mod. FAO).

Temperatura		Humedad		Insolación	
Temp. (°C)	F(t)	(ed) (mbar)	f(ed)	(n/N)	f(n/N)
0	11.0			0.00	0.10
2	11.4			0.05	0.15
4	11.7			0.10	0.19
6	12.0	6	0.23	0.15	0.24
8	12.4	8	0.22	0.20	0.28
10	12.7	10	0.20	0.25	0.33
12	13.1	12	0.19	0.30	0.37
14	13.5	14	0.18	0.35	0.42
16	13.8	16	0.16	0.40	0.46
18	14.2	18	0.15	0.45	0.51
20	14.6	20	0.14	0.50	0.55
22	15.0	22	0.13	0.55	0.60
24	15.4	24	0.12	0.60	0.64
26	15.9	26	0.12	0.65	0.69
28	16.3	28	0.11	0.70	0.73
30	16.7	30	0.10	0.75	0.78
32	17.2	32	0.09	0.80	0.82
34	17.7	34	0.08	0.85	0.87

36	18.1	36	0.08	0.90	0.91
		38	0.07	0.95	0.96
		40	0.06	1.00	1.00
$f(t)=\sigma Tk4$		$f(ed)=0.34-0.044(ed)1/2$		$f(n/N)=0.1+0.9(n/N)$	

Fuente: Penman 2001.

Elaboración: Autor.

5.5.15 Resultados de los parámetros.

En el siguiente cuadro se muestran los parámetros utilizados para los cálculos de los diferentes ítems del balance, en el que constan los valores para cada mes, en el período 1980 – 2014.

Tabla 23: Cuadro de resultados mensuales de los parámetros del Balance Hídrico.

MESES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
PMED	88,73	163,66	141,22	98,58	75,87	52,78	64,37	44,76	41,76	76,05	78,50	121,87
TEMP	16,04	15,60	15,72	15,84	15,18	15,08	15,08	15,43	16,02	16,41	16,43	16,43
IND. CAL. MENSUAL	5,84	5,60	5,66	5,73	5,37	5,32	5,32	5,51	5,83	6,05	6,05	6,05
ETP (sin corregir)	61,07	58,45	59,17	59,86	56,00	55,46	55,46	57,48	60,97	63,30	63,40	63,40
(f) factor de correccion	1,04	0,95	1,04	1	1,02	0,99	1,02	1,03	1	1,05	1,03	1,06
ETP (corregido)	63,51	55,53	61,54	59,86	57,12	54,90	56,57	59,21	60,97	66,47	65,30	67,20
Variación de reservas (mm)	25,22	108,13	79,68	38,72	18,75	0,00	7,80	0,00	0,00	9,58	13,20	54,66
Reserva de agua Disponible	25,22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ET efectiva	88,73	163,66	141,22	98,58	75,87	52,78	64,37	44,76	41,76	76,05	78,50	121,87
Deficit	0	0	0	0	0	2,13	0	14,44	19,21	0	0	0
Exedente	25,22	108,13	79,68	38,72	18,75	0,00	7,80	0,00	0,00	9,58	13,20	54,66
1/2 Exedente	12,61	54,07	39,84	19,36	9,38	0,00	3,90	0,00	0,00	4,79	6,60	27,33
1/2 Escorrentía mes anterior m	0	6,30	30,19	35,01	27,19	18,28	9,14	6,52	3,26	1,63	3,21	4,90
escorrentía total	12,61	60,37	70,03	54,37	36,56	18,28	13,04	6,52	3,26	6,42	9,81	32,24

Fuente y elaboración: autor.

Déficit diario de los meses en los que es más frecuente la ausencia de lluvia.

Tabla 24: Déficit diario de los meses en la que la precipitación es baja.

MESES	Junio	Agosto	Septiembre
Nº DIAS	30	31	30
DEFICIT MENSUAL mm/mes	2,13	14,44	19,21
DEFICIT DIARIO mm/día.	0,071	0,466	0,640

Fuente: Autor.

5.5.2 Análisis estadístico de la precipitación diaria y la influencia sobre el deslizamiento.

Para el siguiente análisis estadístico, se tomaron los datos de precipitación diaria, de la estación meteorológica La Argelia (Fuente: INAMHI), puesto que es la estación más cercana a la zona del deslizamiento y que se encuentra en la zona urbana de Loja. Por tanto mostrarán un dato más real de lo que está pasando en la zona de estudio.

La primera intención, fue crear umbrales de precipitación, que permitan analizar con mayor detenimiento, si el agua es el factor que ha producido el movimiento de ladera; sin embargo la información que se tiene del evento (momento del deslizamiento) no es relevante además de escasa. Únicamente se conoce el día en el que el terreno cedió, sin embargo, existen otras fechas en las que se menciona algunos problemas que podrían haber anticipado el movimiento de ladera, según el departamento de Obras Públicas del GAD Loja, pero en sí la única fecha concreta y verídica que se tiene, es el 20 de enero del año 2012. Los reportes más cercanos a la fecha del evento, se empiezan a tener desde el 13 de octubre del 2011.

Es por ellos, que una vez hecha la comparación de la precipitación diaria, mensual y anual, así como también las variantes medias y medianas; se determinó que crear un umbral de precipitación, para analizar tan escasa información, no es conveniente. Ya que los datos nos sugieren que la lluvia no es el detonante principal del deslizamiento y que pueden existir otras causas para que se haya producido.

En una primera instancia, se analizó los datos de la precipitación diaria, en todo el período de tiempo (1980 – 2013), para ver qué tanto ha llovido en cada año, de los 34 tomados en cuenta. La idea es conocer los años más lluviosos y si el año en el que ocurrió el evento está dentro de éstos, para de esta manera corroborar y afirmar o no, si el agua es el detonante principal del movimiento de ladera.

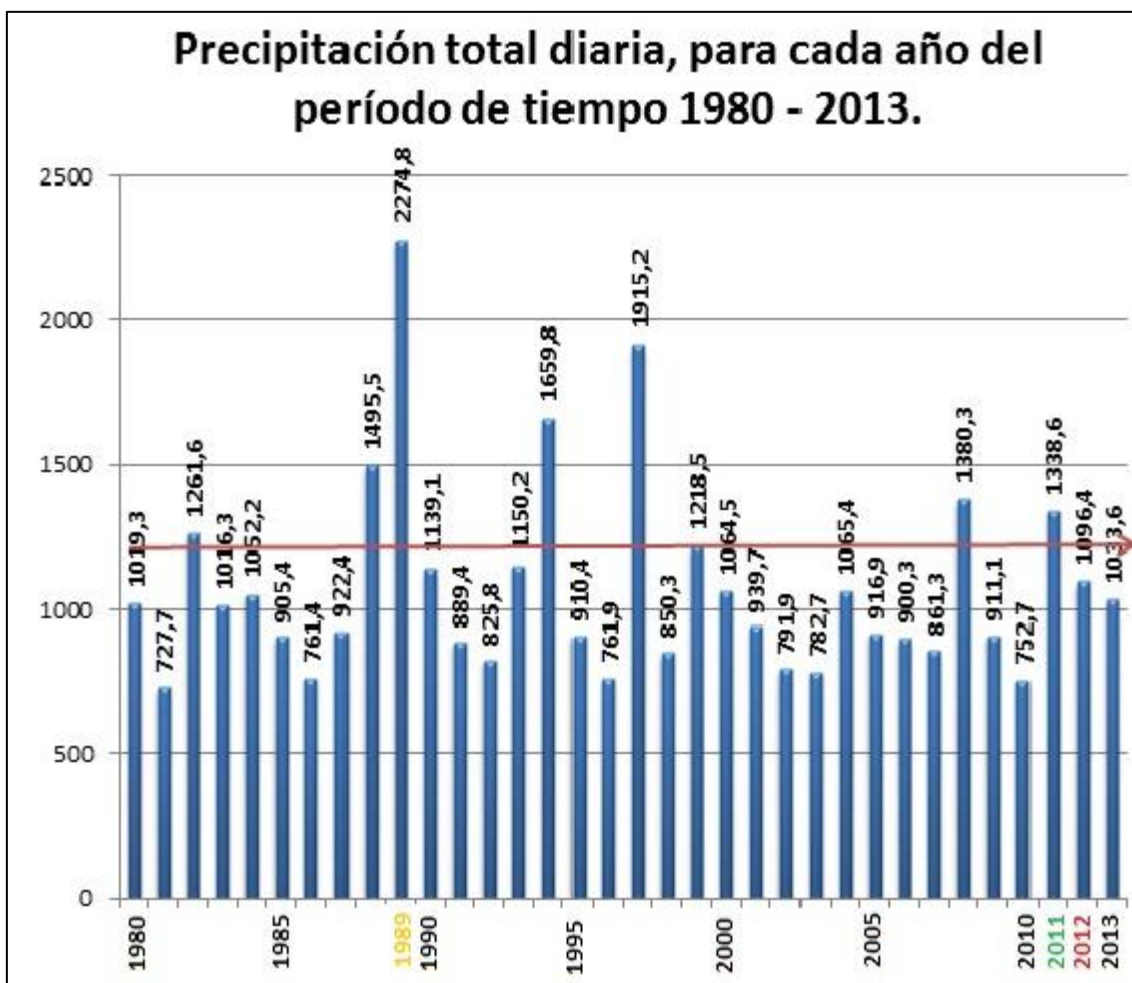


Figura 34. Valoración de los datos de precipitación diaria, para cada año, en todo el período de tiempo estudiado.

Fuente: Autor.

Como se puede observar en la figura 34, el año que más llovió, es en 1989 marcado con color amarillo en la figura (2274,80 ml) muy por encima de la línea roja que marca el promedio de la suma total de los días en que llovió en cada año (1076,25 ml); el año 2012 (color rojo en la figura), que es el año en donde se produjo el deslizamiento tiene un valor de 1096,40 ml apenas arriba de la línea promedio, pero el año 2011 (color

verde en la figura) muestra un año lluvioso por encima de la lluvia correspondiente al año siguiente, así como significativamente más alta que la precipitación promedio.

Es por esto, que es importante analizar, la lluvia diaria en el período de tiempo, en donde la precipitación aumenta. Además existe una concordancia de los datos de lluvia con los eventos registrados, de tal modo que resulta objetivo y correcto, realizar el análisis de éstos dos años, en una primera instancia de manera general y después tomando en cuenta detalles como: lluvia diaria, temperatura promedio, días en los que llovió y días de déficit.

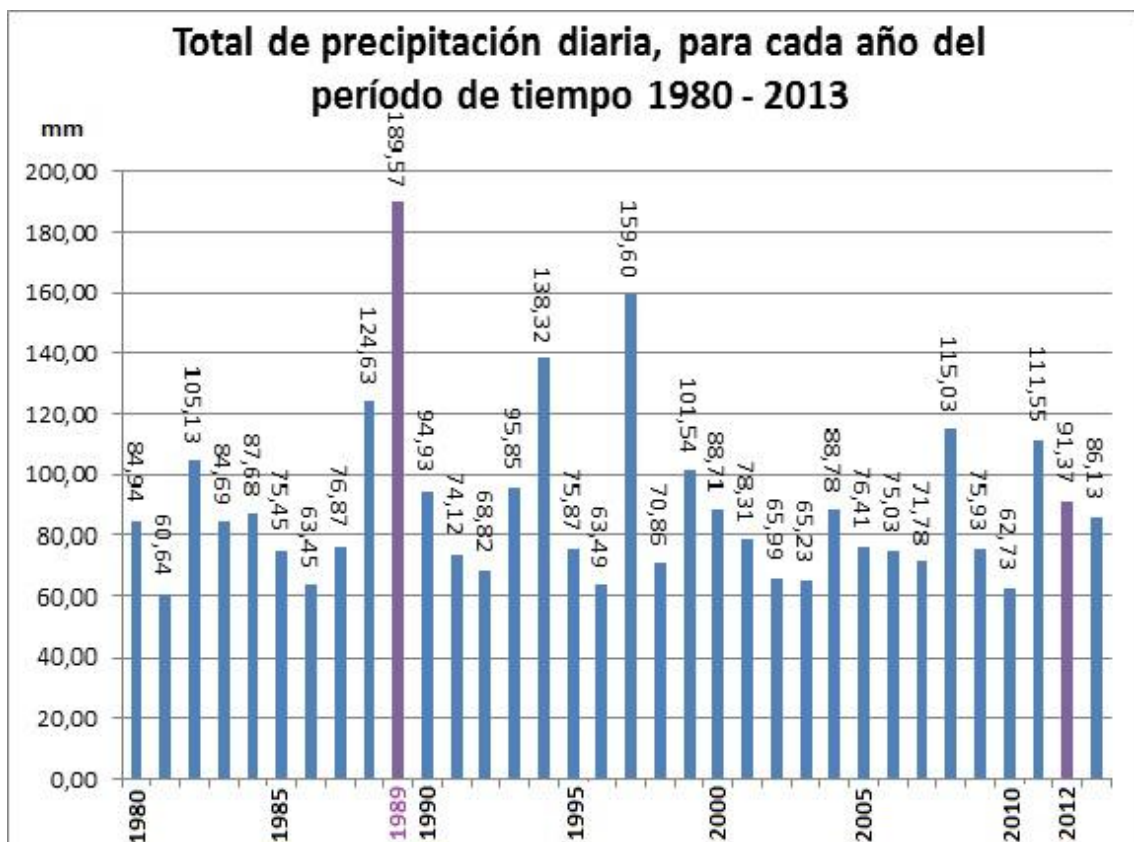


Figura 35. Datos de precipitación total diaria de cada año, para todo el período de tiempo estudiado.

Fuente y elaboración: Autor.

Se comienza con una comparación entre todo el período de tiempo, el año en donde se produjo el deslizamiento, además del año anterior que se lo ha incluido en el análisis diario para cada mes.

En la figura 35 se puede observar, que el año 2011, ha llovido más que el año en el que se produjo el movimiento de ladera. El año 2012 (de color morado), como se ha mencionado anteriormente, no se lo considera un año muy lluvioso; sin embargo, hay que notar que existe una tendencia a la crecida en relación al siguiente año. A partir de estas comparaciones, se analizarán estos dos años (2011 - 2012), que son los años que están más cerca de la fecha en la que se produjo el evento. Concretamente, nos enfocaremos en los meses octubre, noviembre y diciembre del 2011 y enero 2012, haciendo una comparación entre los distintos años (figura 39).

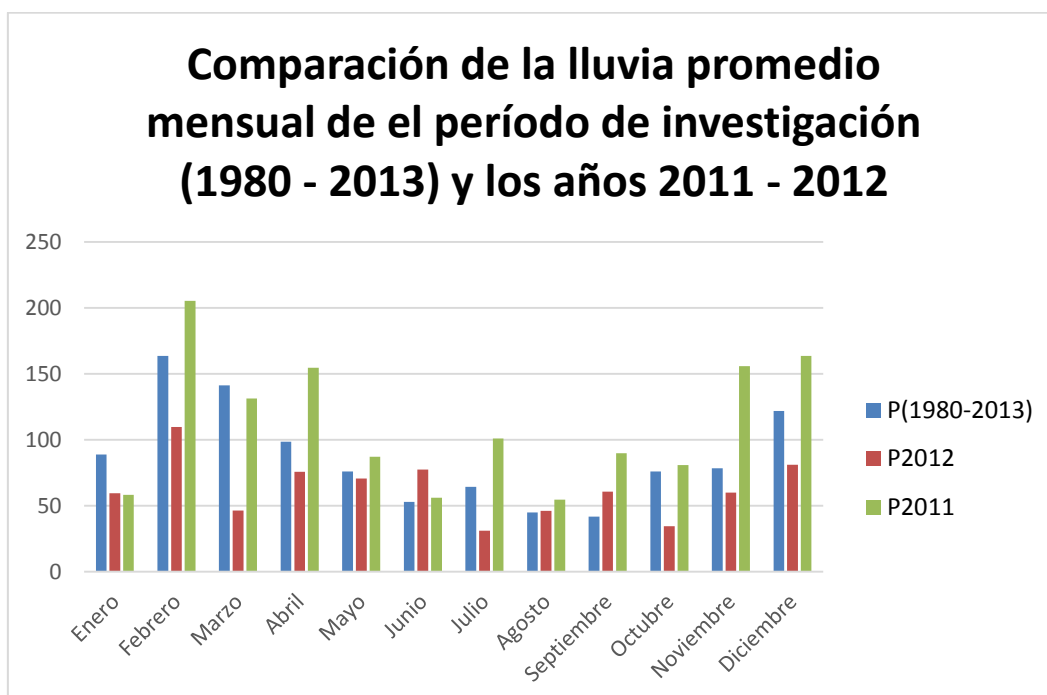


Figura 36. Comparación entre la lluvia promedio mensual entre el período de tiempo de estudio y los años de influencia del deslizamiento.

Fuente y elaboración: Autor.

La figura 36, muestra los datos diarios de precipitación para los meses mencionados anteriormente. Se analiza la lluvia promedio diaria, hasta el día del evento. De tal manera que se pueda reconocer, aquellos días en los que ha llovido más. Todos los datos que estén por encima de la media, se los considera como muy lluviosos y aquellos que dupliquen o tripliquen a la media, se los considera tormenta, la figura muestra la dispersión de la lluvia con respecto a la media.

Cabe recalcar que estos datos no significan que durante todas las 24 horas del día llovió esa cantidad, ya que la cantidad de lluvia puede haber caído desde unos minutos hasta unas horas.

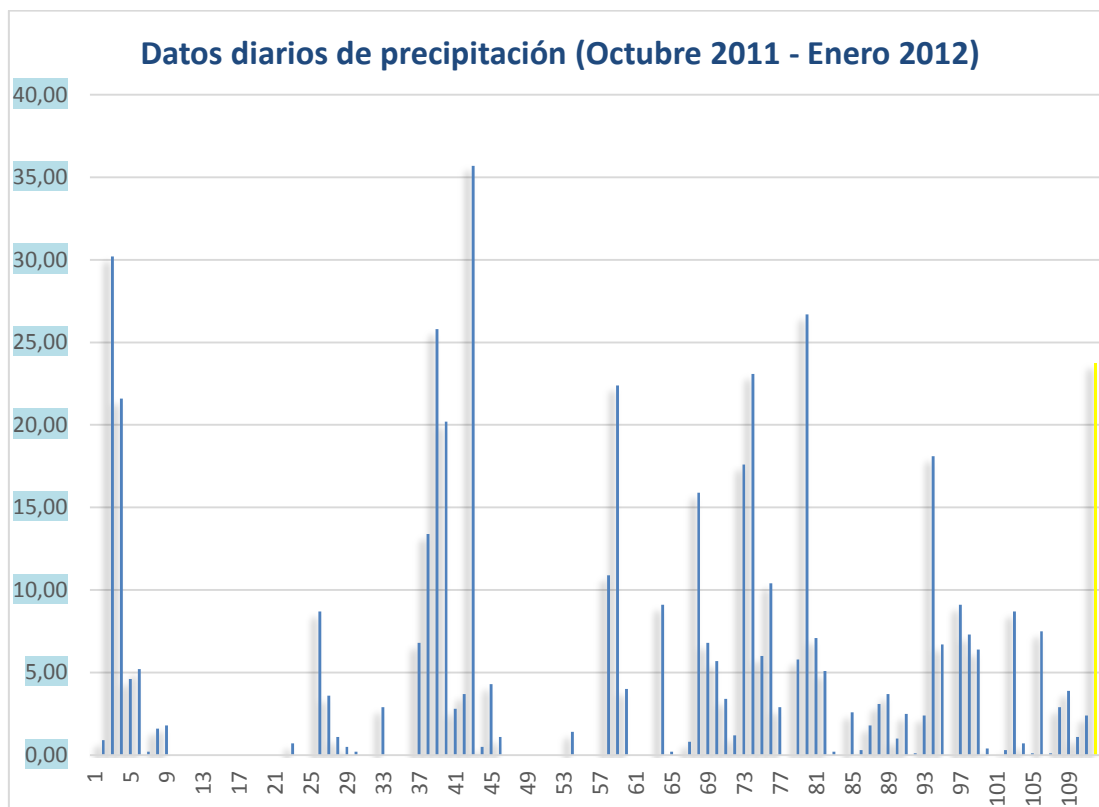


Figura 37. Datos diarios de precipitación, para los meses de octubre noviembre y diciembre del 2011 y enero del 2012.

Fuente y elaboración: autor.

En total, 112 días se analizaron (ver figura 37). En octubre, 14 de los 31 días que tiene el mes llovió, en los cuales dos días son tormentas y el resto se mantiene en un rango normal, para este mes hay más tendencia al déficit de lluvia. Para noviembre el caso es diferente, si bien llovió solamente dos días más, se registran más días de tormenta y la frecuencia varía en una relación de 3 a 1. En diciembre, no se registran grandes las más grandes tormentas, sin embargo llovió más días los cuales no precisamente reportan gran cantidad de lluvia, en total son 26 de los 31, por lo que la frecuencia aumenta a una relación de 5 a 1; valor alto considerando los anteriores. Finalmente enero decrece la intensidad de lluvia, más no la frecuencia, ya que en llovió casi todos los días hasta que se produjo el evento. Los datos registran que 27 de los 31 días, fueron contabilizados como lluviosos.

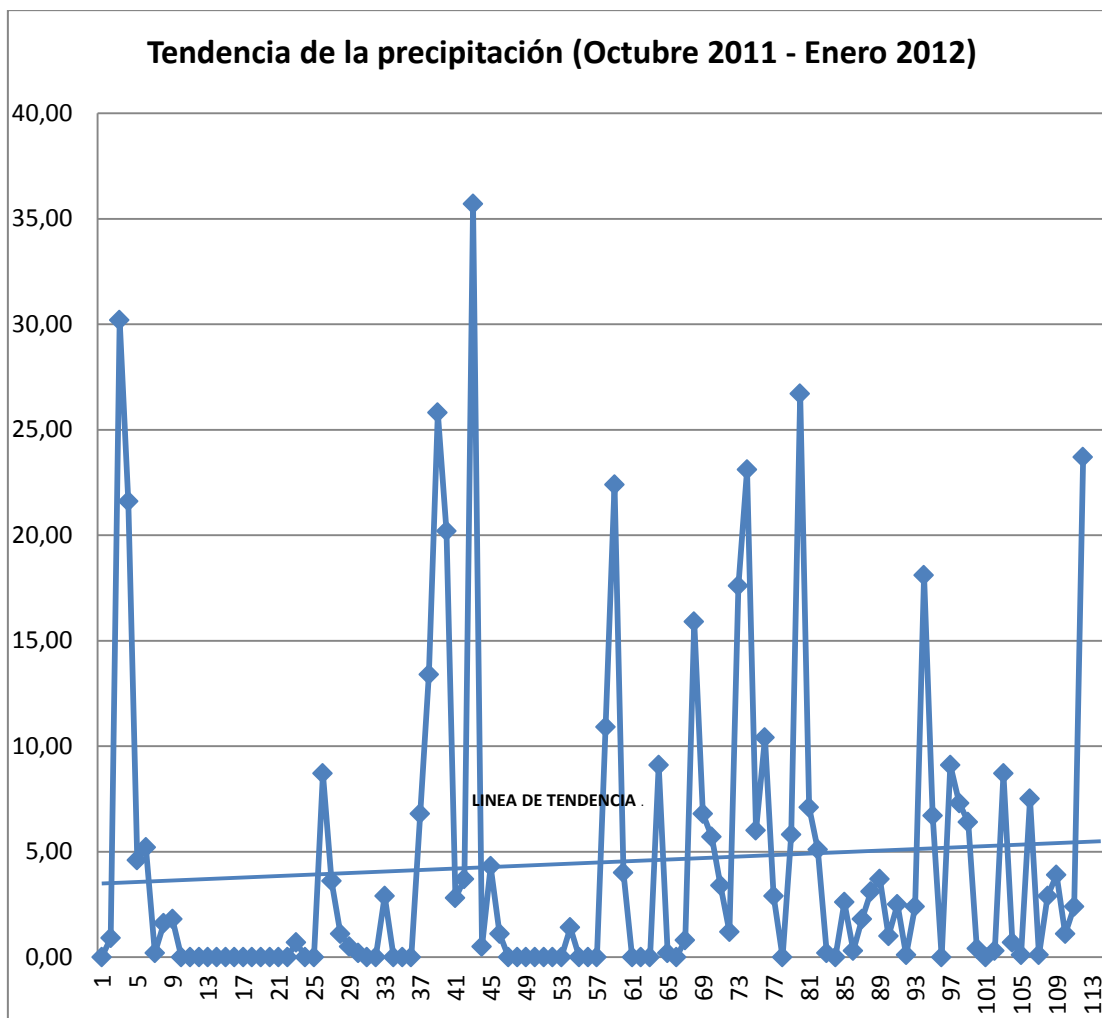


Figura 38. Línea de tendencia y picos de la precipitación, para los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2011 y enero 2012.

Fuente y elaboración: autor.

La figura 38 muestra, los valores picos (los más altos en relación al mes) de cada día en el período de tiempo que se estudió. La línea de tendencia nos muestra una ligera crecida, sin embargo, los picos muestran una discordancia en cuánto a la intensidad y a la frecuencia. Pero a pesar de ellos, los valores de la precipitación, siguen por debajo de los anormales, en relación a los años previos, incluso a los siguientes. A partir de los datos de tendencia, podemos entonces analizar los datos de dispersión como lo muestra la figura 39.

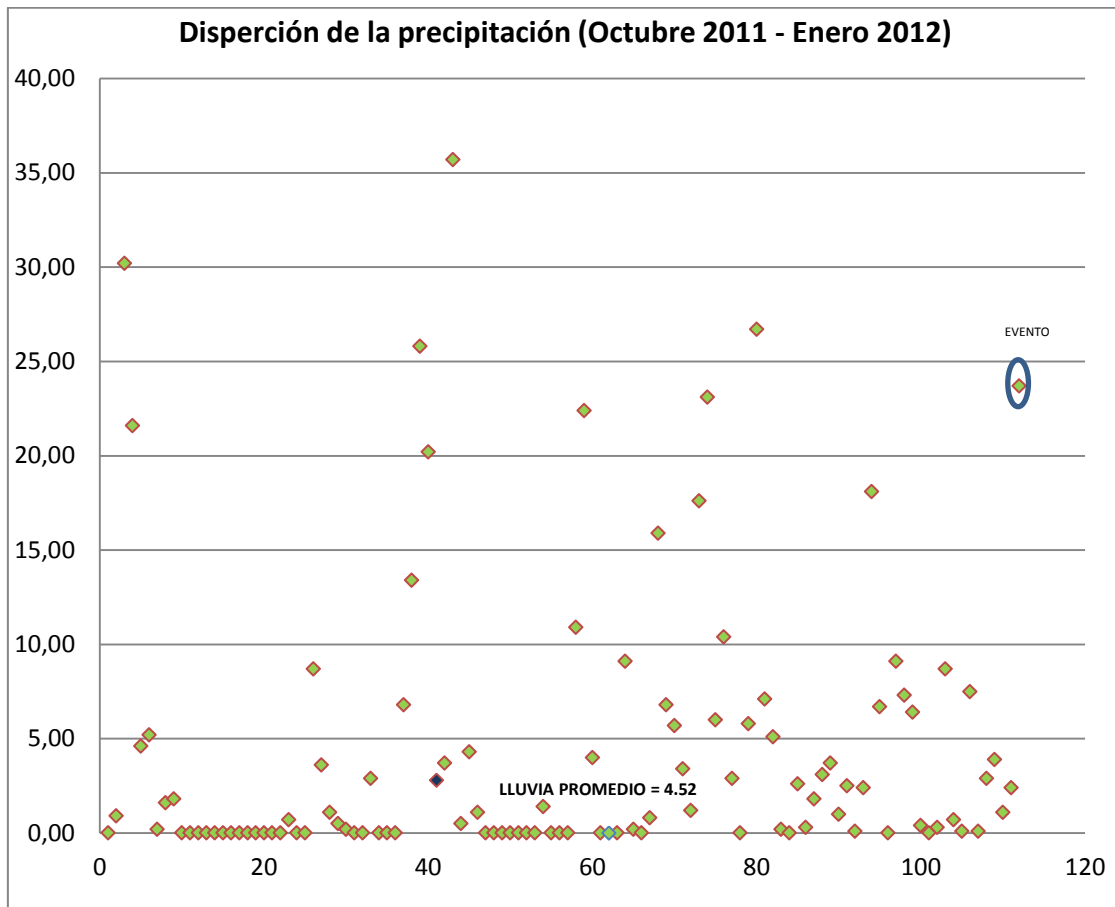


Figura 39. Valores de dispersión de la lluvia en el período de tiempo previo y hasta el evento.

Fuente: Autor.

Si se quiere obtener un promedio de lluvia diaria, en el período de tiempo establecido, hasta el día del evento, se obtiene un valor de 4,52 ml/día. Se puede observar entonces una considerable dispersión de la lluvia. Estos datos sirven para conocer, que tan alto es el aumento de la precipitación, de un día para otro, entre cada mes y entre el período de tiempo. En este caso, la dispersión por encima del promedio, representan los días que llovió más de lo normal. Aunque si bien existen días de tormentas como en el 12 de octubre, que al no tener mayor frecuencia o continuidad, además de ser el único valor por encima de los 36 ml/día (pico máximo de todos los datos de precipitación diaria del período de tiempo), a este se lo considera lluvioso pero no tormentoso.

El valor que la lluvia alcanzó el día del evento, es de 23.7 ml, que si bien va por encima de la normal, aun así no es el día más lluvioso del período; por motivos como éste, es que se descarta a la lluvia, como la responsable del evento.

CONCLUSIONES.

Con la presente investigación se permite concluir en lo siguiente:

- Los tipos de litologías que se encuentran en la zona de estudio, están descritas por unidades litológicas y son: unidad de conglomerado, unidad de arenisca, unidad de lutita arcillosa, unidad de lutita calcárea y unidad de terrazas aluviales. Estos materiales netamente sedimentarios son los que condicionan la estabilidad del terreno; y, en el caso de esta investigación están muy implicados en la generación del movimiento de ladera.
- El tipo de litología que predomina en la zona del movimiento de ladera, corresponde a areniscas de matriz arcillo - arenosa, que son propensas a la sobresaturación y a expandirse con el agua.
- Del análisis estadístico de la precipitación se obtiene que la lluvia no es el principal factor detonante; sin embargo su influencia al momento de producirse el evento (movimiento de ladera) es determinante. Los días previos a que el suelo se deslizara, se registra un porcentaje de lluvia entre 25 – 40 ml/día catalogados como tormentas, pero el día del evento, se registra una lluvia de 23,7 ml/día, dato que está por debajo de la media para ser tormenta, de este modo se comprueba que la lluvia no es el factor detonante para producir el movimiento de ladera, debido a que existen días en los que llovió más y no existe registro de algún deslizamiento.
- El movimiento de ladera se origina por los siguientes factores; la remoción del pie del talud, que le quita estabilidad en el mismo; las edificaciones construidas sobre arcillas, que ejercen una sobrecarga en la capacidad portante del suelo y que comenzaron a debilitar el terreno; la sobresaturación de las arcillas del plano de falla del deslizamiento por efecto de la infiltración del agua de precipitación. Lo cual genera las condiciones favorables para producir el movimiento de ladera.
- La sobresaturación, no solo depende del tipo de material, sino que también de la falta de drenajes, canalización y alcantarillado que se presenta en la zona de estudio; adicionalmente las vertientes naturales, como la que se presentan en el sector a la altura de la Hostería la Quinta Montaña. Por ello, al llegar la temporada de lluvias, las aguas se van acumulando en las depresiones del terreno, formando pequeños cúmulos de agua, que se reabsorben en el suelo, restándole estabilidad.

- El movimiento de ladera se clasifica como un deslizamiento de tipo rotacional, evidenciado por las edificaciones que muestran una inclinación contra la pendiente, y por la rotación en el pie del deslizamiento.
- El plano de falla del movimiento de ladera, se encuentra sobre una arcilla inorgánica de elevada plasticidad (CH) cuyo límite plástico es de 26 %, límite líquido 55 % y su índice de plasticidad 29 %; con una permeabilidad total de $k_T = 1,7E-06$ cm/seg; que corresponden a suelos prácticamente impermeables; con un ángulo de fricción interna de 16° y $0,12$ kg/cm² de cohesión.

RECOMENDACIONES.

En una opinión, netamente personal y en base a lo estudiado en el transcurso de lo que duró esta investigación, se podría recomendar lo siguiente:

- Se debe realizar de inmediato, el plan maestro de agua potable y alcantarillado, así como la estabilización del talud y la remoción de las edificaciones que aún están sobre el deslizamiento, para que de esta manera no provoquen más presión al terreno y en su defecto la continuidad del deslizamiento.
- Se ha comprobado que el agua, si bien intervino en el movimiento de ladera, es uno de los factores detonantes para que se produzca el deslizamiento, su efecto sobre el material, es muy importante y si no se mantiene un sistema adecuado de drenaje, se seguirá produciendo problemas de este tipo.
- Las personas que habitan alrededor, tienen que tomar conciencia, de que la naturaleza, los suelos y rocas, son casi impredecibles, solo se necesita de un excedente en la estabilidad, para provocan la eventual caída de los materiales. Por ello sería importante también, realizar un plan de reubicación de las familias que están en más peligro, aquellas que bordean el deslizamiento y quiénes están al pie del mismo.
- Para realizar cualquier construcción de ahora en adelante, en todo este sector, se debe pedir como requisito, un estudio geológico y geotécnico, que garantice que donde se pretende construir es viable pero sobre todo seguro para hacerlo.
- La reforestación, en algunas partes del sector, es otra medida que podría ayudar a contrarrestar los efectos del agua sobre el terreno. Para ellos, se debe un plan de reinsertión de vegetación y reforestación, viendo cuales son las plantas que no alterarían el ecosistema.
- La zona de actual del movimiento de ladera, que estudiamos, se la podría declarar como área verde, en la que se prohíban construcciones y que se destine como lugar de recreación o alguna otra opción, que evite un exceso de carga sobre el terreno.

BIBLIOGRAFÍA.

- Esparza C.; Tapia A.; Zárate B.; Guanín J. Guía de preparación para el programa de Certificación Vial (PCV). UTPL. Loja, 2008.
- Gonzáles de Vallejo L.; Ferrer M.; Ortuño L.; Oteo C.; Ingeniería Geológica. Universidad Complutense de Madrid. España, 2004.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Datos de precipitación diaria y mensual de las estaciones La Argelia, San Francisco, San Lucas y Catamayo. Loja, 2015.
- Jumbo Y. Mapa de Zonificación Geotectónica de la Hoya de Loja. UTPL. Loja, 2012.
- Juárez E.; Rodríguez R. Mecánica de Suelos, Fundamento de la Mecánica de Suelos, Tomo 1. Editorial Limusa. México, 2008.
- Moreno H.; Vélez M.; Montoya J.; Rhenalds R.; La lluvia y los deslizamiento de tierra en Antioquia: Análisis de la Ocurrencia en las escalas Interanual, Intraanual y Diaria. Revista EIA. Colombia, 2006.
- Olivos K. Análisis Multitemporal en base a la Fotointerpretación de los movimientos de ladera de la ciudad de Loja. UTPL. Loja, 2014.
- Penman L.; Fórmulas para el Balance Hídrico (mod. FAO). Inglaterra, 2001.
- Secretaría Nacional de Riesgos; Universidad Nacional de Loja. Vulnerabilidad a nivel Municipal de la ciudad de Loja. Loja, 2010.
- Tambo W.; Seco R. Estudio del peligro de deslizamientos del Norte de la ciudad de Loja, Provincia de Loja, Ecuador. Universidad de la Habana. La Habana, 2011.
- The Geological Society of America. Use of Rainfalls Statistical Returns Periods to Determinate Threshold for Mast Wasting Events. USA, 2010.

ANEXOS.

Anexo 1. Informe de los resultados del ensayo de agua. Laboratorios UTPL.

UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

REGISTRO DE RESULTADOS R.4.1.4

Referencia de acreditado: OAE LE C 12-005

LABORATORIOS UTPL

FECHA DEL INFORME:	2016-02-02
INFORME No.	526
SOLICITUD DE ANALISIS:	160111526

INFORMACIÓN DEL CLIENTE:

NOMBRE:	David Aldean	
DIRECCIÓN:	Juan Jose Peña y Miguel Riofrío	
TELEFONO:	2561193	E-mail: dmaldean@utpl.edu.ec

DATOS DE MUESTREO:

PROCEDIMIENTO DE MUESTREO:	No Aplica
FECHA DE MUESTREO:	No Aplica
IDENTIFICACIÓN DEL OBJETO DE MUESTREO:	ML7
LUGAR DE MUESTREO:	No Aplica

DATOS GENERALES DE LAS MUESTRAS:

DESCRIPCION:	ML7
CONDICIÓN:	Las muestras son transportadas por el cliente y llega a una temperatura de 4,5 °C
FECHA DE RECEPCION:	2016-01-18

RESULTADOS:

DETERMINACIÓN	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS	U	LMP (TULSMA)
					Ministerio del Ambiente Norma Para Agua de Consumo Humano
Cloro Libre Residual(*)	LUTPL-CI-LR-VOL-054	mg/l	< (0,5)	n/d	0,3 - 1,5
Coliformes Totales(*)	LUTPL-CT-MEMBR-016	NMP/100ml	67525	n/d	200
Coliformes Fecales(*)	LUTPL-CF-MEMBR-017	NMP/100ml	73,0	n/d	20

OBSERVACIONES:

El informe de ensayo no se puede reproducir parcialmente, excepto en su totalidad con la aprobación escrita del laboratorio.
Los resultados representan exclusivamente la muestra (s) analizada (s).
Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE

Glosario

n/d: No disponible.
U: Incertidumbre expandida con un 95% de confianza.
LMP: Límite Máximo Permisible
<: Menor al límite de detección

TULSMA 2015 Ministerio del Ambiente

— Norma de calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO Y QUE PARA SU POTABILIZACIÓN SOLO REQUIEREN DESINFECCIÓN

FIN DEL INFORME


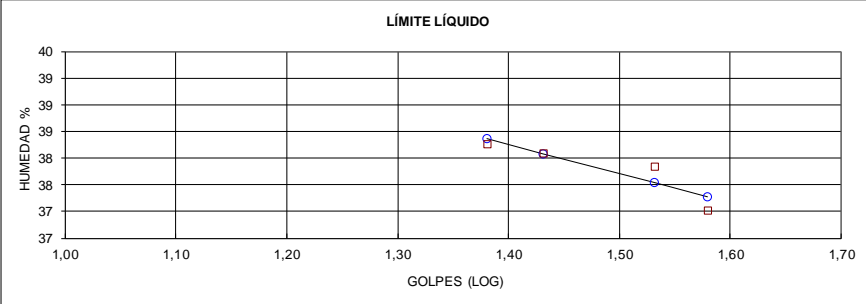

Técnico Analista
Ing. Diego Ernesto Maza




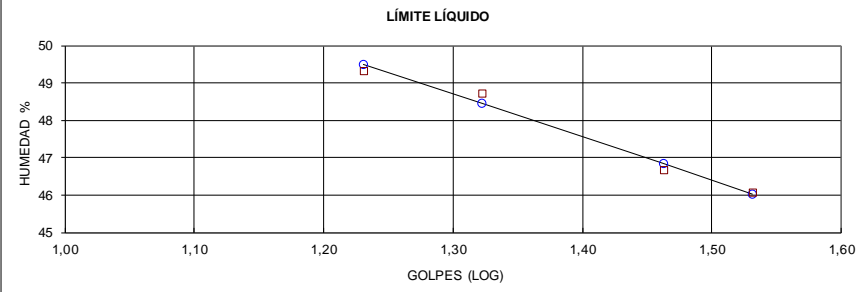

Líder Técnico
Ing. Silvio David Aguilar Ramírez

Anexo 2. Resultados de los ensayos de laboratorio.


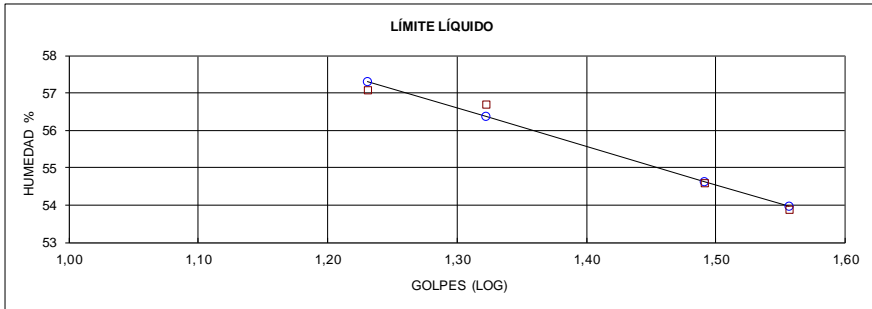
- **ML1.**

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL						
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
PROYECTO : E:CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA Y LA INFLUENCIA DE LA PRECIPITACION EN EL DESLIZAMIENTO DEL SECTOR LA BANDA OBRA : TRABAJO FIN DE TITULACIÓN NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27 LOCALIZAC: PI SECTOR LA BANDA - NORTE DE LA CIUDAD DE LOJA POZO: 1 SOLICITADO : UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA - GEOMIN MUESTRA: ML1 FECHA: DICIEMBRE 2015 PROFUNDIDAD: 2 m REALIZADO: Ing. DAVID ALDEÁN						
	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		529,10 530,15	480,83 483,02	72,93 66,60	11,83 11,32	11,58
2.- LÍM. LÍQUIDO	24 27 34 38	64,95 76,47 72,30 67,54	60,94 72,06 68,69 63,42	50,50 60,54 59,21 52,41	38,41 38,28 38,08 37,42	38,41
3.- LÍMITE PLÁSTICO		63,96 55,88	63,71 55,66	62,26 54,45	17,24 18,18	17,71
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 907,49 (H/S) S			GRAVA 31			
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 907,49			ARENA 49			
			FINOS 20			
TAMIZ	PESOR T.	% RET	% PASA	LL = 38,00		
1"	0,00	0	100	LP = 18,00		
3/4"	27,50	3	97	IP = 20,00		
1/2"	91,20	10	90	CLASIFICACIÓN		
3/8"	166,67	18	82	SUCS : SC		
No. 4	280,12	31	69	AASHTO: A-2-6		
No. 10	385,40	42	58	IG(86): 1		
No. 40	579,70	64	36	IG(45): 1		
No. 200	722,09	80	20			
 <p style="text-align: center;">LÍMITE LÍQUIDO</p>						
CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)						
Observaciones: La toma de muestras es realizada por el Egdo. David Aldean y llevada al laboratorio de la UTPL.						
Ing. Ángel Tapia Ch. LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						


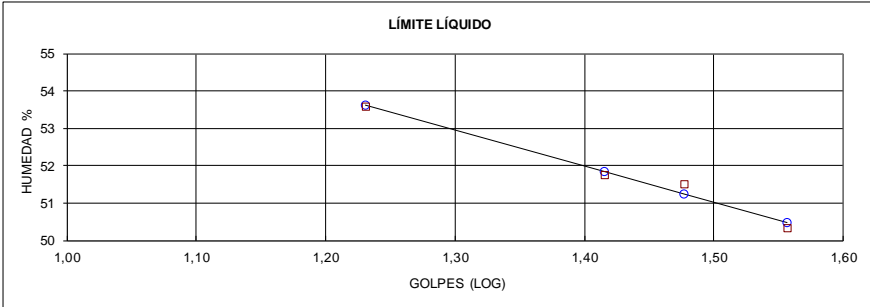
• **ML2.**

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL						
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
INF-LAB-DGM-IC-10-2012 PROYECTO: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y LA INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN EN UN DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR LA BANDA. OBRA : TRABAJO FIN DE TITULACIÓN NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27 LOCALIZAC: SECTOR LA BANDA - NORTE DE LA CIUDAD DE LOJA POZO: 2 SOLICITADO : UTPL - GEOMIN. MUESTRA: ML2 FECHA : DICIEMBRE 2015 PROFUNDIDAD: 1,5m REALIZADO: DAVID ALDEÁN						
	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		425,88 433,47	362,88 369,01	60,58 58,40	20,84 20,75	20,80
2.- LÍM. LÍQUIDO	17 21 29 34	69,61 69,15 64,47 63,83	66,24 65,90 60,95 60,20	59,41 59,23 53,41 52,32	49,34 48,73 46,68 46,07	47,57
3.- LÍMITE PLÁSTICO		59,98 60,55	59,74 60,40	58,67 59,73	22,43 22,39	22,41
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 443,50 (H/S) S PESO INICIAL DE CÁLCULO: 443,50			GRAVA 1 ARENA 68 FINOS 31			
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 48,00 LP = 22,00 IP = 26,00		
1"	0,00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : SC AASHTO: A-2-7 IG(86): 3 IG(45): 3		
3/4"	0,00	0	100			
1/2"	0,00	0	100			
3/8"	0,00	0	100			
No. 4	3,88	1	99			
No. 10	3,80	1	99			
No. 40	24,28	5	95			
No. 200	304,98	69	31			
						
CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)						
Observaciones: La toma de muestras es realizada por el Egdo. David Aldean y llevada al laboratorio de la UTPL.						
Ing. Ángel Tapia Ch. LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						


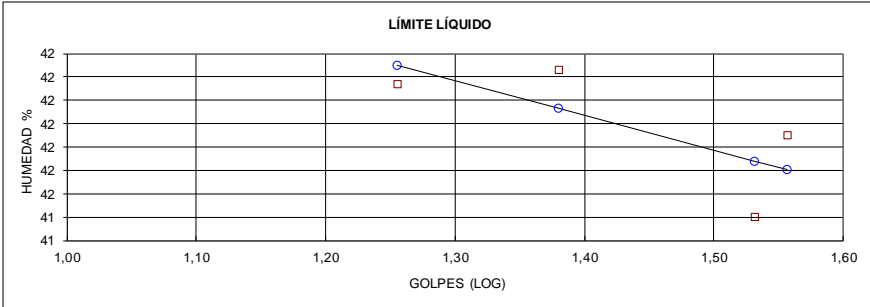
• **ML3.**

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL						
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
INF-LAB-DGM-IC-10-2012 PROYECTO : CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y LA INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN EN UN DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR LA BANDA. OBRA : TRABAJO FIN DE TITULACIÓN LOCALIZAC: SECTOR LA BANDA - NORTE DE LA CIUDAD DE LOJA SOLICITADO : UTPL - GEOMIN. FECHA : DICIEMBRE 2015						
NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27 POZO: 3 MUESTRA: ML3 PROFUNDIDAD: 1,5 m REALIZADO: DAVID ALDEÁN						
	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		410,43 420,89	336,47 346,09	56,74 54,60	26,44 25,66	26,05
2.- LÍM. LÍQUIDO	17 21 31 36	66,88 75,19 67,74 74,00	63,41 71,72 64,36 70,25	57,33 65,60 58,17 63,29	57,07 56,70 54,60 53,88	55,59
3.- LÍMITE PLÁSTICO		71,04 69,95	70,77 69,69	69,67 68,65	24,55 25,00	24,77
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 450,85 (H/S) S PESO INICIAL DE CÁLCULO: 450,85			GRAVA 0 ARENA 46 FINOS 54			
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 56,00 LP = 25,00 IP = 31,00		
1"	0,00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : CL AASHTO: A-7-6 IG(86): 14 IG(45): 13		
3/4"	0,00	0	100			
1/2"	0,00	0	100			
3/8"	0,00	0	100			
No. 4	0,00	0	100			
No. 10	53,10	12	88			
No. 40	183,17	41	59			
No. 200	205,54	46	54			
						
CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL)						
Observaciones: La toma de muestras es realizada por el Egdo. David Aldean y llevada al laboratorio de la UTPL.						
Ing. Ángel Tapia Ch. LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						


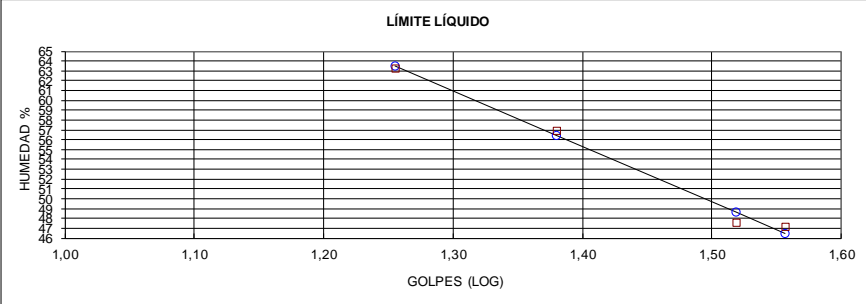
• **ML4.**

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL						
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
INF-LAB-DGM-IC-10-2012 PROYECTO : CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y LA INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN EN UN DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR LA BANDA. OBRA : TRABAJO FIN DE TITULACIÓN LOCALIZAC: SECTOR LA BANDA - NORTE DE LA CIUDAD DE LOJA.						
SOLICITADO : UTPL - GEOMIN. FECHA : DICIEMBRE 2015			NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27 POZO: 4 MUESTRA: ML 4 PROFUNDIDAD: 1,5 m REALIZADO: DAVID ALDEÁN			
	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		447,60 446,27	401,54 400,36	62,31 58,88	13,58 13,44	13,51
2.- LÍM. LÍQUIDO	17 26 30 36	74,09 64,70 69,37 70,44	69,61 60,27 65,29 66,62	61,25 51,71 57,37 59,03	53,59 51,75 51,52 50,33	52,01
3.- LÍMITE PLÁSTICO		64,61 62,64	64,23 61,91	63,11 59,80	33,93 34,60	34,26
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 636,93 (H/S) S PESO INICIAL DE CÁLCULO: 636,93			GRAVA 1 ARENA 42 FINOS 57			
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 52,00 LP = 34,00 IP = 18,00		
1"	0,00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : CL AASHTO: A-7-5 IG(86): 9 IG(45): 9		
3/4"	0,00	0	100			
1/2"	0,00	0	100			
3/8"	1,45	0	100			
No. 4	8,22	1	99			
No. 10	119,27	19	81			
No. 40	232,21	36	64			
No. 200	274,00	43	57			
						
CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de baja a media plasticidad (CL).						
Observaciones: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la UTPL.						
Ing. Ángel Tapia Ch. LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						

• **ML5.**

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL						
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
PROYECTO : CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y LA INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN EN UN DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR LA BANDA. OBRA : TRABAJO FIN DE TITULACIÓN NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27 LOCALIZAC: SECTOR LA BANDA - NORTE DE LA CIUDAD DE LOJA. POZO: 5 SOLICITADO : UTPL - GEOMIN. MUESTRA: ML 5 FECHA : DICIEMBRE 2015 PROFUNDIDAD: 1,5 m REALIZADO: DAVID ALDEÁN						
	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		442,07 396,43	384,27 345,49	61,96 54,08	17,93 17,48	17,71
2.- LÍM. LÍQUIDO	18 24 34 36	73,29 70,31 71,37 71,98	69,84 65,51 66,94 67,50	61,62 54,09 56,24 56,77	41,97 42,03 41,40 41,75	41,84
3.- LÍMITE PLÁSTICO		60,00 64,70	59,87 64,55	59,05 63,65	15,85 16,67	16,26
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 447,41 (H/S) S PESO INICIAL DE CÁLCULO: 447,41			GRAVA 0 ARENA 62 FINOS 38			
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 42,00 LP = 16,00 IP = 26,00		
1"	0,00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : SC AASHTO: A-7-6 IG(86): 4 IG(45): 4		
3/4"	0,00	0	100			
1/2"	0,00	0	100			
3/8"	0,00	0	100			
No. 4	0,00	0	100			
No. 10	3,40	1	99			
No. 40	24,92	6	94			
No. 200	278,72	62	38			
						
CLASIFICACIÓN SUCS: Arena arcillosa (SC)						
Observaciones: La toma de muestras es realizada por los técnicos del laboratorio de la UTPL.						
Ing. Ángel Tapia Ch. LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						

• **ML6.**

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL						
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
PROYECTO : CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y LA INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN EN UN DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR LA BANDA. OBRA : TRABAJO FIN DE TITULACIÓN NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27 LOCALIZAC: SECTOR LA BANDA - NORTE DE LA CIUDAD DE LOJA. POZO: 6 SOLICITADO : UTPL - GEOMIN. MUESTRA: ML 6 FECHA : DICIEMBRE 2015 PROFUNDIDAD: 1,5 m REALIZADO: DAVID ALDEÁN						
	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		485,98 410,25	331,65 295,65	61,96 54,08	57,22 47,44	52,33
2.- LÍM. LÍQUIDO	18 24 33 36	68,12 68,56 68,98 70,89	63,72 64,09 64,18 67,92	56,77 56,24 54,09 61,62	63,31 56,94 47,57 47,14	55,42
3.- LÍMITE PLÁSTICO		60,87 64,96	60,49 64,69	59,05 63,65	26,39 25,96	26,18
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 427,64 (HS)		S		GRAVA	0	
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		427,64		ARENA	12	
				FINOS	88	
TAMIZ	PESOR T.	% RET	% PASA	LL = 55,00		
1"	0,00	0	100	LP = 26,00		
3/4"	0,00	0	100	IP = 29,00		
1/2"	0,00	0	100			
3/8"	0,00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : CH AASHTO: A-7-6 IG(86): 28 IG(45): 19		
No. 4	0,00	0	100			
No. 10	7,46	2	98			
No. 40	54,89	13	87			
No. 200	53,35	12	88			
						
CLASIFICACIÓN SUCS: Arcilla inorgánica de elevada plasticidad (CH)						
Observaciones: La toma de muestras es realizada por el Egdo. David Aldean y llevada al laboratorio de la UTPL.						
Ing. Ángel Tapia Ch. LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

0,00
 PROYECTO : CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y LA INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN EN UN DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR LA BANDA.
 OBRA: TRABAJO FIN DE TITULACIÓN NORMA: ASTM D2850
 LOCALIZACIÓN: LA BANDA - LOJA ENSAYO: U-U
 INSTITUCIÓN: UTPL CALICATA No. : ML-5
 FISCALIZACIÓN: GEOMIN. PROFUND. (m) : 1.5 m.
 SOLICITADO: REALIZADO : D.A. - L.S.
 FECHA: DICIEMBRE 2015

REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.: <----- - 2 ----->
 Constante anillo de prueba: 0,85
 Presión de Conf. (Kg/cm2): 1,00

Dial Deform. .001 "	Deform. Unit. (%)	Área Corr. (cm2)	Dial Carga .001 "	Carga (kg)	Tensión Desviante (Kg/cm2)
0	0,00	9,62	0,00	0,00	0,00
5	0,12	9,64	12,50	10,63	1,10
10	0,24	9,65	27,00	22,95	2,38
20	0,48	9,67	43,50	36,98	3,82
30	0,73	9,69	64,00	54,40	5,61
40	0,97	9,72	84,50	71,83	7,39
50	1,21	9,74	113,00	96,05	9,86
60	1,45	9,77	143,00	121,55	12,45
70	1,69	9,79	176,00	149,60	15,28
80	1,94	9,81	211,00	179,35	18,27
90	2,18	9,84	241,00	204,85	20,82
100	2,42	9,86	264,00	224,40	22,75
110	2,66	9,89	264,00	224,40	22,69
120	2,90	9,91	264,00	224,40	22,64
130	3,14	9,94	263,00	223,55	22,50

RESULTADOS: ESF. DESV. : (Kg/cm2) = 22,75
 ESF. PRINCIPAL: (Kg/cm2) = 23,75

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por los Egresados David Aldean y Luis Salazar y entregada al laboratorio de la UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

0,00

PROYECTO : CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y LA INFLUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN EN UN DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR LA BANDA.
 OBRA : TRABAJO FIN DE TITULACIÓN NORMA : ASTM D2850
 LOCALIZACIÓN : LA BANDA - LOJA ENSAYO : U-U
 INSTITUCIÓN : UTPL CALICATA No. : ML-5
 FISCALIZACIÓN : PROFUND.(m): 1.5 m.
 SOLICITADO : GEOMIN. REALIZADO : D.A. - L.S.
 FECHA : DICIEMBRE 2015

REGISTRO DEL ENSAYO

PROBETA No.: <----- - 3 ----->
 Constante anillo de prueba: 0,85
 Presión de Conf. (Kg/cm2): 2,00

Dial	Deform.	Área	Dial	Carga	Tensión
Deform.	Unit.	Corrg.	Carga	(kg)	Desviante
.001 "	(%)	(cm2)	.001 "		(Kg/cm2)
0	0,00	10,01	0,00	0,00	0,00
5	0,13	10,02	12,00	10,20	1,02
10	0,26	10,04	26,00	22,10	2,20
20	0,51	10,06	64,00	54,40	5,41
30	0,77	10,09	106,00	90,10	8,93
40	1,02	10,11	165,00	140,25	13,87
50	1,28	10,14	224,00	190,40	18,78
60	1,53	10,17	269,00	228,65	22,49
70	1,79	10,19	305,00	259,25	25,44
80	2,04	10,22	321,00	272,85	26,70
90	2,30	10,25	325,00	276,25	26,96
100	2,55	10,27	318,00	270,30	26,31

RESULTADOS: ESF. DESV. : (Kg/cm2) = 26,96
 ESF. PRINCIPAL: (Kg/cm2) = 28,96

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por los Egresados David Aldean y Luis Salazar y entregada al laboratorio de la UTPL.

Ing. Ángel Tapia Ch.
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Gráficas:

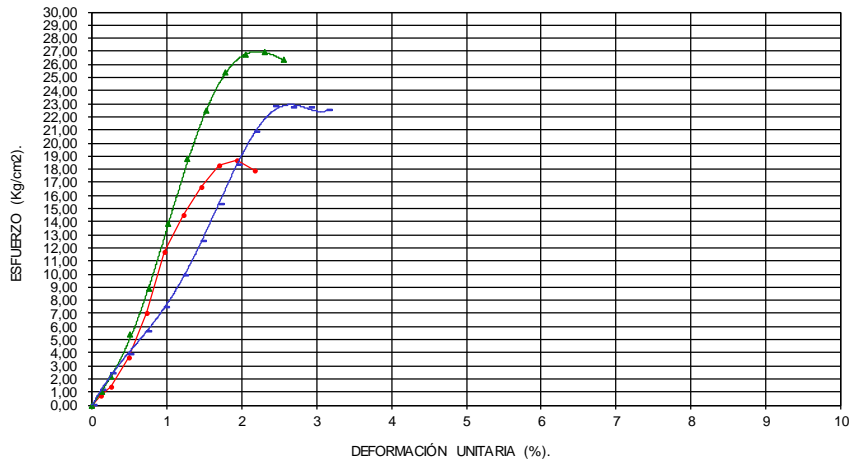


DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E ING.CIVIL
LABORATORIOS DE MECÁNICA DE SUELOS - UTPL

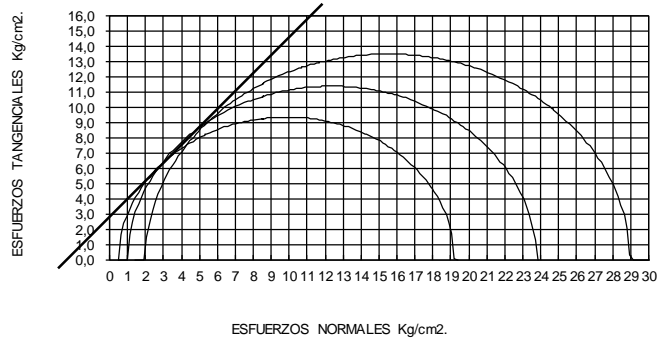
ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN.

Muestra : N°1
 Profundidad: 6.0 M.



CIRCULO DE MOHR




COHESIÓN (C) = 2,6 Kg/cm².
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA (φ) = 49°

OBSERVACIONES: La toma de muestras fué realizada por los Egresados David Aldean y Luis Salazar y entregada al laboratorio de la UTPL.

Ing. Angel Tapia Ch.
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Anexo 4. Ensayo de corte directo.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINASE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO DE CORTE DIRECTO.					
PROYECTO: :TRABAJO FIN DE TITULACIÓN					
OBRA:			ABSCISA :		
LOCALIZACION: SECTOR LA - BANADA / LOJA			MUESTRA : 1		
FECHA: DIC. 2015		OPERADOR: :D.A		PROFUND.: 2.0m.	
PROBETA No. 1					
DATOS DE LA MUESTRA:			CONTENIDO DE HUMEDAD:		
DIAMETRO:	6,29 cm.		Peso Hum.:	105,73	110,31
ALTURA:	2,57 cm.		Peso Seco:	100,6	105,3
AREA:	31,07 cm ² .		Peso Cap.:	20,63	19,63
VOLUMEN:	79,86 cm ³ .		W (%) :	6,41	5,85
PESO :	139,19 gr.		W (%) Prom:	6,13	
DENSIDAD:	1,74 gr/cm ³ .				
DATOS DE LA PRUEBA:					
CARGA AXIAL (KG):			16 PRESION NORMAL:		0,51
Lectura Corte.	Lectura Axial.	Anillo Carga	Deform. Tang.	Deform. Axial.	Esfuerzo Cortante
0.01 mm.	0.01 mm.	0.01 mm.	(%)	(%)	(Kg/cm ²)
0	0	0	0,00	0,00	0,00
5	0	14,0	0,08	0,00	0,08
10	0	17,0	0,16	0,00	0,10
20	0	20,0	0,32	0,00	0,12
30	0	24,0	0,48	0,00	0,14
40	0	25,0	0,64	0,00	0,15
50	0	27,0	0,79	0,00	0,16
60	0	29,0	0,95	0,00	0,17
70	0	31,5	1,11	0,00	0,18
80	0	33,0	1,27	0,00	0,19
90	0	34,0	1,43	0,00	0,20
100	0	34,5	1,59	0,00	0,20
110	0	36,0	1,75	0,00	0,21
120	0	39,5	1,91	0,00	0,23
130	0	41,5	2,07	0,00	0,24
140	0	43,5	2,23	0,00	0,25
150	0	45,0	2,38	0,00	0,26
160	0	45,5	2,54	0,00	0,27
170	0	47,0	2,70	0,00	0,27
180	0	49,5	2,86	0,00	0,29
190	0	51,0	3,02	0,00	0,30
200	0	53,0	3,18	0,00	0,31
210	0	53,0	3,34	0,00	0,31
220	0	52,0	3,50	0,00	0,30
230	0	51,5	3,66	0,00	0,30
240	0	51,5	3,82	0,00	0,30
250	0	51,0	3,97	0,00	0,30
260	0	50,0	4,13	0,00	0,29
270	0	50,0	4,29	0,00	0,29
280	0	49,0	4,45	0,00	0,29
290	0	48,0	4,61	0,00	0,28
300	0	48,0	4,77	0,00	0,28
VALORES: ESF. CORT. MAXIMO. (Kg/cm ²) =					0,31

**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA.****DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINASE INGENIERÍA CIVIL****ENSAYO DE CORTE DIRECTO.**

PROYECTO: :TRABAJO FIN DE TITULACIÓN					
OBRA:			ABSCISA :		
LOCALIZACION: SECTOR LA - BANADA / LOJA			MUESTRA : 1		
FECHA: DIC. 2015		OPERADOR: :D.A		PROFUND.: 2.0m.	
PROBETA No. 2					
DATOS DE LA MUESTRA:			CONTENIDO DE HUMEDAD:		
DIAMETRO:	6,31	cm.	Peso Hum.:	105,73	110,31
ALTURA:	3,20	cm.	Peso Seco:	100,6	105,3
AREA:	31,27	cm2.	Peso Cap.:	20,63	19,63
VOLUMEN:	100,07	cm3.	W (%) :	6,41	5,85
PESO :	154,70	gr.	W (%) Prom:	6,13	
DENSIDAD:	1,55	gr/cm3.			
DATOS DE LA PRUEBA:					
CARGA AXIAL (KG):			32	PRESION NORMAL: 1,01	
Lectura	Lectura	Anillo	Deform.	Deform.	Esfuerzo
Corte.	Axial.	Carga	Tang.	Axial.	Cortante
0.01 mm.	0.01 mm.	0.01 mm.	(%)	(%)	(Kg/cm2)
0	0	0	0,00	0,00	0,00
5	0	13,0	0,08	0,00	0,08
10	0	25,0	0,16	0,00	0,15
20	0	35,0	0,32	0,00	0,20
30	0	41,0	0,48	0,00	0,24
40	0	44,0	0,64	0,00	0,26
50	0	45,0	0,79	0,00	0,26
60	0	48,0	0,95	0,00	0,28
70	0	50,0	1,11	0,00	0,29
80	0	50,5	1,27	0,00	0,29
90	0	51,0	1,43	0,00	0,30
100	0	50,5	1,59	0,00	0,29
100	0	52,0	1,59	0,00	0,30
120	0	54,0	1,91	0,00	0,32
130	0	54,5	2,07	0,00	0,32
140	0	55,0	2,23	0,00	0,32
150	0	56,0	2,38	0,00	0,33
160	0	56,0	2,54	0,00	0,33
170	0	56,5	2,70	0,00	0,33
180	0	56,5	2,86	0,00	0,33
190	0	55,0	3,02	0,00	0,32
200	0	55,0	3,18	0,00	0,32
210	0	55,5	3,34	0,00	0,32
220	0	56,5	3,50	0,00	0,33
230	0	57,5	3,66	0,00	0,34
240	0	57,5	3,82	0,00	0,34
250	0	57,5	3,97	0,00	0,34
260	0	56,0	4,13	0,00	0,33
270	0	56,0	4,29	0,00	0,33
280	0	55,0	4,45	0,00	0,32
290	0	55,0	4,61	0,00	0,32
300	0	54,0	4,77	0,00	0,32
310	0	53,0	4,93	0,00	0,31
320	0	53,0	5,09	0,00	0,31
330	0	52,0	5,25	0,00	0,30
340	0	51,0	5,41	0,00	0,30
350	0	50,0	5,56	0,00	0,29
VALORES: ESF. CORT. MAXIMO:(Kg/cm2)=					0,34



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA.
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINASE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO DE CORTE DIRECTO.

PROYECTO: :TRABAJO FIN DE TITULACIÓN

OBRA:

ABSCISA :

LOCALIZACION: SECTOR LA - BANADA / LOJA

MUESTRA : 1

FECHA: DIC. 2015

OPERADOR: :D.A

PROFUND.: 2.0m.

PROBETA Nº 3

DATOS DE LA MUESTRA:

CONTENIDO DE HUMEDAD:

DIAMETRO:	6,26 cm.	Peso Hum.:	105,73	110,31
ALTURA:	2,90 cm.	Peso Seco:	100,6	105,3
AREA:	30,78 cm ² .	Peso Cap.:	20,63	19,63
VOLUMEN:	89,26 cm ³ .	W (%) :	6,41	5,85
PESO :	154,70 gr.		6,13	
DENSIDAD:	1,73 gr/cm ³ .			

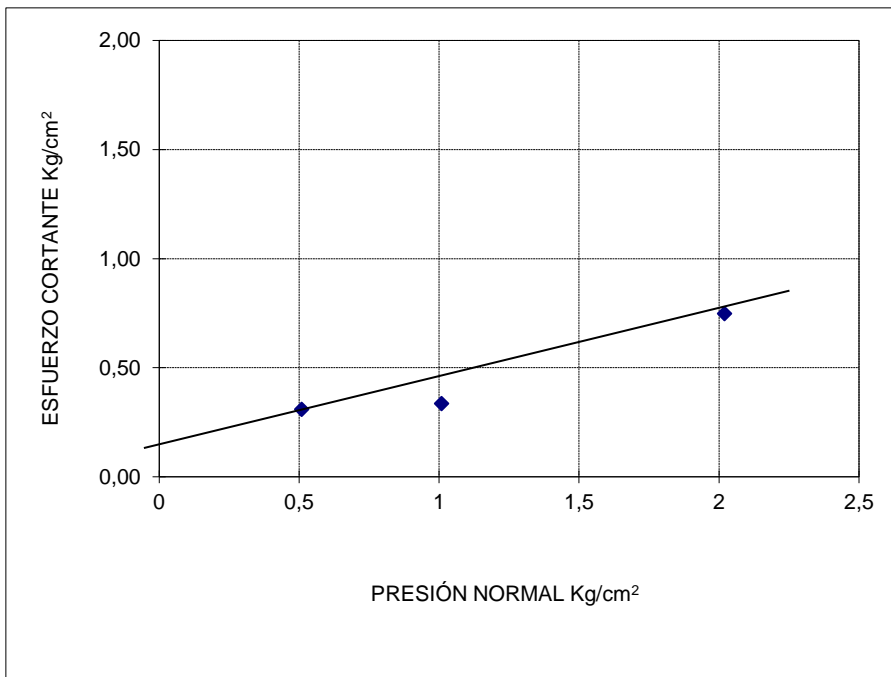
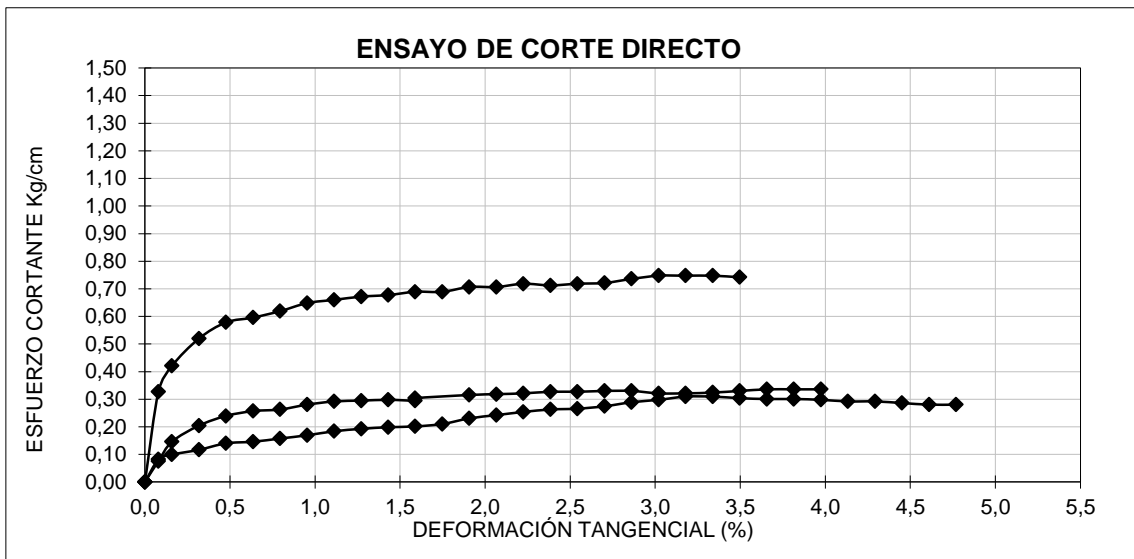
DATOS DE LA PRUEBA:

CARGA AXIAL (KG): 64 PRESION NORMAL: 2,02

Lectura Corte. 0.01 mm.	Lectura Axial. 0.01 mm.	Anillo Carga 0.01 mm.	Deform. Tang. (%)	Deform. Axial. (%)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm ²)
0	0	0	0,00	0,00	0,00
5	0	56,0	0,08	0,00	0,33
10	0	72,0	0,16	0,00	0,42
20	0	89,0	0,32	0,00	0,52
30	0	99,0	0,48	0,00	0,58
40	0	102,0	0,64	0,00	0,60
50	0	106,0	0,79	0,00	0,62
60	0	111,0	0,95	0,00	0,65
70	0	113,0	1,11	0,00	0,66
80	0	115,0	1,27	0,00	0,67
90	0	116,0	1,43	0,00	0,68
100	1,5	118,0	1,59	0,06	0,69
110	2	118,0	1,75	0,08	0,69
120	2	121,0	1,91	0,08	0,71
130	3	121,0	2,07	0,12	0,71
140	3,5	123,0	2,23	0,14	0,72
150	4,5	122,0	2,38	0,18	0,71
160	4,5	123,0	2,54	0,18	0,72
170	4,5	123,5	2,70	0,18	0,72
180	4,5	126,0	2,86	0,18	0,74
190	4,5	128,0	3,02	0,18	0,75
200	4,5	128,0	3,18	0,18	0,75
210	4,5	128,0	3,34	0,18	0,75
220	4,5	127,0	3,50	0,18	0,74
230	4,5	127,0	3,66	0,18	0,74
240	4,5	126,0	3,82	0,18	0,74
250	4,5	125,0	3,97	0,18	0,73
260	4,5	125,0	4,13	0,18	0,73
270	4,5	124,0	4,29	0,18	0,72
280	4,5	124,0	4,45	0,18	0,72

VALORES: ESF. CORT. MAXIMO:(Kg/cm²)= 0,75

Gráficas.



Angulo de fricción interna (ϕ) = 16°

Cohesión (C) = $0,12 \text{ Kg/cm}^2$

Anexo 6. Perfil litológico.

