



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“Caracterización geológica, geomorfológica y de riesgos del
sector La Josefina y sus zonas aledañas”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN MINAS

Nombre del Autor:

JORGE VINICIO FLORES FLORES

Director:

FERNANDO TULIO VALENCIA GUARICELA

CUENCA, ECUADOR

2018

DEDICATORIA

A mi gran Dios, Aquél quien es el camino al Padre celestial, al dueño de mi vida, a quien me enseñó a ver las cosas desde una perspectiva diferente y me guía cada día por el camino de vida, a Jesucristo mi Señor.

A mis amados padres, Segundo y Savina por su apoyo en los momentos de angustia, su ayuda en los momentos de debilidad, su cariño en los momentos de tristeza, su castigo y guía en el tiempo de equivocación, y si tratara de escribir todo faltarían las palabras para describir lo que mis progenitores han hecho por mí de lo cual estoy totalmente agradecido y si acaso decidiera pagar su amor presentado en sus actos ninguna obra sería suficiente para compensar todo lo que ellos me han regalado.

A todos mis hermanos, hermanas, cuñados, cuñada, sobrinos y sobrinas, quienes son parte de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios quien me presentó su amor y su fidelidad por medio de su Hijo Jesucristo, me guio cada día de mi vida, en los momentos de duda y en los que deseé desistir el me sostuvo llevándome por el camino correcto.

A mi hermana Aida, cuñado Cristian y mis sobrinas quienes fueron compañía diaria en el camino que conllevó la consecución de mis estudios universitarios, por brindarme un hogar donde permanecer desde el principio hasta el final de mis estudios.

A mis hermanos Carlos y David, a mis hermanas Ana y Luisa, por sus palabras de ánimo, sus consejos y a veces su exigencia para la culminación de este trabajo. A mi cuñado Andrés por facilitarme alguno de los equipos que necesite para realizar este trabajo.

Al Ingeniero Fernando Valencia, por su incomparable ayuda en la terminación de este trabajo, ya que cuando no sabía que hacer para continuar, él me enseñó la dirección que debía tomar para conseguir los objetivos de este trabajo.

Al ingeniero Gil Álvarez quien me brindo su amistad, y me ayudó a darle forma a mi trabajo para que sea presentado de una manera legible, clara y entendible. Al ingeniero patricio Feijoo por revisar mi trabajo de titulación.

A todos los profesores que forman parte de la Escuela de Ingeniería en Minas, por compartir sus conocimientos sin egoísmo, enseñarme técnicas de investigación y estudio que permanecerán en mí hasta el último día de vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: ZONA DE ESTUDIO Y MARCO TEÓRICO	3
1.1.Aspectos generales	3
1.1.1. Antecedentes de la zona de estudio	3
1.1.2. Área de estudio	4
1.1.3. Acceso.....	5
1.2. Cartografía. Definición y orientaciones	6
1.2.1. Evolución de la Cartografía	8
1.2.2. El concepto de escala	8
1.2.3. Tipos de mapas.....	9
1.2.4. Según la escala de trabajo	10
1.2.5. Según el propósito para el que ha sido creado	10

1.2.6. Elementos del mapa	11
1.2.7. Componentes de los mapas	11
1.3.Geodesia.....	12
1.3.1. Las proyecciones.....	12
1.4.Lenguaje cartográfico.....	13
1.4.1. Componentes espaciales	13
1.4.2. Componentes del lenguaje cartográfico	14
1.4.3. Signos y símbolos	14
1.4.4. La implantación gráfica.....	15
1.5. Técnicas cartográficas	15
1.5.1.Topografía.....	16
1.5.2. Fotogrametría	17
1.5.2.1 Aplicación de la fotogrametría.....	17
1.5.3. Fotografías aéreas.....	18
1.5.4. Fotointerpretación	18
1.5.4.1. Fases del proceso de fotointerpretación	18
1.6.Visión estereoscópica.....	19
1.7.Teledetección	19
1.8.Mapas de riesgo.....	20
1.8.1. Entendiendo los desastres naturales	21
1.8.1.1. ¿Qué es un fenómeno natural?	21
1.8.1.2. ¿Qué son los riesgos?	21
1.8.1.3. ¿Qué es una situación vulnerable?	21
1.8.1.4. Exposición.....	22
1.8.1.5. ¿Qué es un desastre?	22
1.8.1.6. ¿Qué es y cómo se produce un desastre natural?	22

1.8.1.7. ¿Cómo se mitigan los riesgos?	23
1.8.2. Metodología para la elaboración de mapas de riesgo	23
1.8.3. Etapas para la elaboración de mapas de riesgos.....	24
CAPITULO II: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA Y DE RIESGOS	26
2.1. Equipos y materiales de trabajo	26
2.2. Caracterización geológica	30
2.2.1. Términos geológicos.....	30
2.2.2. Geología general de Ecuador	33
2.2.3. Geología base.....	33
2.2.4. Geología de la zona de estudio, citado de los mapas geológicos del Ecuador (Azogues y Gualaceo).....	34
2.2.4.1. Descripción geológica tomada de los mapas geológicos del Ecuador (Azogues y Gualaceo)	36
2.3. Geología actualizada de la zona de Estudio	38
2.3.1. Depósitos aluviales recientes (Qa)	38
2.3.2. Depósitos coluviales (Qc)	40
2.3.3. Terrazas aluviales (Qt1)	40
2.3.4. Formación Llacao (PLL).....	40
2.3.5. Formación Tarqui (PT)	41
2.3.6. Formación Azogues (MAZ).....	41
2.3.7. Formación Biblián (Mb)	41
2.3.8. Intrusiones	42
2.3.9. Formación Yunguilla (Kpy).....	42
2.3.10. Unidad Maguazo (Jz)	43

2.3.11. Formación Quingeo (EOq).....	43
2.3.12. Formación Loyola (ML)	43
2.4.Caracterización geomorfológica	44
2.4.1. Objetivos de la geomorfología.....	45
2.4.2. Análisis morfológico cualitativo y cuantitativo.....	46
2.4.3. Morfografía.....	46
2.4.4. Morfometría	46
2.4.5. Formas del terreno	47
2.4.6. Parámetros del terreno	48
2.4.6.1. Parametrización del relieve	48
2.4.7. Pendiente del terreno	49
2.4.7.1. Clasificación de la pendiente.....	50
2.4.8. Orientación de pendiente	53
2.4.9. Curvatura	55
2.4.10. Climatología.....	56
2.5.Caracterización de riesgos.....	58
2.5.1. Fenómenos de inestabilidad.....	58
2.5.2. Evaluación de amenaza y riesgo por deslizamiento	59
2.5.2.1. Movimientos de ladera	59
2.5.2.2. Tipos de movimientos de ladera.....	60
2.5.2.3. Realización de fotointerpretación.....	63
2.5.2.4. Actividad y desarrollo	65
2.5.3. Clasificación de los movimientos de ladera según su tipo, actividad y desarrollo.....	67
2.5.3.1. Mapa de fenómenos de inestabilidad	79
2.5.4. Análisis de riesgos en el área de estudio.....	80

2.5.4.1.	Vulnerabilidad y exposición.....	80
2.5.4.2.	Peligro sísmico	81
2.5.4.3.	Mapa de peligrosidad debido a fenómenos de inestabilidad del sector La Josefina y sus zonas aledañas	83
2.5.4.4.	Índice de susceptibilidad a deslizamientos.....	84
 CAPÍTULO III: VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN Y RESULTADOS		91
3.1.	Discusión y análisis de resultados.....	91
3.1.1.	Factor pendiente (Sr)	91
3.1.2.	Factor litológico (Sl).....	91
3.1.3.	Factor humedad del suelo (Sh)	92
3.1.4.	Intensidad sísmica (Ts)	93
3.1.5.	Intensidad de precipitación (Tp).....	93
3.1.6.	Índice de susceptibilidad a deslizamientos	93
3.2.	Resultados	94
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:		96
BIBLIOGRAFÍA		100
ANEXOS		105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Mapa de ubicación del área de estudio.	4
Figura 1. 2. Ubicación del área de estudio.	5
Figura 1. 3. Acceso a la zona de estudio.	6
Figura 1. 4. Simbología utilizada en mapas geológicos.	15
Figura 2. 1. Estereoscopio de espejos.	26
Figura 2. 2. Materiales de trabajo.	29
Figura 2. 3. Falla inversa.	30
Figura 2. 4. Estratos, plano de estratificación y proceso de estratificación.	31
Figura 2. 5. Línea de contacto entre la formación Tarqui y serie Paute.	32
Figura 2. 6. Geología del área de estudio.	37
Figura 2. 7. Depósito aluvial reciente.	39
Figura 2. 8. Mapa geológico actualizado del área de estudio.	44
Figura 2. 9. . Transformación de pendiente en grados a porcentual.	50
Figura 2. 10. Mapa geomorfológico, clasificación del IGAC, 2009.	51
Figura 2. 11. Comparación de pendiente plana y fuertemente escarpado.	53
Figura 2. 12. Dirección de pendiente.	54
Figura 2. 13. Mapa de curvatura del sector La Josefina y sus zonas aledañas.	55
Figura 2. 14. Mapa del Ecuador con sus zonas de precipitación anual, donde color cyan representa precipitaciones bajas en comparación a todo el estado Ecuatoriano.	57
Figura 2. 15. Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento.	60
Figura 2. 16. Proceso de reptación en una ladera.	61

Figura 2. 17. Proceso de solifluxión en una ladera.	61
Figura 2. 18. Clasificación de movimientos de ladera.	62
Figura 2. 19. Reconocimiento de movimientos de ladera, mediante fotointerpretación.	63
Figura 2. 20. Deslave de La Josefina.	64
Figura 2. 21. Digitalización de fenómenos de inestabilidad.	65
Figura 2. 22. Actividad de los movimientos de ladera, 1. Activo, 2. Suspendido, 3. Reactivado, 5. Dormido (Latente), 6. Abandonado, 7. Estabilizado, 8. Relicto.	66
Figura 2. 23. Mapa de fenómenos de inestabilidad por movimientos de ladera.	80
Figura 2. 24. Deslizamiento en la zona de Lugmapamba, casas construidas en la zona de deslizamiento.	81
Figura 2. 25. Nivel de amenaza sísmica en el Ecuador, la zona de estudio se encuentra en un nivel alto, que está representado por en color naranja.	82
Figura 2. 26. Factores que se pueden convertir en desencadenantes de movimientos.	84
Figura 3. 1. Mapa de riesgos del sector La Josefina y sus zonas aledañas.	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Coordenadas del área de estudio en coordenadas UTM-WGS84-Zona 17S.	4
Tabla 2. 1. Información general de fotografías aéreas.	28
Tabla 2. 2. Fotografías aéreas con sus respectivas líneas de vuelo, numeración, escala y fecha de publicación.....	29
Tabla 2. 3. Fallas geológicas y su simbología.....	31
Tabla 2. 4 Estratificación y su simbología.	32
Tabla 2. 5. Contactos geológicos con su respectiva simbología.....	32
Tabla 2. 6. Cuadro estratigráfico (eras geológicas).....	35
Tabla 2. 7. Clasificación de la pendiente.	51
Tabla 2. 8. Clasificación de pendientes basado en la tabla 2.6 de este documento. ..	52
Tabla 2. 9. Orientación de la pendiente.....	54
Tabla 2. 10. Clasificación de los movimientos de ladera.....	68
Tabla 2. 11. Factor pendiente (Sr) y su clasificación en índice de susceptibilidad a movimientos de ladera.	85
Tabla 2. 12. Clasificación de diferentes litologías y su grado de susceptibilidad.....	86
Tabla 2. 13. Clasificación del factor de humedad del suelo, en relación a la influencia de la susceptibilidad a movimientos de ladera.	87
Tabla 2. 14. Factor humedad del suelo (Sh), resultado de la clasificación de los valores promedios de precipitación mensual acumulada, según la tabla 2.13.	87
Tabla 2. 15. Clasificación del factor de intensidad de precipitaciones.....	88
Tabla 2. 16. Índice de susceptibilidad a movimientos de ladera.....	88

Tabla 2. 17. Clasificación de un movimiento de ladera, su potencial y las características que lo representan.....	89
Tabla 3. 1. Análisis del factor pendiente del sector La Josefina y sus zonas aledañas.	91
Tabla 3. 2. Calificación del factor litológico de la zona de estudio.	92
Tabla 3. 3. Área en porcentaje que interviene con cada valor según el índice de susceptibilidad, correspondiente a cada factor.	93
Tabla 3. 4. Índice de susceptibilidad a movimientos del sector La Josefina y sus zonas aledañas.	94

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mallas perpendiculares al terreno en el área de estudio, para impedir la caída de rocas la vía principal.	105
Anexo 2. Área de estudio.	106
Anexo 3. Mapa geológico del sector La Josefina y sus zonas aledañas.	107
Anexo 4. Mapa de inestabilidad del terreno.....	108
Anexo 5. Mapa de riesgos del sector La Josefina y sus zonas aledañas.	109
Anexo 6. Mapa geológico de área de estudio, sin transparencia y fondo de orto-fotos.	110
Anexo 7. Mapa de inestabilidad del terreno por movimientos de masa sin transparencia y fondo de orto-fotos.....	111
Anexo 8. Mapa de peligrosidad por movimientos de ladera sin transparencia y fondo de orto-fotos.	112

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA Y DE RIESGOS DEL SECTOR LA JOSEFINA Y SUS ZONAS ALEDAÑAS

RESUMEN

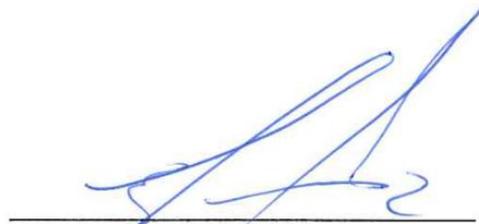
En el presente trabajo se realizó la caracterización geológica, geomorfológica y de riesgos del sector La Josefina y sus zonas aledañas mediante recopilación bibliográfica, fotointerpretación, levantamiento de campo y análisis espacial de riesgos en Sistemas de Información Geográfico (SIG), esta información fue representada cartográficamente. Como resultado final se obtuvo un mapa de riesgos por movimientos de masa, se espera que el mismo sirva para tomar medidas preventivas para evitar efectos adversos en el área de estudio.

Palabras clave: Geología, geomorfología, fotointerpretación, fenómenos de inestabilidad, riesgo.



Tulio Fernando Valencia Guaricela

Director del trabajo de titulación



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de escuela



Jorge Vinicio Flores Flores

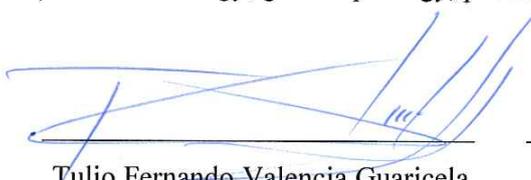
Autor

**GEOLOGICAL, GEOMORPHOLOGICAL AND RISK CHARACTERIZATIONS
OF THE "LA JOSEFINA" SECTOR AND ITS SURROUNDING AREAS**

ABSTRACT

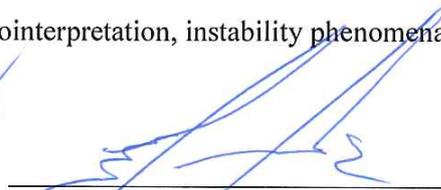
This work carried out the geological, geomorphological and risk characterization of La Josefina sector and its surrounding areas. The investigation was performed through a bibliographic compilation, photointerpretation, field surveys and a spatial risk analysis in the Geographic Information Systems (GIS). This information was represented cartographically. A map of risks due to mass movements was obtained as a final result. It is expected that this research helps to take preventive measures and avoid adverse effects in the studied area.

Keywords: Geology, geomorphology, photointerpretation, instability phenomena, risk.



Tulio Fernando Valencia Guaricela

Thesis Director



Leonardo Anibal Nunez Rodas

Faculty Coordinator



Jorge Vinicio Flores Flores

Author



Translated by
Ing. Paul Arpi

Flores Flores Jorge Vinicio

Trabajo de titulación

Ing. Fernando Tulio Valencia Guaricela

Diciembre, 2018

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA Y DE RIESGOS DEL SECTOR LA JOSEFINA Y SUS ZONAS ALEDAÑAS

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia parte de los seres humanos han sido afectados por desastres naturales o antrópicos, los cuales en muchas ocasiones han terminado con la vida de personas; un ejemplo de esto es el deslave de La Josefina, ocurrido en el área de estudio afectando económicamente a pueblos cercanos ubicados río arriba y río abajo.

Algunos de los desastres que han ocurrido pudieron haber sido identificados y prevenidos con una correcta planificación e interés por las vidas humanas en riesgo, basándose en el mismo ejemplo de La Josefina, este fue advertido por parte de los ingenieros Rosendo Tusa y Jaime Ampuero, del Instituto Nacional de Minería (INEMIN), pero por razones no conocidas la advertencia no fue tomada en cuenta, en consecuencia sucedió lo previsto, el cerro Tamuga se deslizó embalsando gran cantidad de agua.

Razones como las relatadas sirven como motivación para realizar trabajos de identificación de riesgos y actualización de mapas de riesgos.

El fin principal de este trabajo es caracterizar de manera geológica, geomorfológica y de riesgos del sector La Josefina y sus zonas aledañas, lo que permitirá identificar estructuras geológicas y geomorfológicas, las cuales analizadas por medio de

fotointerpretación revelan cualidades que sirven para la creación de un mapa de riesgo del sector.

Para caracterizar el área de estudio, la fotointerpretación ha sido de gran utilidad, ya que por este medio se logra visualizar e identificar, mediante fotografías aéreas, las características geológicas, geomorfológicas y de riesgos, las que serán analizadas y verificadas por medio de un reconocimiento en campo, y por medios computarizados como son: imágenes satelitales, orto-fotos, etc.

La geología, la geomorfología, vegetación, como condicionantes; las lluvias, los sismos, la actividad antrópica como desencadenantes, son aspectos que no pueden ser dejados a un lado en el análisis de riesgos de un sector, por tal razón en este trabajo se incluye la metodología Mora & Vahrson, 1994, para calificar el aporte que tendrían en la ocurrencia de un movimiento de masa.

Este trabajo está enfocado en identificar los riesgos por deslizamientos o movimientos de masa, ya que son los que mayormente perjudican a las comunidades cercanas; al identificar las zonas donde es posible que se den diferentes movimientos de masa, es necesario, también, estudiar la vulnerabilidad y exposición de las comunidades y personas que interactúan en dichos lugares.

CAPÍTULO I

ZONA DE ESTUDIO Y MARCO TEÓRICO

1.1. Aspectos generales

Es necesario para comenzar algún proyecto, conocer características que brinden información básica de la zona de estudio, como: antecedentes, ubicación, área total de estudio, accesos, etc.

1.1.1. Antecedentes de la zona de estudio

El 29 de marzo de 1993 se produjo uno de los desastres más significativos en Ecuador; llamado el “Deslave de La Josefina” afectando parte de las provincias de Azuay y Cañar. En horas de la noche se produjo el deslizamiento aproximadamente de 20 millones de metros cúbicos de material rocoso y suelo provenientes del Cerro Tamuga, lo que ocasionó el consecuente taponamiento de los ríos Paute y Jadán, generando el represamiento progresivo de dichos ríos hasta alcanzar un volumen de agua cercano a los 200 millones de metros cúbicos (Moreno, 1994).

Cabe destacar que días antes de lo sucedido los ingenieros Rosendo Tusa y Jaime Ampuero, del Instituto Nacional de Minería (INEMIN) advirtieron del peligro del deslizamiento.

Según la defensa civil, oficialmente existieron 35 personas fallecidas, la población directamente afectada fue de 6420; aguas arriba se inundaron tierras agrícolas, viviendas, una central termoeléctrica, la carretera panamericana, la línea férrea, etc., aguas abajo se destruyeron dos canales de riego, cinco puentes, las vías de acceso a Paute y Gualaceo desde Cuenca; la ciudad de Paute fue la más afectada, 50% del pueblo fue destruido, lo que incluyó casas, edificios públicos, red eléctrica y telefónica, alcantarillado, etc. (Moreno, 1994).

1.1.2. Área de estudio

La zona de estudio es un área de 40 km², la misma, forma parte de los cantones de Azogues, Cuenca, Gualaceo y Paute, abarcando sectores como: El Tuhual, La Josefina, San Cristóbal, Pastopamba, etc. Por el sector atraviesan vías de comunicación que unen a las poblaciones de la provincia del Azuay; como son: Cuenca, Gualaceo y Paute, sumándose el cantón Azogues de la provincia del Cañar.

El área de estudio forma un rectángulo establecido por las siguientes coordenadas, UTM-WGS84-Zona 17S.

Tabla 1. 1. Coordenadas del área de estudio en coordenadas UTM-WGS84-Zona 17S.

Punto	Coordenadas	
	Este (E)	Norte (N)
1	736000	9688000
2	746000	9688000
3	746000	9684000
4	736000	9684000

En la siguiente figura se muestra el mapa de ubicación de la zona de estudio, el mismo que se puede ver con mayor claridad en el anexo 1.

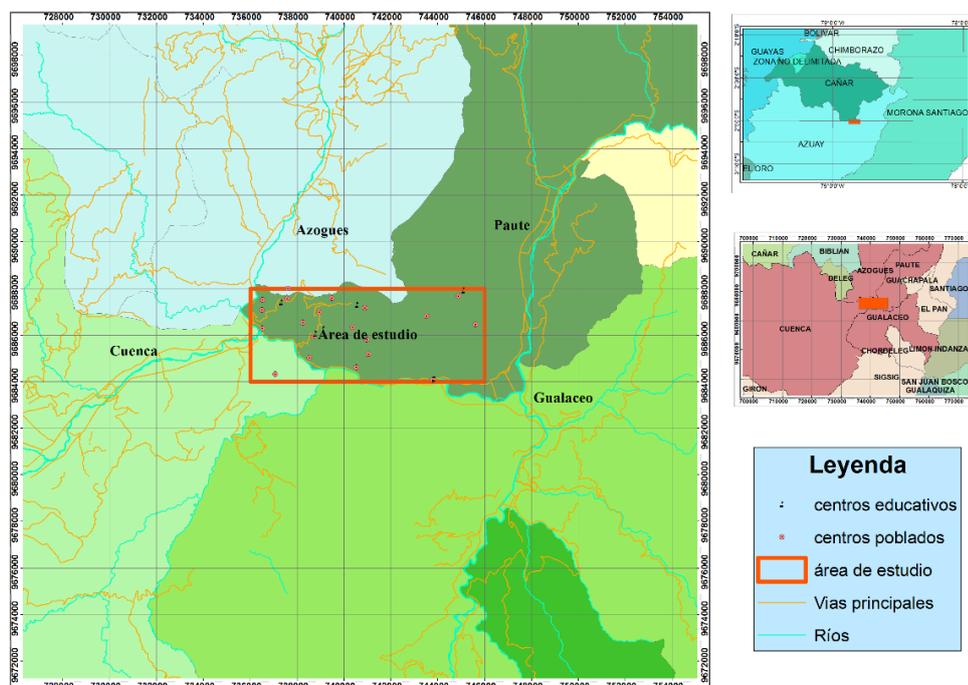


Figura 1. 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

La zona de estudio se sitúa en la parte central de las poblaciones nombradas anteriormente; las cuales intercambian sus diferentes servicios y productos principalmente por comunicación vial; la carretera principal que une las ciudades de Azogues, Cuenca, Gualaceo y Paute, cruza por el Sector de El Tawal-La Josefina, parte del área de estudio.



Figura 1. 2. Ubicación del área de estudio.

Fuente: Imagen satelital recuperada de *Google Earth*, 2018.

1.1.3. Acceso

El lugar de estudio está localizado al noreste de Cuenca a una distancia de 15,6 km partiendo desde la ciudad de Cuenca; en el recorrido es necesario primeramente llegar al Descanso, donde podremos movilizarnos hacia cualquier punto del área a estudiarse.

Para movilizarse a la zona puntual del proyecto, se debe tomar la vía que va desde El Descanso hacia La Josefina, hasta llegar al sector donde ocurrió el desastre, el que está a 4,4 km. Cuando se requiere ir a la parte alta del cerro Tamuga, se debe continuar vía a San Cristóbal.

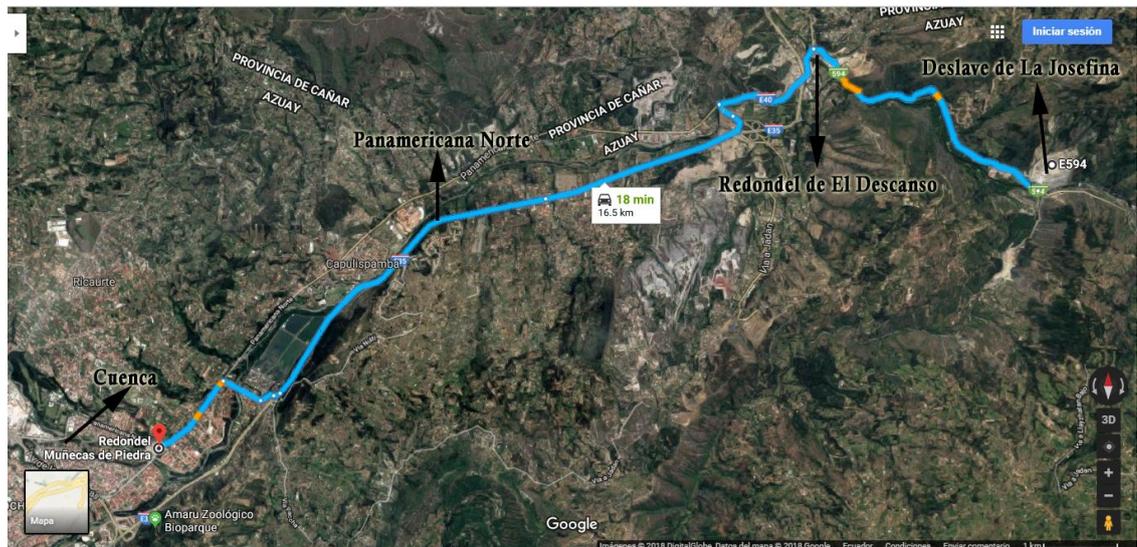


Figura 1. 3. Acceso a la zona de estudio.

Fuente: Imagen satelital recuperada de *Google Maps*, 2018.

1.2. Cartografía. Definición y orientaciones

La cartografía desde la antigüedad ha formado parte primordial en los avances de la civilización; la palabra cartografía mediante una interpretación simple significa escritura de mapas; diversos autores propugnan en diferentes ideas sobre la definición de cartografía, por ejemplo: Para Harvey (1983), la cartografía tiene unas propiedades lógicas y el mapa es un sistema simbólico, es lo que se ha denominado “El lenguaje de la Geografía” y como todo sistema implica un sistema lógico; el comité francés de cartografía (1999), la define como “el estudio de los signos gráficos, de sus propiedades y de sus relaciones con sus elementos de información que ellos expresan”. La comisión para la formación de cartógrafos (ICA, *International Cartographic Association*) (1966) definió la cartografía como “el conjunto de estudios y operaciones científicas, artísticas y técnicas que intervienen, a partir de las observaciones directas o de la explotación de una documentación, en el establecimiento de mapas, planos y otras formas de expresión, así como su utilización”.

En sí todos los autores concuerdan en una definición general de la cartografía, entonces se puede decir que la cartografía es la impresión o escritura de mapas en donde se detalla las propiedades y relaciones que tiene el área o las áreas estudiadas entre sí, estos mapas tratan de mostrar de manera clara y acertada las características

geológicas, hidrológicas, topográficas, ambientales, uso del suelo, etc., del área estudiada, según sea el caso de estudio.

Ciertos autores dividen la cartografía en varias orientaciones, como es el caso de *Rimbert* (como se citó en Maza 2008) que observa la cartografía con seis distinciones:

- **Cartografía Teórica:** Geodesia, Foto-grametría, Topografía y Proyecciones.
- **Cartografía Técnica:** Diseño, Foto-grabado e Impresión.
- **Meta-cartografía:** Aspectos metodológicos y leyendas.
- **Psicología de la imagen cartográfica:** Maquetismo.
- **Historia de la cartografía.**
- **Cartografía integral:** Aspectos económicos y comerciales.

Entonces sabemos que la Cartografía (escritura de mapas) es importante para la investigación del terreno, ya que podemos observar la realidad de lo representado con mayor certeza; hoy en día es indispensable conocer el terreno o área que forma parte de la corteza terrestre para definir diferentes proyectos, los que pueden ser: construcciones de infraestructura, represas, carreteras, edificios, explotación de yacimientos u otros temas como linderos o límites, uso del suelo, aspectos ambientales que encierra tipo de vegetación, fauna, flora de un terreno, etc. (Maza, 2008).

Robinson et al (como se citó en Maza 2008) hace referencia a cinco enfoques cartográficos:

- **Enfoque geométrico:** Aspectos matemáticos.
- **Enfoque tecnológico:** Producción de mapas y almacenamiento de información ordenada espacialmente.
- **Enfoque de presentación:** Contenido, diseño de símbolos, trazado y generalización.
- **Enfoque artístico:** Empleo correcto para conseguir un buen impacto visual y clarificación de la percepción.
- **Enfoque de comunicación:** Comunicación de la información que contiene.

1.2.1. Evolución de la Cartografía

El progreso de la cartografía va de la mano con los avances tecnológicos de la actualidad. Herramientas como *hardware* y *software* han suplantado con eficiencia herramientas y métodos que anteriormente fueron utilizados en la cartografía (Maza, 2008).

El empleo de nuevas herramientas y métodos en la aplicación de la cartografía proporciona varias ventajas en relación a las herramientas y métodos tradicionalmente utilizados, por ejemplo: la utilización de una estación total respecto de un teodolito, los drones para obtener fotografías aéreas en comparación de aviones fotogramétricos (Maza, 2008).

Además el tiempo utilizado actualmente para realizar un mapa geológico es mucho menor que aquel utilizado hace 10 años, esto con relación a un área específica; debido a la implementación de nuevas tecnologías, lo que ha permitido la reducción de los gastos operativos (Mora H. , 2007).

No podemos despreciar los conceptos básicos presentados en la antigüedad por los cartógrafos, el profesor cartógrafo cubano Manuel García Moreno, profesor titular de Geodesia y Cartografía de la facultad de cartografía de la Universidad de la Habana (como se citó en Maza 2008) comentó lo siguiente: “Muchos especialistas obnubilados por las posibilidades (ciertas) de la computación, piensan que con ella se resuelve cualquier problema cartográfico y manifiestan un desprecio olímpico por los fundamentos teóricos de la cartografía. Los resultados son deplorables”.

1.2.2. El concepto de escala

“La escala de un mapa es la razón constante que existe entre las distancias lineales medidas sobre él y las distancias lineales correspondientes medidas sobre el terreno” (Joly, 1979).

La cartografía depende en gran manera de la escala para su correcta realización e interpretación, ya que no podemos plasmar la realidad de un espacio geográfico en una simple hoja de papel; de la escala depende la precisión con la que se lograrán identificar los diferentes objetos ubicados en el espacio geográfico cartografiado; por

lo tanto en el mundo se utilizan diferentes tipos y tamaños de escala dependiendo del uso que se darán a los mapas cartográficos (Joly, 1979).

La gran parte de la cartografía actual está dada mediante escalas gráficas y numéricas. Si la escala es mayor podemos determinar con mayor facilidad características del espacio geográfico cartografiado, por ejemplo: una escala 1:25.000 nos brinda mayor precisión en la determinación de cualidades geológicas del terreno en comparación a una escala 1:50.000 (Urrutia, 2006).

Según el Departamento de la Guajira (2007) existen tres tipos de escala:

- **Escala natural:** Cuando el tamaño físico de la pieza representada en el plano coincide con la realidad.
- **Escala de reducción:** Se utiliza cuando el tamaño físico del plano es menor que la realidad.
- **Escala de ampliación:** Cuando hay que hacer el plano de piezas muy pequeñas o de detalles de un plano se utilizan la escala de ampliación.

1.2.3. Tipos de mapas

Para el ser humano representar la superficie terrestre y los elementos situados sobre ella, se ha vuelto totalmente necesario desde la antigüedad hasta llegar al tiempo actual; la representación de la superficie terrestre lleva consigo cuestiones como reproducir la forma y sus dimensiones; la Tierra tiene la forma de un geoide con superficie irregular, por lo tanto, para facilitar los cálculos se la asemeja a un elipsoide o a una esfera regular; las dimensiones de la Tierra son demasiado grandes para que las podamos representar con medidas reales, lo que se solucionó mediante la escala. El mapa geográfico es la representación plana de la superficie terrestre (Instituto Geográfico Nacional de España, 2015).

Según la Asociación Cartográfica Internacional un mapa es “la representación convencional gráfica de fenómenos concretos o abstractos, localizados en la Tierra o en cualquier parte del Universo”.

De forma general, los mapas se pueden clasificar desde dos puntos de vista: según la escala de trabajo o según el propósito general o topográfico y particular o temático para el que ha sido creado (Instituto Geográfico Nacional de España, 2015).

1.2.4. Según la escala de trabajo

Se dividen de la siguiente manera:

1. **Mapas de pequeña escala:** Son los mapas en los que se representan amplias extensiones de la superficie terrestre, en estos mapas el nivel de detalle es pequeño; la escala suele ser menor a 1:100.000. Algunos ejemplos de estos mapas son los que representan países, continentes, hemisferios, etc. (Instituto Geográfico Nacional de España, 2015)
2. **Mapas de gran escala:** Son aquellos mapas que representan pequeños espacios de la superficie terrestre. El nivel de detalle de los elementos cartografiados es alto.

Por lo general se llaman mapas de gran escala aquellos de escala mayor a 1:10.000.

1.2.5. Según el propósito para el que ha sido creado

Se clasifican en:

1. **Mapas topográficos:** También se lo conoce como mapa de propósito general, es aquel que representa gráficamente los principales elementos que conforman la superficie terrestre, como vías de comunicación, entidades de población, hidrografía, relieve, con una precisión adecuada a la escala.
2. **Mapas temáticos:** Se los llama también de propósito particular, el objetivo de estos mapas es localizar características o fenómenos particulares. El contenido puede abarcar diferentes aspectos: desde información histórica, política o económica, hasta características naturales como el clima, la vegetación o la geología de la Tierra. A partir del siglo XVIII, los especialistas en cartografía que solamente se habían inmiscuido en el estudio del conocimiento geográfico del mundo, comenzaron a presentar en los mapas datos sociales y científicos, dando lugar al nacimiento de la cartografía temática (Instituto Geográfico Nacional de España, 2015).

1.2.6. Elementos del mapa

Todo mapa debe contar con una manera clara y precisa de transmitir la información al lector, por lo tanto se debe abarcar y expresar todas las cualidades importantes que tiene el mapa. Según el (Instituto Geográfico Nacional de España, 2015) Los elementos imprescindibles que deben estar presentes en todos los mapas son: la escala utilizada y la leyenda.

En su mayoría los mapas expresan la información concebida de manera semejante, no obstante todos los mapas tienen sus particularidades, por ejemplo: una carta náutica o un mapa geológico, estos dos mapas presentan características parecidas entre sí, pero también poseen características intrínsecas, es decir, expresan diferente información enfocada al uso que se le dará (Instituto Geográfico Nacional de España, 2015).

Los mapas en general cuentan con la siguiente información:

1. Portada del mapa.
2. Situación, divisiones administrativas y términos municipales.
3. Escala, proyección y elipsoide.
4. Toponimia: según (Urrutia, 2006) expresa los núcleos de población, los montes, los valles, o los ríos, etc.
5. Vértices geodésicos.
6. Leyenda.

1.2.7. Componentes de los mapas

1. Coordenadas

Un sistema de coordenadas es un conjunto de valores que permiten definir inequívocamente la posición de cualquier punto en el espacio. (Mora H. , 2007)

Según (Fernández Coppel, 2001), la localización geográfica de un punto se puede realizar detallando uno de estos dos parámetros:

- Coordenadas geográficas en formato Longitud-Latitud.
- Coordenadas (x, y) UTM. *Universal transversa Mercator*.

a) **Coordenadas geográficas**

Las coordenadas geográficas son una manera o forma de designar un punto ubicado en la superficie terrestre.

b) **Coordenadas UTM**

Para entender las coordenadas UTM (*Universal transversa Mercator*), primeramente debemos entender el sistema de proyecciones para el geoide. En el caso de las coordenadas UTM, la de proyección es cilíndrica conocida como proyección *mercator*; cuanto menor es el área cartografiada o mapeada menor será la deformación sufrida en la superficie terrestre (Fernández Coppel, 2001).

(Fernández Coppel, 2001) Afirma que la proyección UTM conserva, los ángulos pero distorsiona todas las superficies sobre los objetos originales así como las distancias existentes.

Al utilizar un sistema cartesiano, en la cartografía es habitual el uso de mallas que unen puntos de igual ordenada y abscisa; es decir el área de los cuadrados formados por la malla tienen la misma magnitud, por lo tanto sabemos la distancia entre los lados de cada cuadrado, estas distancias están dadas en unidades de medidas longitudinales (Fernández Coppel, 2001).

1.3. Geodesia

La geodesia es la ciencia que estudia la forma y tamaño de la Tierra, es muy importante ya que proporciona puntos de referencia para localizar un punto mediante coordenadas (Geogra, 2015).

1.3.1. Las proyecciones

Una proyección puede definirse como una red de paralelos y meridianos sobre la cual puede ser dibujado un mapa. Para trazar las proyecciones se emplean actualmente cálculos matemáticos muy precisos, pero la idea general se basa en la proyección de las sombras de los meridianos y paralelos de una esfera sobre una superficie que puede convertirse en plana sin deformaciones. (Mora H. , 2007, pág. 5)

Existen tres tipos básicos de proyecciones:

1. Proyección Cilíndrica

“Es una proyección geográfica que usa un cilindro tangente a la esfera terrestre, colocada de tal manera que el paralelo de contacto es el ecuador” (Mora H. , 2007, pág. 5).

2. Proyección Azimutal, Polar o cenital

Se caracteriza por tener simetría alrededor del punto central (Mora H. , 2007).

3. Proyección cónica

“Se hace trasladando la información de la esfera a un cono, tomando como punto focal uno de los polos” (Mora H. , 2007, pág. 7).

1.4. Lenguaje cartográfico

De una interpretación básica el lenguaje cartográfico es el medio por el cual se comunica al lector la cartografía representada en un mapa.

1.4.1. Componentes espaciales

El mapa se compone de una o varias imágenes, la imagen se crea y se lee en tres dimensiones; es decir, en tres componentes espaciales; dos de ellas componentes de base del espacio geográfico, para ofrecernos mediante coordenadas geográficas o de localización la ubicación absoluta de algún objeto, estas coordenadas son reconocidas como: la longitud o componente “x” y la latitud o componente “y” (Escobar, 2004).

La tercera componente “z”, es la que caracteriza cualificando o cuantificando los hechos o fenómenos geográficos que tienen lugar en forma puntual, lineal o areal, es decir, se refiere a la cualidad o magnitud de los atributos de esos hechos y fenómenos, por ejemplo: la altitud, el relieve, el clima, el número de habitantes, la densidad de la población, el área de un cultivo, etcétera. (Escobar, 2004, pág. 39)

1.4.2. Componentes del lenguaje cartográfico

De acuerdo con (Joly, 1979):

Elaborar un mapa es expresar, sobre un mapa base geográfico de referencia, mediante el lenguaje cartográfico, una información cuantitativa o cualitativa del espacio geográfico, de modo que sea lógico, visualmente inteligible, comprensible y fácilmente transmisible al lector o usuario del mapa. Pág. 28.

Cuando se refiere a componentes del lenguaje cartográfico, se habla de la manera de expresar y transmitir al lector la información recolectada en el mapa, mediante los diferentes signos y símbolos utilizados para tal fin.

1.4.3. Signos y símbolos

Los diferentes objetos encontrados en los mapas como: escuelas, mineras, poblaciones, vías, ríos, etc., se representan mediante simbología, tal como lo dice (Escobar, 2004) los hechos y fenómenos geográficos, no se representan tal y como son en realidad, sino que se representan en forma esquematizada por medio de signos y símbolos figurativos y/o abstractos, cualitativos y/o cuantitativos, como son figuras y dibujos de los objetos o símbolos abstractos como puntos, líneas, figuras geométricas y colores. Pág. 38.

Según el glosario francés de cartografía (como se citó en Escobar, 2004). Símbolo es la representación gráfica de un objeto o de un hecho o fenómeno en forma evocadora, simplificada, esquematizada, sin implantación rigurosa.

Categorías de símbolos según (Escobar, 2004):

1. Signos convencionales fuera de escala: puntuales.
2. Signos convencionales lineales.
3. Signos convencionales de superficie.
4. Signos evidentes o visuales.

1.4.4. La implantación gráfica

Se trata de la manera con la que se representa los símbolos y signos combinados con las variables visuales sobre el mapa. La representación se da por medio de implantación puntual, lineal y zonal o areal (Escobar, 2004).

Cada una de estas maneras de expresar gráficamente los signos tienen sus usos exclusivos, por ejemplo: el puntual se lo puede utilizar para señalar una mina, el lineal para señalar un río o lindero provincial y el zonal para informar sobre una formación rocosa (Escobar, 2004).

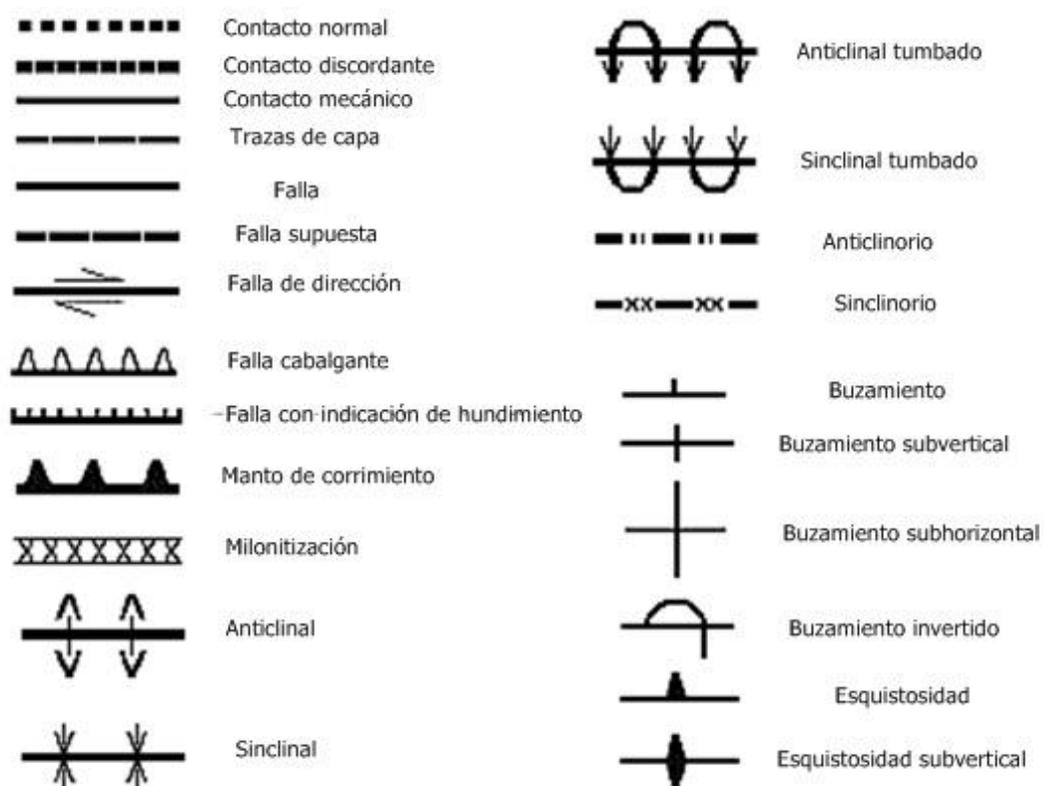


Figura 1. 4. Simbología utilizada en mapas geológicos.

Fuente: Catedu, 2018.

1.5. Técnicas cartográficas

La teledetección, las fotografías aéreas o aerofotografías, han ayudado a incrementar el proceso de investigación cartográfica, para así lograr conocer el territorio con la mayor certidumbre y precisión posible (Santamaría & Sanz, 2005).

La teledetección nos permite obtener datos disponibles por imágenes adquiridas desde sensores instalados en plataformas espaciales. La fotogrametría es una herramienta capaz a través de fotografías aéreas proporcionar datos característicos del área de estudio (Escobar, 2004).

La metodología cartográfica generalmente está dada por el estudio profundo de los documentos y datos adquiridos, sean gráficos o no, del terreno a estudiar.

1.5.1. Topografía

La topografía como herramienta de la cartografía es de gran utilidad desde la antigüedad. Los avances tecnológicos han proporcionado un gran adelanto, dando mayor facilidad al utilizar esta herramienta cartográfica, por medio de la rápida obtención de información y precisión de medidas topográficas; es así que la topografía ha evolucionado positivamente (Santamaría & Sanz, 2005).

Hoy en día se cuenta con aparatos sofisticados como son: los niveles, teodolitos, las estaciones totales, etc., para cumplir el proceso topográfico, también se cuenta con un alto grado de precisión comparado con los métodos clásicos. Estos nuevos aparatos, por ejemplo: la estación total, tienen incorporados *software*, lo que permite que la información recopilada sea guardada y además calculada automáticamente en el mismo equipo, este archivo puede ser directamente reproducido en un dibujo de diseño asistido por un ordenador o computador (Maza, 2008).

Los trabajos de campo necesarios para llevar a cabo un levantamiento topográfico, consisten en esencia en la medida de ángulos y de distancias (Santamaría & Sanz, 2005).

El teodolito es básicamente un instrumento topográfico capaz de medir ángulos verticales y horizontales; si a este aparato se le incorpora programas internos para medir la distancia por medio de algún sistema electromagnético, estaríamos hablando claramente de una estación total. Las estaciones además suelen tener incorporado programas para replanteos, superficies, almacenamiento de datos, etc., también cuenta con sistemas para transferir los datos almacenados a un ordenador (Maza, 2008).

1.5.2. Fotogrametría

Según la Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección (ASPRS) como se citó en (Sánchez Sobrino, 2006) la fotogrametría es el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida, interpretación de imágenes, patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos.

Esta herramienta nos proporciona información importante de lugares o áreas concretas de la superficie terrestre, lo que nos da mayor facilidad en el análisis de los datos proporcionados, es importante cuando se realiza fotointerpretación responder, si es posible in-situ ciertas dudas que se tienen de la interpretación fotográfica (Sánchez Sobrino, 2006).

Se puede decir que la fotogrametría es una técnica que nos permite estudiar de manera precisa la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera; esto mediante la utilización de fotografías aéreas o terrestres del objeto estudiado.

Actualmente la tecnología informática está inmersa en casi todas las ramas de la ciencia estudiada por los seres humanos; en el caso de la fotogrametría no es distinto, por lo tanto los métodos fotogramétricos y la misma fotogrametría está ligada a los avances tecnológicos que se dan de día en día (Escobar, 2004).

1.5.2.1 Aplicación de la fotogrametría

Comúnmente esta disciplina es utilizada en la elaboración cartográfica de la superficie terrestre. Actualmente la fotogrametría forma parte fundamental de la cartografía, ya que proporciona información eficaz para dictaminar, medir y decidir, sobre algún área u objeto que se desea cartografiar (Rodrigo, 2006).

Las ventajas de este método son apreciables en el levantamiento cartográfico de zonas extensas y de difícil acceso para el ser humano; abaratando los costos operativos y evitando que se realice los trabajos clásicos sobre el terreno (Rodrigo, 2006).

Un instrumento fundamental de la fotogrametría son las fotografías aéreas, sin estas la fotointerpretación queda sin ninguna utilidad (Rodrigo, 2006).

1.5.3. Fotografías aéreas

(García, Sanz, Pérez, & Navarro, 2012) Concuerdan que las fotografías aéreas se pueden clasificar en diferentes maneras, en función del criterio empleado, por ejemplo: según el ángulo de exposición, las especificaciones y forma en que se usan.

- Por el ángulo de la fotografía se clasifican en: fotografías verticales y fotografías oblicuas.
- Por las especificaciones: según la escala, según la lente y la cámara usada, según la estación del año y según la emulsión de la película (a color o blanco y negro).
- Por la forma en que se usan las fotografías: no corregidas, compensadas (*ratioed*), rectificadas, ampliadas, mosaicos e impresiones tridimensionales.

1.5.4. Fotointerpretación

La fotointerpretación es una técnica utilizada con fines de mapeo; la podemos definir como conjunto de técnicas y principios enfocados a identificar y deducir características de los objetos registrados en las fotografías aéreas (García, Sanz, Pérez, & Navarro, 2012).

La “*American Society of Photogrammetry*” define la interpretación de fotografías aéreas como “El arte de examinar imágenes fotográficas con el propósito de identificar los objetos y juzgar su importancia”.

1.5.4.1. Fases del proceso de fotointerpretación

(García, Sanz, Pérez, & Navarro, 2012) Proporcionan el siguiente proceso:

- 1) Lectura y reconocimiento: de los rasgos y objetos individuales que conforman las fotografías aéreas.

- 2) Identificación de unidades homogéneas: Se identifica áreas que presenten características similares en relación a textura, tonos, patrones, etc.
- 3) Delimitación de las áreas mediante líneas de contacto.
- 4) Agrupamiento de áreas en unidades significativas: Las áreas anteriormente delimitadas son agrupadas basándose en rasgos comunes entre dichas áreas.
- 5) Descripción de las unidades: Dar a conocer las características que presentan las áreas en relación a los foto-elementos identificados.
- 6) Control de campo: en este punto es necesario desplazarse hacia el área de estudio, que forma parte de las fotografías analizadas; el objetivo es verificar la información obtenida en el gabinete mediante la fotointerpretación.
- 7) Producción del mapa definitivo e informe de campo: Basándose en la información obtenida en el gabinete y el control de campo se procede a confeccionar un mapa definitivo y un informe de acompañamiento.

1.6. Visión estereoscópica

Mediante la utilización de un par estereoscópico de fotografías aéreas y un estereoscopio, existe la posibilidad de construir una imagen bidimensional en una tridimensional en nuestro cerebro (Sánchez Sobrino, 2006).

El estereoscopio es un instrumento óptico que permite la recepción, simultánea, de dos fotografías separadas por nuestra visión, las mismas que se fusionan en el cerebro dando una impresión tridimensional de lo que se observa (Sánchez Sobrino, 2006).

1.7. Teledetección

La teledetección facilita el manejo de imágenes de satélite, en la actualidad es una herramienta clave y fiable en el análisis del espacio terrestre y aéreo.

El primer sistema de adquisición de datos de teledetección a nivel orbital es el Sistema LANDSAT, que fue desarrollado por la *National Aeronautic and Space Administration* (NASA).

Según (García, Sanz, Pérez, & Navarro, 2012) la teledetección es una técnica en la que se obtienen imágenes de la tierra a través de distintos sensores, situados en plataformas aéreas o espaciales. Esta técnica se basa en la radiación electromagnética

que reflejan o emiten los diferentes objetos y que, recogida por un sensor, es posteriormente tratada de forma digital y transformada en imágenes similares a una fotografía.

También existen modelos digitales del terreno (MDT) como herramienta para la cartografía, que es una serie de datos numéricos que provee información sobre la distribución espacial de las diferentes características del terreno (García, Sanz, Pérez, & Navarro, 2012).

1.8. Mapas de riesgo

“Los mapas de riesgo son representaciones cartográficas que permiten visualizar la distribución de determinados riesgos de desastre en un territorio específico” (Renda, 2007, pág. 11).

Dichos mapas son una herramienta de análisis que permiten identificar zonas de mayor o menor riesgo frente a diferentes peligros a los que están expuestos una comunidad. Los sistemas de información geográfica (SIG) son altamente eficaces en el momento de incorporar nueva información, de esta manera se logra mantener actualizado un mapa de riesgos; los mapas de riesgo contribuyen a la fase de prevención y mitigación de riesgos (Renda, 2007).

Como se sabe el planeta entero está expuesto a diferentes fenómenos naturales como resultado de su funcionamiento; por ejemplo: una lluvia torrencial, un terremoto, tsunami, etc., lo que puede provocar un desastre. Un fenómeno natural se vuelve peligroso cuando adquiere cierto grado de magnitud, intensidad, ocurrencia o extensión del impacto en una comunidad expuesta; con los mapas de riesgo se pretende reducir la vulnerabilidad de una población ante la probabilidad de una amenaza (Jiménez Perálvarez, 2005).

Podemos decir que los mapas de riesgo expresados por medio de gráficos, croquis, maquetas, mapas, etc., son medios por los cuales se presenta a la población los riesgos identificados y se ubican las zonas o áreas de la comunidad que podrían verse afectadas si ocurriera una situación amenazante (Renda, 2007).

Los diferentes mapas de riesgo se diferencian entre sí principalmente por la variable que ha tomarse en cuenta; por ejemplo: no podemos concentrarnos en actividad

volcánica donde no existe un volcán, ni tampoco a inundaciones en un desierto (Renda, 2007).

1.8.1. Entendiendo los desastres naturales

Para entender los desastres naturales y su ocurrencia es necesario conocer algunos conceptos que ayudarán a ver los desastres de una manera más clara y precisa.

1.8.1.1. ¿Qué es un fenómeno natural?

Es toda manifestación de la naturaleza. Es decir cualquier expresión que se da en el globo terráqueo; algunos se pueden dar con cierta regularidad otros con apariciones extraordinarias y sorprendentes, entre los primeros puede ser las lluvias en los meses de verano en la sierra, o una llovizna en los meses de invierno en la costa, etc. En el segundo caso toma parte los terremotos, un maremoto, lluvias torrenciales de alta pluviosidad y por tiempo indeterminado (Maskrey, 1993).

1.8.1.2. ¿Qué son los riesgos?

Es una situación de pérdida potencial de bienes materiales o de amenaza potencial a la integridad humana; esto es, algo que no ha ocurrido, pero que si ocurre tendrá consecuencias económicas y/o sociales desastrosas. (Ilustre colegio oficial de geólogos, 2008).

Al comparar entre estas dos clases de fenómenos, claramente los segundos son los causantes de diferentes desastres en la superficie terrestre, por lo tanto, se los denomina como fenómenos naturales peligrosos.

1.8.1.3. ¿Qué es una situación vulnerable?

La incapacidad de una comunidad para absorber, mediante un autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, es decir, su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio (Maskrey, 1993).

Hay situaciones en las que las comunidades están totalmente expuestas a sufrir daños si ocurriera un evento natural peligroso; pero, también se dan situaciones en las que las comunidades están rodeadas por ciertas condiciones de seguridad por lo cual puede considerarse protegida.

1.8.1.4. Exposición

En nuestro caso se refiere principalmente a bienes materiales o personas mostradas al peligro, o sea, susceptibles de verse afectados por sus efectos; puede ser exposición social (personas) o económica (bienes materiales) (Ilustre colegio oficial de geólogos, 2008).

1.8.1.5. ¿Qué es un desastre?

Se lo puede definir como un evento o suceso que ocurre, en la mayoría de los casos, de manera repentina e inesperada, causando sobre los elementos sometidos alteraciones intensas, representadas en la pérdida de vidas y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente (Maskrey, 1993).

Los desastres suceden a consecuencia de un fenómeno natural, actividad antrópica o ser consecuencia de un problema de carácter técnico en sistemas industriales o bélicos.

1.8.1.6. ¿Qué es y cómo se produce un desastre natural?

Es la correlación entre un fenómeno natural peligroso (terremoto, huracán, deslizamiento, maremoto, etc.) y determinadas condiciones socioeconómicas y físicas vulnerables (como situación económica precaria, baja calidad en construcción de viviendas, suelo inestable, mala ubicación de viviendas, etc.). En otras palabras, se puede decir, que hay un alto riesgo de desastres si uno o más fenómenos naturales peligrosos ocurrieran en situaciones vulnerables. (Maskrey, 1993).

Algunos de los fenómenos naturales que pueden generar desastres:

- Terremotos.
- Sequías.
- Huracanes.
- Deslizamientos.
- Lluvias prolongadas y desmedidas.
- Derrumbes.
- Veranos prolongados.

Desastres de origen antrópico:

- Guerras.
- Terrorismo.
- Contaminación.
- Accidentes técnicos industriales.
- Colapsos.

Al hablar del conocido “Desastre de La Josefina” se podría decir que se dio una combinación, de un fenómeno natural e intervención antrópica, ya que las intensas lluvias que se suscitaron en esos días provocaron que el cerro Tamuga ya desestabilizado por labores mineras se viniera abajo provocando el taponamiento de los ríos Paute y Jadán, y posteriormente el embalsamiento de dichos ríos.

1.8.1.7. ¿Cómo se mitigan los riesgos?

Para evitar que el riesgo se transforme en un desastre o calamidad, o minimizar el efecto de los mismos, clásicamente se han adoptado tres grupos de técnicas o medidas (Ilustre colegio oficial de geólogos, 2008):

1. **Predictivas**, las cuales buscan saber dónde y cuándo se va a desencadenar el desastre.
2. **Preventivas**, que buscan detectar dónde se suele producir, y actuar allí sobre las componentes de riesgo.
3. **Correctoras o post-desastre**, las mismas que persiguen minimizar los efectos una vez que ha ocurrido el evento.

1.8.2. Metodología para la elaboración de mapas de riesgo

Renda (2007) provee los siguientes pasos para la realización de mapas de riesgo:

- **Análisis de riesgo:** Estimación de daños, pérdidas y consecuencias que pueden ocasionarse a raíz de uno o varios escenarios de desastre. Este se divide a su vez en análisis de la amenaza y análisis de vulnerabilidad.
- **Representación de escenarios de riesgo:** Representación espacial del riesgo en el territorio.

1.8.3. Etapas para la elaboración de mapas de riesgos

Un mapa de riesgo es básicamente la unión entre un mapa de amenaza y un mapa de vulnerabilidad, si falta cualquiera de los mapas citados no es posible presentar un mapa de riesgos, en la siguiente imagen se presenta un esquema para la realización del mapa de riesgo (Instituto Geográfico Nacional de España, 2015).

El Ilustre colegio oficial de geólogos (2008) clasifica la caracterización de la amenaza en cuatro etapas que se describen a continuación:

1. Etapa de caracterización de la amenaza

- a) Identificar el origen de la amenaza: agentes causales, así como los detonantes de la amenaza.
- b) Definir el parámetro de medición del peligro: por ejemplo: la altura de agua en inundaciones, el desplazamiento del terreno en movimiento de masas, la altura, dirección y distancia en cenizas volcánicas.
- c) Caracterización de las manifestaciones de la amenaza: tiempo de duración de la amenaza, fechas posibles que sucederá la amenaza, energía liberada, etc.
- d) Representación gráfica de la amenaza: curvas de nivel para inundaciones, pendiente de terreno para movimiento de masas, radio de dispersión para cenizas volcánicas, etc.
- e) Caracterización de la zona de impacto: describir las condiciones del medio físico-natural para comprender el comportamiento de la amenaza identificada.

2. Etapa de caracterización de la vulnerabilidad

- a) Distribución de la ocupación del suelo: uso del suelo y su ubicación demográfica.

- b) Identificación de los elementos expuestos en el terreno: se trata de vincular los elementos que se localizan en el territorio con el área de afectación de una amenaza.
- c) Determinación del grado de exposición y vulnerabilidad de una sociedad frente a la amenaza.

3. Etapa de realización de mapa de riesgo

En esta etapa debemos elegir la escala que describirá cada escenario de riesgo, también, debemos definir el momento de impacto de la amenaza, el lapso en el que se desarrollará el escenario de riesgo y la magnitud de la amenaza, es decir, combinar los niveles de vulnerabilidad con el área de ocurrencia de la amenaza.

4. Etapa de análisis del mapa de riesgo

- a) Estimar el daño que ocasiona la amenaza en los elementos expuestos.
- b) Asignar categorías de riesgo para los escenarios de riesgo identificados.
- c) Definición de zonas: áreas de seguridad, áreas de atención prioritaria a nivel de viviendas, infraestructura, servicios y equipamiento.

Básicamente se han citado las pautas para la construcción de un mapa de riesgos, en estos mapas es imprescindible que se tome en cuenta todos los riesgos que posiblemente estén en el área de estudio, un descuido al recopilar y analizar la información podría ocasionar indirectamente la pérdida de vidas humanas.

CAPITULO II

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA Y DE RIESGOS

Para la realización de este proyecto es necesario contar con los equipos que ayudaran a la toma de datos, a su análisis y sistematización. Por tal razón se adquirieron los equipos de trabajo necesarios para realizar la fotointerpretación, la tabulación de la información recolectada y su posterior revisión y presentación. También se obtuvieron los diferentes mapas geológicos y topográficos que intervienen con el área de estudio, las fotografías aéreas de la zona e instrumentos de trabajo, como marcadores, regla, cinta, etc.

2.1.Equipos y materiales de trabajo

A continuación se nombrarán lo equipos y materiales de trabajo utilizados.

- **Estereoscopio de espejos**, el que pertenece a la Universidad del Azuay, está ubicado en la Escuela de Ingeniería en Minas.

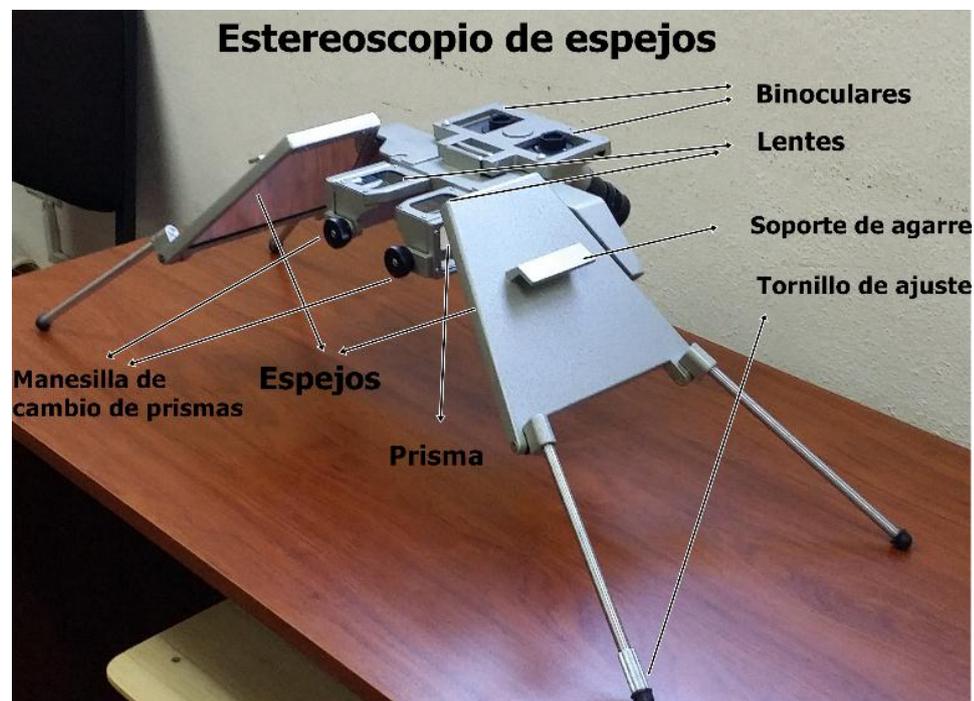


Figura 2. 1. Estereoscopio de espejos.

- **Computador**, que pertenece al autor principal de este trabajo; se lo adecuó con los *Softwares* de libre uso que serán de gran utilidad en la recopilación, análisis, tabulación, sistematización y presentación de la información adquirida.
- **Brújula**, la misma que será utilizada para la correcta ubicación en el trabajo de campo, así como para obtener la diferente información estructural, por ejemplo: el rumbo y buzamiento de estratos, pliegues, foliaciones, esquistosidad de rocas metamórficas, etc.
- **Martillo de geólogo**, el mismo que será útil para tomar muestras de rocas in situ, de esta manera evaluar el tipo de roca existente en los diferentes puntos de muestra.
- **GPS (*Global Position System*)**, con la finalidad de corroborar la información obtenida y la que es dudosa, es necesario realizar un recorrido de campo, el GPS nos brindará la ubicación en coordenadas de longitud y latitud, de los puntos o áreas en la cual se realiza el análisis de información geológica, geomorfológica y de riesgos.
- **Mapa geológico del Ecuador (Azogues)**, escala 1:50000, correspondiente a la hoja 73-NW; edición 1-1974.
- **Mapa geológico del Ecuador (Gualaceo)**, escala 1:50000, correspondiente a la hoja 73 SW; edición 1-1974.

El levantamiento geológico de dichos mapas ha sido realizado por: C.R. *Bristow, Ph, D. Institute of geological Sciences*, Londres; Ing. S. Guevara, Dirección General de Geología y Minas 1972. Incorporando trabajo del Proyecto Minero de las Naciones Unidas, 1965-1969. Paleontología por el *British Museum (Natural History)*. Londres. Supervisión cartográfica Ing. R Nuñez; H. Arroyo; Ing. Gastón Ruales Montalvo, Director General.

- **Mapa topográfico (Azogues)**; escala 1:50000; hoja CT-ÑV-EI,-3885-IV; serie J721; edición 1-IGM.
- **Mapa topográfico (Gualaceo)**; escala 1:50000; hoja CT-ÑV-E3, -3885-III; serie J721; edición 1-IGM.

Mapas topográficos preparados por el Instituto Geográfico Militar (IGM), en colaboración con el *Inter American Geodetic Survey (IAGS)*, fotografías aéreas

tomadas en junio de 1956, control horizontal y vertical de 1965 a 1967 compilación por método fotogramétrico 1967, dibujo 1969.

- **Mapa geológico del Ecuador (Azogues);** escala 1:100000; hoja 73 CT-ÑV-E. Preparado por la misión Británica y la Dirección General de Geología y Minas, 1978 a 1980.

Compilado de las hojas topográficas y censales (restituidas) del Instituto geográfico militar, 1969 a 1976. Distribuido por el Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas; la realización del mapa se dio con asistencia técnica del gobierno de Gran Bretaña.

- **Cartografía digital;** proporcionado por entes educativos y públicos.
- **Fotografías aéreas;** impresas en la Comandancia General de la Fuerza Terrestre del Instituto Geográfico Militar (IGM), en Quito-Ecuador.

Se tomaron en cuenta las fotografías aéreas que intervienen directamente con el área de estudio; las mismas que cuentan con la siguiente información (tabla 2.1).

Tabla 2. 1. Información general de fotografías aéreas.

Zona	Cuenca del Río Paute
Proyecto	PRECUPA
Cámara	Wild RC-10
Distancia focal	153,03 mm
Fecha de toma	16 de febrero de 1995
Escala de foto índice	1:140000

Las fotografías aéreas útiles para este proyecto se nombran a continuación, con sus respectivas líneas de vuelo, escala y fecha de publicación.

Tabla 2. 2. Fotografías aéreas con sus respectivas líneas de vuelo, numeración, escala y fecha de publicación

Línea de Vuelo	Fotografías	Escala	Fecha de publicación
L-12R-167	33383	1:35000	Abril 06 de 1995
L-12R-167	33384	1:35000	
L-12R-167	33385	1:35000	
L-13R-168	33419	1:35000	Abril 06 de 1995
L-13R-168	33420	1:35000	
L-13R-168	33421	1:35000	
PROYECTO CARTA NACIONAL			
R-161	31942	1:35000	Abril 06 de 1995
R-161	31943	1:35000	
R-161	31944	1:35000	

-
- **Marcadores de colores;** utilizados en la delimitación de contactos geológicos, ríos, zonas estructurales, fallas, escarpes etc., en el proceso de fotointerpretación.
- **Láminas de acetato;** en las que se realizará la delimitación de áreas, ríos, límites estructurales, etc., de esta manera se pretende cuidar las fotografías aéreas.

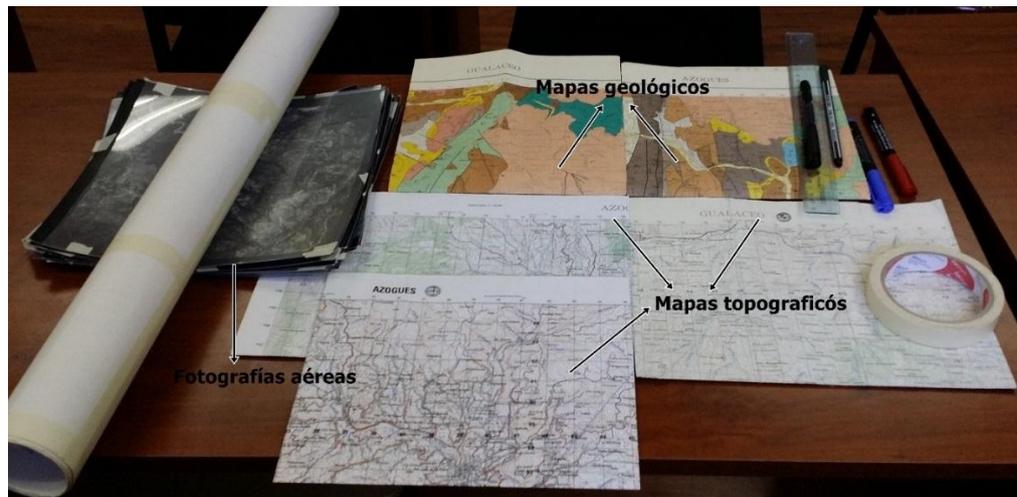


Figura 2. 2. Materiales de trabajo.

2.2. Caracterización geológica

En esta etapa se tratará de describir las características de las formaciones geológicas presentes en el área de estudio.

2.2.1. Términos geológicos

Los mapas geológicos cuentan con una leyenda y simbología en los cuales se expresa por escrito los tipos de estructura que se han encontrado. Aquella persona que desea revisar el trabajo geológico que se ha realizado debe contar con un cierto conocimiento de la geología citada en el mapa, por lo tanto, a criterio del autor se describirá alguno de los términos estructurales más importantes que aparecen en el mapa geológico que se realiza en este trabajo.

a) Fallas

Según (Iriando, 2009) si a una masa de roca se le somete a esfuerzos excesivos, se produce una fractura de colapso, con corrimiento o separación de bloques, trituración de material rocoso y otros efectos menores, se la conoce como falla geológica.

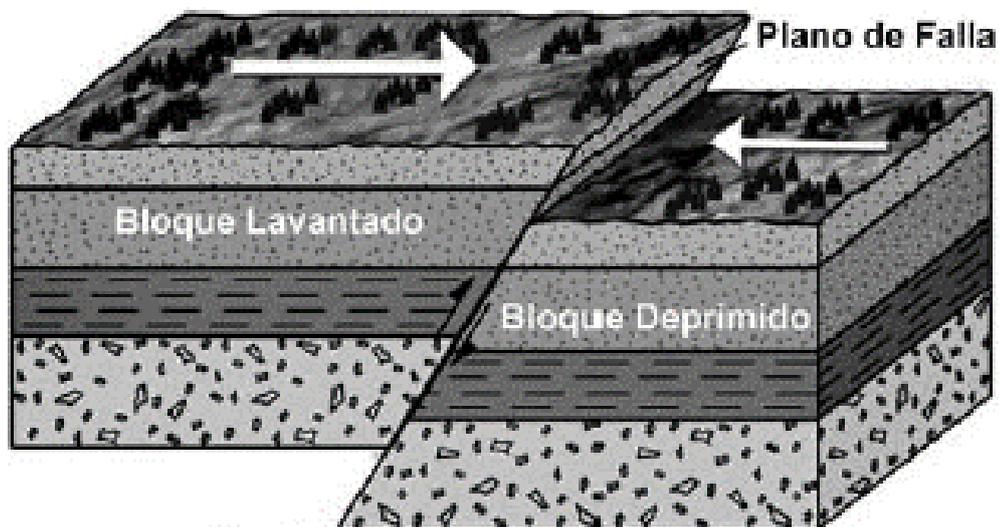


Figura 2. 3. Falla inversa.

Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería., 2009.

Las fallas son representadas en los mapas geológicos de la siguiente manera:

Tabla 2. 3. Fallas geológicas y su simbología.

Símbolo	Estructura
—————	Falla
- - - - -	Falla inferida
- - - - -	Falla cubierta

b) Estratificación

Nalivkin como se citó en (Gorshkov & Yakushova, 1977) afirma que la gran mayoría de rocas sedimentarias se hallan dispuestas, en estratos o capas más o menos regulares, un estrato representa una subdivisión de los depósitos sedimentarios, limitada abajo y arriba por una superficie neta, o sea, el plano de estratificación; el plano de estratificación es la superficie compactada de un estrato, que lo separa del estrato supra yacente.

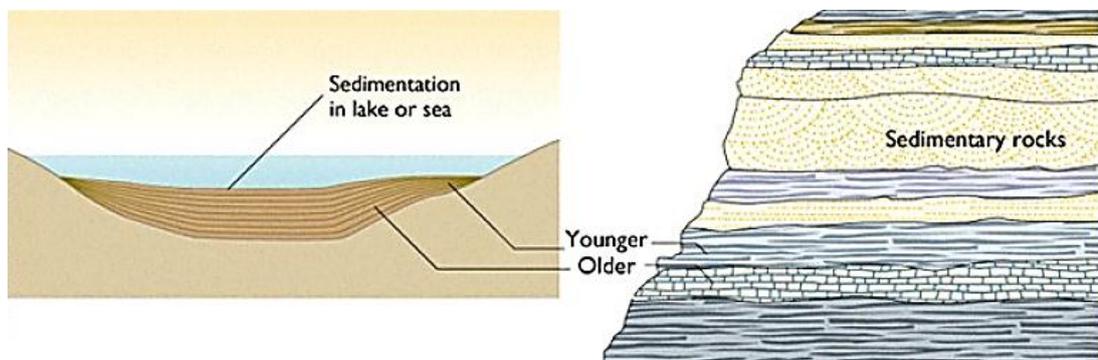


Figura 2. 4. Estratos, plano de estratificación y proceso de estratificación.

Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería., 2009.

En geología la estratificación se representa por medio de simbología, igualmente que las fallas y los contactos, en la siguiente figura se visualiza su representación.

Tabla 2. 4 Estratificación y su simbología.

Símbolo	Estratificación
+	Horizontal
├	Vertical
└	Inclinada

c) Contacto

Líneas imaginarias o puntos que dividen las diferentes formaciones geológicas en puntos de encuentro entre las mismas, el contacto es similar al plano de estratificación, y separa una formación de otra (Iriondo, 2009).

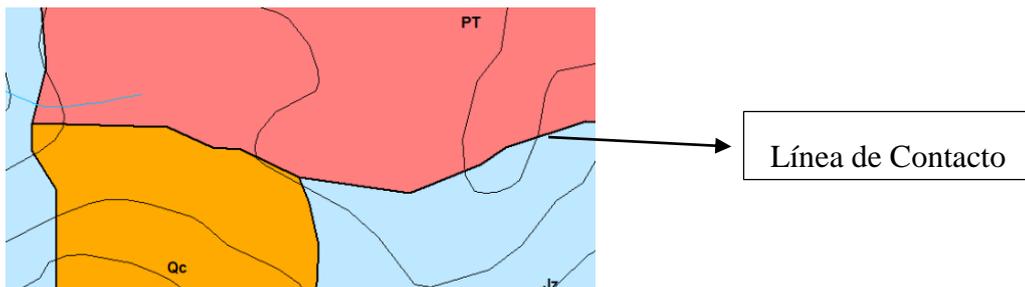


Figura 2. 5. Línea de contacto entre la formación Tarqui y serie Paute.

De igual manera que las fallas y estratificación, los contactos entre formaciones también tienen su simbología.

Tabla 2. 5. Contactos geológicos con su respectiva simbología.

Símbolo	Línea de contacto
—————	Contacto
- - - - -	Contacto inferido
.....	Contacto gradacional o de transición

Las estructuras que han sido citadas son estructuras que se verán en el mapa de geología local, el cual se realiza en este proyecto.

2.2.2. Geología general de Ecuador

Bristow, 1977 como se citó en (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico, 2017) afirma que la subducción de la placa Nazca bajo la sudamericana ha generado en el Ecuador tres zonas morfoestructurales coincidentes con las regiones del territorio continental: Costa, Sierra y Oriente. La Costa corresponde a una plataforma ante arco, la Sierra está formada por las Cordilleras Occidental y Real, mientras el Oriente lo conforman el levantamiento Napo y la cuenca Amazónica.

La cordillera Real geológicamente está conformada por varios cinturones paralelos de rocas metamórficas de bajo grado (pizarras, esquistos) a alto grado (gneis), de edad paleozoica a pre-cretácica, con orientación norte nor-este a sur sur-oeste (NNE-SSO). Corresponde a un complejo plegado y comprimido, controlado por fallas o suturas regionales. *Aspden et al*, 1992, *Litherland et al*, 1994 como se citó en (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico, 2017).

2.2.3. Geología base

Según Plaza y Egüez como se citó en (Moreno, 1994) geológicamente la zona es bastante compleja y atravesada por grandes fallas con dirección NNE-SSO, NE-SO y N-S, además se encuentran metamórficos de la subdivisión Maguazo, rocas sedimentarias cretácicas (formación Yunguilla), rocas volcánicas oligo-miocénicas (formación Saraguro) en el basamento de la cuenca y sedimentos neógenos de las formaciones Biblián, Loyola y Azogues.

Plaza y Egüez expresaron, como se citó en (Nieto & Moreno, 1994) que en el área del deslizamiento afloran areniscas rojas y grises, micro-conglomerados y un complejo volcánico-subvolcánico de composición andesítica. El complejo constituye

una red de espesos filones tardíos que afectan a mantos volcánicos ignimbríticos, riódacíticos, riolíticos y a las areniscas y micro-conglomerados. Las rocas metamórficas se encuentran también afectadas por el complejo volcánico-subvolcánico y se ubican parcialmente en la parte oriental del deslizamiento. Además, se tiene en el área ocurrencias escasas de dioritas de grano fino a medio.

“El análisis de las fotografías aéreas tomadas en los años 1963, 1980 y 1989 revela en la zona la presencia de numerosos y evidentes deslizamientos antiguos, uno de ellos localizado en la ladera donde se produjo el deslizamiento del 29 de marzo de 1993” (Nieto & Moreno, 1994, pág. 24).

2.2.4. Geología de la zona de estudio, citado de los mapas geológicos del Ecuador (Azogues y Gualaceo)

Según el “mapa geológico del Ecuador, Azogues” y el “mapa geológico del Ecuador, Gualaceo” a escala 1:50.000 en el área de estudio intervienen las siguientes formaciones y series:

Formación Loyola y formación Azogues las cuales pertenecen al grupo Azogues del Mioceno Terciario.

Formación Biblián del Mioceno Terciario.

Formación Yunguilla del Cretácico Mesozoico.

Formación Tarqui, del Pleistoceno y Holoceno Cuaternario.

Serí Paute, del Cretácico Mesozoico.

También se puede ver volcánicos de Llaqueo, tonalita, terrazas número uno y un depósito coluvial.

Para reconocer mejor los nombres dados y la ocurrencia que tuvieron en el tiempo se recomienda ver la siguiente tabla.

Tabla 2. 6. Cuadro estratigráfico (eras geológicas).

Eras	Periodos	Épocas (las dataciones se presentan en años antes de la actualidad)	Algunos acontecimientos principales	
Cenozoico	Cuaternario	Actualidad		
		Holoceno		
		10.000	Numerosas extinciones de grandes mamíferos	
		Pleistoceno	Paleolítico	
	Terciario		2.500.000	
			Plioceno	
			6.000.000	Primeros homínidos
			Mioceno	
			26.000.000	
			Oligoceno	Modernización y especialización creciente de los mamíferos
			38.000.000	
			Eoceno	
			55.000.000	
			Paleoceno	Gran expansión de los mamíferos primitivos y arcaicos
65.000.000				
Mesozoico	Cretácico		Extinción de los dinosaurios; aparición de los primates y muchos otros animales. Expansión de las plantas con flores	
		135.000.000		
	Jurásico		Primeras aves	
	Triásico	190.000.000	Primeros mamíferos	
		225.000.000	Primeros dinosaurios	
Paleozoico	Pérmico		Numerosas extinciones de invertebrados	
		280.000.000		
	Carbonífero		Primeros reptiles	
		345.000.000		
	Devónico		Primeros anfibios; expansión de los peces	
		Silúrico	Primeros animales de respiración aérea	
	Ordovícico	430.000.000	Primeras plantas terrestres	
			Primeros vertebrados	
Cámbrico		Gran expansión de los invertebrados marinos		
	570.000.000			
Precámbrico		700.000.000	Primeros animales	
		3.400.000.000	Tal vez bacterias y algas verdes; tal vez primeros organismos	
		4.600.000.000	Origen de la Tierra	

Fuente: G. Simpson 1985.

2.2.4.1. Descripción geológica tomada de los mapas geológicos del Ecuador (Azogues y Gualaceo)

Serie Paute.- Constituyen las rocas más antiguas (formaciones Yungilla, Piñón y otras desconocidas) metamorfizadas. Es una serie compuesta de esquistos verdes, filitas negras y meta-volcánicos. Mapa geológico del Ecuador como se citó en (*Bristow 1973*).

Formación Yunguilla.- Litológicamente hay predominancia de argilita negra, meteorizada o pasando a arcillas cafés, oscuras o negras. La silificación es común en varios niveles, encontrándose depósitos de caliza y concreciones carbonatadas en toda la secuencia. Areniscas y capas guijarrosas fosilíferas se observan en varias localidades así como lavas andesíticas (Mapa geológico del Ecuador).

Formación Biblián.- Esta formación descansa en discordancia sobre la formación Yunguilla, donde el depósito basal es de guijarro medianamente grueso, a menudo con guijarros de la formación Yunguilla.

Formación Loyola.- El contacto de esta formación con la Biblián subyacente en el centro de la cuenca es gradual, pero cerca del margen. En el lado Este, un conglomerado basal. Sobrepassa a la Biblián para descansar en la formación Yunguilla (*Bristow 1973*).

Los depósitos superiores de aproximadamente 250 metros de espesor, consisten casi íntegramente de lutitas de colores: gris oscuro y amarillo claro, meteorizadas y rojizas, con una flora variada pero sin diagnóstico. El yeso abunda en casi todos los niveles y se observan calizas cristalinas de dos metros de largo por 50 centímetros de espesor.

Formación Azogues.- La secuencia está predominada por areniscas tobáceas gruesas, de color café, pero los depósitos de limonita y arcilla generalmente no tienen más de un metro de espesor. Un conglomerado basal bien desarrollado puede encontrarse donde la formación ha sobrepasado las subyacentes.

Formación Tarqui.- Hay una discordancia entre la Tarqui y las capas antiguas. Las rocas constituyentes son plásticas ácidas, aunque ocasionalmente se observen lavas.

En ciertos lugares por alteración hidrotermal se ha alterado completamente la roca original a caolín.

Volcánicos de Llaqueo.- Consisten predominantemente en aglomerados en una matriz de vidrio blanco desvitrificado, pero también se encontraron tobas blancas estratificadas. Los volcánicos son notoriamente inestables.

Tonalita.- Roca ígnea plutónica, se caracteriza por la abundancia de minerales félsicos (cuarzo y plagioclasa) y minerales máficos (biotita y anfíbol).

Terrazas.- Se reconocieron cinco niveles de terrazas principales alrededor de Cuenca, las tres primeras se componen característicamente de rocas gruesas. Son considerados como depósitos fluvio-glaciares que provienen del flanco Este de la Cordillera Occidental.

Coluvión.- Muchos valles tienen sus laderas cubiertas con una capa de material coluvial. Mucho de este material probablemente se originó como talud durante el pleistoceno, pero su formación continua hasta ahora. La geología citada anteriormente sirve como base para la revisión geológica del área de estudio; es decir, es la geología guía para una posterior revisión bibliográfica y levantamiento de campo. Este proyecto trata de comparar la geología de diferentes épocas, realizadas por diferentes organizaciones y mediante un recorrido de campo comprobar la geología llegando a una conclusión, obtenida del proceso de revisión bibliográfico.

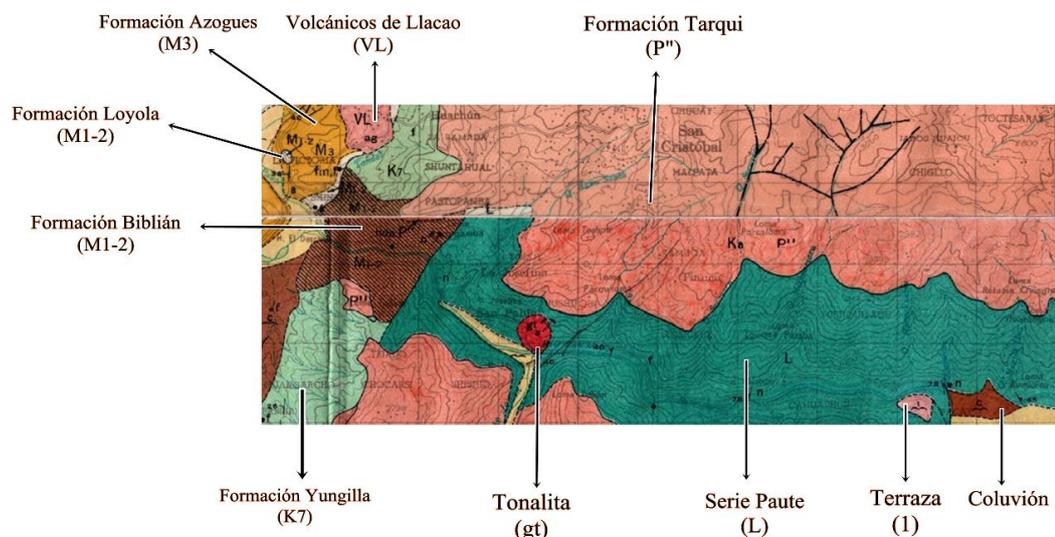


Figura 2. 6. Geología del área de estudio.

Fuente: Mapa geológico del Ecuador "Azogues" y "Gualaceo", 1974.

2.3.Geología actualizada de la zona de Estudio

En el proceso de caracterización geológica del Sector La Josefina y sus zonas aledañas, es necesario realizar una revisión bibliográfica actualizada de los diferentes trabajos geológicos realizados; tomando como punto base la geología citada con anterioridad, se procede a recopilar información geológica posterior a la de los mapas geológicos del Ecuador “Azogues” y “Gualaceo”(figura 2.8).

2.3.1. Depósitos aluviales recientes (Qa)

En el ámbito geológico y sus relaciones, es lógico pensar que los cauces de un río realizan meteorización fluvial del terreno o rocas que encierran al mismo, en consecuencia de esta meteorización y otros factores, el río transporta sedimentos, los cuales según la velocidad del flujo y la pendiente del cauce se irán depositando a lo largo del río.

En el caso específico de estudio, como se observó en los mapas de ubicación, el área de estudio está cortada por el “Río Paute”, de un extremo a otro, por lo que geológicamente se cuenta con una gran extensión de depósito aluvial.

Según (Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL., 1998), un depósito aluvial reciente se lo puede definir como; depósito reciente post-glaciar (Hológeno), es decir, se da hasta nuestros días, lo conforman material transportado y depositado por los ríos, el cual forma parte de las llanuras de inundación. Está compuesto por bloques de roca, gravas y arenas limosas en diferentes porcentajes, composición y tamaños, sus formas van de redondeadas a sub-angulares según la dinámica y morfología del curso fluvial.

El “Deslave de La Josefina”, embalsó una gran cantidad de agua, y taponó el río Paute con gran cantidad de material, dejó un lago remanente aguas arriba del deslizamiento en el que se han ido depositando continuamente hasta el día de hoy limos arcillosos y arenosos. Aguas abajo el lecho del río fue modificado con los escombros del deslizamiento, que consiste en bloques de roca angulares, que proviene de elementos intrusivos y metavolcánicos.

El material detrítico encontrado a lo largo del depósito aluvial dado por el río Paute, se lo utiliza como material de construcción principalmente, también agregados para

pavimentos y áridos de hormigón; el material encontrado tiene características intrínsecas de alta permeabilidad, suelto y granular, friccionante no cohesivo. Aguas abajo del deslizamiento se da un intenso lavado del material fino.

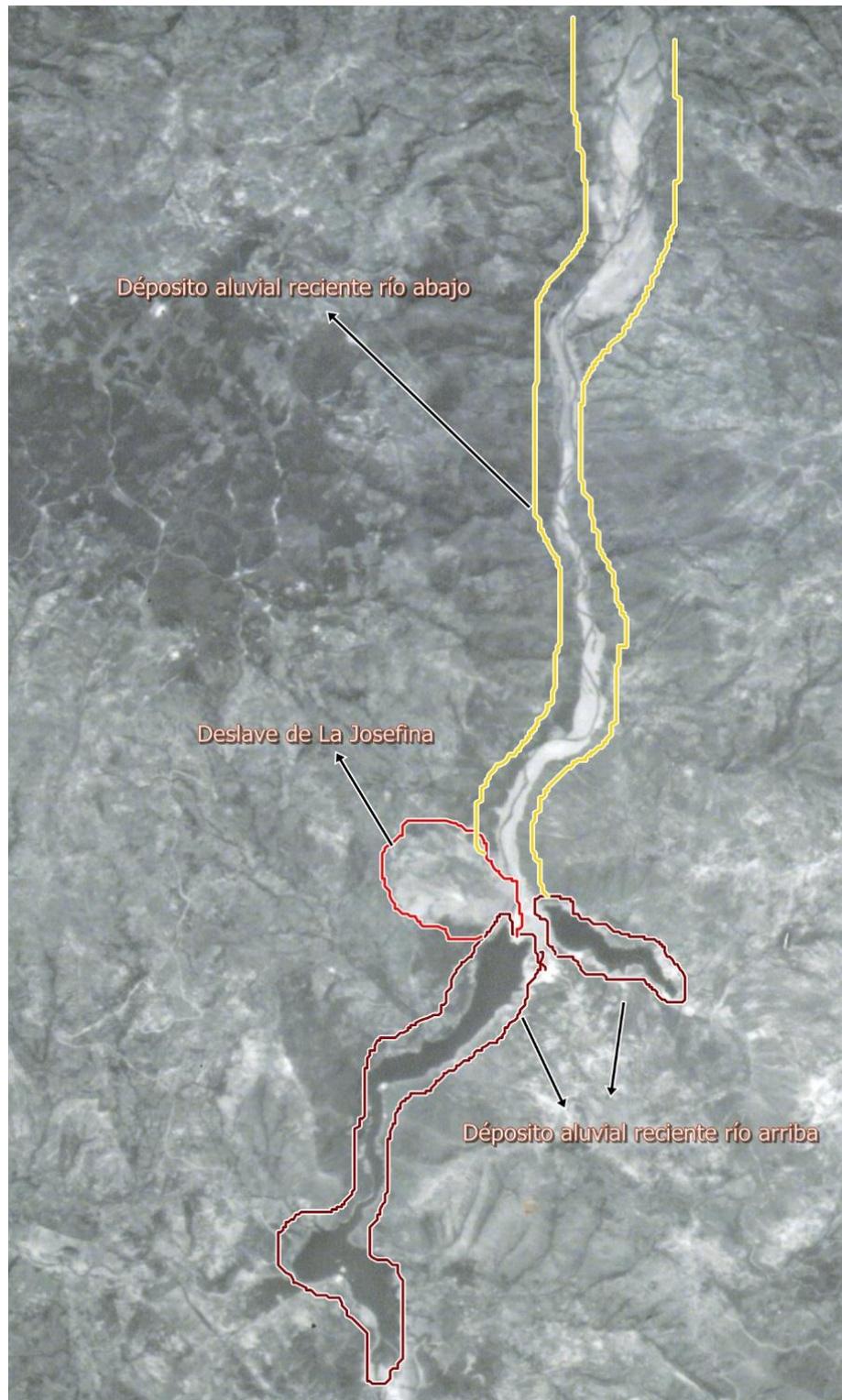


Figura 2. 7. Depósito aluvial reciente.

Fuente: Instituto geográfico militar (IGM), 1995.

2.3.2. Depósitos coluviales (Qc)

Depósitos de ladera y de pie de talud con materiales que sufrieron poco transporte, son bastante heterogéneos dependiendo el sector y el fenómeno de inestabilidad desencadenante. De manera general se componen de mezclas de bloques y fragmentos angulares y subangulares en matriz limo arcillosa con micro fragmentos (Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL., 1998).

Los coluviales más recientes, que están presentes en el área de estudio fueron producidos por el desagüe del lago formado por el deslizamiento de “La Josefina”. Los mismos que cuentan con características de permeabilidad variable, desde friccionantes (permeables) a predominante cohesivos (impermeables); los depósitos antiguos son granulares, compactos y tienen bajas pendientes (Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL., 1998).

2.3.3. Terrazas aluviales (Qt1)

Depósitos mayormente de origen aluvial. Está constituida principalmente por bloques subangulares a redondeados y subesféricos en matriz de grava areno arcillosa. Depósitos competentes, permeables, apto para la construcción y buen terreno de cimentación (Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL., 1998).

2.3.4. Formación Llaao (PLL)

Depósitos volcánicos de edad Mioceno Tardío a Plioceno Temprano. Consiste principalmente de flujos piroclásticos, conglomerados y areniscas de origen volcánico y localmente de avalancha de escombros, las capas de la formación Llaao son horizontales (Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL., 1998).

2.3.5. Formación Tarqui (PT)

Se ha logrado ver depósitos piroclásticos y aglomerados de composición riolítica a andesítica; también tobas, cenizas volcánicas ignimbríticas y localmente lavas. A la formación Tarqui se lo ha considerado como el manto volcánico que se extiende regionalmente en la Sierra del sur del Ecuador ((UNDP, 1969 y Huss, F. 1973) como se citó en *Bristow*, 1974).

2.3.6. Formación Azogues (MAZ)

Anteriormente se la conocía con el nombre de “Areniscas de Azogues” e incluía toda la cuenca sedimentaria de Cuenca.

Mayormente clástica. Areniscas tobáceas de grano medio a grueso, de color café a amarillento con capas de lutitas, limonitas y pocos tramos de conglomerados. Está afectada por deformaciones post-sedimentarias; fuertemente plegada (Proyecto PRECUPA. Cooperación CSS e INECEL., 1998).

Según (Proyecto PRECUPA. Cooperación CSS e INECEL., 1998), se determina una edad del Mioceno Medio a Tardío. Se puede encontrar estructuras sedimentarias y algunos canales rellenos de conglomerados indican deposición en ambiente deltaico.

En cuanto a hidrogeología tiene una permeabilidad media a alta por fracturación.

2.3.7. Formación Biblián (Mb)

Se la determina de edad del Mioceno- Medio. Secuencia sedimentaria clástica, alteración de argilitas, limonitas rojizas inter-estratificadas con areniscas tobáceas de grano fino a grueso y conglomerados con cantos subangulares de la formación Yunguilla, en las grietas se observa yeso secundario. Formación afectada por deformaciones y fallas post-sedimentarias; descansa con marcada discordancia sobre la formación Saraguro y Yunguilla (Proyecto PRECUPA. Cooperación CSS e INECEL., 1998).

Dentro de esta formación se encuentran rocas volcánicas andesíticas, con baja permeabilidad y niveles freáticos profundos; en el mapa geológico a este domo andesítico se lo simboliza de esta manera (Mba).

2.3.8. Intrusiones

En el Sector de “La Josefina” afloran cuerpos intrusivos que representan cámaras magmáticas emplazadas a poca profundidad, específicamente se puede encontrar granodioritas y dioritas, en el conocido “Deslave de La Josefina”, se observa una intrusión de granodiorita.

Se puede reconocer también rocas intrusivas de color blanco, fuertemente recrystalizadas, silicificadas, con un incipiente desarrollo de foliación e intensamente fracturadas, a su vez, se dieron intrusiones de una roca diorita de color gris verdoso, por una incipiente cloritización en las primeras rocas intrusivas. Esta roca se presenta menos fracturada que la roca encajante, y presenta también una débil foliación, estas dioritas también afloran en Shishio; todo este conjunto fue intruído por la granodiorita que aflora en Parquiloma, esta última intrusión es de grano medio presentándose poco fractura y muy fresca, sin recrystalización (Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL., 1998).

Los macizos rocosos de resistencia alta son rocas ígneas, poco afectadas por procesos de alteración hidrotermal y fracturación. En El Tahual se ha identificado dacitas, en Parquiloma granodiorita (Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL., 1998).

2.3.9. Formación Yunguilla (Kpy)

Secuencia con predominancia de lutitas oscuras a negras y argilitas oscuras compactadas generalmente silificadas y bastante estratificadas; argilitas calcáreas y calizas delgadas localmente silificadas y abundante micro-fauna, también lavas y volcanoclastos. (*Bristow*, 1974) como se citó en (Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL., 1998).

Se le atribuye una edad del Cretácico Superior-Paleoceno.

2.3.10. Unidad Maguazo (Jz)

Consiste principalmente en filitas, micas, esquistos pizarras y cuarcitas intensamente plegadas. Estas rocas fueron producidas por el metamorfismo de rocas volcánicas y detritos volcánicos (andesitas, tobas, conglomerados y aglomerados volcánicos), rocas que se pueden divisar en el valle de río Paute aguas abajo del sector La Josefina (Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL., 1998).

Esta unidad tiene una edad relativa del Jurásico Medio a Cretácico inferior.

2.3.11. Formación Quingeo (EOq)

Su edad relativa va desde el Eoceno hasta el Oligoceno Temprano. Litológicamente está compuesta principalmente por argilitas café oscuras, limonitas, lutitas, areniscas cizalladas microconglomeráticas y pocos conglomerados. Se considera que la cuenca de Quingeo fue rellena con 1.200 metros de sedimentos, depositadas en un ambiente fluvial distal, es decir los sedimentos traídos por el líquido fueron transportados de distancias relativamente lejanas, con grandes planicies aluviales que luego fueron afectadas por las deformaciones post-sedimentarias. La formación tiene una permeabilidad muy baja debido a la fracturación. Predomina la erosión laminar y formación de cárcavas (Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL., 1998).

2.3.12. Formación Loyola (ML)

Según (Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL., 1998) es una formación sedimentaria clástica fino granular, consiste en una alteración de lutitas gris oscuro muy fisibles, limonitas que meteorizan a arcillas de color blanco, localmente lentes de areniscas limosas finamente estratificadas con cemento calcáreo, calizas, y mega brechas, en la discordancia con la Formación Yunguilla abunda yeso, especialmente en las superficies alteradas.

En la figura siguiente se muestra el mapa geológico actualizado de la zona de estudio, con sus formaciones y su simbología; este mapa se puede ver de manera más clara en el anexo 2.

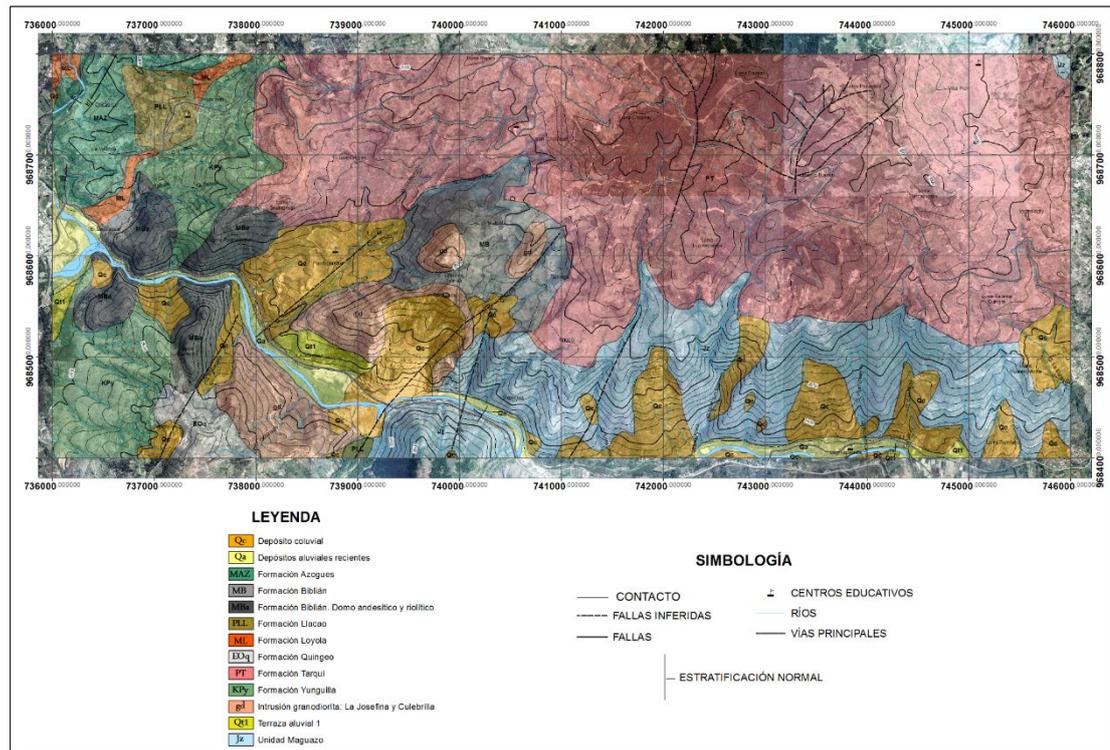


Figura 2. 8. Mapa geológico actualizado del área de estudio.

2.4. Caracterización geomorfológica

Esta sección del trabajo se enfoca en la realización de un mapa geomorfológico del área de estudio; prestando un énfasis mayor a la dirección de pendiente con mayor ocurrencia, concavidades y convexidades y a la descripción y análisis del terreno en general. En consecuencia es necesario conocer conceptos básicos acerca de la geomorfología y se citarán algunos conceptos en las siguientes líneas.

La geomorfología es la ciencia que estudia las formas de la superficie terrestre. (Ahnert, 1998) como se citó en (Muñoz, 2012)

Al estudiar las geo formas o relieve terrestre, se incluye los procesos que las generaron, sus condiciones y la evolución que han tenido en el tiempo.

Para realización de trabajos de identificación de riesgos, amenazas, caracterización de suelos, el mapeo de erosión la geomorfología es de gran ayuda.

Clásicamente para identificar, representar y caracterizar unidades de relieve del terreno, se realiza un levantamiento de campo, luego de haber realizado fointerpretación, revisión de orto-fotografías y análisis de imágenes satelitales.

En comparación con métodos actuales, el método clásico toma bastante tiempo y los resultados dependen de la pericia del foto-intérprete y de las decisiones que este tome. Los avances y cambios tecnológicos que se han dado en el campo de la geología y geomorfología, ha proporcionado información confiable en mucho menor tiempo y con menor esfuerzo físico.

Según Brandli, 1996, como se dijo en (Muñoz, 2012), la geomorfología incluye la descripción de un considerable número de características específicas del terreno (dependiendo del clima y las condiciones geológicas), y existen definiciones del sentido común que los hacen fácilmente localizables en la naturaleza; sin embargo, hay una carencia de definiciones claras y consistentes que puedan ser usadas para la extracción basadas en algoritmos de computador. (pág. 1).

Los límites de las geo formas son muy difíciles de identificarlas con exactitud, ya que en la superficie del terreno podemos ver un límite y a poca profundidad la dirección de este límite puede cambiar y solo podemos divagar en una definición lo más aproximada posible, y esto depende de la pericia del personal; en otros casos la información no está clara por lo que se presta a dar una interpretación personal.

2.4.1. Objetivos de la geomorfología

(Lugo Hubp, 1988) Habla de cinco objetivos fundamentales de la geomorfología:

1. El conocimiento de la superficie terrestre, en su totalidad o en porciones de los tamaños más diversos.
2. La clasificación del relieve en formas definidas por los procesos que le dieron su origen (tectonismo, vulcanismo, erosión, acumulación, etc.)
3. Determinación de la edad. Absoluta o relativa, de las formas del relieve.
4. Estudio de la historia del desarrollo del relieve.
5. El conocimiento de los procesos actuales (endógenos y exógenos) que modifican la superficie terrestre.

Cada uno de estos objetivos serán tomados, según el caso de estudio, se puede agrupar ciertos objetivos y trabajarlos conjuntamente, también se puede trabajar sobre todos los puntos citados.

Este trabajo se enfoca en el conocimiento de la superficie terrestre, refiriéndose al relieve terrestre o geo formas presentes en el área de estudio, agrupándolos según sus características similares y luego sistematizarlos por su homogeneidad.

2.4.2. Análisis morfológico cualitativo y cuantitativo

Las formas del relieve terrestre se pueden definir por su semejanza con modelos geométricos (morfografía) y a partir de una cuantificación de determinados elementos del relieve (morfometría). Algunos ejemplos de la geometría del relieve son: conos, pirámides, elipses, rectángulos, etc. (Lugo Hubp, 1988).

2.4.3. Morfografía

En los mapas topográficos y en las fotografías aéreas se pueden trazar los elementos principales de relieve. Estos son, al igual que la geometría, puntos, líneas, superficies y volúmenes (Lugo Hubp, 1988).

2.4.4. Morfometría

Cuando nos fijamos en una gran superficie de terreno, en la que se hace difícil llamar a cada unidad geomorfológica (geo forma), de diferentes maneras tenemos que realizar una cuantificación de estas unidades según sus características homogéneas, como lo expresó (Lugo Hubp, 1988), quién dijo que la morfometría se refiere a la cuantificación de ciertos elementos del relieve, principalmente refiriéndose a su longitud, superficie, volumen, altura absoluta y relativa, pendiente, orientación, densidad, frecuencia y otros elementos numéricos.

Otro autor se apega a la definición dada anteriormente, (Corporación Suna Hisca, 2012) cita que la morfometría describe cuantitativamente las características del terreno como longitud, ángulo de inclinación y altura de ladera, al mismo tiempo determina la distribución de las pendientes (suaves a abruptas, escarpes, concavidad y convexidad, etc.)

Chorley et al. (1957) dio el término de geomorfometría a la medida y caracterización de las formas de terreno, desarrollando técnicas de medida que se han beneficiado de las técnicas de almacenamiento y representación de la información.

Posteriormente Evans (1972) como se citó en (Felicísimo, 2018) introdujo la distinción entre la geomorfometría específica y la geomorfometría general. La primera trata de la distinción entre elementos geomorfológicos específicos y la segunda a la medida y análisis de las características morfológicas aplicables a cualquier superficie.

La caracterización de las formas del relieve puede realizarse en dos formas como lo dijo (Felicísimo, 2018):

1. Por medio de descriptores globales, que generan información estadística sintética no representable espacialmente, como por ejemplo: medidas de dispersión, histogramas, correlo-gramas, etc. Lo que corresponde con la geomorfología general.
2. Mediante descriptores locales, que generan información de naturaleza espacial y son representables, a su vez, como modelos digitales del terreno, lo que corresponde con la geomorfometría específica.

El trabajo dado en este documento se dirige principalmente a la realización de la morfometría del área de estudio.

2.4.5. Formas del terreno

Es cualquier atributo físico de la superficie terrestre que tiene una forma y característica conocida (Bates y Jackson, 2005) como se citó en (Muñoz, 2012). Las formas del terreno consisten en patrones característicos que exhiben variaciones definidas en tamaño, escala y forma de los atributos del terreno que se dan en una posición contextual reconocible, relativa a características del terreno adyacentes (*Hartemink y McBratney*, 2009) como se citó en (Muñoz, 2012).

Algunas formas de terreno que se reconocen en mapas geomorfológicos son las llanuras, las colinas, las montañas y los valles, estas geo formas se agrupan con otras que presentan características similares para ser luego presentadas en un informe o mapa.

Según (Tapia Varela & López Blanco, 2001) existen cuatro grandes tipos de relieve, que son los siguientes:

1. Laderas montañosas.
2. Lomeríos.
3. Piedemonte.
4. Planicies.

2.4.6. Parámetros del terreno

Es una medida descriptiva de la forma de la superficie (como la pendiente, el aspecto o el índice de humedad), con un arreglo continuo de valores que describen la superficie del terreno en una muestra local. En cambio, un objeto del terreno es un atributo espacial discreto (como una línea divisoria de aguas, abanicos aluviales, red de drenaje) representado sobre un mapa vector consistente en puntos, líneas, y/o polígonos extraídos desde una cuadrícula rectangular de un DEM. (Hartemink y McBratney, 2009), citado de (Muñoz, 2012).

Estos parámetros tienen una clasificación distintiva para cada grupo de geo formas, como se dijo anteriormente es difícil clasificar una a una las geo formas encontradas en el terreno, por lo que se opta a clasificarlas grupalmente según características homogéneas. También se basan en el análisis de propiedades geométricas del terreno, como son pendiente, aspecto, curvatura y otros valores que pueden ser obtenidos por medio de funciones matemáticas.

2.4.6.1. Parametrización del relieve

Es la generación de un conjunto de medidas que describen las formas topográficas permitiendo distinguir diferentes tipos de relieve, o en resumen la descripción numérica de formas topográficas (Felicísimo, 2018).

Durante los años se han dado varias propuestas sobre las variables que se deben incluir en la parametrización del terreno o relieve. (Weible y Heller, 1991) como se citó en (Felicísimo, 2018) la pendiente es la menos discutida, aunque también son usadas con frecuencia en geomorfología la orientación y la curvatura. En este

contexto (Franklin y Peddle, 1987) mencionan cinco parámetros básicos en este contexto:

1. Elevación.
2. Pendiente.
3. Orientación.
4. Convexidad y
5. Relieve (definido en este caso como la variabilidad de la superficie, lo que otros autores denominan rugosidad).

Todos estos parámetros y variables pueden ser presentados como modelos digitales.

2.4.7. Pendiente del terreno

La pendiente mide la tasa de cambio de la elevación en la dirección descendente mas empinada (Wilson y Gallant, 2000) citado de (Muñoz, 2012).

Al realizar este tipo de mapas (mapas de pendiente) se debe transformar las distancias entre curvas de nivel en valores de pendiente (Lugo Hubp, 1988).

Estas funciones matemáticas permiten obtener el gradiente, o vector orientado en la dirección en la cual ocurre la máxima variación en los valores del campo escalar; sus propiedades geométricas principales son la longitud (módulo) y la dirección, y conforman dos de los más importantes parámetros de la superficie del terreno: la pendiente y el aspecto o forma (*Hartemink y McBratney, 2009*), citado de (Muñoz, 2012).

El gradiente de pendiente, refleja el máximo cambio de los valores de elevación y puede ser usado para derivar varios parámetros nuevos, tales como los requeridos para estudiar la erosión y deposición y humedad del suelo, la velocidad de flujo y muchos otros. El aspecto, indica la dirección de la línea de flujo; y su valor depende de cuál dirección es tomada como el origen. (Muñoz, 2012).

2.4.7.1. Clasificación de la pendiente

Se ha dicho que la pendiente mide la tasa de cambio de elevación del terreno, es decir, la inclinación que tiene cada geo forma en referencia a un plano horizontal. De esta manera en este trabajo se da una clasificación de pendientes que va desde plano con porcentaje de cero a tres por ciento hasta fuertemente escarpado con valores mayores a 75 % de inclinación.

Se ha optado por dar una clasificación porcentual a los mapas geomorfológicos, donde cada valor viene dado por la transformación de grados a porcentaje.

A mayor grado de inclinación la pendiente aumenta en valores que tienden al infinito; como se puede ver en la figura 2.9 se puede incluir una fórmula para obtener la pendiente en porcentaje.

$$\text{Porcentaje de Pendiente} = \frac{\text{Altura}}{\text{Base}} 100$$

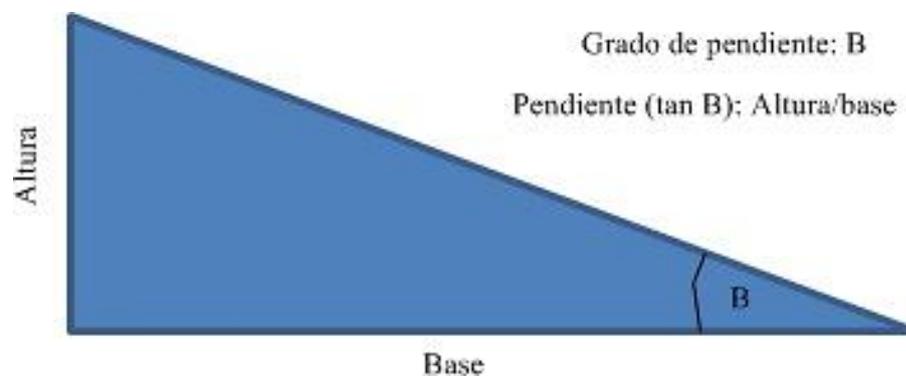


Figura 2. 9. . Transformación de pendiente en grados a porcentual.

Fuente: geogra, 2015.

En la siguiente tabla se da una clasificación del rango en porcentaje, el valor que toma la pendiente, simbología y descripción, de las ge formas que están presentes en el área de estudio.

Tabla 2. 7. Clasificación de la pendiente.

Rango	Valor	Símbolo IGAC	Descripción
0% - 3%	1	(a)	Plano
3% - 7%	2	(b)	Ligeramente Ondulado
7% - 12%	3	(c)	Moderadamente Ondulado
12% - 25%	4	(d)	Fuertemente Ondulado
25% - 50%	5	(e)	Ligeramente Escarpado
50% - 75%	6	(f)	Moderadamente Escarpado
>75%	7	(g)	Fuertemente Escarpado

Fuente: IGAC, 2009.

En la figura 2.10 se aprecia la clasificación porcentual de la inclinación o pendiente del terreno. La clasificación porcentual está basada en la clasificación dada en la tabla 2.7, datos tomados del (IGAC, 2009), se presenta también la descripción que toma cada rango de pendiente, lo que nos muestra la clasificación de las geo formas según la pendiente.

La pendiente está dada en porcentaje cada color se identifica con un tipo de valor, rango y descripción (nombre de la geo forma), por ejemplo: el color rojo tiene un rango de porcentajes mayor a 75 % de inclinación, y según la clasificación del (IGAC, 2009) se la conoce como fuertemente escarpado (figura 2.10).

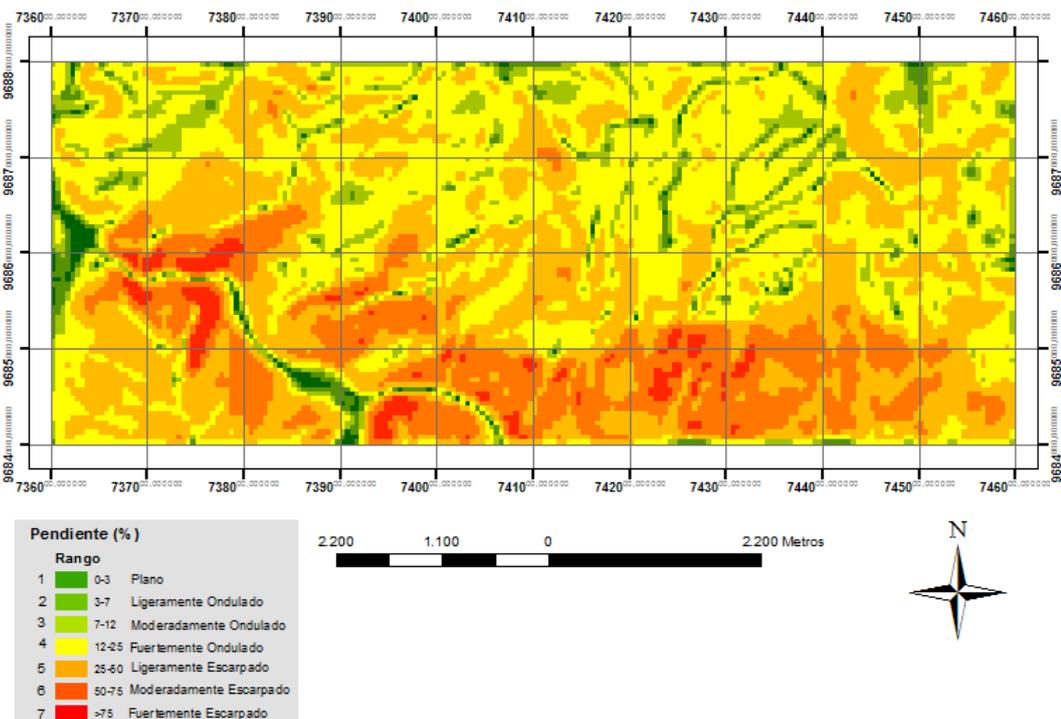


Figura 2. 10. Mapa geomorfológico, clasificación del IGAC, 2009.

En este tipo de mapas las pendientes altas se pueden ver en color rojo, están son las fuertemente escarpadas, al contrario las planas se muestran en color verde oscuro (figura 2.10).

Tabla 2. 8. Clasificación de pendientes basado en la tabla 2.6 de este documento.

Rango (%)	Área (Ha)	Área (%)	Símbolo IGAC	Descripción
0-3	37,96	0,95%	(a)	Plano
3-7	114,14	2,85%	(b)	Ligeramente Ondulado
7-12	298,75	7,47%	(c)	Moderadamente Ondulado
12-25	1472,83	36,82%	(d)	Fuertemente Ondulado
25-50	1379,24	34,48%	(e)	Ligeramente Escarpado
50-75	615,59	15,39%	(f)	Moderadamente Escarpado
>75	81,48	2,04%	(g)	Fuertemente Escarpado
Total	4000,00	100,00%		

En esta tabla se puede ver representado primeramente el rango de pendiente en porcentaje, el área en hectáreas de los rangos de pendiente, el área en porcentaje, el símbolo que toma cada clasificación y la descripción de cada rango.

En la tabla 2.8 se muestra información útil para conocer qué tipo de pendiente predomina en la zona de estudio. Según la información que se logró recopilar la pendiente que predomina tiene un área de 1472, 83 hectáreas lo que equivale a un porcentaje del 36,82% del total de la zona de estudio, este tipo de pendiente está en el rango de 12-25% y se lo denomina como fuertemente ondulado.

En la figura 2.11 se ha realizado por medio de *softwares* de libre acceso una secuencia de polígonos de las zonas planas (a) y las zonas fuertemente escarpado (g), se ha realizado esta comparación mediante los extremos de la clasificación es decir del tipo (a) plano con pendiente de cero a tres y del tipo (g) fuertemente escarpado con pendientes mayores al 75 %. Según lo que se representa en la tabla 2.7 la pendiente con rango de cero a tres por ciento (plano) está compuesta por un área de 37,96 hectáreas que representa el 0,95% del total, algo no tan variado es la pendiente con rango mayor a 75 % (fuertemente escarpado) compuesta por un área de 81,48 hectáreas representando el 2,04% del total; lo que se podría interpretar que la zona en su mayoría no es plana ni tampoco fuertemente escarpado. Un problema que se da es

que la vía principal atraviesa gran parte del área cubierta por pendientes tipo (g) fuertemente escarpado.

Principalmente la zona está formada por pendientes del tipo (d) y (e), fuertemente ondulado y ligeramente escarpado respectivamente, estas componen el 71% del área total de estudio.

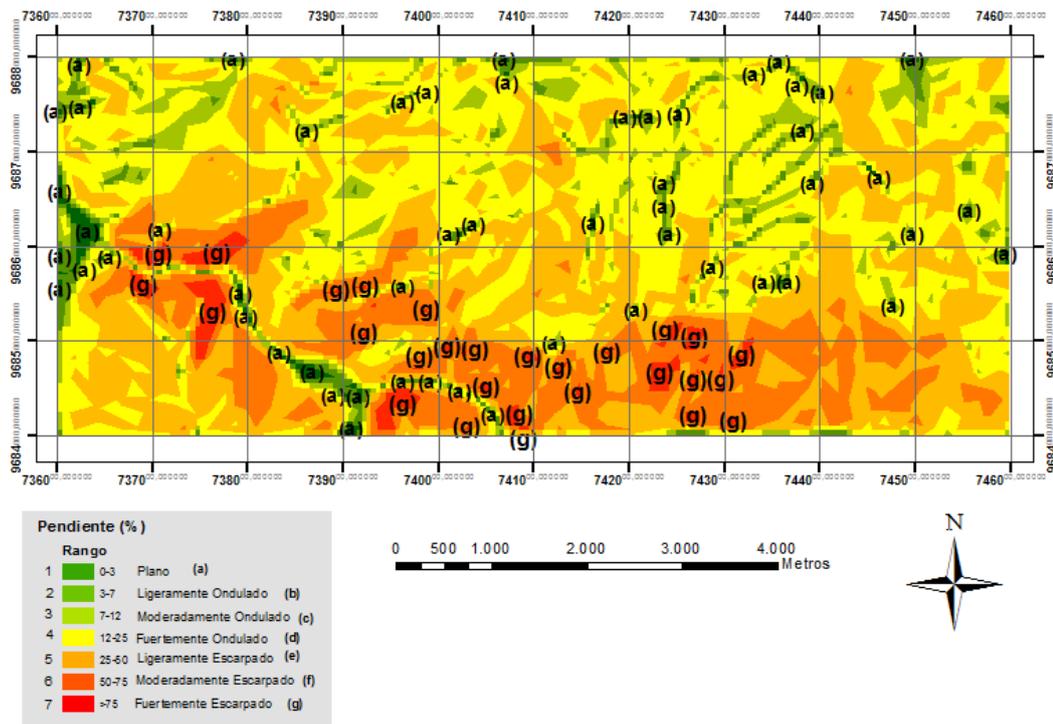


Figura 2. 11. Comparación de pendiente plana y fuertemente escarpado.

2.4.8. Orientación de pendiente

El aspecto es definido como la componente direccional del vector gradiente y es la dirección del máximo gradiente de la superficie en un punto dado (Muñoz, 2012).

La orientación de la pendiente se la puede conocer por medio de un mapa de aspectos, donde se puede observar la dirección que tienen las diferentes caras de la superficie del terreno, es decir, norte, sur este u oeste, también se puede incluir las direcciones intermedias (Noreste, sureste, noroeste, suroeste, etc.)

Tabla 2. 9. Orientación de la pendiente.

Dirección	Área (Ha)	Área (%)
Este	492,71	12,32%
Noreste	450,18	11,25%
Noroeste	567,96	14,20%
Norte	534,25	13,36%
Oeste	490,39	12,26%
Sur	531,37	13,28%
Sureste	541,16	13,53%
Suroeste	391,97	9,80%
Total	4000,00	100%

Esta tabla nos muestra la dirección que toman las pendientes y el área que ocupa cada una de ellas en hectáreas y porcentaje total.

En la figura 2.12 podemos observar la dirección de las pendientes representadas en por colores; según la tabla anterior en este mapa no existe una dirección preferencial de la pendiente, no se ve diferencias notables en el área que ocupa cada dirección.

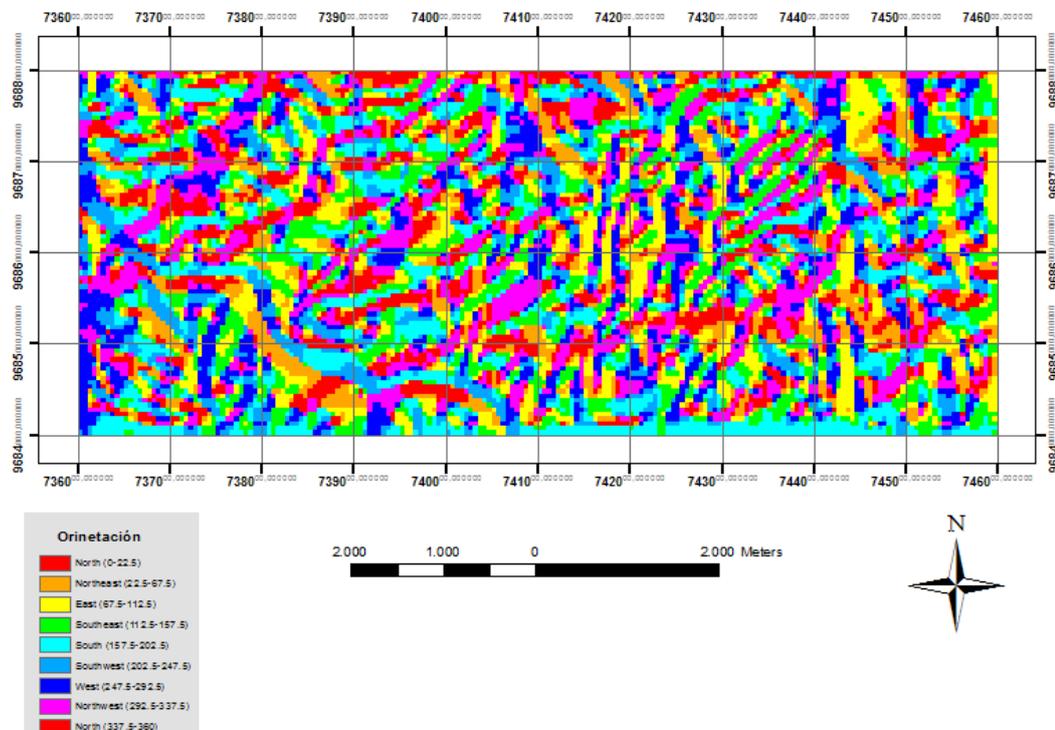


Figura 2. 12. Dirección de pendiente.

2.4.9. Curvatura

La curvatura permite determinar si la superficie es cóncava o convexa.

La concavidad y la convexidad de una superficie, se obtienen mediante el cálculo del parámetro curvatura o sección normal de una superficie suave. Una sección normal es una curva plana, la cual es definida como $1/R$, donde R es el radio del mejor círculo ajustado a esta curva en un punto dado. La curvatura en perfil (o vertical) y tangencial (u horizontal) puede ser usada para distinguir (localmente) formas cóncavas (valores de curvatura negativos) y convexas (valores de curvatura positivos). La curvatura tangencial cóncava indica convergencia, y la convexa divergencia de las líneas de flujo; la curvatura vertical convexa es indicativa de la aceleración del flujo (*Hartemink y McBratney, 2009*), citado de (*Muñoz, 2012*).

En la figura 2.13 se da valores positivos a curvaturas convexas y valores negativos a curvaturas cóncavas, los colores claros y oscuros representan curvaturas convexas y cóncavas respectivamente.

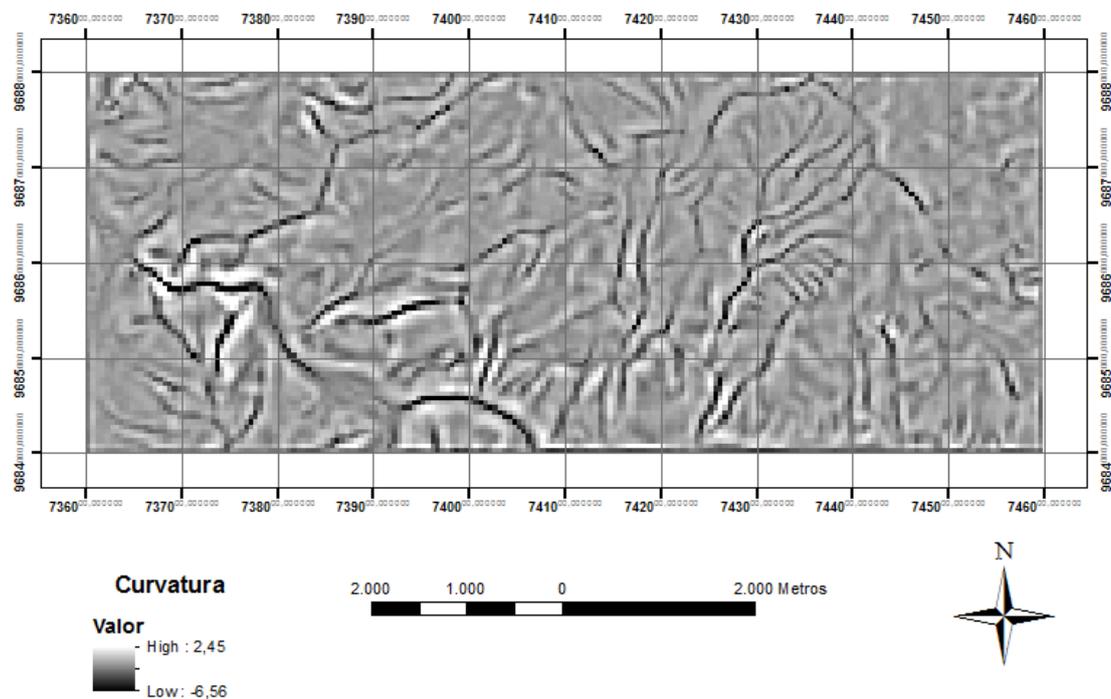


Figura 2. 13. Mapa de curvatura del sector La Josefina y sus zonas aledañas.

2.4.10. Climatología

El río Paute nace en la región interandina, al sur del Ecuador y fluye hacia la vertiente amazónica. Su altitud varía entre los 500 msnm hasta los 4600 msnm, en la zona de La Josefina y sus zonas aledañas se tiene un clima frío de los páramos (Cordero, 2013).

La cuenca del río Paute se puede dividir en tres sub clases:

1. Cuenca alta.
2. Cuenca media.
3. Cuenca baja.

El sector de estudio se sitúa en la cuenca media del río Paute, que va desde los 2200 hasta los 2600 msnm, con clima sub húmedo con gran déficit de agua en la época seca, meso-térmico templado cálido con precipitaciones entre 727 y 825,5 mm/año. La temperatura media anual es de 12,9 a 16, 6°C, humedad relativa de 84% (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2013). El gradiente térmico es de 0.6°C por cada 100 m de altura.

En el siguiente mapa se puede observar la precipitación anual que se da en el Ecuador, la zona marcada con color negro es el área de estudio, se aprecia que se da una misma precipitación para toda la zona de estudio, la cual es muy baja.

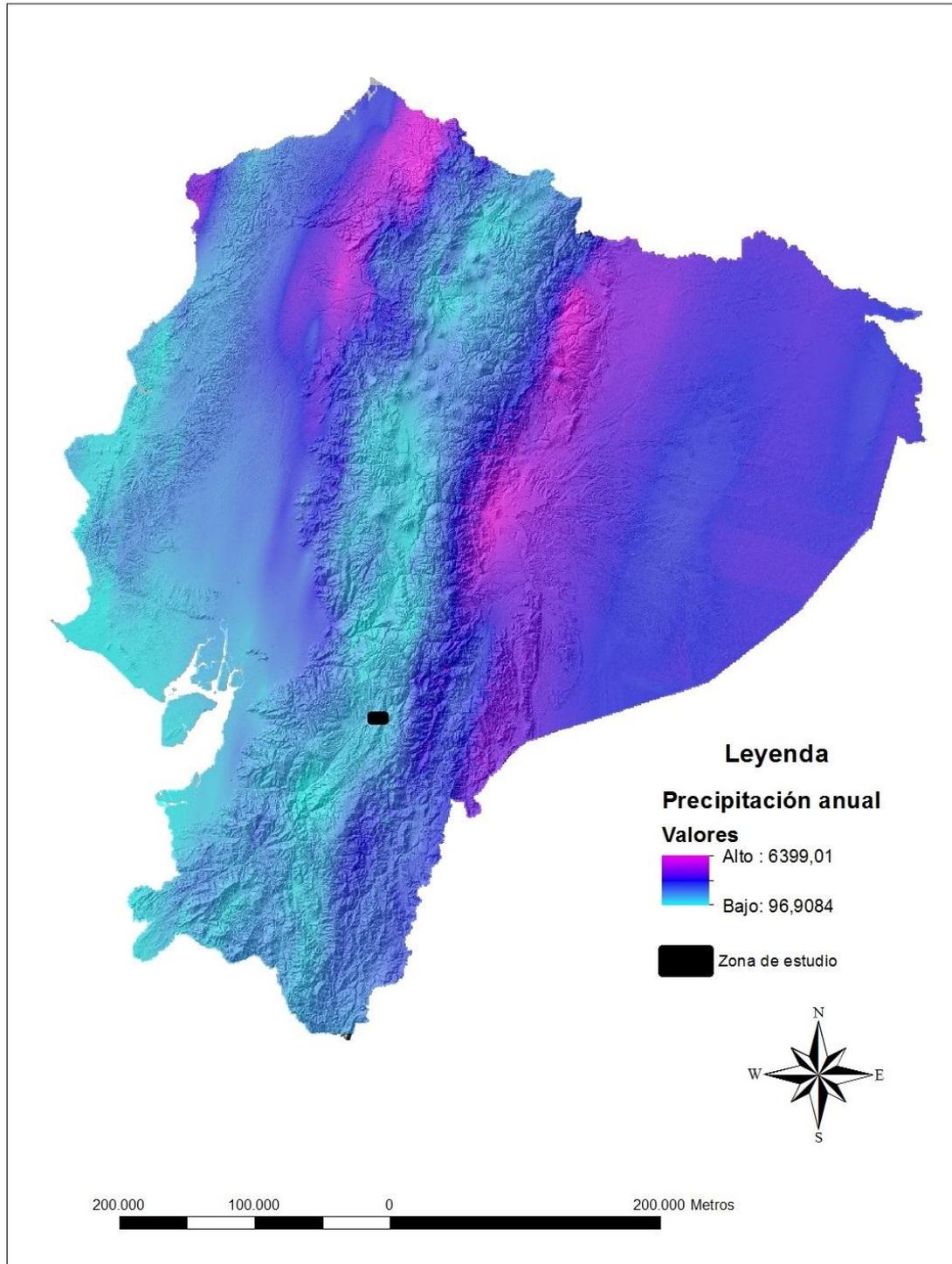


Figura 2. 14. Mapa del Ecuador con sus zonas de precipitación anual, donde color cyan representa precipitaciones bajas en comparación a todo el estado Ecuatoriano.

2.5. Caracterización de riesgos

Hace referencia a las características internas y externas que actúan sobre una zona o un área las cuales de manifestarse podrían poner en riesgo a las comunidades expuestas y vulnerables.

2.5.1. Fenómenos de inestabilidad

La inestabilidad del terreno es consecuencia directa de la naturaleza geológica de los materiales que lo constituyen, de su comportamiento geomecánico, exposición y del impacto de factores externos como saturación, sismos y factores antrópicos. Según *Bonnard*, 1994, como se citó en (Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL., 1998), es decir, un terreno sufrirá inestabilidad cuando a las causas condicionantes propias de un terreno, se suman causas desencadenantes que provocan el fenómeno de inestabilidad.

Las causas condicionantes son básicamente de carácter geológico, geomorfológico y geotécnico.

Las geológicas están relacionadas con características litológicas, genéticas y geoestructurales, sin excluir el porcentaje de permeabilidad de los materiales presentes, de la misma manera, se relaciona con la red hidrológica que interviene con el terreno, ya sea esta subterránea (interna) o de escorrentía (externa).

Las geomorfológicas comprenden la forma del terreno, refiriéndonos a la textura o a la forma de la piel de la Tierra o el terreno que se estudia, comprende también la dirección que toman los cursos fluviales, la pendiente y el tipo de drenaje del terreno.

Cuando se habla de características geotécnicas se hace referencia a características geomecánicas de los materiales, por ejemplo: resistencia a la compresión tipo de material, alteración, fracturamiento, orientación de las estructuras geológicas, etc.

Un fenómeno natural no es causal en sí mismo de desastres o riesgos naturales, es necesario que se den otras variables como vulnerabilidad y exposición; al fenómeno se lo considera como una amenaza cuando existe la probabilidad de que una comunidad sufra pérdidas, sean estas económicas o tan graves como vidas humanas.

Por ejemplo: un deslizamiento en un área no habitada no proporciona peligro, ya que no existe una exposición presente.

2.5.2. Evaluación de amenaza y riesgo por deslizamiento

Existe una clara tendencia al aumento de la peligrosidad por deslizamientos (sobre todo en las últimas décadas), fundamentalmente debida al incremento de la frecuencia de los deslizamientos (*Larsen & Torres-Sánchez, 1998; Reid, 1998; Guthrie, & Evans, 2004; Remondo et al., 2005*) mientras que la distribución espacial de los mismos tiende a manifestarse casi siempre en unas zonas concretas (de mayor susceptibilidad) (*Remondo et al., 2005*). También es evidente que ha aumentado (y previsiblemente seguirá aumentando) la exposición (*Gendreau et al., 2000; Alcántara-Ayala, 2002*), al existir cada vez más población, edificios, infraestructuras y actividades económicas sobre cualquier territorio (*Bonachea, 2006*).

2.5.2.1. Movimientos de ladera

Se entiende como movimiento de ladera al movimiento de una masa de roca, suelo o derrubios de una ladera en sentido descendente. Se incluye cualquier tipo de movimiento en masa (se excluye por tanto la erosión), excepto la subsidencia y el hundimiento kárstico (*Fernández, 2001*).

Los movimientos se producen hacia el exterior de la ladera, y en sentido descendente como consecuencia de la gravedad.

A un deslizamiento se le puede dar una nomenclatura que identifica las partes más importantes del mismo. Por lo mismo se ha dado una nomenclatura de los elementos morfológicos y morfométricos de un movimiento de ladera tipo, ha sido desarrollada por la Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (IAEG, 1990).

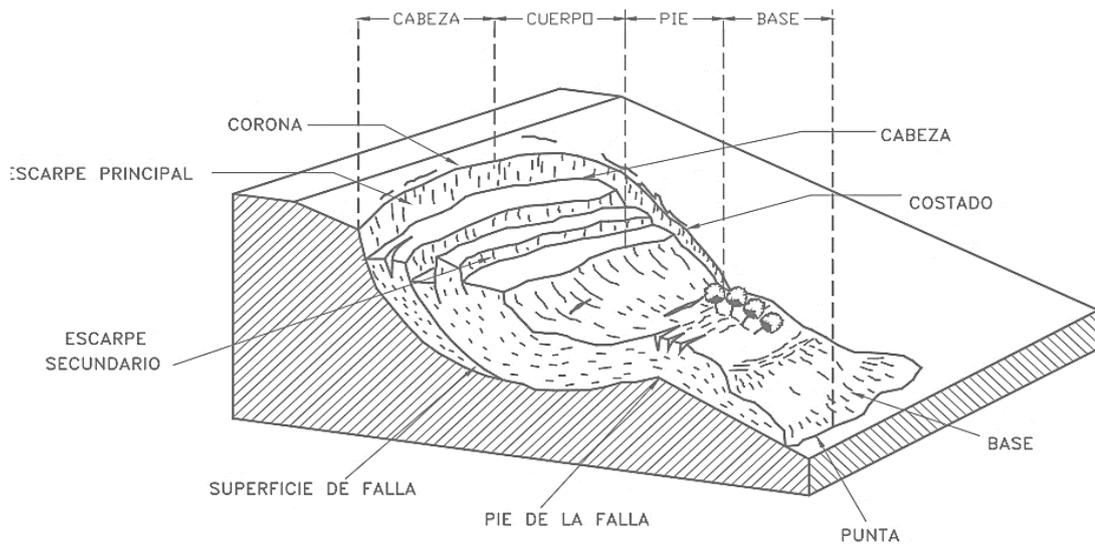


Figura 2. 15. Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento.

Fuente: Díaz Suárez, 2018.

2.5.2.2. Tipos de movimientos de ladera

La clasificación de los movimientos de ladera depende de los criterios utilizados para su diferenciación; según (Varnes, 1958, 1978; Ayala et. al. 1987, Corominas y García Yagüe, 1997) como se citó en (Fernández, 2001) se basa fundamentalmente en el mecanismo de rotura y propagación del movimiento utilizando básicamente criterios morfológicos; se diferencian cuatro tipos básicos de movimientos (figura 2.18):

- **Deslizamiento rotacional y traslacional o planar:** En este tipo de movimiento de ladera el desplazamiento del terreno se produce sobre una o varias superficies de rotura bien definidas.
- **Flujo:** Bajo este sustantivo se agrupan a diferentes movimientos de ladera que tienen en común la deformación interna y continua del material y la ausencia de una superficie neta de desplazamiento.
- **Desprendimiento (derrumbe):** Corresponde al rápido movimiento de una masa de cualquier tamaño de roca o de suelo en forma de bloques aislados o material masivo.
- **Derivas o extensiones laterales:** Este término hace referencia al movimiento de bloques rocosos o masas de suelo muy coherente sobre un material blando y deformable.

- **Movimientos complejos:** Son aquellos que resultan de la combinación de dos o más tipos de movimientos elementales descritos anteriormente.

Algunos autores no incluyen dentro de los movimientos de ladera la reptación, más para realizar un estudio de riesgos es necesario incluir este tipo de movimiento.

- **Reptación:** Se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. Dentro de este movimiento se incluyen la solifluxión y la gelifluxión, este último término reservado para ambientes periglaciales. La reptación de suelos y la solifluxión son importantes en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente. (Grupo de estándares para movimientos en masa (GEMMA); Dirección Nacional de Geología de Ecuador, DINAGE., 2007)

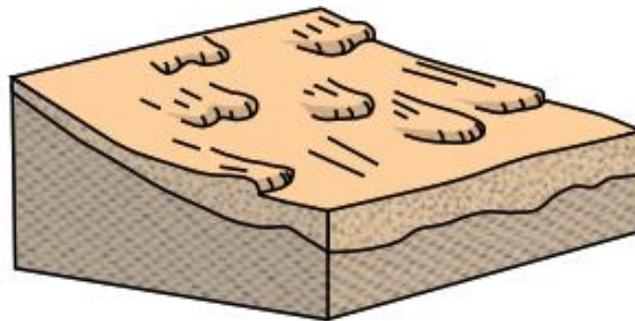


Figura 2. 16. Proceso de reptación en una ladera.

Fuente: Grupo de estándares para movimientos en masa (GEMMA); Dirección Nacional de Geología de Ecuador, DINAGE., 2007.

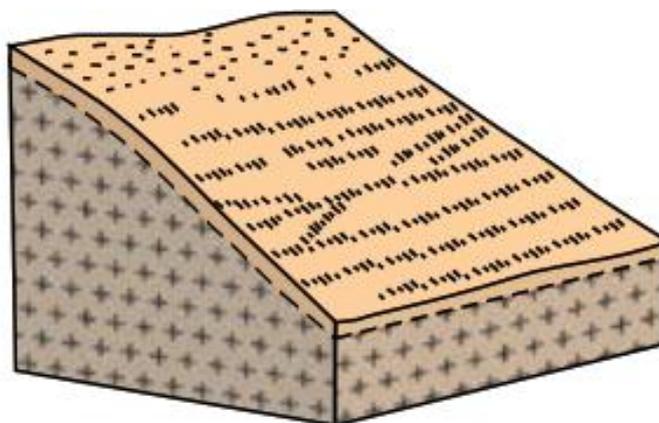


Figura 2. 17. Proceso de solifluxión en una ladera.

Fuente: Grupo de estándares para movimientos en masa (GEMMA); Dirección Nacional de Geología de Ecuador, DINAGE., 2007.

Tipos de movimientos de ladera	
Deslizamientos rotacionales	
Deslizamientos traslacionales	
Flujos	
Desprendimientos	
Vuelcos	
Avalanchas	
Desplazamientos laterales	

Figura 2. 18. Clasificación de movimientos de ladera.

Fuente: Fernández, 2001.

Teniendo los datos anteriores se ha optado por clasificar los diferentes tipos de movimientos de ladera con la información proporcionada en la figura 2.22.

2.5.2.3. Realización de fotointerpretación

En las fotografías aéreas primeramente se ha determinado el área de intervención de este trabajo, para luego en el gabinete de ingeniería en minas de la Universidad del Azuay con la ayuda del estereoscopio de espejos, proceder a identificar los posibles fenómenos de movimientos de ladera, por medio del reconocimiento de escarpes en las fotografías aéreas, y de los depósitos coluviales producto de los movimientos (figura 2.19).

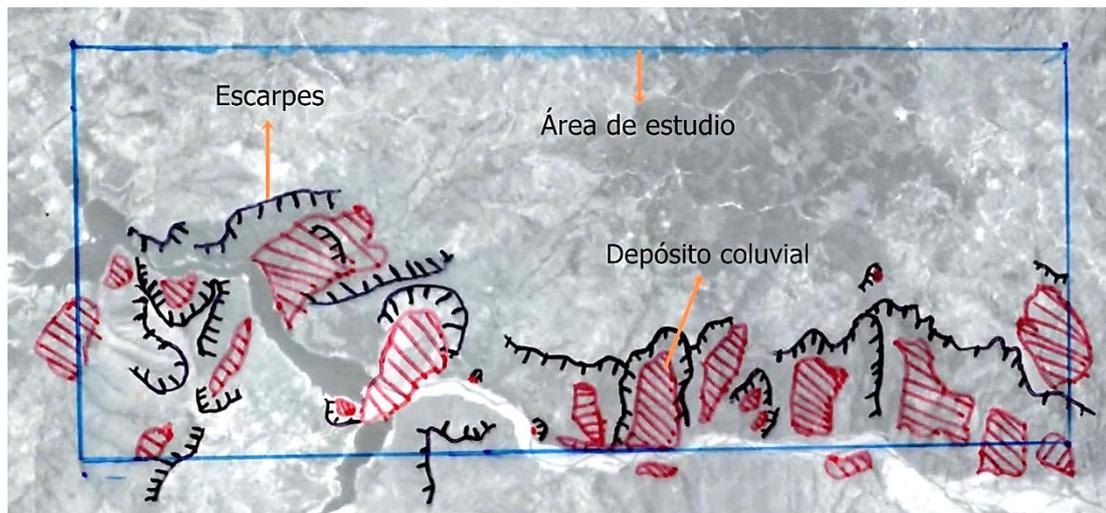


Figura 2. 19. Reconocimiento de movimientos de ladera, mediante fotointerpretación.

El área de estudio está delimitada con un marcador color azul, mientras que los escarpes identificados se dibujaron con marcador color negro, y los depósitos coluviales que se han identificado están remarcados con color rojo.

En total se ha identificado 35 movimientos de ladera, los que serán comprobados por medio del recorrido de campo.

En la figura 2.19 se puede ver una concordancia con el mapa de pendientes de la figura 2.11, donde se puede ver que la máxima pendiente con clasificación g (fuertemente escarpado) con pendiente mayores al 75%, está presente principalmente en la zona donde se ha podido mediante fotointerpretación reconocer la mayoría de los movimientos de ladera, por lo que se concluye que los fenómenos de inestabilidad por derrumbes en la zona de estudio están fuertemente ligados con la inclinación de la pendiente.

Según la recopilación bibliográfica de la geología, por la zona de deslizamientos entre ellos el deslave de La Josefina, está traspasada por posibles fallas geológicas, es decir fallas inferidas lo que podría ser, aparte de la geomorfología un aporte a que se den los deslizamientos. En la siguiente figura se observa claramente identificado el llamado “Deslave de La Josefina”, y el embalsamiento de agua producto del taponamiento de los ríos.

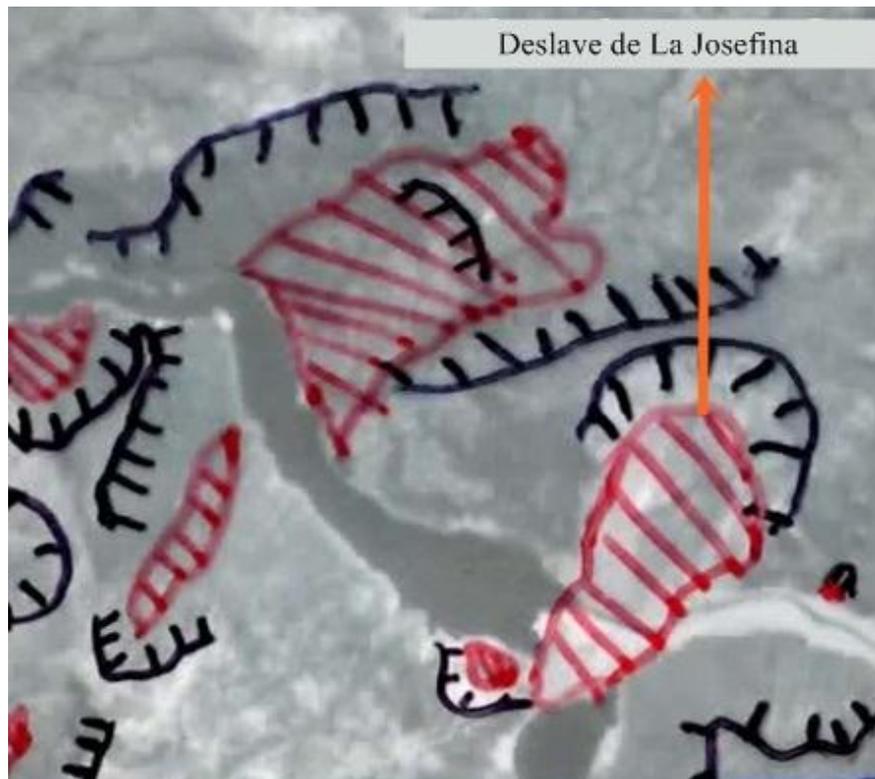


Figura 2. 20. Deslave de La Josefina.

Después de identificar los diferentes movimientos de ladera presentes en la zona de estudio, se procedió a digitalizar en *software* de libre uso la información recolectada (figura 2.20); teniendo en cuenta que las fotografías aéreas no están corregidas ni rectificadas, la digitalización se realizó con ayuda de orto-fotos proporcionadas por entes del gobierno, para posterior a la digitalización acudir a realizar una comprobación de campo, de esta manera poder clasificar dichos movimientos de ladera según su tipo, actividad y desarrollo, y así conocer la peligrosidad de cada movimiento.



Figura 2. 21. Digitalización de fenómenos de inestabilidad.

2.5.2.4. Actividad y desarrollo

Uno de los aspectos más importantes a la hora de abordar el inventario de zonas inestables es el registro de la actividad y desarrollo de los movimientos, concretamente de los deslizamientos, sobre todo en vista a un futuro análisis de la peligrosidad y el riesgo (Chacón et al., 1996), cita tomada de (Fernández, 2001).

Cuando se refiere a la actividad de un movimiento, se habla de si el movimiento está funcionando como tal o está estabilizado.

WP/WLI, 1993, como se citó en (Fernández, 2001) ha dividido la actividad de un movimiento en varios etapas.

- **Activo**, cuando el movimiento se está moviendo en la actualidad.
- **Inactivo**, cuando el último movimiento registrado es superior a un ciclo anual de estaciones (no se ha movido en los últimos 12 meses). Un movimiento inactivo puede estar Dormido o Latente cuando aún permanecen las condiciones que lo provocaron, en caso contrario está Abandonado. El movimiento inactivo puede ser Relicto, cuando el movimiento se desarrolló en unas condiciones geomorfológicas y/o climáticas diferentes a las actuales, o estar Estabilizado, cuando el movimiento ha cesado como consecuencia de cualquier tipo de actuación artificial.
- **Reactivado**, se reserva para cualquier movimiento que vuelve a ser activo, tras un periodo como inactivo.

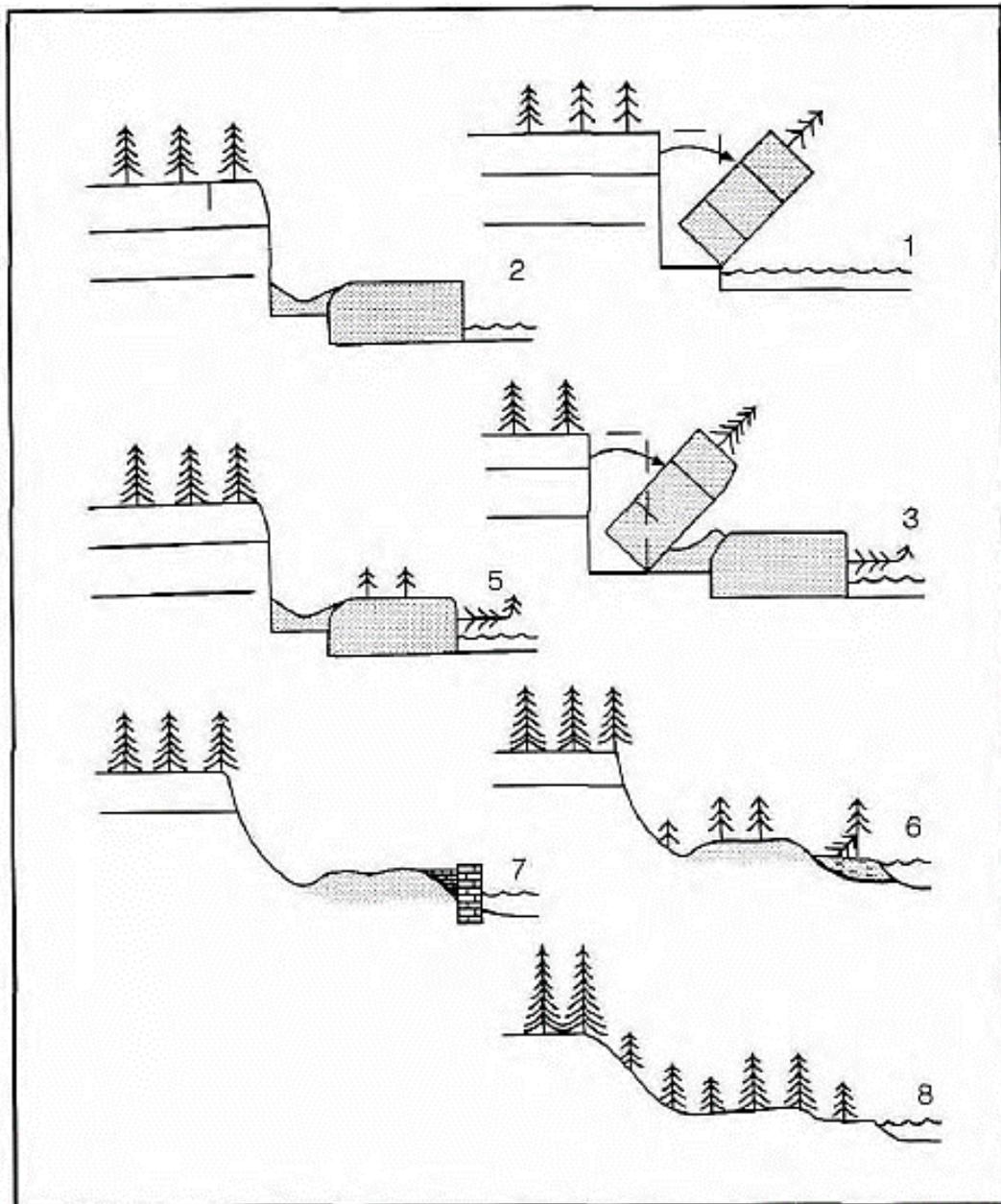


Figura 2. 22. Actividad de los movimientos de ladera, 1. Activo, 2. Suspendido, 3. Reactivado, 5. Dormido (Latente), 6. Abandonado, 7. Estabilizado, 8. Relicto.

Fuente: Alcántara Ayala, 1999.

En cuanto al desarrollo se refiere a los cambios que sufre el terreno en el lugar del deslizamiento, es decir en qué grado de desarrollo se encuentra; el desarrollo de los movimientos de ladera se lo puede dividir en cinco etapas:

1. **Preparatoria o incipiente:** se puede apreciar cambios en manantiales, abombamientos locales, grietas dispersas, grietas de tracción en cabecera.

Puede durar mucho tiempo, tiene una velocidad variable, potencial muy alto, según la magnitud de la masa a movilizar y la trayectoria que toma.

2. **Inicio:** se dan abombamientos, ruidos discontinuos, cambios topográficos, grietas de tracción en cabecera, trazas de escarpes: hundimientos cabeceos suaves. Duración, progresión y continuidad variables.
3. **Desarrollo:** Despliegue del escarpe, delimitación de la masa que desborda la base del plano de rotura; aparición de escarpes menores, hundimientos y cabeceo en cabecera, levantamiento en el frente. Avance de la masa ladera abajo. Puede detenerse en cualquier momento. Duración variable.
4. **Avanzado:** Desarrollo del escarpe principal y de los escarpes menores. Acumulación de la masa en la base de la ladera. Despliegue de bloques menores. Remonte del escarpe principal ladera arriba si es posible.
5. **Agotamiento:** Acumulación de la masa en el pie de la ladera y nueva pendiente media del perfil. Escarpe principal en divisoria o sin posibilidad de remontar. Derrumbe de bloques menores. Inestabilidades locales. Estabilización parcial salvo excavaciones.

Las etapas de desarrollo están dadas desde que un movimiento de ladera comienza hasta su parte de culminación, preparatoria o incipiente hasta agotamiento respectivamente; tomando en cuenta la fase de desarrollo sería posible descubrir movimientos que están en su etapa inicial y tomar medidas cautelares para que el impacto no sea perjudicial a las comunidades expuestas.

2.5.3. Clasificación de los movimientos de ladera según su tipo, actividad y desarrollo

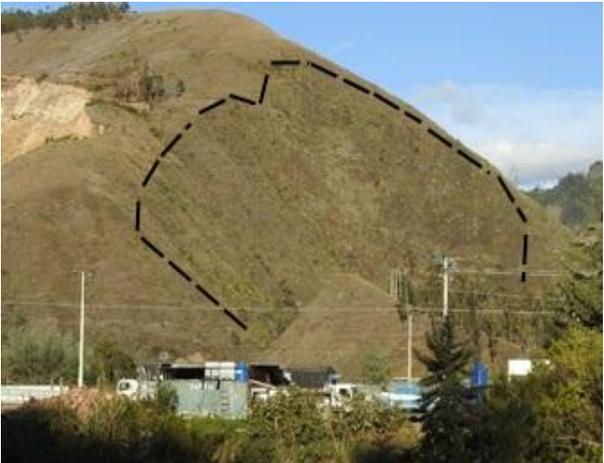
En esta etapa se ha realizado un recorrido de campo con la finalidad de reconocer cada movimiento de ladera y comprobar su existencia, su tipo, actividad y desarrollo, con la ayuda de una cámara fotográfica y un GPS, se acudió a la zona de estudio para constatar los movimientos de ladera.

Mediante el recorrido de campo y con la ayuda de imágenes satelitales se identificó cuatro nuevos movimientos que en la etapa de fotointerpretación no se los ha tomado en cuenta; los movimientos de ladera identificados suman una totalidad de 39.

A cada movimiento se le ha otorgado un código que va desde DL 001 hasta el DL 039, el primero y último respectivamente.

En la siguiente tabla se puede ver la clasificación de cada movimiento, con su código, ubicación en coordenadas y el sector donde se encuentra, tipo de movimiento, actividad y desarrollo. Los escarpes en las fotografías han sido remarcados con líneas entrecortadas color negro y en ocasiones color negra con relleno blanco para una mejor visualización (tabla 2.10).

Tabla 2. 10. Clasificación de los movimientos de ladera.

CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA		
Código	DL 001	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 736,770	
	N: 9.685,986	
Sector	El Descanso	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Relicto)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 002	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 739,104	
	N: 9.685,656	
Sector	Cerro Tamuga	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Relicto)	
Desarrollo	Agotamiento	

Código	DL 003	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 744,691	
	N: 9.685,155	
Sector	Loma Huarangoloma	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo(Latente)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 004	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 737,003	
	N: 9.684,799	
Sector	Cerro Curihurcu	
Tipo	Movimientos complejos	
Actividad	Inactivo (Latente)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 005	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 737,346	
	N: 9.684,177	
Sector	Tejado	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Relicto)	
Desarrollo	Agotamiento	

Código	DL 006	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 737,484	
	N: 9.684,444	
Sector	Cerro Curihurcu	
Tipo	Deslizamiento rotacional	
Actividad	Inactivo (Abandonado)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 007	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 736,983	
	N: 9.685,323	
Sector	Cerro Curihurcu	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Relicto)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 008	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 737,669	
	N: 9.686,268	
Sector	Pastopamba	
Tipo	Reptación	
Actividad	Inactivo (Latente)	
Desarrollo	Avanzado	

Código	DL 009	
Localización		
Coordenadas (Km)	E:741,925	
	N: 9.685,032	
Sector	La Josefina (Cerro Mishquiayacu)	
Tipo	Deslizamiento rotacional	
Actividad	Activo	
Desarrollo	Avanzado	
Código	DL 010 y DL 013	
Localización		
Coordenadas (Km)	E:740,951	
	N:9.684,846	
Sector	La Josefina (Sigsicruz)	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Relicto)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 011	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 739,548	
	N: 9.684,220	
Sector	La Josefina	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Relicto)	
Desarrollo	Agotamiento	

Código	DL 012	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 740,197	
	N: 9.684,067	
Sector	La Josefina	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Relicto)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 014	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 741,627	
	N: 9.684,572	
Sector	Cerro Mishquiayacu	
Tipo	Deslizamiento rotacional	
Actividad	Inactivo (Latente)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 015 y DL 025	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 742,813	
	N: 9.684,382	
Sector	La Josefina (Puente Europa)	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Abandonado)	
Desarrollo	Agotamiento	

Código	DL 016	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 744,070	
	N: 9.684,615	
Sector	Lugmapamba	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Relicto)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 017	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 738,729	
	N: 9.686,003	
Sector	Pastopamba	
Tipo	Deslizamiento rotacional	
Actividad	Inactivo (Latente)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 018	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 739,791	
	N: 9.685,446	
Sector	La Josefina (Deslave de La Josefina)	
Tipo	Deslizamiento rotacional	
Actividad	Inactivo (Estabilizado)	
Desarrollo	Avanzado	

Código	DL 019 y DL 020	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 744,082	
	N: 9.685,769	
Sector	Quebrada Mishquiayacu	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Relicto)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 021, DL022,DL 031 y DL032	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 740,527	
	N: 9.686,211	
Sector	La Josefina (Malpa)	
Tipo	Deslizamiento rotacional	
Actividad	Inactivo (Latente)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 023	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 739,927	
	N: 9.684,717	
Sector	La Josefina	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Activo	
Desarrollo	Avanzado	

Código	DL 024	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 740,746	
	N: 9.684,174	
Sector	Sigsicruz	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Activo	
Desarrollo	Avanzado	
Código	DL 026	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 741,777	
	N: 9.684,121	
Sector	La Josefina	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Abandonado)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 027	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 737,419	
	N: 9.685,845	
Sector	El Descanso	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Abandonado)	
Desarrollo	Agotamiento	

Código	DL 028	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 737,176	
	N:9.685,900	
Sector	El Descanso	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Activo	
Desarrollo	Avanzado	
Código	DL 029 y DL 030	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 742,406	
	N: 9.685,071	
Sector	Quebrada Mishquiayacu	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Latente)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 033	
Localización		
Coordenadas (Km)	E:741,339	
	N:9.685,757	
Sector	La Josefina (Tamuga)	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Latente)	
Desarrollo	Agotamiento	

Código	DL 034	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 743,408	
	N: 9.684,571	
Sector	Lugmapamba	
Tipo	Deslizamiento rotacional	
Actividad	Inactivo (Latente)	
Desarrollo	Agotamiento	

Código	DL 035	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 743,648	
	N: 9.685,098	
Sector	Lugmapamba	
Tipo	Deslizamiento rotacional	
Actividad	Inactivo (Latente)	
Desarrollo	Agotamiento	

Código	DL 036	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 737,527	
	N: 9.685,605	
Sector	Cerro Curihurcu	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Inactivo (Relicto)	
Desarrollo	Agotamiento	

Código	DL 037	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 741,903	
	N: 9.683,996	
Sector	Cerro Mishquiayacu	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Activo	
Desarrollo	Avanzado	
Código	DL 038	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 738,658	
	N: 9.684,308	
Sector	La Josefina	
Tipo	Deslizamiento rotacional	
Actividad	Inactivo (Latente)	
Desarrollo	Agotamiento	
Código	DL 039	
Localización		
Coordenadas (Km)	E: 739,501	
	N: 9.684,483	
Sector	La Josefina	
Tipo	Derrumbe	
Actividad	Activo	
Desarrollo	Avanzado	

2.5.3.1. Mapa de fenómenos de inestabilidad

Al haber realizado la fotointerpretación y luego el reconocimiento in-situ de los movimientos de ladera, corroborar y corregir la información obtenida, se procede a digitalizar los elementos identificados en el área de estudio, para posteriormente culminar con la realización del mapa de riesgos por deslizamientos.

El mapa que se presenta a continuación es un mapa de fenómenos de inestabilidad por movimientos de ladera. Este mapa presenta información relevante acerca de los movimientos de ladera que se encontraron en el área de estudio; en el paso anterior se clasificó cada movimiento según su tipo, actividad y desarrollo, con estos datos que se obtuvieron se creó el mapa de fenómenos de inestabilidad.

Se presenta el tipo de movimiento encontrándose mayormente derrumbes (desprendimientos), seguido por deslizamientos rotacionales, además se identificó un movimiento de reptación y un movimiento complejo que es la combinación de varios movimientos.

Además se describe la actividad de cada movimiento, obteniéndose un mayor porcentaje de movimientos inactivos, y unos pocos activos que son los que se debe tomar con una mayor precaución al analizarlos; el “Deslave de La Josefina” se ha tomado actualmente como un movimiento inactivo estabilizado ya que en los últimos años se han dado labores de estabilización por parte de los municipios a los que pertenece la zona de estudio.

En La vía principal se encontraron algunos derrumbes activos, ya que ocurrieron dentro del último año, por tal razón se puede ver material coluvial acumulado en los bordes de la vía.

Cabe destacar que en la aparición de los movimientos de ladera influyen factores muy diversos, los cuales son los desencadenantes (originan la inestabilidad) como son: sismicidad, incisión fluvial, precipitaciones o actividad humana; y los condicionantes (favorecen la inestabilidad) son: la geometría, saturación de agua, geología, vegetación, morfología, etc. (Bonachea, 2006)

El mapa de fenómenos de inestabilidad, fue el resultado del análisis del terreno para encontrar los diferentes tipos de movimientos de masa, este mapa se lo puede ver de mejor manera en el anexo 3.

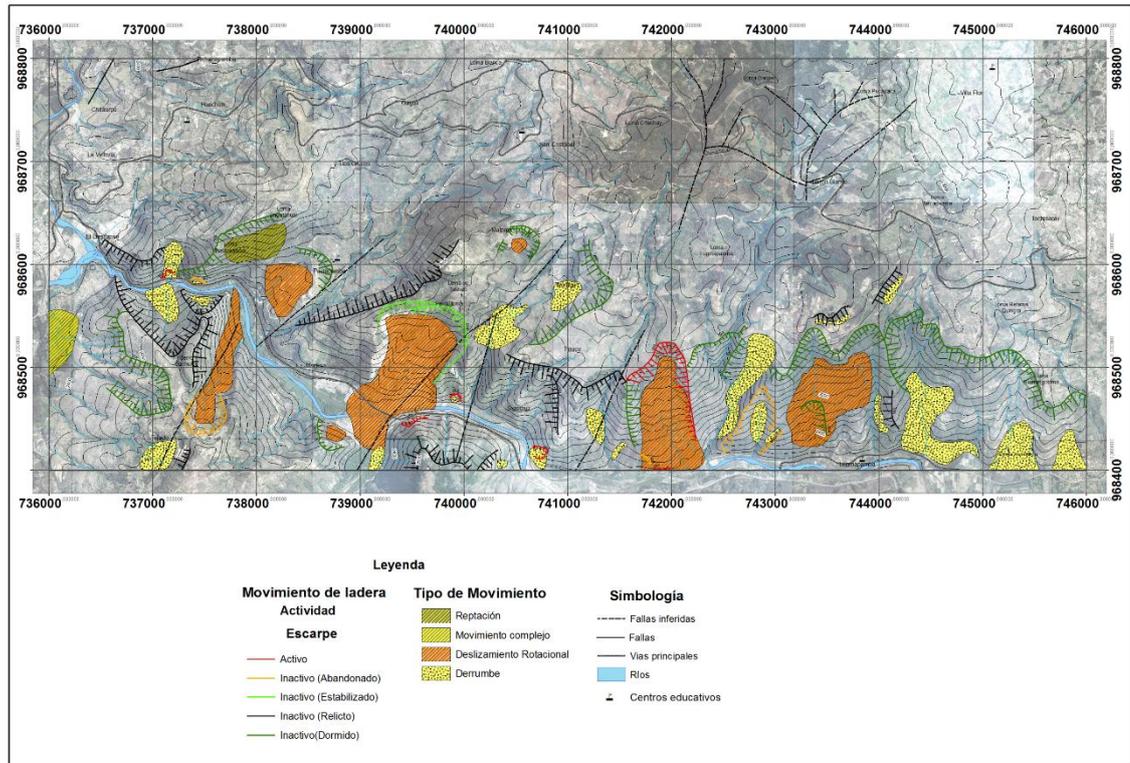


Figura 2. 23. Mapa de fenómenos de inestabilidad por movimientos de ladera.

2.5.4. Análisis de riesgos en el área de estudio

Para analiza el riesgo en el área de estudio se tomó en cuenta algunas variables que permiten calcular de una manera más acertada el riesgo por movimientos de masa.

2.5.4.1. Vulnerabilidad y exposición

Se ha citado anteriormente en los mapas realizados que la zona de estudio está atravesada por una vía de gran afluencia vehicular, ya que conecta pueblos que interactúan económicamente de la provincia del Azuay y Cañar, entre los más importantes Cuenca y Azogues respectivamente. La vía en el tramo El Descanso- El Tاهual- puente Europa (desde aquí en adelante vía principal) está construida en los márgenes del río Paute; la zona morfológicamente está constituida por pendientes mayores al 75% lo que aumenta el riesgo.

Algunas casas se han construido en los depósitos coluviales que han dejado los movimientos, este movimiento es inactivo, pero no es recomendable construir en lugares donde no se vea estabilidad total (figura 2.23), también existe la probabilidad de que un movimiento de ladera pase de ser inactivo otra vez a ser activo.



Figura 2. 24. Deslizamiento en la zona de Lugmapamba, casas construidas en la zona de deslizamiento.

Al sumarse a la vulnerabilidad y exposición la probabilidad de un suceso desencadenante en un movimiento de ladera se da un peligro, es decir, al tener comunidades expuestas y vulnerables ante un movimiento de ladera, el riesgo de pérdidas económicas y vidas humanas es alto.

2.5.4.2. Peligro sísmico

Se conoce ciertamente que existe una muy baja probabilidad de predecir la ocurrencia de un sismo, esta es la razón por la que la comunidad expuesta a este tipo de fenómenos es vulnerable ante ellos. En la historia del Ecuador se han dado varios desastres por causa de los sismos ocurridos.

En el caso de movimientos de ladera un sismo puede ser un detonante para que ocurran, por tal razón no se lo puede dejar sin tomar en cuenta en este trabajo, según (Demoraes & D'ercole, 2001) el área de estudio de este trabajo que está en las

provincias de Azuay y Cañar, es una zona con nivel alto en la probabilidad de ocurrencia de sismos. (Figura 2.25).

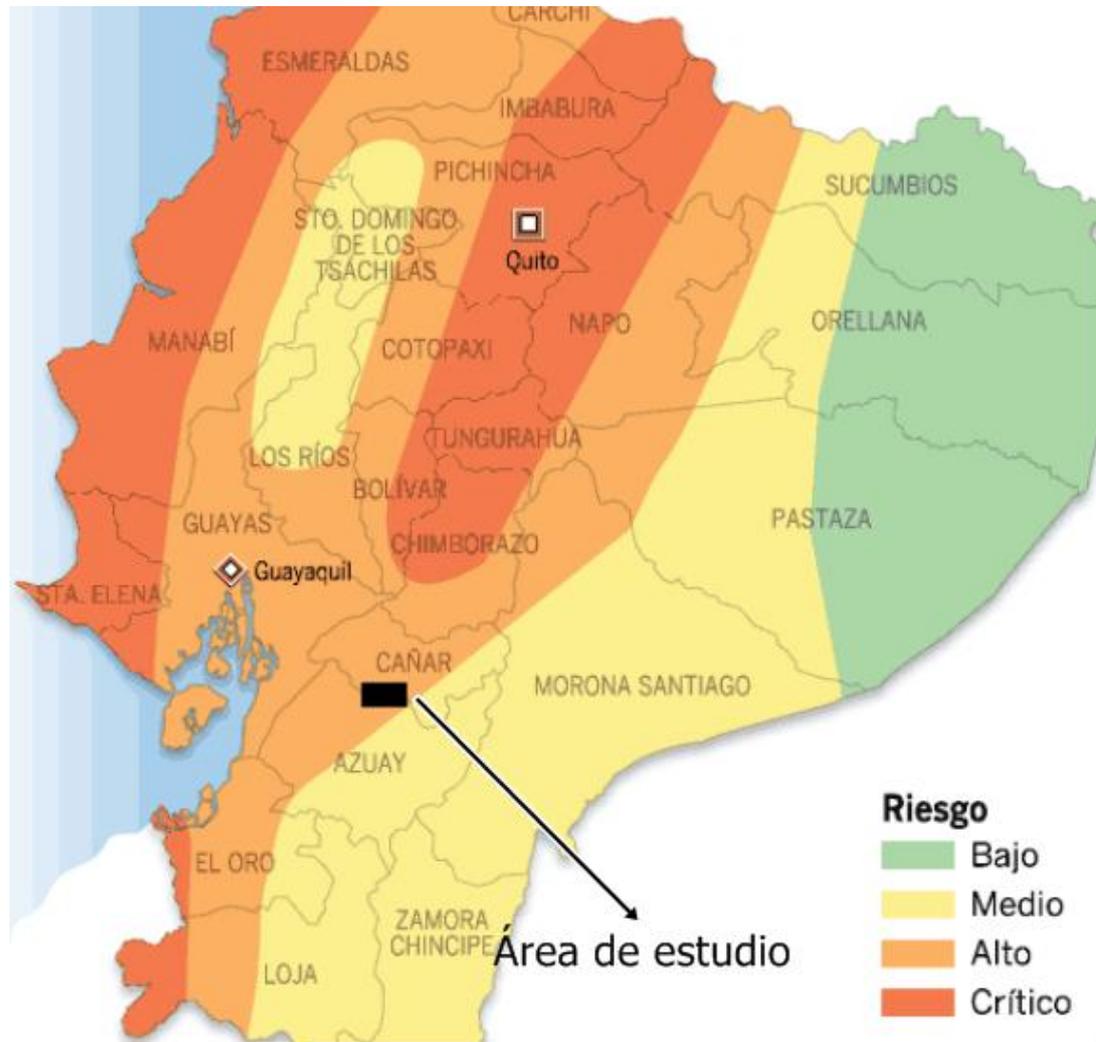


Figura 2. 25. Nivel de amenaza sísmica en el Ecuador, la zona de estudio se encuentra en un nivel alto, que está representado por en color naranja.

Fuente: El Universo, 2018.

Luego de haber recopilado información redundante del sector La Josefina y sus zonas aledañas, tales como, geología, geomorfología, fenómenos de inestabilidad, pluviosidad anual, sismicidad, etc., se procede a agrupar esta información para representarla en un mapa de peligrosidad por fenómenos de inestabilidad.

2.5.4.3. Mapa de peligrosidad debido a fenómenos de inestabilidad del sector La Josefina y sus zonas aledañas

La susceptibilidad o peligrosidad (Suárez García, 2006) como se citó en (Suárez, 1998), expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno.

Para analizar los deslizamientos o movimientos de ladera se puede utilizar dos sistemas de análisis, en nuestro caso se tomará el sistema teórico.

1. Sistema empírico. Se observa directamente la mayor cantidad de deslizamientos ocurridos en el área estudiada y se evalúa la relación entre los deslizamientos y la geomorfología del terreno.
2. Sistema teórico. Se mapea el mayor número de factores que se considera que puedan afectar la ocurrencia de deslizamientos y luego se analiza la posible contribución de cada uno de los factores.

Para la preparación de un mapa de susceptibilidad a deslizamientos, no existe un procedimiento estandarizado; existe mucha libertad en la determinación de los pasos a seguir, más sin embargo, el mapa de susceptibilidad se considera un mapa en el que se zonifican las unidades de terreno que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad, la cual es obtenida de un análisis multivariable entre los factores que pueden producir deslizamientos y el mapa de inventario de deslizamientos (Suárez García, 2006).

La cita anterior expresa como se mencionó anteriormente, la existencia de desencadenantes y condicionantes al momento de analizar los movimientos de ladera, en la siguiente figura se muestra los factores que se deben tomar en cuenta para la realización de un mapa de riesgos.

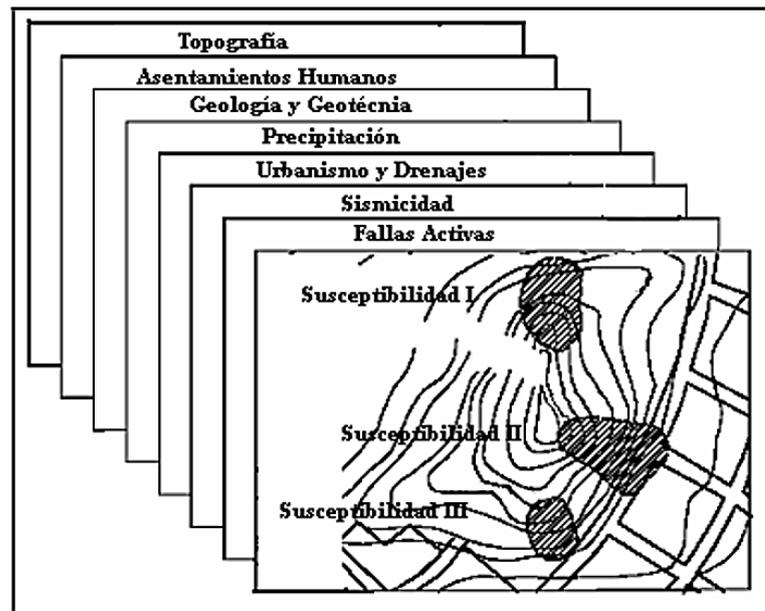


Figura 2. 26. Factores que se pueden convertir en desencadenantes de movimientos.

Fuente: Suárez García, 2006.

En el caso de estudio de este trabajo, la topografía se la presenta en porcentajes

2.5.4.4. Índice de susceptibilidad a deslizamientos

La susceptibilidad a deslizamientos es la inclinación que tiene un área a sufrir un deslizamiento como resultado de la interacción de los “factores de susceptibilidad” y los “factores detonantes” (Chaverri Molina, 2016, pág. 11).

Este índice se lo puede representar por medio de la siguiente ecuación.

$$H = FS \times FD$$

Donde:

H= Grado de susceptibilidad a deslizamientos

FS= Susceptibilidad intrínseca del sitio

FD= Sumatoria de los factores detonantes.

La susceptibilidad intrínseca del sitio (FS) está representada por la interacción multiplicativa de los factores de pendiente, litología y humedad del suelo; y que el factor detonante (FD) corresponde a la adición de los agentes de sismicidad y lluvias.

$$FS= Sr \times Sl \times Sh$$

$$FD= Ts + Tp$$

Donde:

Sr= Factor pendiente o relieve relativo

Sl= Factor litológico

Sh= Factor de humedad del suelo

Ts= Sismicidad

Tp= Intensidad de precipitaciones

2.5.4.4.1. Factor pendiente o topografía (Sr)

El factor pendiente ha sido analizado con anterioridad en este trabajo por lo que no es necesario introducir nuevamente al tema, por esta razón, se realizará explícitamente la clasificación del factor pendiente del área de estudio.

Este factor analiza el grado de inclinación de la pendiente de las geo formas, y les da un valor, que va desde cero a cinco, muy bajo y muy alto respectivamente; esta clasificación se refiere a la probabilidad de que este factor contribuya a la susceptibilidad de movimientos de ladera; mientras mayor pendiente, mayor peligro de que ocurra un deslizamiento.

La clasificación se dará por medio de los valores de la siguiente tabla:

Tabla 2. 11. Factor pendiente (Sr) y su clasificación en índice de susceptibilidad a movimientos de ladera.

Rango (%)	Calificativo	Factor pendiente (Sr)
0-3	Muy bajo	0
3-12	Bajo	1
12-25	Moderado	2
25-50	Medio	3
50-75	Alto	4
>75	Muy Alto	5

Fuente: Mora & Vahrson, 1994.

2.5.4.4.2. Factor litológico (SI)

Este factor caracteriza la estructura de suelos y rocas, tomando en cuenta aspectos como composición, grado de alteración, resistencia, porosidad, permeabilidad. Permite relacionar la composición geológica con la incidencia de deslizamientos (Chaverri Molina, 2016). Los valores se asignan de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2. 12. Clasificación de diferentes litologías y su grado de susceptibilidad.

Litología	Características físico-mecánicas	Grado de susceptibilidad	Valor factor (SI)
Aluviones: gruesos, permeables, compacto, con nivel freático bajo. Calizas: duras, permeable. Intrusivos: poco fisurados, bajo nivel freático. Basaltos, andesita, ignimbritas y similares: sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metamórficas: sanas, poco fisuradas, nivel freático bajo.	Sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevada, fisuras sanas sin rellenos.	Bajo	1
Rocas sedimentarias: poco alteradas, estratificación maciza (decamétrica o métrica), poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas o metamórficas: medianamente fisuradas o alteradas, nivel freático a profundidades intermedias.	Resistencia al corte media a elevada, fracturas cizallables.	Moderado	2
Rocas sedimentarias, rocas intrusivas, calizas duras, lava, ignimbritas, tobas poco soldadas o metamórficas: medianamente alteradas. Coluvios, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados: drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos.	Resistencia al corte: moderada a media, fracturación importante.	Medio	3
Aluviones fluvio-lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, sectores de alteración hidrotermal, rocas fuertemente alteradas y fracturadas con estratificaciones y foliaciones a favor de la pendiente, con rellenos arcillosos, niveles freáticos someros.	Resistencia al corte: moderada a baja.	Alto	4
Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica: con estado de alteración avanzado, drenaje pobre, se incluyen las categorías 3 y 4 con niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos muy elevados.	Resistencia al corte: muy baja, materiales blandos con muchos finos.	Muy alto	5

Fuente: Mora & Vahrson, 1994.

2.5.4.4.3. Factor humedad del suelo (Sh)

Este factor cuantifica la influencia de la humedad acumulada en el suelo en la ocurrencia de los movimientos de ladera.

Según Mora y Vahrson 1994, la clasificación se da por medio de la siguiente tabla.

Tabla 2. 13. Clasificación del factor de humedad del suelo, en relación a la influencia de la susceptibilidad a movimientos de ladera.

Promedio mensual de precipitaciones (mm/mes)	Valor
< 125	0
125 - 250	1
> 250	2

Fuente: Mora & Vahrson, 1994.

Con los valores de la tabla anterior, se asigna un valor a cada mes del año; de tal forma que la sumatoria resultará en valores que oscilan entre 0 y 24 unidades (Chaverri Molina, 2016). Los valores obtenidos en la tabla anterior se los reclasifica con los valores de la siguiente tabla.

Tabla 2. 14. Factor humedad del suelo (Sh), resultado de la clasificación de los valores promedios de precipitación mensual acumulada, según la tabla 2.13.

Valor acumulado del índice de precipitación	Clasificación	Factor Sh
0 – 4	Muy bajo	1
5 – 9	Bajo	2
10 – 14	Medio	3
15 – 19	Alto	4
20 – 24	Muy alto	5

2.5.4.4.4. Intensidad sísmica (Ts)

Es un parámetro que cuantifica la influencia de la actividad sísmica en los deslizamientos de tierra. Se expone la sismicidad como un factor capaz de generar deslizamientos en proporción directa con su intensidad (Chaverri Molina, 2016).

2.5.4.4.5. Intensidad de precipitaciones (Tp)

Se considera la influencia de las lluvias potencialmente generadoras de deslizamientos. Se considera la lluvia máxima que ocurre en 24 horas con un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 2. 15. Clasificación del factor de intensidad de precipitaciones.

Lluvias máximas (mm) en 24 horas, período de retorno 100 años.	Clasificación	Factor Tp
< 100	Muy bajo	1
100 - 200	Bajo	2
200 - 300	Medio	3
300 - 400	Alto	4
> 400	Muy alto	5

Fuente: Mora & Vahrson, 1994.

El (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2013), en la información de precipitaciones nos brinda una precipitación máxima en 24 horas de 78, 2 mm, por esta razón la zona tiene un factor de precipitación 1 y clasificación muy bajo.

2.5.4.4.6. Clasificación del Índice de susceptibilidad

El método que se está usando define la clasificación a partir de la interacción y ponderación de los factores descritos anteriormente se realiza el cálculo de la susceptibilidad. Cuando se obtiene un resultado se lo interpreta según la siguiente tabla:

Tabla 2. 16. Índice de susceptibilidad a movimientos de ladera.

Índice de susceptibilidad a deslizamientos	Clasificación	Potencial de deslizamiento
0 - 6	I	Muy bajo
7 - 32	II	Bajo
33 - 512	III	Moderado
513 - 1250	IV	Alto
> 1250	V	Muy alto

Fuente: Mora & Vahrson, 1994.

Al obtener los resultados proporcionados por la tabla 2.16, se recomienda dividir el rango de valores obtenidos en cinco clases de susceptibilidad (muy baja, baja, moderada, alta y muy alta), que se describen a continuación.

Tabla 2. 17. Clasificación de un movimiento de ladera, su potencial y las características que lo representan.

Clasificación	Potencial de deslizamiento	Características
I	Muy baja	Sectores estables, no se requieren medidas correctivas. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc.
II	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado.
III	Moderada	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, bio estabilización de terrenos, etc. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendable para usos urbanos de baja densidad.
IV	Alta	Probabilidad de deslizamiento alta (< 50%) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Para su utilización se deben realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
V	Muy alta	Probabilidad de deslizamiento muy alta (> 50%) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Prohibido su uso con fines urbanos, se recomienda usarlos como áreas de protección.

Fuente: Chaverri Molina, 2016.

El mapa de peligrosidad se lo ha de clasificar en cuatro zonas principales, donde cada una estará representada por una simbología y color característico:

- Zona de peligrosidad muy alta (ZPMA), representada por el color rojo. 
- Zona de peligrosidad alta (ZPA), representada por el color Naranja. 
- Zona de peligrosidad moderada (ZPM), representada por el color amarillo. 
- Zona de peligrosidad baja (ZPB), representada por un color verde claro. 
- Zona de peligrosidad muy baja (ZPMB), representada por un color verde oscuro. 

CAPÍTULO III

VALIDACIÓN DE INFORMACIÓN Y RESULTADOS

3.1. Discusión y análisis de resultados

Utilizando la metodología presentada anteriormente, se analizará el sector La Josefina y sus zonas aledañas, de esta manera se obtendrá el mapa de peligrosidad del sector de estudio, utilizando conjuntamente el índice de susceptibilidad, ocurrencia de fenómenos de inestabilidad, la exposición y vulnerabilidad de las comunidades presentes en el área de estudio.

3.1.1. Factor pendiente (Sr)

En este trabajo la geomorfología fue analizada con anterioridad, los resultados se ven en la figura 2. 10, los resultados estadísticos arrojados en el análisis geomorfológico son analizados en la siguiente tabla.

Tabla 3. 1. Análisis del factor pendiente del sector La Josefina y sus zonas aledañas.

Rango (%)	Área (Ha)	Área (%)	Calificativo	Factor pendiente (Sr)
0-3	37,96	0,95%	Muy bajo	0
3-12	412,90	10,32%	Bajo	1
12-25	1472,83	36,82%	Moderado	2
25-50	1379,24	34,48%	Medio	3
50-75	615,59	15,39%	Alto	4
>75	81,48	2,04%	Muy Alto	5

En la tabla anterior se puede observar el valor del área en porcentaje y en hectáreas, y su clasificación según el factor pendiente (Sr).

3.1.2. Factor litológico (Sl)

El factor litológico será analizado según la geología del área de estudio, en donde se analizará individualmente cada formación presente en el área de estudio.

Tabla 3. 2. Calificación del factor litológico de la zona de estudio.

Nombre	Símbolo	Área (Ha)	Área (%)	Grado de susceptibilidad	Valor factor SI
Depósito coluvial	Qc	495,36	12,38%	Alto	4
Depósitos aluviales recientes	Qa	118,99	2,97%	Bajo	1
Formación Azogues	MAZ	114,97	2,87%	Moderado	2
Formación Biblián. Domo andesítico y riolítico	MB	149,32	3,73%	Medio	3
Formación Biblián. Domo andesítico y riolítico	Mba	167,51	4,19%	Moderado	2
Formación Llacao	PLL	51,98	1,30%	Bajo	1
Formación Loyola	ML	29,92	0,75%	Medio	3
Formación Quingeo	EOq	43,85	1,10%	Moderado	2
Formación Tarqui	PT	1765,21	44,13%	Medio	3
Formación Yunguilla	KPy	271,13	6,78%	Bajo	1
Intrusión granodiorítica: La Josefina y Culebrilla	Gd	185,89	4,65%	Moderado	2
Terraza aluvial 1	Qt1	35,97	0,90%	Bajo	1
Unidad Maguazo	Jz	569,90	14,25%	Alto	4

3.1.3. Factor humedad del suelo (Sh)

Para analizar este factor se tomó como fuente el anuario meteorológico presentado por (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2013). En el cual se presenta las precipitaciones mensuales que se dan en Ecuador; la información fue analizada encontrándose que la zona de estudio se da una precipitación mensual menor a 125 mm y esto en todos los meses del año, lo que según de clasificación del factor Sh nos da un resultado de cero; al sumar el resultado de todos los meses el valor igualmente nos da cero, resultando un factor de humedad del suelo (Sh) igual a uno, con clasificación muy bajo.

3.1.4. Intensidad sísmica (Ts)

Según la figura 2.25 toda el área de estudio se encuentra en el mismo rango de sismicidad mostrando un valor alto; por lo tanto se le dará un valor de cinco en la tabla de índice de susceptibilidad a movimientos.

3.1.5. Intensidad de precipitación (Tp)

Las precipitaciones máximas diarias presentadas en el área de estudio están por debajo del valor de los 100 mm; por lo tanto el área de estudio en cuanto al factor intensidad de precipitación (Tp) toma un valor de uno y clasificación muy bajo.

3.1.6. Índice de susceptibilidad a deslizamientos

En la siguiente tabla se presentan los resultados arrojados mediante el análisis de los factores desencadenantes y los factores de susceptibilidad.

Tabla 3. 3. Área en porcentaje que interviene con cada valor según el índice de susceptibilidad, correspondiente a cada factor.

	Valor					
	I	II	III	IV	V	VI
	Área (%)					
Factor pendiente o topografía (Sr)	0,95%	10,32%	36,82%	34,48%	15,39%	2,04%
Factor litológico (Sl)	11,95%	12,81%	48,61%	26,63%		
Factor humedad del suelo (Sh)	100%					
Intensidad sísmica (Ts)					100%	
Intensidad de precipitaciones (Tp)	100%					

En la tabla anterior se observa que el factor de humedad e intensidad de precipitaciones, toma el valor de uno para toda el área de estudio, esto se debe a que estos datos han sido tomados de fuentes secundarias, y la zona de estudio es relativamente pequeña; igualmente la intensidad sísmica toma un valor de cinco para toda el área de estudio.

Luego de interpretar la información recolectada en el índice de susceptibilidad a movimientos, se procedió a darle un valor adicional a las zonas donde se tiene registro de movimientos de ladera que han ocurrido y que se mantienen en diferente actividad.

3.2. Resultados

Como resultado del análisis del procedimiento anterior para identificar los terrenos susceptibles a sufrir deslizamientos, la vulnerabilidad de las comunidades aledañas, la exposición de las mismas y la pasada ocurrencia de fenómenos de movimientos de ladera se presenta la siguiente información contenida en una tabla.

Tabla 3. 4. Índice de susceptibilidad a movimientos del sector La Josefina y sus zonas aledañas.

Índice de susceptibilidad a deslizamientos	Clasificación	Potencial de deslizamiento	Área (Ha)	Área (%)
0 - 6	I	Muy bajo	1539,49	38,49%
7 – 32	II	Bajo	866,54	21,66%
33 - 512	III	Mediano	727,41	18,19%
513 - 1250	IV	Alto	592,61	14,82%
> 1250	V	Muy alto	273,96	6,85%

En esta tabla se observa que la zona de estudio contiene un área con peligros a deslizamientos con clasificación I, potencial de deslizamiento muy bajo del 38,49% del área total de estudio, por lo tanto se podría interpretar que la zona de estudio esta predominada por áreas con muy baja peligrosidad. Por otra parte el área que tiene mayor interés para este estudio es aquella que está en un potencial de deslizamiento de alto a muy alto, lo que indica que la superficie dentro de esta clasificación (IV y V), es altamente susceptible a sufrir movimientos de ladera, el porcentaje de área que encierra esta clasificación es de 14,82 % para alto y 6,85 % para muy alto, la zona donde existe mayor peligrosidad es relativamente pequeña, pero no se la debe subestimar ya que en algunos puntos de estas áreas se ubican comunidades vulnerables, además por el sector con peligrosidad alta y muy alta, cruza la vía que une a las poblaciones de Cuenca, Azogues, Gualaceo, etc., la cual tiene un alto índice de circulación vehicular, por lo que el peligro es constante en esta zona,

especialmente si se dan uno o más de los detonantes y desencadenantes de deslizamientos o movimientos de ladera.

Luego de interpretar la información obtenida y recopilada en la realización de este trabajo, como son: información geológica, información geomorfológica e información de fenómenos de inestabilidad principalmente, se procede a presentar un mapa de peligrosidad por fenómenos de inestabilidad o movimientos de ladera. Este mapa presenta mediante gráficos y sus colores, la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos, siendo la más probable la zona de color rojo (muy alto), en contraste la zona sin peligros encontrados o con una probabilidad poco apreciable se expresa por un color crema (muy bajo); donde se ha encontrado movimientos de ladera, sumado la geología y las altas pendientes, se ha optado por darle una clasificación IV o V.

El mapa siguiente se puede visualizar de mejor manera en el anexo 3.

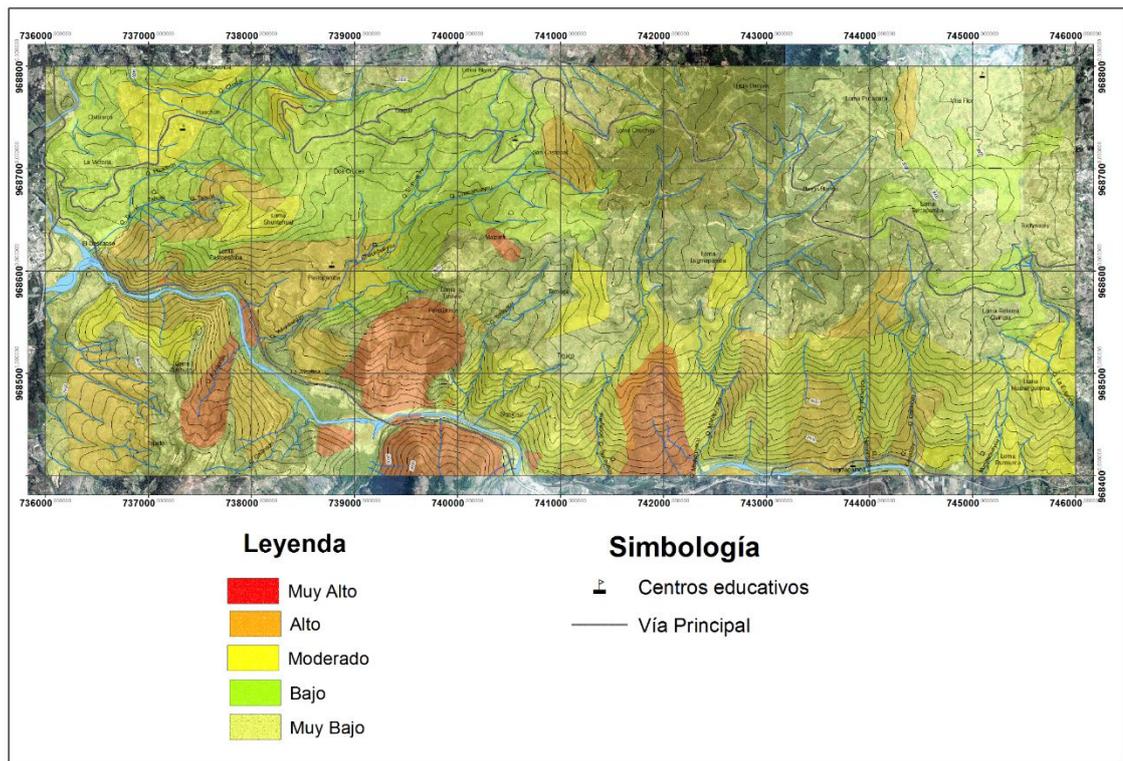


Figura 3. 1. Mapa de riesgos del sector La Josefina y sus zonas aledañas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Mediante el método de fotointerpretación se hizo posible identificar estructuras geológicas, geomorfológicas y de riesgos en el sector La Josefina y sus zonas aledañas.
- La información recolectada al realizar la fotointerpretación y luego con la corroboración de la información por medio de recorridos de campo, permitió la caracterización presentada en mapas: geológico, geomorfológico, de fenómenos y de riesgos por movimientos de ladera del sector La Josefina y sus zonas aledañas.
- Realizar un reconocimiento de las estructuras encontradas y comprobar la información producto de la fotointerpretación mediante un recorrido de campo, es de vital importancia a la hora de reducir la incertidumbre y por lo tanto estar seguros con la información recopilada.
- En el análisis geológico se pudo identificar cuerpos intrusivos que representan cámaras magmáticas emplazadas a poca profundidad, constituidas principalmente por dioritas y granodioritas, por ser rocas ígneas son de buena a mediana calidad, y se los encuentra muchas veces fracturadas como el caso del conocido Deslave de La Josefina. Estas intrusiones pueden ser utilizadas en la industria de la construcción, con facilidad de extracción en material alterado y difícil (utilización de explosivos) en macizos resistentes.
- El análisis de la geología, geomorfología y de todos los desencadenantes y condicionantes de movimientos de ladera proporcionó información valiosa a la hora del análisis de peligrosidad por deslizamientos, la misma que proporciona un aumento o disminución de peligrosidad en el área de estudio.
- Se pudo notar que una gran mayoría de movimientos de ladera ocurrieron en la unidad Maguazo (Jz), lo que nos permite interpretar que la litología y demás características geológicas están intrínsecamente relacionadas con los movimientos de ladera.
- De la misma manera que la geología, la geomorfología influye a la ocurrencia de movimientos de ladera; se observó que la mayoría de movimientos de ladera identificados están en una zona de calificación moderadamente

escarpado (pendientes entre 50 y 75%) y fuertemente escarpado (pendientes mayores al 75%).

- El embalsamiento de agua que dejó el taponamiento de los ríos Jadán y Paute, y su posterior desagüe se convirtieron en desencadenante en los movimientos de ladera encontrados en el margen del río Paute.
- Las lluvias y humedad con altos valores diarios presentan problemas de inestabilidad para el terreno suelto, rocas fracturadas, coluviones de los movimientos ocurridos; según la información que presenta el (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2013), el área de estudio presenta una precipitación media que no afecta en gran manera la estabilidad del terreno, pero teniendo en cuenta el cambio climático que ha sufrido el mundo entero en las últimas décadas se debería tomar medidas de corrección, sobre todo en los lugares donde anteriormente se han presentado movimientos de ladera.
- La peligrosidad alta y muy alta no representan gran parte del área total de estudio, con 14,82% y 6,85% respectivamente del total de la zona estudiada, lo que se permite interpretar que el área de estudio en conjunto contiene un peligro de mediano a bajo.
- La vía principal cruza principalmente por las zonas donde se da una peligrosidad alta y muy alta lo que indica que se debe tomar medidas preventivas, como estabilización de taludes, control de caídas de rocas, señalización de zonas peligrosas, etc.
- En el reconocimiento de campo realizado, se ha podido constatar comunidades situadas en los depósitos coluviales que han dejado los deslizamientos, de igual manera se identificó construcción de vías de segundo orden.

Recomendaciones:

- La fotointerpretación debe estar relacionada de manera directa con los nuevos métodos que utiliza la tecnología para el reconocimiento del terreno, ya que al trabajar conjuntamente se podrá verificar y procesar de manera mucho más rápida la información recolectada.
- Al realizar el recorrido de campo e identificar las diferentes estructuras geológicas, geomorfológicas y de riesgos, se debe tomar precaución en el uso

de equipos de protección personal, y no exponerse en zonas donde se perciben peligros presentes.

- Realizar una revisión periódica de los movimientos de ladera que se han encontrado, de esta manera mantener actualizado el mapa de riesgos y presentar las medidas preventivas pertinentes para cada caso.
- Para las zonas de peligrosidad muy baja y baja se permite la construcción, ya que son sectores aptos para usos urbanos de alta densidad, en los lugares de relleno se debe realizar un análisis de suelo antes de la construcción.
- En las zonas de peligrosidad moderada no se debe permitir la construcción de infraestructura sin antes haber realizado estudios geotécnicos y mejorar las condiciones del sitio. Entre las mejoras se incluye los movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo y encauce de aguas superficiales, etc.
- Respecto a las zonas de peligrosidad alta es recomendable antes de su uso realizar estudios de estabilidad a detalle e implementar medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector; al presentarse sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta la zona es más susceptible a sufrir movimientos de ladera.
- Ya que las zonas de peligrosidad muy alta son de especial atención, se debe realizar medidas preventivas en cuanto a la susceptibilidad a movimientos de ladera, por ejemplo: estabilización, movimiento de tierras, manejo de aguas superficiales y subterráneas. Para estas zonas es recomendable no realizar ningún tipo de construcción con fines urbanos y usarlos como áreas de protección.
- A las autoridades de gobierno seguir con las medidas preventivas que se han venido dando en la vía principal, de tal manera que los riesgos que se dan por movimientos de ladera sean notablemente reducidos.
- La señalización y avisos preventivos principalmente para las personas que utilizan la vía principal es de vital importancia, es recomendable por lo tanto mantener una señalización correcta indicando las zonas de mayor peligro a la caída de rocas y ocurrencia de deslizamientos, de esta manera los usuarios podrán estar atentos y prevenidos acerca de los diferentes movimientos de ladera, principalmente a la caída de rocas.

- En los lugares de la vía principal donde se presentan derrumbes (caídas de bloques de roca), por la dificultad de trabajar los cerros que son traspasados por la vía, se recomienda la construcción de túneles falsos los cuales son construidos en la misma vía reduciendo el costo de excavación y extracción del macizo rocoso; en la actualidad este método para reducir el riesgo provocado por caídas de roca es muy utilizado, por ejemplo: el túnel falso en la vía Bucaramanga-Barrancabermeja en Colombia.
- Otra opción para el control de caída de rocas es la utilización de pernos de anclaje, este método se lo puede combinar con mallas que contengan la caída de bloque pequeños, un ejemplo de este método se ve en la autopista Azogues-Cuenca en Ecuador. También se puede utilizar si se cree pertinente solamente mallas con el fin de que el material desprendido se acumule en la base de la ladera.
- En la parte alta de los cerros, los cuales tiene una inclinación preferencial hacia la principal se ha optado por colocar mallas perpendiculares al terreno, lo que permite que los bloques de roca que ruedan hacia la vía queden atrapados y no caigan a la vía, se recomienda realizar una revisión periódica de las mallas y desalojar el material acumulado en las mallas de contención.
- Si es posible económicamente hablando, otra opción para evitar o reducir el riesgo es la construcción de túneles que eviten las zonas de deslizamiento o derrumbe, o también la construcción de nuevas vías.
- La estabilización de zonas donde haya movimiento del terreno ya sea roca o suelo es favorable en muchos casos para reducir la peligrosidad, se recomienda realizar bermas y taludes que impidan la caída de rocas, y provean estabilidad a la masa de roca o suelo; en ocasiones es recomendable no realizar obras en los remanentes de los movimientos de ladera, ya que pueden activarse nuevamente.
- El uso de muros de concreto y muros de gaviones generan una masa de apoyo de importante magnitud, con el tiempo se han dado variantes de este tipo de método, por ejemplo: el uso de material descartables como llantas, tanques y más, con los cuales además de reducir o prevenir el movimiento de terreno, se contribuye al cuidado del medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara Ayala, I. (9 de Julio de 1999). Scielo. Obtenido de ¿Deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112000000100002
- Asensio, S. I., Blanquer, J. M., & Ramón, H. M. (15 de Noviembre de 2010). riunet. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8931/Coordenadas%20geogr%C3%A1ficas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bonachea, J. (2006). Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos. Santander: Universidad de Cantabria.
- Catedu. (28 de 10 de 2018). e-educativa. Obtenido de catedu.es: http://e-educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/750/990/html/21_elementos_de_un_mapa_geolgico.html
- Chaverri Molina, F. I. (2016). Zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos, por medio de la metodología Mora-Vahrson en la microcuenca del río Macho, San José, Costa Rica. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Cordero, I. (2013). Evaluación de la gestión territorial de la cuenca del río Paute, estrategias y líneas de acción para superarlas. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Corporación Suna Hisca. (2012). Geomorfología. Colombia: Departamento técnico administrativo del medio ambiente.
- Demoraes, F., & D'ercole, R. (2001). Mapas de amenazas, vulnerabilidad y capacidades en el Ecuador. Quito.
- Díaz Suárez, J. (31 de 10 de 2018). Geotecnología S.A.S. Obtenido de erosión.com.co: <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica.html>

- El Universo. (31 de 10 de 2018). El Universo. Obtenido de <https://www.eluniverso.com/2010/01/31/1/1447/sismo-haiti-alerta-alta-vulnerabilidad-ecuador.html>
- Escobar, M. d. (2004). Métodos y técnicas de la cartografía temática. Ciudad Universitaria Del. Coyoacán, México, D.F.: Instituto de Geografía-UNAM.
- Felicísimo, A. M. (05 de 09 de 2018). Descripción y análisis del relieve. Obtenido de etsimo: <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/>
- Fernández Coppel, I. A. (2001). Las coordenadas geográficas y la proyección UTM. Valencia: Universidad de Valladolid.
- Fernández, T. (2001). Cartografía, análisis y modelado de la susceptibilidad a los movimientos de ladera en macizos rocosos mediante SIG: Aplicación a diversos sectores del sur de la provincia de Granada. Universidad de Granada.
- Flores, E. P. (2011). Incidencia de la Josefina en el Cantón Paute: 1993-1995. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca. Obtenido de dspace.ucuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/1971/1/thg422.pdf>
- G, S. (26 de agosto de 2018). digitalbooks. Obtenido de <http://reader.digitalbooks.pro/book/preview/28634/chap16.xhtml>
- García, M., Rosique Campoy, A., & Manuel, T. P. (2014). Topografía y Cartografía mineras. Universidad Politécnica de Cartagena.
- García, P., Sanz, J., Pérez, E., & Navarro, Á. (2012). Guía práctica de teledetección y fotointerpretación. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Obtenido de Universidad Complutense de Madrid.
- Geogra. (18 de Enero de 2015). Gisweb. Obtenido de Análisis del terreno: http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/AnalisisTerreno/DEMModule/DEM_T_Sl.htm
- Gorshkov, G., & Yakushova, A. (1977). Geología general. Moscú (Rusia): Editorial MIR . MOSCÚ.
- Grupo de estándares para movimientos en masa (GEMMA); Dirección Nacional de Geología de Ecuador, DINAGE. (2007). Movimientos en masa en la región

andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Quito: Servicio nacional de geología y minería. .

IGAC. (2009). Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Bogotá , Departamento del Cauca, Colombia: Imprenta nacional.

Ilustre colegio oficial de geólogos. (2008). Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España. España: Gobierno de España, Ministerio de vivienda.

Instituto Geográfico Nacional de España. (24 de 10 de 2015). ign. Obtenido de Instituto geográfico nacional: http://www.ign.es/web/resources/cartografiaEnsenanza/conceptosCarto/descargas/Conceptos_Cartograficos_def.pdf

Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM). (1997). Mapa geológico del Ecuador. Azogues. Azuay, Ecuador.

Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico. (2017). Atlas geológico minero de Ecuador. Quito: INIGEMM. Obtenido de INIGEMM.

Instituto Nacional de Metereología e Hidrología (INAMHI). (2013). Atlas hidrológico y metereológico estudiantil 2013. Quito: INAMHI.

Iriondo, M. H. (2009). Introducción a la geología. Argentina: Editorial Brujas.

Jiménez Perálvarez, J. D. (2005). Análisis de la susceptibilidad a los movimientos de ladera mediante un SIG en la cuenca vertiente al embalse de Rules, Granada. Granada: Universidad de Granada.

Joly, F. (1979). La Cartografía. Barcelona: Ariel.

Lugo Hubp, J. .. (1988). Elementos de Geomorfología aplicada . México: Instituto de geografía.

Mapa geológico del Ecuador "Gualaceo" escala 1:50000. (1974). Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto geográfico militar.

Maskrey, A. (1993). Los desastres no son naturales. Colombia: Tercer mundo editores.

- Maza, F. (2008). Introducción a la topografía y a la cartografía aplicada. Servicio de Publicaciones. Universidad de Alcalá.
- Mora, H. (2007). Cartografía. En H. Mora, Geomática y Demografía (pág. 34). Manizales, Colombia: Departamento de la Guajira.
- Mora, S., & Vahrson, W. (1994). Determinación a priori de la amenaza a deslizamientos sobre grandes áreas, utilizando indicadores Morfodinámicos. Bogotá, Colombia.
- Moreno, O. Z. (1994). Lecciones del deslizamiento "LaJosefina"- Ecuador. Quito: Escuela Politécnica Nacional de Quito.
- Muñoz, N. A. (2012). Método para la caracterización de las formas del terreno en zonas de montaña utilizando modelos digitales de elevación. Caso departamento del Cauca. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Nieto, G. P., & Moreno, O. Z. (1994). Escuela Politécnica Nacional de Quito. Obtenido de [desenredando.org: http://www.eird.org/deslizamientos/pdf/spa/doc6572/doc6572.pdf](http://www.eird.org/deslizamientos/pdf/spa/doc6572/doc6572.pdf)
- Otero, I. E.-S. (2008). Fotogrametría.
- Proyecto PRECUPA. Coperación CSS e INECEL. (1998). Prevención de desastres naturales, Cenca del Río Paute. Cuenca.
- Renda, E. (Marzo de 2007). Manual para la elaboración de mapas de riesgo. Buenos Aires, Argentina.
- Rodrigo, O. R. (2006). Apuntes de fotogrametría.
- Sánchez Sobrino, J. (2006). Introducción a la fotogrametría .
- Santamaría, J., & Sanz, T. (2005). Manual de prácticas de topografía y cartografía. España: Universidad de la Rioja.
- Santiago, J. E. (Enero de 2012). La cartografía geomorfológica. Geomorfología -- Mapas, 12. Recuperado el 17 de 05 de 2017, de e-libro: <http://site.ebrary.com/lib/uasuaysp/detail.action?docID=10609405>

Servicio Nacional de Geología y Minería. (2009). Atlas de deformaciones cuaternarias de los Andes. Publicación Geológica Multinacional.

Suárez García, O. G. (2006). Susceptibilidad a deslizamientos de laderas en la Sierra Madre Oriental. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Tapia Varela, G., & López Blanco, J. (2001). Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la cuenca de México: unidades morfogenéticas a escala 1:100000. Revista mexicana de ciencias geológicas , 18.

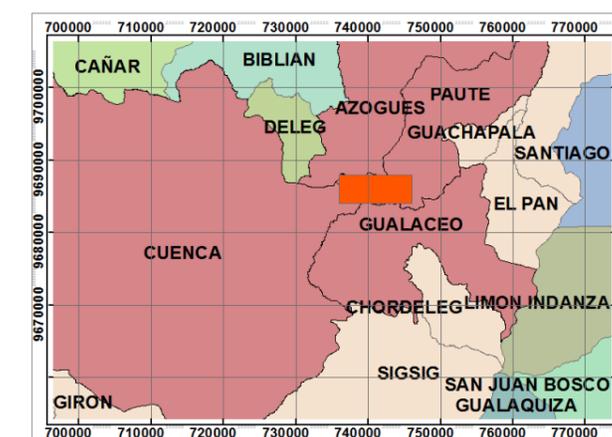
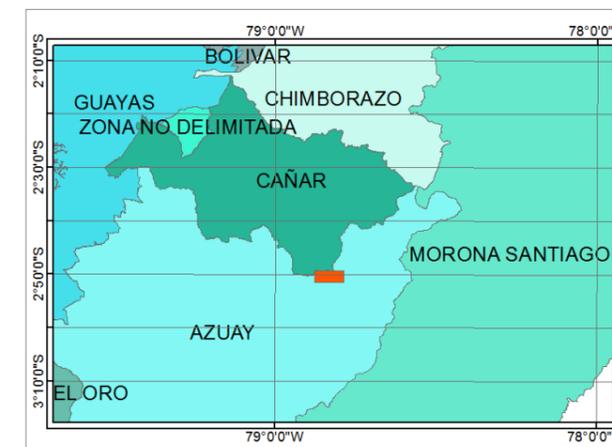
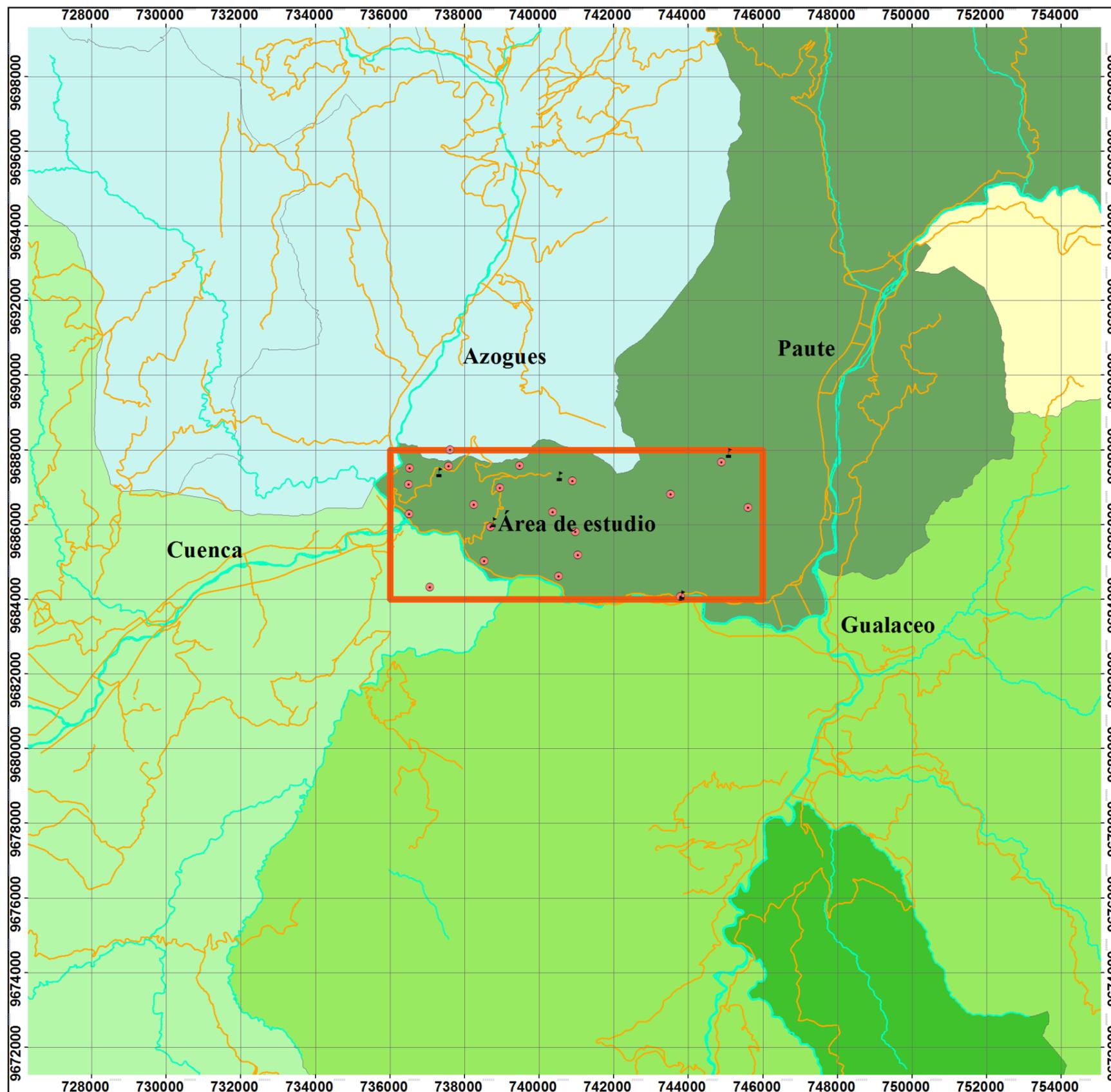
Urrutia, J. (2006). Curso de cartografía y orientación. ETOR-OSTA.

ANEXOS

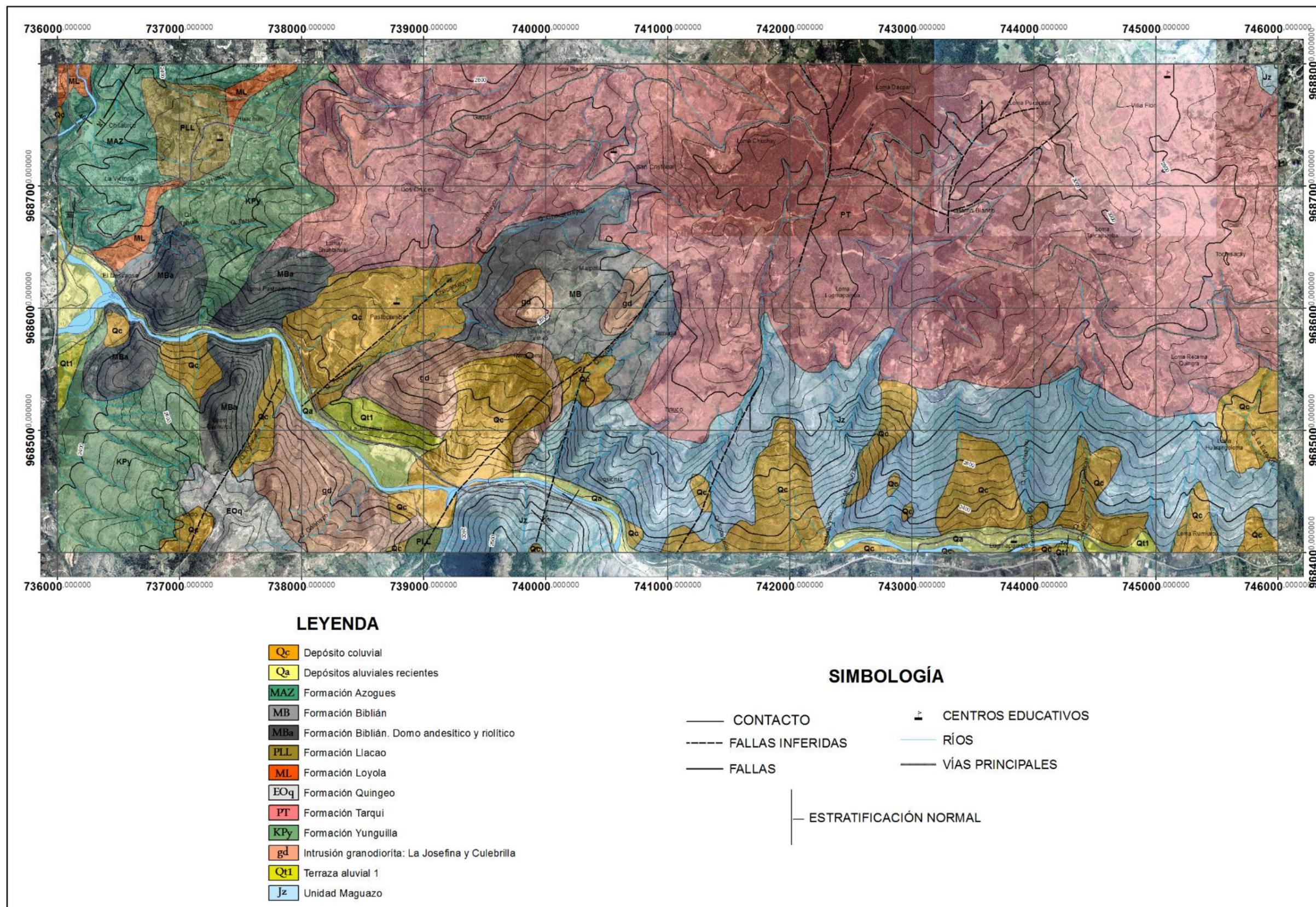
Anexo 1. Mallas perpendiculares al terreno en el área de estudio, para impedir la caída de rocas la vía principal.



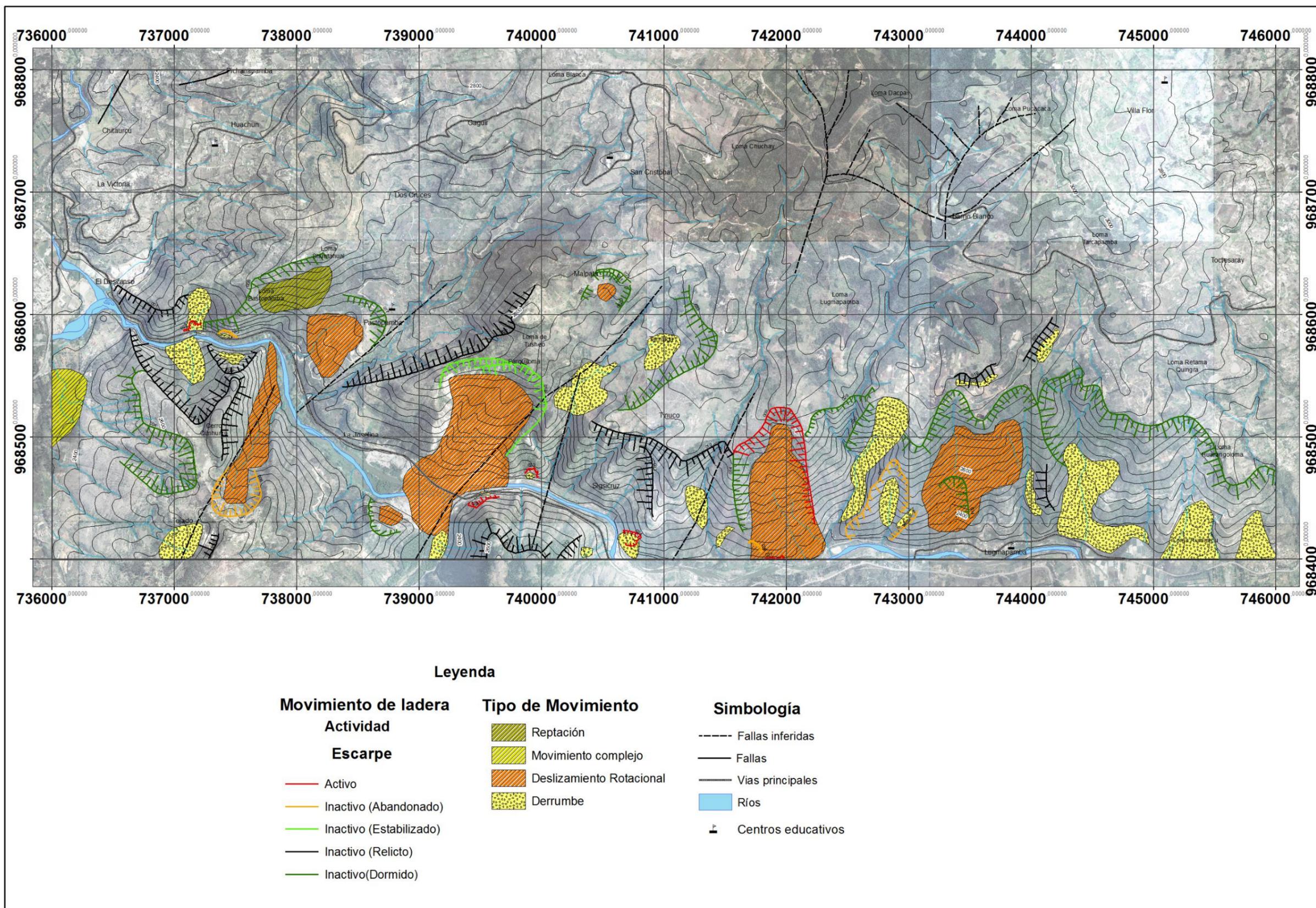
Anexo 2. Área de estudio.



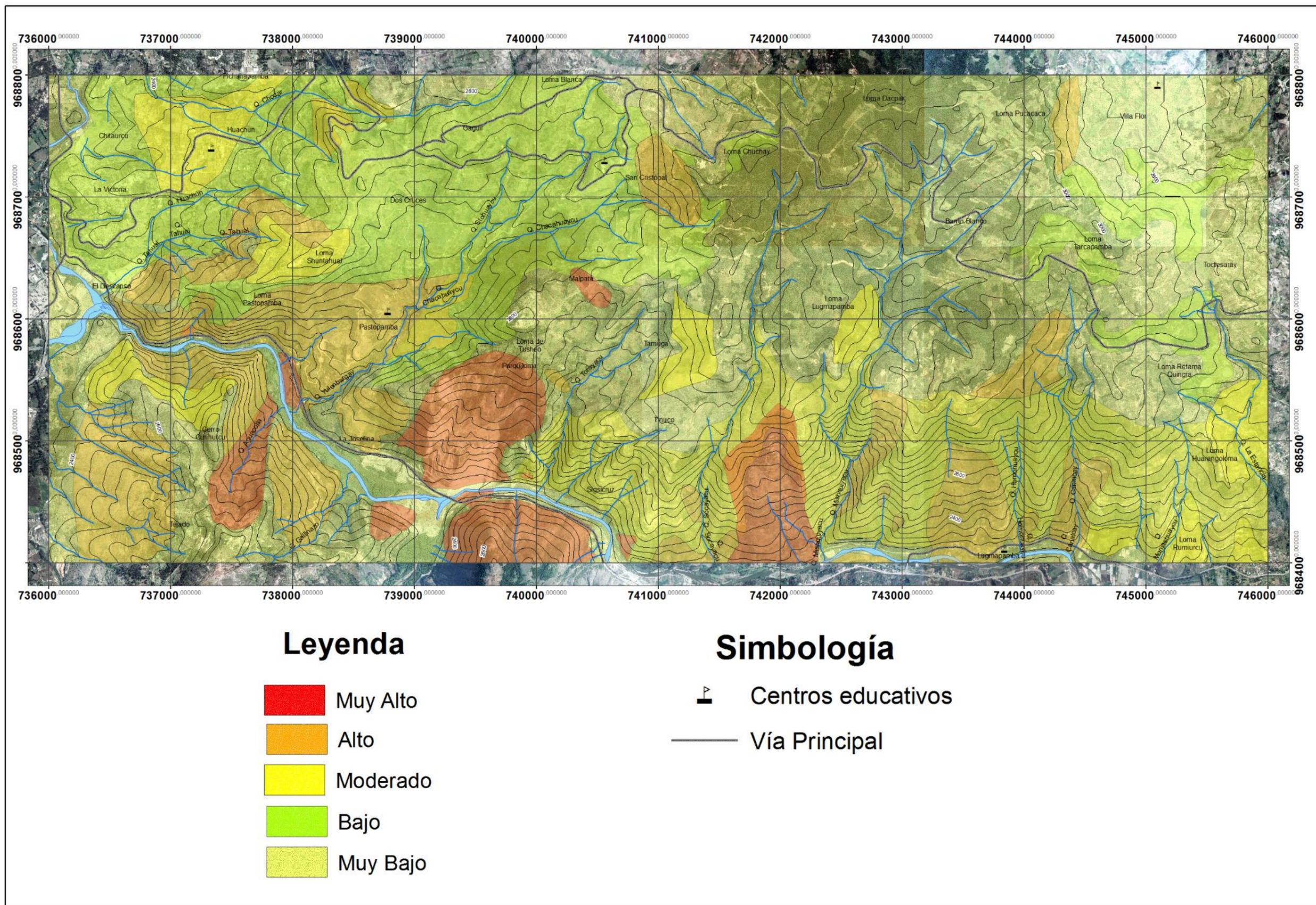
Anexo 3. Mapa geológico del sector La Josefina y sus zonas aledañas.



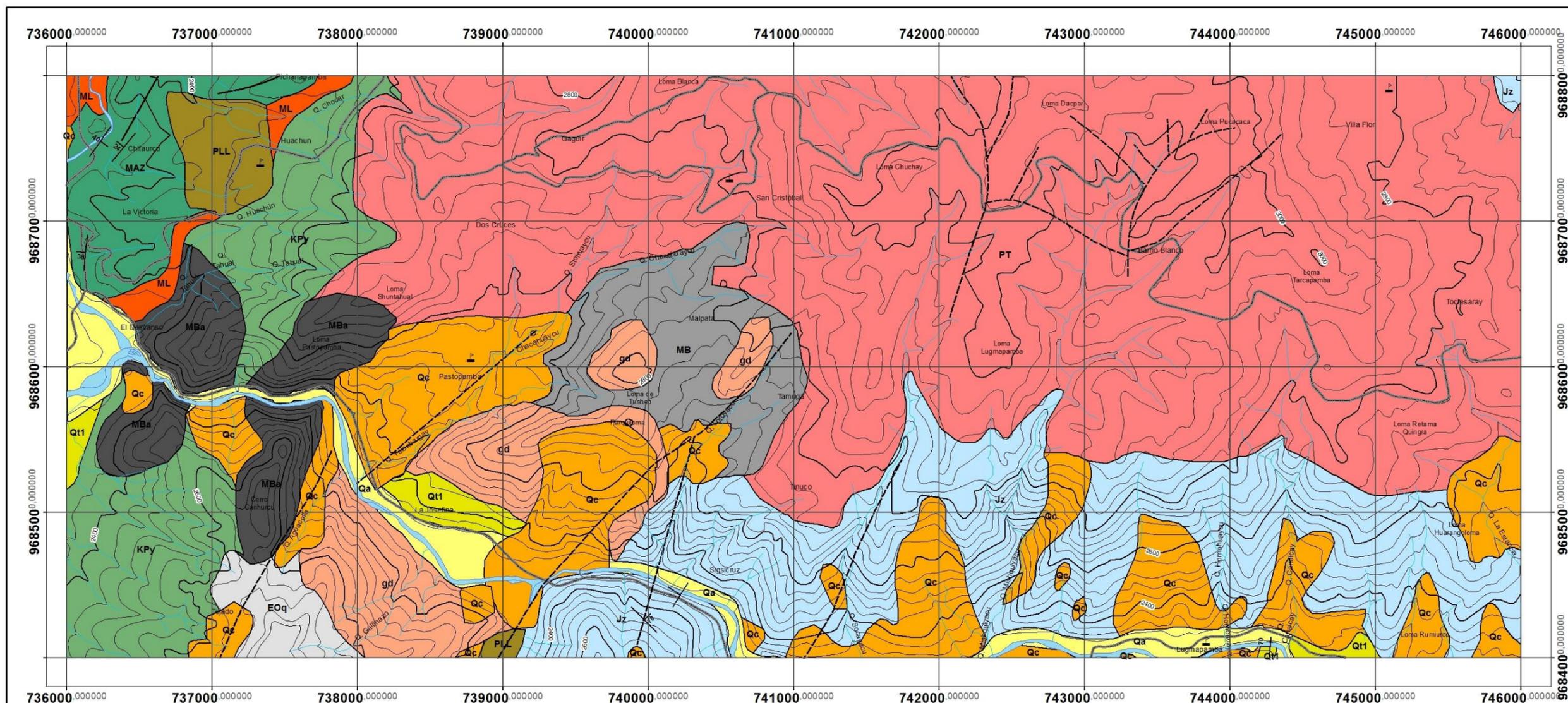
Anexo 4. Mapa de inestabilidad del terreno.



Anexo 5. Mapa de riesgos del sector La Josefina y sus zonas aledañas.



Anexo 6. Mapa geológico de área de estudio, sin transparencia y fondo de orto-fotos.



LEYENDA

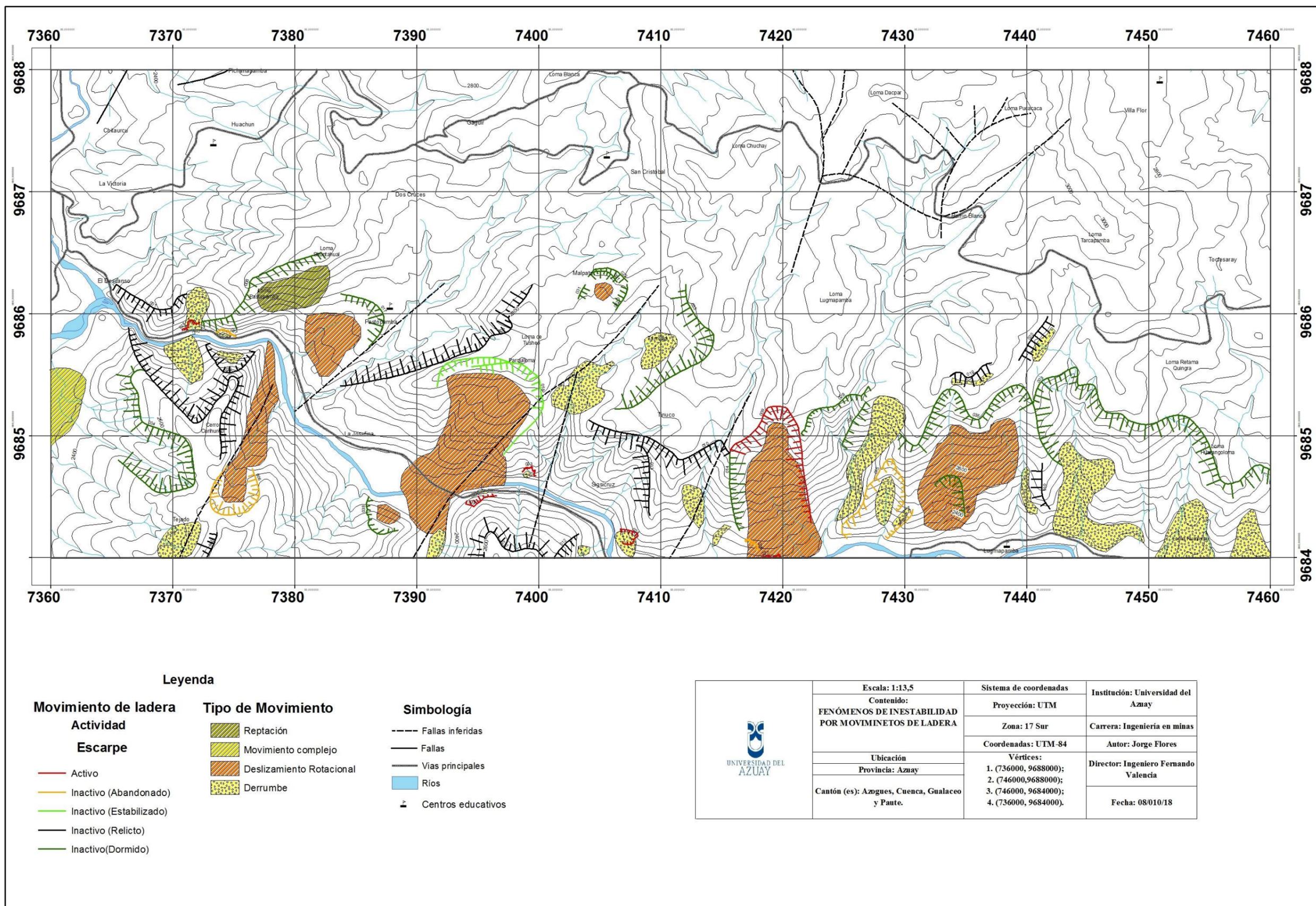
- Qc Depósito coluvial
- Qa Depósitos aluviales recientes
- MAZ Formación Azogues
- MB Formación Biblián
- MBa Formación Biblián. Domo andesítico y riolítico
- PLL Formación Llacao
- ML Formación Loyola
- EOq Formación Quingeo
- PT Formación Tarqui
- KPy Formación Yunguilla
- gd Intrusión granodiorita: La Josefina y Culebrilla
- Qt1 Terraza aluvial 1
- Jz Unidad Maguazo

SIMBOLOGÍA

- CONTACTO
- FALLAS INFERIDAS
- FALLAS
- ESTRATIFICACIÓN NORMAL
- CENTROS EDUCATIVOS
- RÍOS
- VÍAS PRINCIPALES

 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Escala: 1:13,5	Sistema de coordenadas	Institución: Universidad del Azuay
	Contenido: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL SECTOR LA JOSEFINA Y SUS ZONAS ALEDAÑAS	Proyección: UTM	Carrera: Ingeniería en minas
	Ubicación Provincia: Azuay	Zona: 17 Sur	Autor: Jorge Flores
	Cantón (es): Azogues, Cuenca, Gualaceo y Paute.	Coordenadas: UTM-84 Vértices: 1. (736000, 9688000); 2. (746000, 9688000); 3. (746000, 9684000); 4. (736000, 9684000).	Director: Ingeniero Fernando Valencia
		Fecha: 06/09/18	

Anexo 7. Mapa de inestabilidad del terreno por movimientos de masa sin transparencia y fondo de orto-fotos.



Leyenda

- | | | |
|-----------------------------|---------------------------|--------------------|
| Movimiento de ladera | Tipo de Movimiento | Simbología |
| Actividad | Reptación | Fallas inferidas |
| Escarpe | Movimiento complejo | Fallas |
| Activo | Deslizamiento Rotacional | Vías principales |
| Inactivo (Abandonado) | Derrumbe | Ríos |
| Inactivo (Estabilizado) | | Centros educativos |
| Inactivo (Relicto) | | |
| Inactivo (Dormido) | | |

 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	Escala: 1:13,5 Contenido: FENÓMENOS DE INESTABILIDAD POR MOVIMIENTOS DE LADERA	Sistema de coordenadas Proyección: UTM Zona: 17 Sur Coordenadas: UTM-84	Institución: Universidad del Azuay Carrera: Ingeniería en minas Autor: Jorge Flores
	Ubicación Provincia: Azuay Cantón (es): Azuagues, Cuenca, Gualaceo y Paute.	Vértices: 1. (736000, 9688000); 2. (746000, 9688000); 3. (746000, 9684000); 4. (736000, 9684000).	Director: Ingeniero Fernando Valencia Fecha: 08/10/18

Anexo 8. Mapa de peligrosidad por movimientos de ladera sin transparencia y fondo de orto-fotos.

