



**UNL**

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS & LOS  
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

**CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL &  
ORDENAMIENTO TERRITORIAL**

**GENERACIÓN SOBRE LA BASE SIG DEL MAPA  
GEOMORFOLÓGICO, ESCALA 1: 25 000, ORIENTADO  
A LA GESTIÓN TERRITORIAL DEL CANTÓN OLMEDO,  
PROVINCIA DE LOJA**

Trabajo de Titulación previo al grado de  
Ingeniero en Geología Ambiental &  
Ordenamiento Territorial

**AUTOR:**

**DENNIS ALEXANDER PASACA LAFEBRE**

**DIRECTOR:**

**ING. WALTER SIMÓN TAMBO ENCALADA, Mg. Sc.**

**LOJA – ECUADOR**

**2017**

## CERTIFICACIÓN

Ingeniero.

Walter Simón Tambo Encalada, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS & DOCENTE DE LA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL & ORDENAMIENTO TERRITORIAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.**

## CERTIFICA:

Que el señor **DENNIS ALEXANDER PASACA LAFEBRE**, portador de la Cédula de Ciudadanía **1105148447**, egresado de la Carrera de **INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL & ORDENAMIENTO TERRITORIAL**; Ciclo Académico: **2011 - 2017**; de la Facultad de la Energía, las Industrias & los Recursos Naturales No Renovables; de la Universidad Nacional de Loja; ha concluido su TRABAJO DE TITULACIÓN sobre el Tema: **“GENERACIÓN SOBRE LA BASE SIG DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO, ESCALA 1: 25.000, ORIENTADO A LA GESTIÓN TERRITORIAL DEL CANTÓN OLMEDO, PROVINCIA DE LOJA”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**; por lo que en calidad de Tutor del Trabajo de Tesis certifico de la autenticidad del mencionado trabajo, y de haberle orientado durante todo el proceso.

Loja, 17 de Agosto del 2017



.....  
Ing. Walter Tambo Encalada, Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TESIS**

**AUTORÍA**

Yo, **DENNIS ALEXANDER PASACA LAFEBRE** declaro ser autor del proyecto de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



**Firma:** .....

**Cédula:** 1105148447

**Fecha:** 11 de diciembre del 2017

**CARTA DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo, **DENNIS ALEXANDER PASACA LAFEBRE**, declaro ser el autor de la tesis titulada: **“GENERACIÓN SOBRE LA BASE SIG DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO, ESCALA 1: 25 000, ORIENTADO A LA GESTIÓN TERRITORIAL DEL CANTÓN OLMEDO, PROVINCIA DE LOJA”**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL & ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los once días del mes de diciembre del dos mil diecisiete.

**Firma:** .....

**Autor:** Dennis Alexander Pasaca Lafebre

**Cédula:** 1105148447

**Dirección:** Loja, Cdl. Mons. Alberto Zambrano, calle Grecia y Polonia

**Correo electrónico:** dalexanderlafebre@gmail.com

**Teléfono:** 07210-7738; **Celular:** 0995775333

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director de Tesis:** Ing. Walter Simón Tambo Encalada, Mg.Sc.

**Tribunal de Grado:** Ing. Carlomango Nixon Chamba Tacuri, Mg.Sc.

Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrío, Mg.Sc.

Ing. Fermín Alexander González Sisalima, Mg, Sc.



**DEDICATORIA**

*“Para Sebastián y toda mi familia”*

## **AGRADECIMIENTOS**

La elaboración del presente proyecto, fue un gran esfuerzo no sólo del autor, sino también de un buen número de personas, cuya cooperación se hizo indispensable para su finalización.

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a toda mi familia en especial a Jenny y Rodrigo por ser ejemplo de constancia y superación. A Sebastián, por los malos ratos que has tenido que soportar, por mis ausencias y ocupaciones que se me han presentado.

De igual manera agradezco al Ing Galo Guamán por la orientación y explicación que supo impartirme, lo cual me dio una pauta para poder guiarme durante la realización del proyecto de tesis.

También quiero mencionar que este proyecto no hubiera sido posible realizarse sin la orientación de mi director de tesis el Ing. Walter Tambo Mg. Sc, docente de la carrera de Geología Ambiental, gracias por el tiempo y ayuda prestada.

*“En la Tierra hacen falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más, que digan mejor ahora que mañana.”*  
Ernesto “Che” Guevara.

---

**TABLA DE CONTENIDOS**

<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>II</b>
<b>AUTORÍA .....</b>	<b>III</b>
<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR. ....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>VI</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>XV</b>
<b>1. TÍTULO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>3</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>4. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>6</b>
4.1. GEOMORFOLOGÍA .....	6
4.1.1. <i>Geomorfología Histórica.....</i>	6
4.1.2. <i>Geomorfología Histórica Moderna .....</i>	7
4.1.3. <i>Procesos Morfodinámicos Naturales.....</i>	9
4.2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE LAS GEOFORMAS .....	10
4.2.1. <i>Categorías de las Geoformas .....</i>	10
4.2.1.1. Región .....	11
4.2.1.2. Dominio fisiográfico .....	11
4.2.1.3. Contexto Morfológico.....	11
4.2.1.4. Unidad morfológica.....	14
4.2.1.5. Formas del Terreno .....	14
4.2.1.6. Subpaisaje (Escala 1:2000 a 1:10.000).....	15
4.3. FUNDAMENTOS DE CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA.....	16
4.3.1. <i>Atributos Morfológicos.....</i>	16
4.3.1.1. Morfografía .....	16
4.3.1.2. El patrón de drenaje .....	17
4.3.2. <i>Atributos Morfométricos .....</i>	17

4.3.2.1. Altura Relativa .....	18
4.3.2.2. Pendiente del Relieve.....	18
4.3.2.3. Densidad del Drenaje .....	18
4.3.3. <i>Atributos Morfogenéticos</i> .....	18
4.3.4. <i>Atributos Morfoestructurales &amp; Litología</i> .....	18
4.4. GEOMORFOLOGÍA CUANTITATIVA .....	19
4.4.1. <i>Modelo Digital de Elevaciones</i> .....	19
4.4.2. <i>Índices Topográficos</i> .....	21
4.4.2.1. Índices topográficos primarios.....	21
– Curvaturas .....	21
– Curvatura Horizontal (Curvatura en planta, ch).....	21
– Curvatura Vertical (Curvatura en perfil, cv) .....	22
– Curvatura Longitudinal .....	22
– Curvatura Transversal .....	22
– Mínima y Máxima Curvatura.....	22
– Sombreado .....	23
– Pendiente .....	23
4.4.2.2. Índices topográficos secundarios .....	23
4.4.3. <i>Método de Clasificación Automática</i> .....	24
4.5. FOTOINTERPRETACIÓN GEOMORFOLÓGICA .....	25
4.5.1. <i>Fotointerpretación Digital (visualización tridimensional)</i> .....	25
4.6. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) .....	26
4.6.1. <i>Base de Datos</i> .....	26
4.6.2. <i>Modelos Cartográficos</i> .....	26
4.6.3. <i>Área Mínima Cartografiable (UMC)</i> .....	26
4.6.4. <i>Topología</i> .....	27
<b>5. METODOLOGÍA .....</b>	<b>28</b>
5.1. RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	29
5.1.1. <i>Bibliografía</i> .....	29
5.1.2. <i>Cartografía</i> .....	29
5.2. CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE LAS UNIDADES DE RELIEVE .....	30
5.2.1. <i>Modelamiento Topográfico</i> .....	32
5.2.2. <i>Análisis de Componentes Principales (PCA)</i> .....	35
5.2.3. <i>Clasificación Automática</i> .....	36
5.3. FOTOINTERPRETACIÓN .....	40

5.3.1. Fase de Fotointerpretación Digital .....	44
5.4. ASIGNACIÓN DE ATRIBUTOS TEMÁTICOS .....	46
5.4.1. Jerarquía del Relieve .....	47
5.4.2. Génesis .....	47
5.4.3. Atributos morfológicos.....	48
5.4.3.1. Forma de la cima .....	48
5.4.3.2. Forma de la vertiente.....	49
5.4.3.3. Forma del valle .....	49
5.4.4. Atributos morfométricos .....	50
5.4.4.1. Desnivel relativo .....	50
5.4.4.2. Pendiente.....	51
5.4.4.3. Longitud de vertiente (ladera).....	51
5.4.5. Atributos relacionados con la geología y depósitos superficiales .....	52
5.4.6. Atributos relacionados con el drenaje .....	52
5.4.6.1. Forma del drenaje.....	52
5.4.6.2. Densidad del drenaje.....	53
5.5. REVISIÓN CARTOGRÁFICA .....	53
5.6. VERIFICACIÓN & CONTROL DE CAMPO .....	54
5.7. OBTENCIÓN DE LA CARTOGRAFÍA E INFORMACIÓN FINAL .....	56
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>57</b>
6.1. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DEL PROYECTO .....	57
6.1.1. Ubicación.....	57
6.1.2. Reseña Cantonal .....	57
6.1.3. Acceso .....	58
6.1.4. Clima .....	58
6.1.5. Vegetación .....	59
6.1.6. Hidrografía .....	60
6.2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....	61
6.2.1. Litoestratigrafía de la cuenca cretácica.....	63
6.2.1.1. Arco Volcánico Oceánico.....	63
6.2.1.2. Cuenca Sedimentaria Continental .....	64
6.2.1.3. Arco Volcánico Terciario.....	65
6.3. CONFIGURACIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	66
6.3.1. Geología Local .....	66
6.3.1.1. Litoestratigrafía.....	66
– Unidad Celica (K <sub>Ce</sub> ¿Albiano – Aptiense?).....	66

– Unidad Bramaderos (KBr – Cenomaniano).....	68
– Unidad Chaguarpamba (K <sub>Ch</sub> – Cenomaniano) .....	70
– Unidad Ciano (K <sub>Cn</sub> ¿Coniaciano – Santoniano?).....	72
– Unidad Zambi (K <sub>Z</sub> ¿Campaniano – Maastrichtiano?) .....	74
– Unidad Catacocha (O <sub>Cat</sub> Oligo – Mioceno) .....	75
– Depósitos Cuaternarios .....	76
Coluviales .....	76
Aluviales .....	76
Coluvio – Aluviales .....	77
– Intrusivos y Subvolcánicos .....	77
6.3.2. <i>Geología Estructural</i> .....	78
6.3.3. <i>Geomorfología</i> .....	79
6.3.3.1. Fisiografía.....	79
6.3.3.2. Estudio del Modelado .....	80
– Formas Fluviales .....	80
– Formas de Ladera .....	81
– Formas Poligénicas .....	81
– Formas Tectónico – Erosivo.....	81
6.3.3.3. Unidades Geomorfológicas .....	82
– Fluvial .....	82
Valles en V (E1).....	82
– Laderas.....	83
Vertiente Rectilínea (Lr1).....	83
Vertiente Rectilínea con Fuerte Disección (Lr2).....	84
Vertiente Rectilínea con Abruptos (Lr4) .....	84
Vertiente Abrupta (La1) .....	85
Vertiente Abrupta con Fuerte Disección (La2) .....	86
Vertiente Heterogénea (Lh1).....	87
Vertiente Heterogénea con Fuerte Disección (Lh4) .....	87
Coluvión Reciente (Col1).....	88
Coluvión Antiguo (Col2).....	89
– Tectónico – Erosivo .....	89
Relieve colinado alto (Rt5) .....	89
Relieve colinado muy alto (Rt6).....	90
Relieve Montañoso (Rt7).....	91
– Poligénicas .....	92

---

Interfluvio de cimas estrechas (Ar2).....	92
Coluvio – Aluvial Antiguo (Coa2).....	93
6.3.3.4. Evolución Dinámica .....	94
6.3.3.5. Procesos Actuales .....	95
<b>7. DISCUSIÓN.....</b>	<b>98</b>
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>101</b>
<b>9. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>102</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>103</b>
<b>11. ANEXOS .....</b>	<b>105</b>
ANEXO 1. TABLA DE MEDICIONES ESTRUCTURALES EN CAMPO	
ANEXO 2. TABLA DE PUNTOS DE OBSERVACIÓN GEOMORFOLÓGICA EN CAMPO	
ANEXO 3. EJEMPLOS DE FICHAS DE DESCRIPCIÓN PARA AFLORAMIENTOS ROCOSOS	
ANEXO 4. EJEMPLOS DE FICHAS DE DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA	
ANEXO 5. MAPA GEOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO	
ANEXO 6. MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO	

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**Figura 1.** Ciclo Geográfico de Davis ..... 7

**Figura 2.** Reconstrucción geomórfica de un valle en Tripolitania ..... 8

**Figura 3.** Modelo descriptivo de la relación entre los procesos geodinámicos tanto endógenos como exógenos en una ladera. .... 10

**Figura 4.** Ejemplos de unidades de relieve o geoformas..... 16

**Figura 5.** Ejemplos de patrones de drenaje..... 17

**Figura 6.** Estructura de la malla ráster..... 20

**Figura 7.** Ejemplos de modelos digitales de elevación, aplicados en SIG ..... 20

**Figura 8.** Caracterización de procesos de acumulación según los valores de las curvaturas horizontal y vertical asociadas..... 22

**Figura 9.** Tipos de Curvaturas ..... 23

**Figura 10.** Matriz Kernel ..... 23

**Figura 11.** Ejemplo de clasificación ISODATA ..... 24

**Figura 12.** Visualización en 3D ..... 25

**Figura 13.** Esquema general de la metodología empleada en el presente proyecto ..... 28

**Figura 14.** Esquema del modelo cartográfico aplicado..... 31

**Figura 15.** Los seis tipos de características morfométricas ..... 33

**Figura 16.** DEM del cantón Olmedo ..... 33

**Figura 17.** Modelamiento topográfico ..... 34

**Figura 18.** Variables obtenidas en el modelamiento topográfico ..... 34

**Figura 19.** Configuración del PCA ..... 35

**Figura 20.** Archivos generados con la herramienta de ACP..... 36

**Figura 21.** Configuración de la herramienta de Clasificación ISODATA ..... 37

**Figura 22.** Clasificación automática a partir del modelado topográfico ..... 38

**Figura 23.** Aplicación del filtro de agregación..... 38

**Figura 24.** Clasificación automática finalizada..... 39

**Figura 25.** Ortofotomosaico del cantón Olmedo ..... 41

**Figura 26.** Configuración de la herramienta Anaglyph en el software ERDAS 14..... 42

**Figura 27.** Anáglifo generado a partir del mosaico y DEM ..... 42

**Figura 28.** Mapas elaborados a partir del DEM ..... 43

**Figura 29.** Esquema general de la fase de fotointerpretación digital..... 44

**Figura 30.** Perspectiva 3D, del área de estudio en Google Earth Pro ..... 45

**Figura 31.** Mapa de unidades morfológicas creado a partir del mapa morfométrico..... 45

**Figura 32.** Ejemplo de identificación de una geoforma..... 46

**Figura 33.** Atribución de la jerarquía del relieve a cada geoforma ..... 47



<b>Figura 34.</b> Ejemplo de geoforma, asignada los atributos morfológicos .....	50
<b>Figura 35.</b> Aplicación de reglas topológicas .....	54
<b>Figura 36.</b> Esquema de leyenda geomorfológica .....	56
<b>Figura 37.</b> Ubicación general del proyecto .....	57
<b>Figura 38.</b> Zonas de precipitación del cantón Olmedo, media anual (1985 – 2009) mm ...	58
<b>Figura 39.</b> Zonas de temperatura del cantón Olmedo, media anual (1985 – 2009) en °C .	59
<b>Figura 40.</b> Cobertura vegetal del cantón Olmedo (año 2013) .....	60
<b>Figura 41.</b> Hidrografía del área de estudio .....	61
<b>Figura 42.</b> Ubicación del área de estudio dentro del dominio de la cuenca Lancones – Punta de Piedra. Adaptación de Pilatasig., et al 2014.....	62
<b>Figura 43.</b> Columna estratigráfica del arco volcánico oceánico de la cuenca Lancones – Punta de Piedra. Adaptación de Pilatasig., et al, 2014. ....	63
<b>Figura 44.</b> Columna estratigráfica de la región sedimentaria continental de la cuenca Lancones – Punta de Piedra. Adaptación de Pilatasig., et al, 2014.....	64
<b>Figura 45.</b> Columna estratigráfica del arco volcánico continental Terciario de la cuenca Lancones – Punta de Piedra. Adaptación de Pilatasig., et al, 2014.....	65
<b>Figura 46.</b> Rocas de la Unidad Celica. Afloramiento de hialoclastitas gris verdosa, fuertemente meteorizadas (color claro), en el pie de la ladera se hallan depositados fragmentos por la gravedad.....	67
<b>Figura 47.</b> Rocas de la Unidad Celica. a) Afloramiento de lavas cretácicas con estructuras tipo pillow .b) Rocas andesíticas – basálticas de tono gris verdosas.....	68
<b>Figura 48.</b> Rocas de la Unidad Celica. a) Hialoclastitas gris verdosa. b) Fragmento de una toba de cristales, con piroxeno.....	68
<b>Figura 49.</b> Unidad Bramaderos. Tobas masivas de composición andesítica, constituida por granos de tamaño grueso.....	69
<b>Figura 50.</b> Rocas de la Unidad Bramaderos. Afloramiento de areniscas volcánicas con presencia de material arcilloso (UTM: 662650, 9558844).....	70
<b>Figura 51.</b> Unidad Bramaderos. a) Tobas estratificadas con tonalidad verdosa (UTM; 650475 / 9568511). b) Tobas arenosas de coloración verdosa (UTM; 650666 / 9566470). ....	71
<b>Figura 52.</b> Unidad Ciano. Afloramiento de areniscas meteorizadas con tonalidad rojiza y lentes de arcillas, además presenta fragmentos rocosos volcánicos (UTM; 651636 / 9564102). ....	73
<b>Figura 53.</b> Unidad Ciano. Afloramiento de areniscas meteorizadas con tonalidad clara y granos de origen volcánico (UTM; 651636 / 9564102). ....	73
<b>Figura 54.</b> Unidad Ciano. a) Afloramiento de rocas verdosas de la unidad Celica. b) Posible cuerpo subvolcánico afectando las capas sedimentarias volcánicas (UTM; 651726 / 9564811). ....	74

<b>Figura 55.</b> Unidad Ciano. a) y b) Afloramiento de filitas con bajo grado de metamorfismo y fuertemente meteorizadas (UTM; 651726 / 9564811).....	75
<b>Figura 56.</b> Tobas masivas con tonalidades purpura (UTM; 657417 / 9561810).....	76
<b>Figura 57.</b> Materiales constituyentes de los depósitos cuaternarios del cantón Olmedo ...	77
<b>Figura 58.</b> Dominios fisiográficos del cantón Olmedo .....	79
<b>Figura 59.</b> Formas asociadas a la génesis .....	80
<b>Figura 60.</b> Vista general. Valle en V, sobre la Quebrada Olmedo. Sector Huanga.....	82
<b>Figura 61.</b> Vista general 2. Valle en V, sobre la Quebrada Olmedo. Sector Las Peñas .....	83
<b>Figura 62.</b> Vista general: Vertiente rectilínea con escasa disección. Sector Huanga .....	83
<b>Figura 63.</b> Vista general: Ladera rectilínea con fuerte disección. Sector Huancanuma .....	84
<b>Figura 64.</b> Vista general: Vertiente rectilínea con abruptos. Sector Pangarillas.....	85
<b>Figura 65.</b> Vista general: Ladera abrupta. A 1 km del sector Ramirezpamba .....	85
<b>Figura 66.</b> Vista general: Ladera abrupta con fuerte disección. A 2 km del sector Ramirezpamba .....	86
<b>Figura 67.</b> Vista general: Ladera heterogénea. A 1.8 km del poblado La Tingue .....	87
<b>Figura 68.</b> Vista general: Vertiente heterogénea con fuerte disección. A 1 km del poblado Cola .....	88
<b>Figura 69.</b> Vista general: Coluvión antiguo. Sector el Carmelo .....	89
<b>Figura 70.</b> Vista general: Relieve colinado alto. A 2 km de Velacruz .....	90
<b>Figura 71.</b> Vista general: Relieve colinado muy alto. A 2 km de Velacruz .....	91
<b>Figura 72.</b> Vista general: Relieve montañoso. Poblado Guallana .....	91
<b>Figura 73.</b> Vista general: Interfluvio de cimas estrechas. Poblado Pangarillas .....	92
<b>Figura 74.</b> Vista general: Coluvio – aluvial antiguo. Poblado Huato.....	93
<b>Figura 75.</b> Vista general: Coluvio – aluvial antiguo. Poblado Chinchas .....	93
<b>Figura 76.</b> Ejes Principales del relieve.....	94
<b>Figura 77.</b> Procesos actuales. Varios deslizamientos identificados en campo .....	96
<b>Figura 78.</b> a) Cantera abandona cerca del poblado de Olmedo (UTM: 650541; 9568580).y b) Explotación de pétreros en la quebrada de Olmedo (Valle en V) (UTM: 649809; 9565044). .....	97

---

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Unidades mínimas cartografiables.....	27
<b>Tabla 2.</b> <i>Clases del desnivel relativo</i> .....	50
<b>Tabla 3.</b> <i>Rangos de la pendiente</i> .....	51
<b>Tabla 4.</b> <i>Valores para categorizar la longitud de la vertiente</i> .....	51
<b>Tabla 5.</b> <i>Categorías de la densidad de drenaje</i> .....	53
<b>Tabla 6.</b> <i>Cobertura vegetal del área de estudio</i> .....	59
<b>Tabla 7.</b> <i>Características morfométricas por microcuenca</i> .....	60
<b>Tabla 8.</b> <i>Inventario de deslizamientos</i> .....	95

**ÍNDICE DE CUADROS**

<b>Cuadro 1.</b> <i>Regiones, Dominios y Contextos Morfológicos del Ecuador</i> .....	11
<b>Cuadro 2.</b> <i>Ejemplos de unidades de relieve de acuerdo a su escala</i> .....	15
<b>Cuadro 3.</b> <i>Ejemplos de Geoformas</i> .....	17
<b>Cuadro 4.</b> <i>Ejemplos de reglas topológicas para polígonos</i> .....	27
<b>Cuadro 5.</b> <i>Fotografías aéreas del cantón Olmedo</i> .....	40
<b>Cuadro 6.</b> <i>Grupos genéticos</i> .....	47
<b>Cuadro 7.</b> <i>Categorización de la forma de Cima (C)</i> .....	48
<b>Cuadro 8.</b> <i>Categorización de forma de la vertiente</i> .....	49
<b>Cuadro 9.</b> <i>Categorización de la forma de valle</i> .....	49
<b>Cuadro 10.</b> <i>Ejemplo de descripción de litologías halladas en la carta geológica Zaruma</i> ..	52
<b>Cuadro 11.</b> <i>Formas de drenaje</i> .....	52
<b>Cuadro 12.</b> <i>Fichas para validación de campo</i> .....	55
<b>Cuadro 13.</b> <i>Nivel de información del mapa final</i> .....	56



## 1. TÍTULO

“GENERACIÓN SOBRE LA BASE SIG DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO,  
ESCALA 1: 25 000, ORIENTADO A LA GESTIÓN TERRITORIAL  
DEL CANTÓN OLMEDO, PROVINCIA DE LOJA”

## 2. RESUMEN

La aplicación de tecnologías SIG, se ha convertido en una herramienta importante para la gestión y el análisis digital del terreno (DTA) con fines cartográficos. Desde este punto de vista el presente proyecto ha incluido como temática de investigación; la elaboración de bases de datos destinados al almacenamiento de información digital; la caracterización cuantitativa del paisaje a través de técnicas de clasificación automática sobre la base del DEM y la interpretación digital 3D, con datos provenientes de detección remota. Estos ítems, detallan el contenido de la memoria técnica que dirigió el desarrollo del modelo de unidades geomorfológicas del cantón Olmedo a escala 1: 25.000, como un aporte a la gestión física de su territorio. Conjuntamente la leyenda fue construida en referencia al sistema de cartografía geomorfológica del Instituto Espacial Ecuatoriano. Los resultados finales determinaron un total de 185 geoformas, asociadas a 8 unidades morfológicas, provenientes de 4 clases genéticas.

**Palabras Clave:** Cartografía Geomorfológica; DEM; Fotointerpretación Digital; Geoforma; Geomorfología Cuantitativa; Sistemas de Información Geográfica.

**ABSTRACT**

The application of GIS technologies has become an important tool to handle and the digital terrain analysis (DTA) for cartographical aims. From this point of view, the present project has included as research topic; the elaboration of database with the purpose of storing digital information; the quantitative characteristic of the landscape throughout automatic classification techniques based on DEM and the 3D digital interpretation, with the data from remote detection. These items, detail the content of the technical memory that manage the development of the pattern of morphological units in Olmedo town at a scale of 1: 25.000, as a support to its physical management of its territory. Together the legend was built in reference to the cartographical geomorphological mapping system of the Ecuadorian Space Institute. The final results determined a total of 185 geological shapes, associated to 8 morphological units, from 4 genetic classes.

**Keywords:** Geomorphological Cartography; DEM; Digital Photointerpretation; Geoform; Quantitative Geomorphology; Geographic Information Systems.

### 3. INTRODUCCIÓN

Durante décadas, las ciudades y las comunidades se han esforzado en encontrar un equilibrio estratégico entre los objetivos económicos y ambientales (Campbell, citado en Meerow & Newell, 2017). En el Ecuador desde el año 2008, hay una creciente presión para planificar no sólo la sostenibilidad, sino también la capacidad de hacer frente a las perturbaciones o cambios ambientales a través de planes estratégicos.

El sistema de planificación se basa en la interpretación espacial de mapas temáticos, considerados como la mejor herramienta para la representación, análisis y visualización de procesos de diversa naturaleza (Melelli, Gregori, & Mancinelli, 2012, p. 97). Entre la gran variedad de ellos, los mapas geomorfológicos son particularmente útiles en la comprensión de los fenómenos naturales asociados con las actividades humanas.

Los avances relativamente recientes en teledetección, los Sistemas de Información Geográfica (GIS), las tecnologías geoespaciales y el desarrollo de técnicas en el análisis digital del terreno han revolucionado el campo de la geomorfología. Actualmente es posible cuantificar la morfología del paisaje (Pike, 2000; Hengl & Reuter, 2009, citado en Bishop, James, Shroder, & Walsh, 2012, p. 5), evaluar las condiciones biofísicas de la superficie y mejorar la comprensión de la dependencia de la escala y la naturaleza poligénica de la evolución del paisaje con costos relativamente accesibles.

El presente Trabajo de Titulación está enfocado en, *“Generar sobre la base SIG, el mapa Geomorfológico, del Cantón Olmedo a escala 1: 25 000, estableciendo como límites de la investigación varios objetivos específicos secuenciales, el primero enmarca: “Realizar la fotointerpretación del área de estudio mediante el ortomosaico digital del cantón Olmedo escala 1: 25 000, para generar la cartografía geomorfológica preliminar, como insumo para el levantamiento de campo tomando como referencia la información secundaria y el uso de herramientas SIG.*

Así mismo, para determinar la confiabilidad cartográfica elaborada en concordancia con el objetivo anterior se establece, *“Verificar y evaluar en campo las unidades obtenidas mediante fotointerpretación, con la finalidad de realizar las correcciones pertinentes al mapa preliminar”.*

Finalmente una vez corroborado y definido en campo varios aspectos relevantes se procede a, *“Reinterpretar los datos obtenidos en la fotointerpretación con los de campo para modificar y actualizar la información y elaborar el mapa geomorfológico final del Cantón Olmedo, escala 1: 25 000”.*



En conclusión, la información construida contempla un modelo de unidades geomorfológicas, que tiene como fin aportar a la gestión territorial del GAD cantonal, en el diseño de cartografía referente a evaluación de peligros y riesgos naturales, tendencia evolutiva de algunos procesos exógenos (laderas y fluviales), análisis de cuencas hidrográficas, urbanismo, obras públicas y en todo lo concerniente a la conservación de los recursos naturales y la gestión ambiental.

De tal forma el presente trabajo de tesis ha sido estructurado de la siguiente manera:

Los capítulos 1, 2, 3, están constituidos del: **Título**, como la denominación del trabajo realizado; el **Resumen** en donde se describe de manera sucinta los objetivos, la metodología y los resultados obtenidos logrando una visión clara del trabajo elaborado y la **Introducción** definida como un planteamiento claro y ordenado del estudio realizado, consta de una descripción detallada, sobre cada capítulo desarrollado en la investigación.

El capítulo 4, concierne a la **Revisión de Literatura**, en la cual se enfatiza la fundamentación teórica de la investigación, precisando conceptos asociados a la dinámica geomorfológica, como la terminología empleada.

El capítulo 5, contempla la **Metodología**, aquí se describen los instrumentos, equipos e insumos cartográficos que permitieron la correcta ejecución del tema investigado en las fases de gabinete y de campo; así como la sistemática aplicada.

El capítulo 6 corresponde a los **Resultados**, aquí se señala la ubicación y el acceso al sitio de estudio, sus características biofísicas y la exposición de la base geológica y geomorfológica perseguida en esta investigación.

El capítulo 7, denominado **Discusión**, comprende un breve diagnóstico de los resultados obtenidos, se examina en función del cumplimiento de los objetivos y se puntualizan las fortalezas y debilidades del estudio.

Finalmente, en los capítulos 8, 9, 10, 11, se incluye las: **Conclusiones**, planteadas en base a los resultados obtenidos; **Recomendaciones** como las sugerencias emitidas y cuya implementación es vital para mejorar futuras investigaciones; la **Bibliografía** que contiene un listado ordenado alfabéticamente de los documentos que fueron fuente de consulta para la obtención de información, y se adjuntan los **Anexos** que sustentan el trabajo de tesis.

## **4. REVISIÓN DE LITERATURA**

A continuación se expone la base conceptual sobre cartografía geomorfológica y procesos asociados. La teoría tiene como objetivo proporcionar al lector una mejor comprensión y brindarle una clara idea sobre la investigación desarrollada.

### **4.1. Geomorfología**

La palabra geomorfología deriva de tres palabras griegas: geos (la Tierra), morphe (forma), y logos (discurso) (Villota, 2005, p.6). La geomorfología es en sí, "un discurso sobre las formas de la Tierra". Es el estudio de las características físicas de la superficie de la Tierra, sus formas de relieve: ríos, colinas, llanuras, playas, dunas de arena y una miríada de otras. Algunos autores incluyen las formas submarinas dentro del ámbito de la geomorfología (Huggett, 2007, p.3). Las formas de relieve son rasgos notables de la Tierra y ocurren en todas partes. Su tamaño varía desde lomas, montañas, hasta las placas tectónicas más importantes, y su "duración" de días, milenios a eones (2007, p.4).

La geomorfología se usó por primera vez como un término para describir la morfología de la superficie de la Tierra en las décadas de 1870 y 1880. Fue originalmente definido como "el estudio genético de las formas topográficas", y fue utilizado en la jerga popular por 1896. A pesar de la adquisición moderna de su nombre, la geomorfología es una disciplina venerable. Investiga los relieves y los procesos que los modelan (Huggett, 2007, p.4).

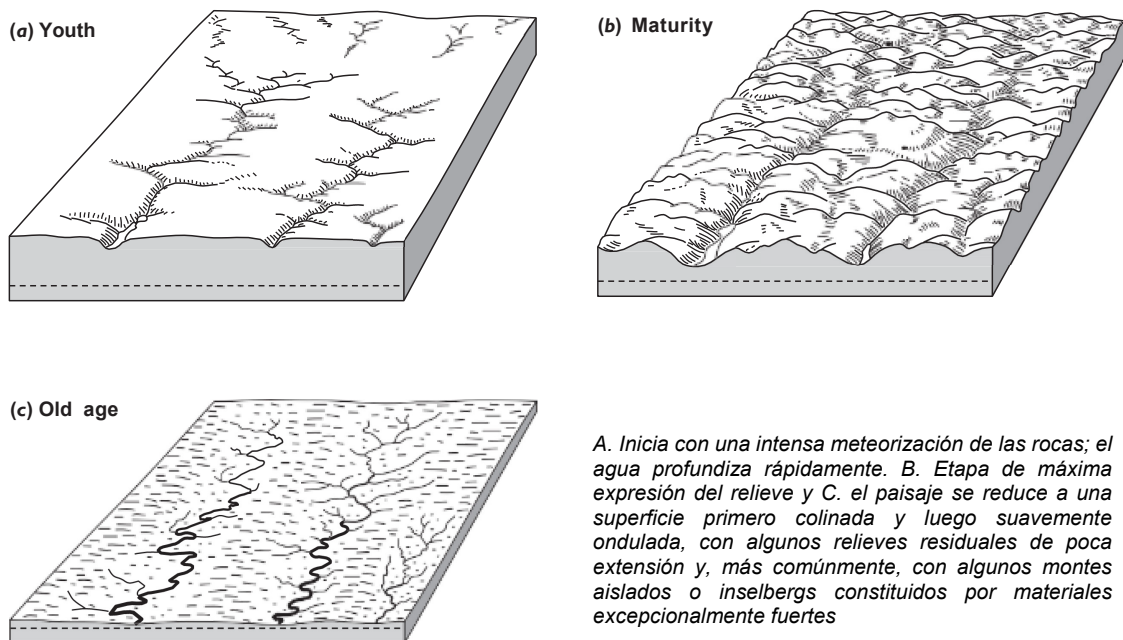
#### **4.1.1. Geomorfología Histórica**

La geomorfología toma forma a finales del siglo XIX, en manos del geógrafo americano William Morris Davis. En su época la idea predominante sobre la creación del relieve se explicaba a través de procesos catastróficos (Villota, 2005, p.58). Davis, dentro del marco del uniformismo, desarrolló una teoría de la creación y destrucción del paisaje, a la que llamó "ciclo geográfico" o "ciclo de denudación" (2005, p.58).

El "ciclo geográfico", expuesto por William Morris Davis, fue la primera teoría moderna de la evolución del paisaje. Asumió que el levantamiento tiene lugar rápidamente; los procesos geomórficos, sin complicaciones adicionales de los movimientos tectónicos, desgastan gradualmente la topografía en bruto (Huggett, 2007, p.6). Además, las pendientes dentro de los paisajes disminuyen a través del tiempo - los ángulos de inclinación máxima disminuyen lentamente (aunque pocos estudios de campo han justificado esta afirmación). Por lo tanto, la topografía se reduce poco a poco a una extensa región plana cercana al nivel base - una peneplanicie - con colinas ocasionales, llamadas monadnocks, que son restos erosivos locales, destacando claramente por encima del nivel general. El proceso de reducción crea

una secuencia temporal de formas de relieve que progresa a través de las etapas de juventud, madurez y vejez. Sin embargo, estos términos, tomados de la biología, son engañosos y muy censurados. (2007, p.6). El "ciclo geográfico" fue diseñado para explicar el desarrollo de formas de tierra templadas húmedas producidas por el desgaste prolongado de las rocas elevadas que ofrecen una resistencia uniforme a la erosión. Se extendió a otras formas de relieve, incluyendo paisajes áridos, paisajes glaciales, paisajes periglaciales, formas de relieve producidas por procesos en tierra y paisajes kársticos (2007, p.7).

El "ciclo geográfico" de William Morris Davis – en el cual los paisajes evolucionan a través de etapas de juventud, madurez y vejez – debe ser considerado como un trabajo clásico, incluso hoy en día ha sido reemplazado. Su atractivo parece haber estado en su contenido teórico y en su simplicidad.



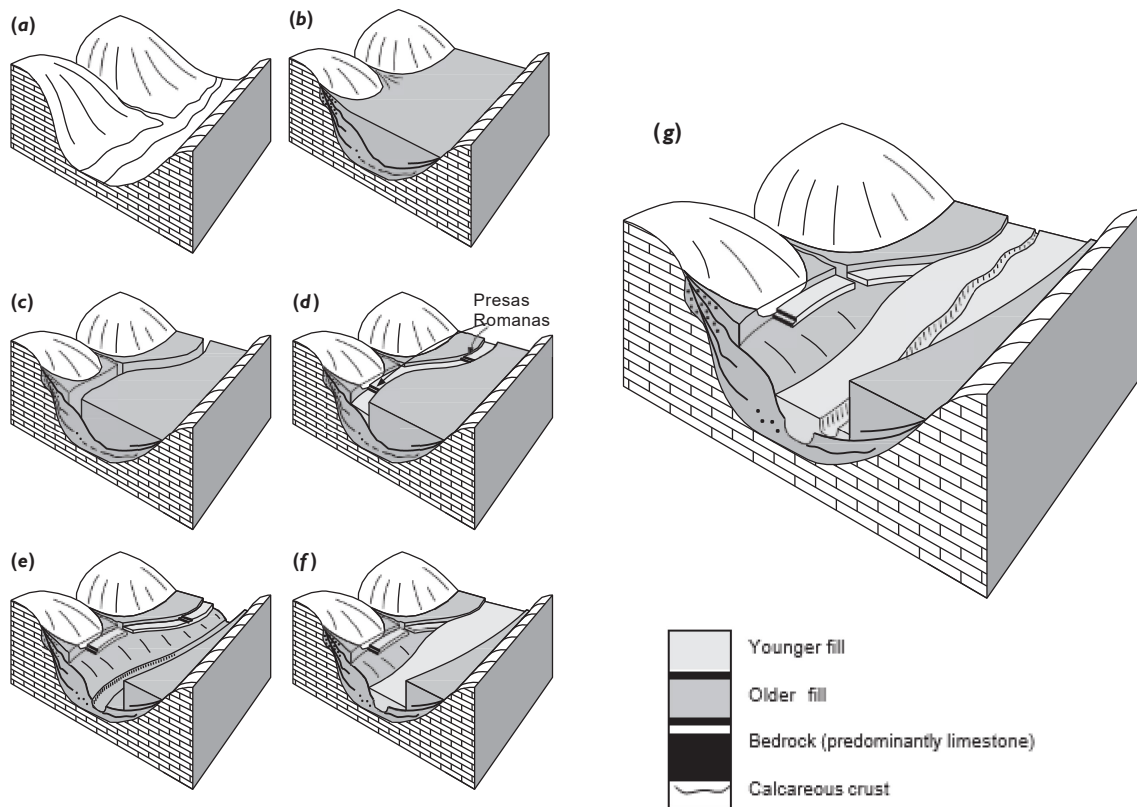
**Figura 1.** Ciclo Geográfico de Davis  
**Fuente:** Huggett, 2007.

#### 4.1.2. Geomorfología Histórica Moderna

La geomorfología histórica se ha desarrollado desde el tiempo de Davis, y la interpretación de los cambios a largo plazo del paisaje ya no depende solamente del ciclo geográfico (Huggett, 2007, p.7). Ahora se emplea varios análisis cronológicos, particularmente los basados en estudios estratigráficos de los sedimentos cuaternarios y en una apreciación mucho más completa de los procesos geomórficos y tectónicos (2007, p.7).

La forma más fácil de explicar la geomorfología histórica moderna, es a modo de ejemplo. En este caso se toma el caso del aluvión y coluvio de río que llena muchos valles. En los países limítrofes del Mar Mediterráneo, Claudio Vita – Finzi (1969) inició la investigación sobre el origen de los rellenos de los valles, concluyendo que casi todos los aluviones y coluvios fueron depositados durante dos episodios de mayor agravación (épocas en que la sedimentación superó la erosión). La Figura 2, es una reconstrucción esquemática de la historia geomórfica de un valle en Tripolitania (Libia occidental) (Huggett, 2007, p.9).

La clave para desbloquear la historia de los valles en la zona, es el material arqueológico en los depósitos fluviales. Vita – Finzi encontró tres depósitos principales de diferentes edades. El más antiguo contiene implementos paleolíticos y parece haberse acumulado durante el Pleistoceno, los ríos cortaron en él, entre aproximadamente 9.000 y 3.000 años (2007, p.9).



Una reconstrucción de la historia geomorfológica de un valle de Tripolitania. (A) Valle original. (B) Depósito de llenado más antiguo. (C) Corte del río en relleno más antiguo. (D) Las presas romanas contienen sedimentos. (E) Los ríos cortan aún el relleno más antiguo y el aluvión romano. (F) Depósito de relleno más joven. (G) Valle actual y sus depósitos aluviales.

**Figura 2.** Reconstrucción geomórfica de un valle en Tripolitania

**Fuente:** Huggett, 2007.

El segundo depósito se acumuló detrás de las presas construidas por los romanos para almacenar agua y retener sedimentos. Tarde en el Imperio, las aguas de la inundación rompieron las presas y cortaron el aluvión romano. Los ríos construyeron el tercer depósito, que contenía material romano y anterior, así como la cerámica y la colocación de carbón en el período medieval (AD 1200 – 1500), dentro de los cauces abandonados (Huggett, 2007, p.9).

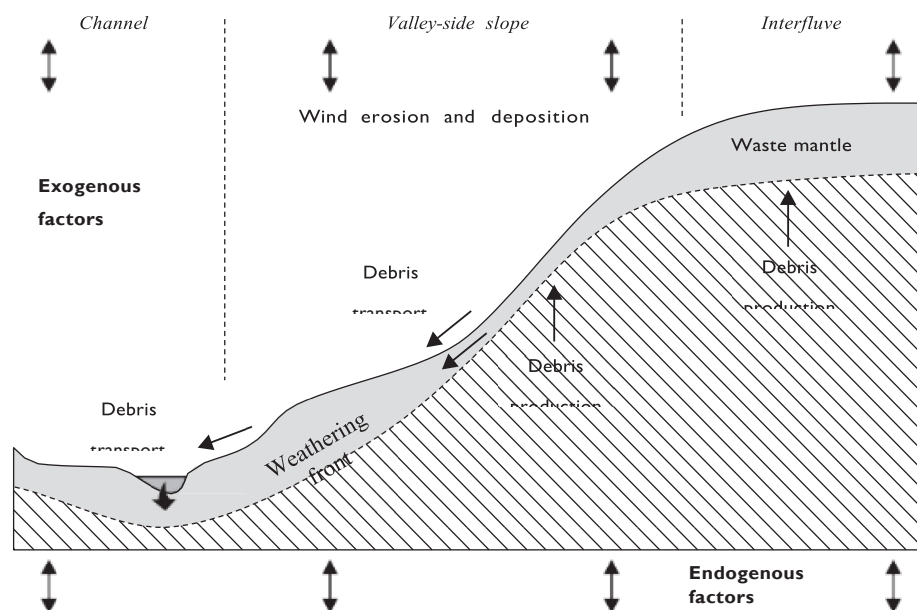
Un examen más amplio de los aluviones en los valles mediterráneos permitió a Vita – Finzi reconocer un relleno más antiguo que databa del pleistoceno y un relleno más joven que databa de aproximadamente 500 – 1500 DC. El relleno más antiguo se depositó como un cuerpo sustancial de coluvión (lavado de la pendiente) bajo un régimen "periglacial" durante la última etapa glacial. El relleno más joven era un producto de las fases de erosión durante los últimos tiempos imperiales romanos, a través de la Edad Media. Vita – Finzi cree que es el producto de un aumento en la erosión asociada con el clima del Período Medieval o la Pequeña Edad de Hielo (Huggett, 2007, p.10).

#### **4.1.3. Procesos Morfodinámicos Naturales.**

Los procesos geomorfológicos son dinámicos y por lo tanto corresponden a todos los movimientos que ha experimentado la tierra desde sus inicios, tanto aquellos que se originan en su interior (Geodinámica interna, o procesos endógenos), como los que se generan por la interacción de la hidrosfera y la atmósfera (fuerzas externas), que actúan en la superficie terrestre (Geodinámica externa, o procesos exógenos) (Instituto Colombiano de Geología y Minería, 2004 [INGEOMINAS], p.9).

Los procesos geodinámicos externos (exógenos), están representados por los fenómenos que actúan en la superficie terrestre, son esencialmente fenómenos que contribuyen al remodelo y reducción del relieve inicial; la acción de los procesos exógenos se traduce en la meteorización de las rocas, la erosión y transporte de materiales y los fenómenos de remoción en masa. Estos procesos que son destructores o modificadores de las geoformas iniciales son a la vez constructores de nuevos paisajes mediante la sedimentación o depositación de materiales.

En la figura 3, se presenta esquemáticamente los diferentes procesos geodinámicos, tanto endógenos como exógenos, su relación e influencia en la conformación morfológica de una vertiente o ladera (INGEOMINAS, 2004, p.9).



Una vertiente como un sistema, que muestra almacenes (manto de residuos), insumos (por ejemplo, deposición de viento y producción de escombros), salidas (por ejemplo, erosión eólica), caudales (transporte de escombros) y unidades (canal, pendiente del valle, interfluvio).

**Figura 3.** Modelo descriptivo de la relación entre los procesos geodinámicos tanto endógenos como exógenos en una ladera.

**Fuente:** Huggett, 2007.

## 4.2. Sistema de Clasificación de las Geoformas

En los estudios de cartografía geomorfológica, es fundamental la diferenciación de unidades geomorfológicas que estén íntimamente relacionadas de acuerdo a los objetivos de los estudios, los métodos de zonificación y la escala de trabajo, y estos a su vez ligados con los procesos de generalización de polígonos en un ambiente de trabajo SIG.

### 4.2.1. Categorías de las Geoformas

Para la identificación y clasificación morfológica, en el presente proyecto se aplican los principios generales y métodos de análisis de los sistemas de clasificación y evaluación de terrenos dados por la metodología cartográfica del Instituto Espacial Ecuatoriano, una variación del sistema de mapeo del ITC de Holanda, el cual estructura la información geomorfológica en distintos niveles jerárquicos. Debido a que el relieve y el paisaje físico se pueden concebir a través de un sistema que, en función de la escala espacial de referencia, permite distinguir áreas o unidades con características comunes y diferenciables de las contiguas a dicha escala de observación (SIGTIERRAS, 2015, p.7).

Las categorías definidas parten del más general al de mayor detalle, a continuación se define cada uno de ellos:

Región, dominio fisiográfico (ambiente morfogenético), contexto morfológico, unidades morfológicas (paisaje geomorfológico), y formas del terreno (niveles inferiores)

#### 4.2.1.1. Región

Es concebida como una geoestructura que posee una extensa porción continental caracterizada por su estructura geológica, incluyendo la naturaleza de las rocas (litología), su edad (estratigrafía) y sus deformaciones (tectónica) Estas macro – unidades tienen relación con la tectónica de placas (Zinck, 2012, p.69). Son del orden de  $10^4$  a  $10^5$  km<sup>2</sup>; dentro del Ecuador continental se tienen tres regiones (ver cuadro 1): costa, serranía y oriente (SIGTIERRAS, 2015, p.7).

#### 4.2.1.2. Dominio fisiográfico

Corresponde a conjuntos de regiones con geformas similares. En general está definida por mega geformas que puede asimilarse a regiones naturales y de terrenos geológico, los cuales están demarcados por fallas regionales y continentales definidas (Zinck, 2012, p.70). Dentro de esta clasificación en Ecuador se pueden definir 18 dominios (SIGTIERRAS, 2015, p.7) (ver cuadro 1).

#### 4.2.1.3. Contexto Morfológico

Territorio con características comunes en cuanto al tipo general de modelado y fisiografía, en el que suele predominar un tipo de sustrato geológico o de formación superficial y muy a menudo caracterizado complementariamente por la presencia generalizada o por la ausencia de cobertura piroclástica (SIGTIERRAS, 2015, p.8). En el Ecuador, los contextos morfológicos concebidos dentro de los dominios fisiográficos superan las 50 clases (ver cuadro 1).

**Cuadro 1.** Regiones, Dominios y Contextos Morfológicos del Ecuador

<b>REGIÓN SIERRA</b>	
<b>DOMINIO FISIOCRÁFICO: VERTIENTES EXTERNAS DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL</b>	
<b>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</b>	Relieves diversificados sobre materiales volcánicos antiguos, con cobertura piroclástica (Cordillera Occidental)
	Relieves diversificados sobre materiales volcánicos antiguos, sin cobertura piroclástica (Cordillera Occidental)
	Zonas deprimidas o abrigadas y primeras estribaciones de la vertiente occidental, sin cobertura piroclástica (Cordillera Occidental)
	Vertientes homogéneas sobre granitos y granodioritas, con cobertura piroclástica (Cordillera Occidental)

**Continúa...**

<i>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</i>	Vertientes de carácter estructural sobre rocas volcano- sedimentarias y metamórficas, con cobertura piroclástica (Cordillera Occidental)
	Cuencas deprimidas con relieves colinares sobre rellenos volcano-sedimentarios, con cobertura piroclástica (Cordillera Occidental)
	Relieves escarpados sobre rocas metamórficas, sin cobertura piroclástica (Cordillera Occidental)
	Relieves y estribaciones meridionales de la vertiente occidental, sin cobertura piroclástica (Cordillera Occidental)
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: VERTIENTES EXTERNAS DE LA CORDILLERA REAL</b>	
<i>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</i>	Relieves escarpados sobre rocas metamórficas, con cobertura piroclástica (Cordillera Real)
	Relieves escarpados sobre rocas metamórficas, sin cobertura piroclástica (Cordillera Real)
	Vertientes homogéneas sobre granitos y granodioritas, con cobertura piroclástica (Cordillera Real)
	Vertientes homogéneas sobre granitos y granodioritas, sin cobertura piroclástica (Cordillera Real)
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: CIMAS FRÍAS DE LAS CORDILLERAS OCCIDENTAL Y REAL</b>	
<i>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</i>	Paisajes glaciares
	Paisajes de páramo con modelado periglaciario y huellas glaciares poco marcadas
	Paisajes de páramo con modelado eólico
	Relieves de los márgenes de las cimas frías
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: SISTEMA VOLCÁNICO</b>	
<i>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</i>	Vestigios de edificios volcánicos muy destruidos, difícilmente identificables
	Construcciones de tipo estrato-volcán y formas asociadas
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: VERTIENTES Y RELIEVES DE CUENCAS INTERANDINAS</b>	
<i>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</i>	Vertientes y relieves superiores de las cuencas interandinas, con cobertura piroclástica (Sierra Norte)
	Vertientes y relieves superiores de las cuencas interandinas, sin cobertura piroclástica (Sierras Central y Meridional)
	Macizos internos de la Sierra Sur sobre litología indiferenciada, sin cobertura piroclástica
	Macizos internos de la Sierra Sur sobre granitos y granodioritas, sin cobertura piroclástica
<i>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</i>	Vertientes y relieves inferiores de las cuencas interandinas, con cobertura piroclástica. Sierra Norte
	Vertientes y relieves inferiores de las cuencas interandinas, sin cobertura piroclástica. Sierra Sur
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: RELIEVES DE FONDO DE CUENCAS INTERANDINAS</b>	
<i>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</i>	Relieves de fondo de cuencas interandinas con rellenos volcano-sedimentarios y piroclásticos
	Relieves de fondo de cuencas interandinas sin cobertura piroclástica
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: MEDIO ALUVIAL DE SIERRA</b>	
<i>CONTEXTO MORFOLÓGICO</i>	Medio aluvial de Sierra

*Continúa...*



<b>REGIÓN AMAZONÍA</b>	
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: ZONA SUBANDINA</b>	
<b>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</b>	Cordillera del Napo: paisajes estructurales, calcáreos y relieves periféricos, con cobertura de cenizas volcánicas
	Cordillera del Cutucú: relieves sobre rocas calcáreas y areniscas, con y sin formas estructurales. Sin cobertura de cenizas volcánicas
	Cordillera del Cóndor: relieves accidentados principalmente sobre granitos y modelado estructural sobre areniscas. Sin cobertura de cenizas volcánicas
	Corredores, depresiones (Cosanga, Limón-Gualaquiza y Zumba) y vertientes bajas marginales
	Estribaciones orientales subandinas: relieves sobre arcillas y areniscas (parcialmente fosilizadas por las formaciones de piedemonte)
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: AMAZONIA PERIANDINA</b>	
<b>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</b>	Piedemontes próximos, con cobertura de cenizas volcánicas recientes
	Piedemontes distales, sin cobertura de cenizas volcánicas
	Colinas periandinas occidentales
	Colinas periandinas orientales
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: MEDIO ALUVIAL AMAZÓNICO</b>	
<b>CONTEXTO MORFOLÓGICO</b>	Medio aluvial amazónico
<b>REGIÓN COSTA</b>	
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: RELIEVES ESTRUCTURALES SOBRE SEDIMENTOS TERCIARIOS</b>	
<b>CONTEXTO MORFOLÓGICO</b>	Mesas muy disectadas y restos de relieves tabulares sobre limolitas y areniscas culminantes
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: GRAN CONO TABULAR DE LA LLANURA COSTERA Y LLANURA ALUVIAL ANTIGUA</b>	
<b>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</b>	Gran cono tabular de la llanura costera
	Testigos disectados de depósitos aluviales encaramados
	Llanura aluvial antigua
	Superficies onduladas y transición a la llanura aluvial reciente
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: PIEDEMONTE ANDINO OCCIDENTAL</b>	
<b>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</b>	Conos de esparcimiento y formas de piedemonte proximales, en contacto con la vertiente andina occidental
<b>CONTEXTOS MORFOLÓGICOS</b>	Conos de esparcimiento y formas de piedemonte distales, planos a poco disectados
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: PIEDEMONTE COSTERO</b>	
<b>CONTEXTO MORFOLÓGICO</b>	Glacis de los piedemontes costeros
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: BAJA LLANURA ALUVIAL INUNDABLE DE LA COSTA</b>	
<b>CONTEXTO MORFOLÓGICO</b>	Llanura aluvial reciente
<b>DOMINIO FISIOGRÁFICO: MEDIO ALUVIAL COSTERO</b>	
<b>CONTEXTO MORFOLÓGICO</b>	Medio aluvial costero

*Continúa...*

DOMINIO FISIAGRÁFICO: CORDILLERAS COSTERAS SOBRE ROCAS VOLCÁNICAS ANTIGUAS	
CONTEXTO MORFOLÓGICO	Cerros testigos de la llanura aluvial reciente
DOMINIO FISIAGRÁFICO: MEDIO LITORAL	
CONTEXTOS MORFOLÓGICOS	Llanura y depresión costera de Arenillas
	Formas y depósitos fluvio-marinos

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015.

**Elaboración:** El Autor, 2017.

#### 4.2.1.4. Unidad morfológica

Corresponde a los elementos básicos que componen un paisaje o modelo geomorfológico, que pueden agruparse en familias de acuerdo al proceso formador dominante: estructural, erosional, deposicional, etc. En general, la literatura geomorfológica no establece una clara diferenciación entre las geoformas de nivel 4 (unidad morfológica) y las geoformas de nivel 5 y 6 (formas del terreno) (Zinck, 2012, p.73). En el cuadro 2, se presenta una lista de geoformas, que ayudan a comprender su nivel cartografiable.

#### 4.2.1.5. Formas del Terreno

El término forma de terreno se usa frecuentemente como un concepto general, que cubre cualquier tipo de unidad geomorfológica desde el *nivel de paisaje* (geoformas tipo 3) hasta los niveles más bajos del sistema, sin distinción de jerarquía o de grado de abstracción. En este sentido, el término de forma de terreno es sinónimo de geoforma (Zinck, 2012, p.76). En este sistema jerárquico de clasificación de las geoformas, la forma de terreno se considera como el concepto genérico del nivel inferior del sistema. Corresponde a la unidad geomorfológica elemental, la cual puede ser dividida sólo por medio de fases. (2012, p.76).

En su definición practica se la considera como una porción del territorio, identificable con respecto a las de su entorno inmediato desde el punto de vista perceptivo, que presenta características homogéneas en cuanto a su génesis, morfología, morfometría, procesos morfodinámicos actuantes y material constitutivo (formación geológica o depósito superficial sobre la que se asienta) (Zinck, 2012, p.76). Son las unidades básicas de mapeo a escalas 1: 10.000 y 25.000, en el cuadro 2, se provee más detalles.

Es importante mencionar que el interés común del proyecto es generar cartografía geomorfológica a escala 1: 25.000, por ese motivo con el nivel de jerarquía establecido hasta el momento se cumple con su fiel propósito, pero por razones teóricas y prácticas se cita una clasificación más, de acuerdo al sistema del ITC de Holanda.

**Cuadro 2.** Ejemplos de unidades de relieve de acuerdo a su escala

<b>Unidad morfológica (escala 1: 50.000 – 100.000)</b>	<b>Forma de relieve (escala 1: 10.000 – 25.000)</b>
<b>Valles fluviales y formas relacionadas con predominio de sedimentación</b>	Valle fluvial, llanura de inundación
	Terraza baja y cauce actual
	Valle indiferenciado
	Nivel plano
	Nivel ligeramente ondulado
	Nivel ondulado con presencia de agua
<b>Encajamientos e incisiones fluviales</b>	Valle en V
	Barranco
	Garganta
	Encañonamiento
<b>Canales fluviales y otros elementos asociados</b>	Cauces abandonados, meandros abandonados
	Cauces y meandros ocasionalmente funcionales
	Dique o banco aluvial
	Cordón arenoso fluvial
<b>Depósitos de ladera</b>	Coluvión antiguo
	Coluvión reciente
	Macrocoluvión
	Depósitos de deslizamiento, masa deslizada
<b>Depósitos glaciares</b>	Morrena de fondo
	Morrena lateral
	Morrena frontal, arco morrénico
	Morrenas
	Bloques erráticos glaciares
	Drumlins
<b>Formas de erosión</b>	Campo de reg
	Cubeta o cuenca de deflación
<b>Capas inclinadas</b>	Superficie de chevron
	Frente de chevron
	Vertiente de chevron
	Superficie de cuesta
	Superficie de cuesta disectada
	Frente de cuesta

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015.

**Elaboración:** El Autor, 2017.

#### 4.2.1.6. Subpaisaje (Escala 1:2000 a 1:10.000)

Esta subdivisión corresponde a los rasgos del relieve determinados por la morfometría del terreno en sitios particulares (formas de laderas, pendientes anómalas) escarpes estructurales, perfiles de suelos característicos o remanentes (INGEOMINAS, 2004, p.33).

### 4.3. Fundamentos de Cartografía Geomorfológica

La geomorfología involucra y relaciona al paisaje con los procesos que le dieron origen y sus condiciones ambientales. Por lo tanto para lograr una descripción y caracterización adecuada es necesario representarla y transmitirla en forma gráfica o de mapas.

Para lograr una adecuada cartografía geomorfológica se deben definir varios aspectos importantes o atributos, que son características usadas para la descripción, identificación y clasificación de las geoformas. Para este propósito, se usan cuatro clases de atributos, según lo propuesto por Tricart (1965);

- Atributos morfográficos, para representar la geometría de las geoformas;
- Atributos morfométricos, para describir las dimensiones de las geoformas;
- Atributos morfogenéticos, para determinar el origen y la evolución de las geoformas;
- Atributos morfocronológicos, describen el contexto tiempo

#### 4.3.1. Atributos Morfológicos

Los atributos morfológicos son esencialmente descriptivos e incluyen fundamentalmente los gradientes topográficos y las formas relativas (Zinck, 2012, p.92). Dentro de este atributo se incluyen variables como:

##### 4.3.1.1. Morfografía

Define aspectos relacionados con la geometría de la geoforma (delineado y trazado) y descritos a través de un nombre representativo, enmarcado en el análisis de las características de la unidad ambiental (INGEOMINAS, 2004, p.9).



**Figura 4.** Ejemplos de unidades de relieve o geoformas.  
**Fuente:** SIGTIERRAS, 2015.

A continuación en el cuadro 3 se presentan varios ejemplos de geoformas.

**Cuadro 3. Ejemplos de Geoformas**

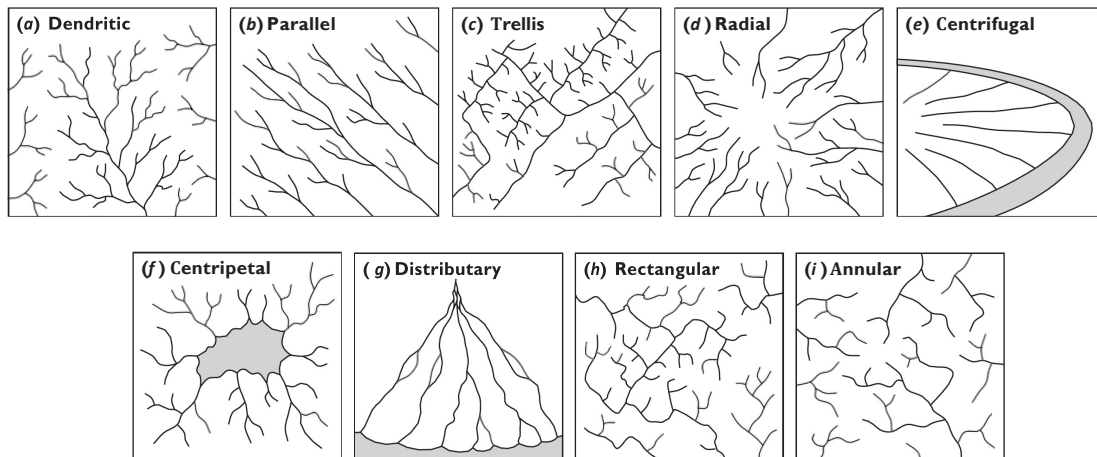
Geoforma	Cod
Valle fluvial, llanura de inundación	Va
Terraza baja y cauce actual	Tb
Valle indiferenciado	Vi
Nivel plano	Nb
Nivel ligeramente ondulado	No
Nivel ondulado con presencia de agua	Nb/Na
Valle en V	Vv
Barranco	Br
Garganta	Gr
Encañonamiento	Ec

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015.

**Elaboración:** El Autor, 2017.

#### 4.3.1.2. El patrón de drenaje

Se refiere a la red de cursos de agua, la cual contribuye a realzar la configuración y el diseño de los contornos de las geoformas. Está controlado principalmente por la estructura geológica (tectónica, litología, volcanismo) en áreas ablacionales y por la estructura y dinámica del sistema deposicional en áreas de agradación (Zinck, 2012, p.92).



**Figura 5. Ejemplos de patrones de drenaje.**

**Fuente:** Huggett, 2007.

#### 4.3.2. Atributos Morfométricos

La morfometría abarca los rasgos dimensionales de las geoformas, derivados de una representación numérica de la topografía. Actualmente procedimientos computarizados permiten la extracción a partir de los DEM y la medición de una variedad de parámetros

morfométricos, algunos de carácter local y otros de carácter regional, incluyendo pendiente, hipsometría, orientación, exposición visual, insolación, curvatura tangencial, curvatura de perfil, características de cuenca hidrográfica (superficie, altura, pendiente), y rugosidad (Olaya, 2014, p.152).

#### **4.3.2.1. Altura Relativa**

La altura relativa entre dos geoformas se evalúa en alta, media, baja. A estas clases cualitativas pueden atribuirse rangos de valores numéricos (en metros) en el marco de una determinada región o un área de proyecto. Los rangos numéricos se establecen en base a condiciones locales y son válidos únicamente para estas condiciones. El atributo de altura relativa es descriptivo, y las clases de altura relativa son diferenciantes pero no diagnósticas (Zinck, 2012, p.97).

#### **4.3.2.2. Pendiente del Relieve**

Se refiere al grado de inclinación de las laderas con relación a la horizontal. Se expresa en porcentaje (Zinck, 2012, p.97).

#### **4.3.2.3. Densidad del Drenaje**

La densidad de drenaje mide el grado de disección o incisión de una superficie de terreno. Las clases de densidad se establecen empíricamente para una región determinada o un área de proyecto. Hoy en día se obtiene automáticamente a partir de herramientas de geoprocésamiento, empleado como insumo principal el DEM (Olaya, 2014, p.153).

#### **4.3.3. Atributos Morfogenéticos**

Como sus raíces lo indican, éste aspecto implica la definición del origen de las formas del terreno. Es decir las causas y procesos que dieron inicio a las geoformas o paisajes. En ese sentido el origen de un paisaje depende de los procesos y agentes que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempo geológico (INGEOMINAS, 2004, p.13).

#### **4.3.4. Atributos Morfoestructurales & Litología**

Corresponde a los procesos morfogenéticos endógenos y exógenos asociados tanto a la deformación y al fracturamiento tectónico (antiguo y reciente), como al vulcanismo que determina geoformas de configuraciones y los procesos externos que alteran esa unidad dependiendo del material y sus características (INGEOMINAS, 2004, p.14).

En resumen se puede decir que los atributos morfométricos y morfográficos se aplican principalmente al componente externo (epigeo) de la geoforma, son esencialmente descriptivos, y pueden ser extraídos de documentos de sensoramiento remoto o derivados de modelos digitales de elevación. Los atributos morfogenéticos y morfocronológicos se aplican mayormente al componente interno (hipogeo) de la geoforma, se caracterizan mediante observaciones y mediciones de campo (Zinck, 2012, p.89).

#### **4.4. Geomorfología Cuantitativa**

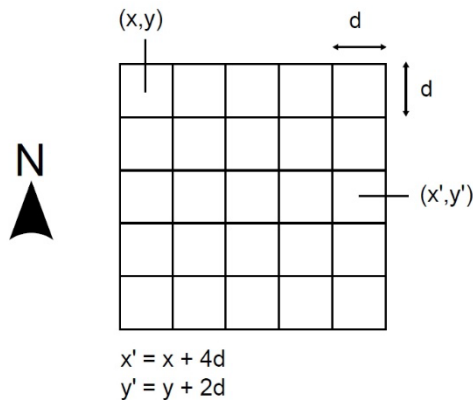
La aparición y extensión de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha hecho posible analizar y visualizar los fenómenos relacionados con la topografía, o con variables de distribución continua, de una forma numérica y procesable por ordenadores empleando los Modelos Digitales de Terreno, que en el campo de las ciencias de la tierra ofrecen una descripción de las formas del relieve como elementos tridimensionales considerando: la forma, tamaño, volumen y topografía (López, 2006, p.9).

En el presente estudio se introduce en el campo de la geomorfología cuantitativa debido a que en una fase inicial de la investigación se efectúa la clasificación automática de las formas de relieve a partir de variables topográficas derivadas del DEM, permitiendo cuantificar rasgos morfométricos específicos y extraer medidas de la superficie. El uso que actualmente se da a los DEM ayuda en gran medida a la automatización de procesos cartográficos, pero cabe mencionar que no son totalmente confiables, sino que deben ser complementados, en este caso aun con técnicas de fotointerpretación, por razones obvias que el intérprete asume y define ciertos criterios técnicos que el software omite.

##### **4.4.1. Modelo Digital de Elevaciones**

El Modelo Digital de Elevaciones es la pieza clave del análisis geomorfométrico. Es el equivalente informatizado de la cartografía clásica de elevaciones tradicionalmente representada mediante curvas de nivel (Olaya, 2014). El DEM supone un enorme salto cualitativo frente a sus predecesores, ya que la utilización de un modelo numérico en lugar de uno gráfico permite una diferencia conceptual de análisis superior en este caso a la que tiene lugar con otras capas de información, pasando a ser una fuente de información de primer orden para el estudio de las geociencias (2014, p. 362). Aunque el empleo de la terminología DEM y MDT es erróneo, actualmente son considerados como sinónimos desde el punto de vista de análisis del terreno (elevación).





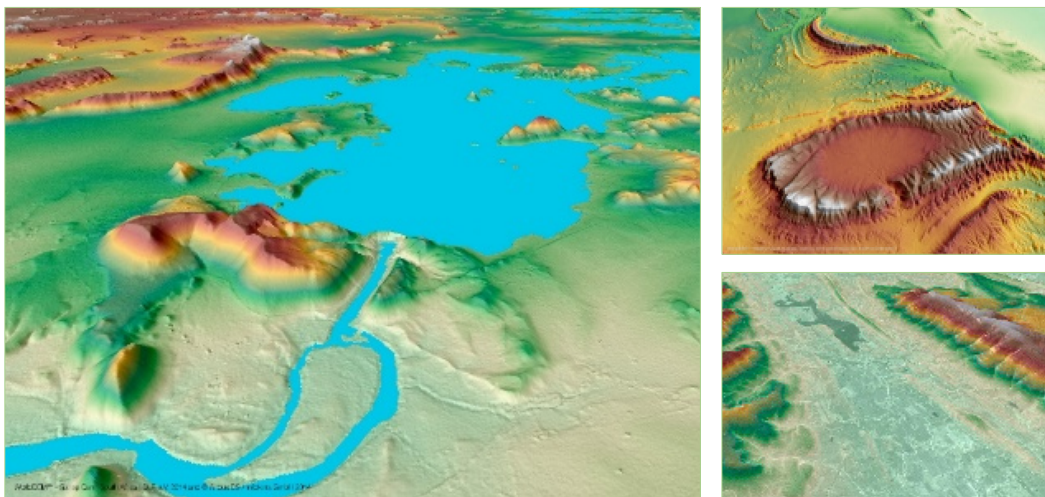
**Figura 6.** Estructura de la malla ráster  
**Fuente:** Olaya, 2014.

Varios autores, entre ellos Felicísimo, lo define como una representación estadística de la superficie continua del terreno, mediante un número elevado de puntos selectos con coordenadas  $(x, y, z)$ , conocidas en un sistema de coordenadas arbitrario (como se citó en Lopez, 2006, p.4).

El uso de los DEM en la actualidad, requiere de alguna información de referencia acerca de la calidad del DEM generado. Entre los criterios

generales acerca de la calidad de los DEM están: la resolución y la precisión. La exactitud del DEM y de los parámetros del terreno derivados puede ser crítica cuando se usan para el modelado ambiental y la predicción de la distribución espacial de propiedades hidrológicas, geomorfológicas, y biológicas (Olaya, 2014, p.363).

La exactitud de los DEM y de los productos derivados dependen de a) de los datos de elevación, incluyendo las técnicas de medida, la localización de las muestras y la densidad de muestreo; b) de los métodos usados para crear el DEM, c) del modelo o estructura de datos, d) de la precisión en la resolución plana y vertical en la cual se representan los datos, e) de la complejidad topográfica del paisaje que está siendo representado, f) de los algoritmos usados para calcular los diferentes atributos del terreno (Lopez, 2006, p.6).



**Figura 7.** Ejemplos de modelos digitales de elevación, aplicados en SIG  
**Fuente:** Airbus Ds & Infoterra, 2014.



#### **4.4.2. Índices Topográficos**

Tradicionalmente, la información topográfica y geomorfológica ha venido haciéndose a partir de mapas topográficos y de fotografías aéreas (técnicas de fotointerpretación) (Castro, 2012, p.21). Actualmente la obtención de variables del terreno de forma automática a partir de los MDT y los SIG ha abierto nuevas posibilidades de análisis, específicamente para la geomorfología cuantitativa, en cuanto la delineación automática de las geoformas; previo al cálculo se deben definir ciertas variables topográficas de acuerdo a los criterios y fines de la investigación. A continuación se menciona la clasificación de los índices topográficos, conceptualizando aquellos que han sido elegidos en el presente de estudio.

##### **4.4.2.1. Índices topográficos primarios**

Están basados en el análisis de las propiedades geométricas de la superficie del terreno (pendiente, aspecto, curvatura y otros valores derivados) y pueden ser obtenidos mediante técnicas computacionales basadas en funciones matemáticas (usualmente 3x3), que se aplican al DEM (Correa, 2012, p.10).

##### **– Curvaturas**

Este algoritmo aporta información sobre la concavidad o convexidad de la superficie en un punto dado. Se ejecuta a partir de medidas geométricas basadas en derivadas de segundo grado, los parámetros que expresan esa información se denominan curvaturas. (Exelis Visual Information Solutions, 2015).

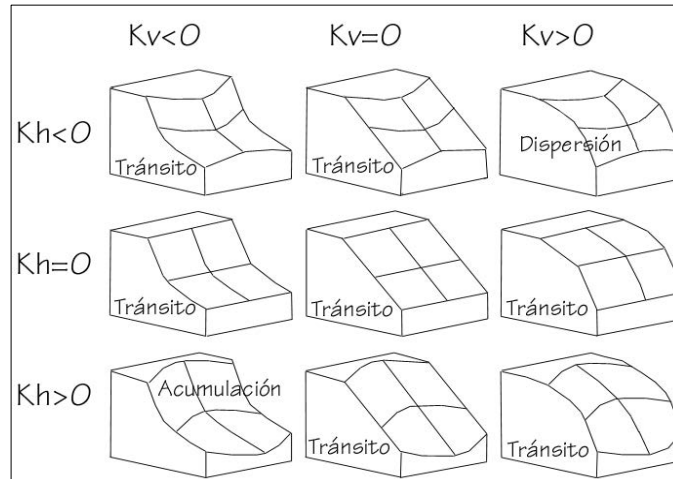
Estas derivadas se pueden calcular en todas direcciones. Las dos direcciones más importantes son la de la máxima pendiente y la perpendicular a ésta. Los valores obtenidos para la segunda derivada en estas direcciones son, respectivamente, la curvatura vertical y horizontal. Los valores positivos indican una curvatura convexa, mientras que los negativos indican una curvatura cóncava. (Exelis Visual Information Solutions, 2015).

##### **– Curvatura Horizontal (Curvatura en planta, ch)**

Es una medida de la convergencia o divergencia del flujo. Es un indicativo del patrón de distribución del agua superficial y de materiales sólidos a través de la dirección de la pendiente. El flujo del agua superficial y subsuperficial converge cuando  $ch < 0$ , y diverge cuando  $ch > 0$ . Las curvaturas; vertical y plana, influyen como un indicador de lineamientos geológicos, estructuras en anillo, y puede ser utilizada para determinar la morfología de fallas (Correa, 2012, p.16).

– **Curvatura Vertical (Curvatura en perfil, cv)**

Refleja el cambio en el ángulo de la pendiente, por lo tanto controla el cambio de la velocidad del flujo de masa a lo largo de la ladera. La curvatura plana refleja el cambio en el ángulo de la orientación e incide sobre la divergencia o convergencia del flujo del agua.



**Figura 8.** Caracterización de procesos de acumulación según los valores de las curvaturas horizontal y vertical asociadas.  
**Fuente:** Olaya, 2014.

– **Curvatura Longitudinal**

La curvatura longitudinal se calcula o se define como la intersección con el plano de la pendiente normal y la dirección del aspecto. (Exelis Visual Information Solutions, 2015)

– **Curvatura Transversal**

La curvatura transversal se define como la intersección con el plano de la pendiente y la dirección perpendicular del aspecto. (Exelis Visual information Solutions, 2015).

– **Mínima y Máxima Curvatura**

La curvatura de una superficie en un punto es el producto de la curvatura máxima y mínima. Se determina tomando la curvatura máxima y mínima de sus secciones en un punto. (Exelis Visual Information Solutions, 2015).



**Figura 9.** Tipos de Curvaturas  
**Fuente:** Exelis Visual Information Solutions (2016).

– **Sombreado**

El análisis del sombreado del relieve es una técnica que se utiliza para generar de forma automática mapas de relieve sombreados. El sombreado del relieve realza visualmente los elementos del terreno simulando los efectos de iluminación de la luz del sol sobre la superficie del terreno. Estima valores de reflectancia de la superficie a partir de la posición del sol a cualquier altitud y en cualquier azimut. La reflectancia se calcula como un rango de valores entre 0 y 100. (Exelis Visual information Solutions, 2016).

– **Pendiente**

La pendiente es una forma de medir el grado de inclinación del terreno. El gradiente de pendientes se calcula a partir de una matriz de 3x3 celdas como se muestra en el esquema. Esta matriz representa la altitud de los 8 vecinos más próximos (Z) que rodean a la celda de columna i y fila j. La Figura 10 muestra la matriz (o kernel) utilizada en el cálculo de las derivadas de las matrices de elevación. Esta ventana de 3x3 se desplaza sucesivamente por encima del modelo para calcular la pendiente. (Exelis Visual Information Solutions, 2015).

z1	z2	z3
z4	z5	z6
z7	z8	z9

**Figura 10.** Matriz Kernel  
**Fuente:** Exelis Visual Information Solutions, 2016.

**4.4.2.2. Índices topográficos secundarios**

Implican combinaciones de los atributos topográficos primarios, son índices que caracterizan la variabilidad espacial de algunos procesos superficiales o propiedades de los suelos: índices de erosión y deposición, índices como el factor LS (longitud e inclinación de la

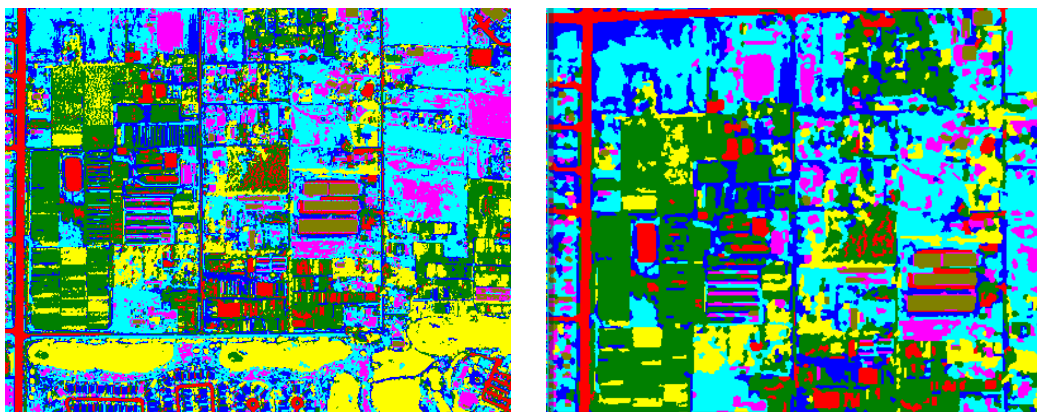
pendiente) de la USLE (Universal Soil Loss Equation), índices de humedad, etc. (Martínez Casanova, 1999).

#### 4.4.3. Método de Clasificación Automática

De los métodos existentes para realizar clasificaciones no supervisadas, en este estudio se ha optado por elegir el método de clasificación ISODATA - Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique). Trata de un proceso iterativo permitiendo al operador tener algo más de control sobre el proceso, al tiempo que aporta una mayor flexibilidad a los resultados.

El método ISODATA analiza la capa resultante en busca de clases con pocos elementos, y en caso de que no superen un umbral mínimo de número de estos, los reparte entre las restantes clases (Olaya, 2014, p.546). Mediante esta operación, el número de clases totales disminuye en uno. Dentro de ese algoritmo la base de su configuración radica en los siguientes aspectos:

- Número máximo de clusters (número de clases) que el algoritmo debe identificar.
- Máximo porcentaje de píxeles (umbral de cambio) cuyos valores se permite permanezcan incambiados entre iteraciones. Cuando se alcanza dicho número el algoritmo se detiene.
- Máximo número de iteraciones. Cuando se alcanza dicho número el algoritmo se detiene.
- Número mínimo de miembros en un clúster. Si un clúster contiene menos de dicho mínimo es eliminado y los miembros son asignados a un clúster alternativo.
- Máxima desviación estándar. Cuando la desviación estándar para un clúster excede el máximo especificado y el número de miembros que contiene es más que el doble del mínimo especificado, el clúster se divide en otros dos clusters.
- Suele también fijarse valores mínimos para las distancias entre los centros de los clusters. Cuando la distancia resulta inferior a dichos valores los clusters se fusionan



**Figura 11.** Ejemplo de clasificación ISODATA  
**Fuente:** Exelis Visual Information Solutions, 2016.

#### 4.5. Fotointerpretación Geomorfológica

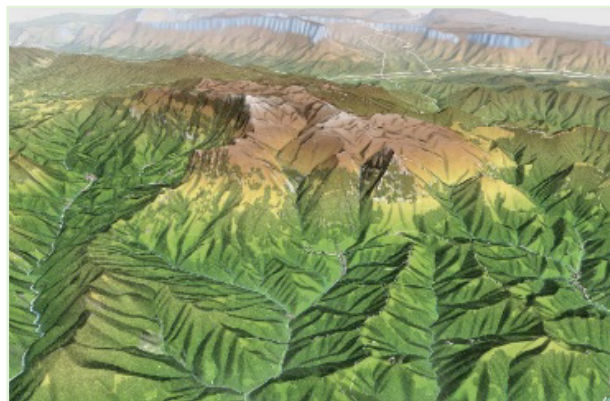
La fotogeomorfología es el estudio científico de la geomorfología a partir de las fotografías aéreas, siendo particularmente útil para: a) reconocer ciertos rasgos topográficos, según su forma, emplazamiento y posición relativa; b) determinar la litología y el trazado de ciertas estructuras geológicas; c) detectar e interpretar acontecimientos geológicos demasados recientes como para hallarse reflejados en la cartografía existente; d) identificar zonas de riesgo natural por procesos geomorfológicos activos (Van Zuidam, 1985).

##### 4.5.1. Fotointerpretación Digital (visualización tridimensional)

La percepción de profundidad se basa principalmente en que cada ojo percibe imágenes diferentes de un mismo objeto, las cuales se fusionan en una sola produciendo, por un proceso cerebral, una impresión tridimensional del objeto; tradicionalmente, ese efecto es adquirido por instrumentos denominados estereoscopios (Olaya, 2014, p.720).

Actualmente la visualización 3D es una de las tendencias más importantes dentro del ámbito SIG (Olaya, 2014, p.719), por ello en el presente estudio se ha optado por elegir este tipo de método para el proceso de identificación, y mapeo de geoformas a través productos como los ortomosaicos, anaglifos, en un entorno de trabajo asistido por el ordenador; cuya combinación, hacen que esta actividad se desarrolle de manera más ágil, permitiendo el almacenamiento de la interpretación directamente en bases de datos espaciales diseñadas acorde a las necesidades del presente estudio (Vergara, 2014, p.2).

El anaglifo permite un análisis tridimensional más extenso del territorio que los fotogramas aéreos y está basado en distribuciones altimétricas cuantitativas, como son los DEMs, por su parte los ortomosaicos con el atributo de tener proyección ortogonal, a diferencia de la proyección central, pueden ser tomados como documentos en cualquier actividad que requiera un mapa, carta o



**Figura 12.** Visualización en 3D  
**Fuente:** Airbus Ds & Infoterra. 2014.

fuente similar de datos (Vergara, 2014, p.3). Los ortofotomosaicos permiten extraer información georreferenciada mediante procesos mucho más rápidos que los requeridos en la generación de cartografía vectorial; adicionalmente, pueden utilizarse como soporte de información métrico – documental con la facilidad de digitalizar y actualizar el contenido de bases de datos cartográficas y temáticas. (2014, p.3)

## **4.6. Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Un SIG se puede definir como aquel método o técnica de tratamiento de la información geográfica que nos permite combinar eficazmente información básica y obtener información derivada. Para ello, contaremos tanto con las fuentes de información como con un conjunto de herramientas informáticas (hardware y software) que nos facilitarán esta tarea; todo ello enmarcado dentro de un proyecto que habrá sido definido por un conjunto de personas, y controlado, así mismo, por los técnicos responsables de su implantación y desarrollo. En definitiva, un SIG es una herramienta capaz de combinar información gráfica (mapas) y alfanumérica (estadísticas) para generar una información derivada sobre el espacio (Olmos, 2010).

### **4.6.1. Base de Datos**

Una base de datos, es un conjunto de datos estructurado y almacenado de forma sistemática con objeto de facilitar su posterior utilización. Puede, constituirse con cualquier tipo de datos, incluyendo los de tipo puramente espacial (geometrías, etc.) tales como los que se utilizan en un SIG, así como, por supuesto, datos numéricos y alfanuméricos como los que constituyen la componente temática de la información geoespacial. Los elementos clave de la base de datos son esa estructuración y sistematicidad, pues ambas son las responsables de las características que hacen de la base de datos un enfoque superior a la hora de gestionar datos (Olaya, 2014, p.204).

### **4.6.2. Modelos Cartográficos**

Los Modelos Cartográficos se refieren a la utilización de las funciones de análisis de un sistema de información geográfica bajo una secuencia lógica de tal manera que se puedan resolver problemas espaciales complejos (Cristancho, 2003). En el esquema de flujo se presentan primero los datos o mapas primitivos de entrada, luego los mapas derivados, a continuación los mapas de interpretación y finalmente el resultado o interpretación final integrada (2003, p.45).

### **4.6.3. Área Mínima Cartografiable (UMC)**

Es la unidad más pequeña de superficie que puede ser delimitada en un mapa. Normalmente corresponde a 4 o 5 mm<sup>2</sup> en el mapa publicado. A continuación en la tabla 1 se definen las diferentes unidades mínimas cartografiables de acuerdo a la escala de trabajo (Prieto & Bocco, 2008, p.37).

**Tabla 1.** Unidades mínimas cartografiables

Escala	Área mínima cartografiable (4 x 4 mm)	
	m <sup>2</sup>	Km <sup>2</sup>
1:500	4	0.000004
1:1000	16	0.000016
1:2000	64	0.000064
1:5000	400	0.0004
1:10 000	1600	0.0016
1:20 000	6400	0.0064
1:25 000	10000	0.01
1:50 000	40000	0.04
1:100 000	160000	0.16
1:250 000	1000000	1
1:500 000	4000000	4
1:1000 000	16000000	16
1:6000 000	576000000	576

**Fuente:** Prieto & Bocco, 2008.

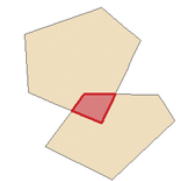
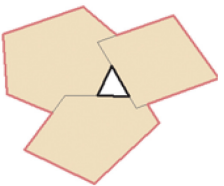
**Elaboración:** El Autor, 2017.

#### 4.6.4. Topología

La topología permite encontrar geometrías coincidentes o comunes tanto en entidades de puntos, líneas y polígonos, así como comprobar las integridad de la información y validación de las representaciones dentro de una geodatabase, muy útil en elementos hidrográficos, red vial, parcelas, etc. (Bravo, 2000).

En el software ArcGIS, existen muchas reglas topológicas que se pueden implementar en una geodatabase, dependiendo de las relaciones espaciales que sean más importantes mantener (ESRI, 2016). A continuación en el cuadro 4, se muestran 2 reglas para polígonos que serán implementadas en el siguiente proyecto de tesis.

**Cuadro 4.** Ejemplos de reglas topológicas para polígonos

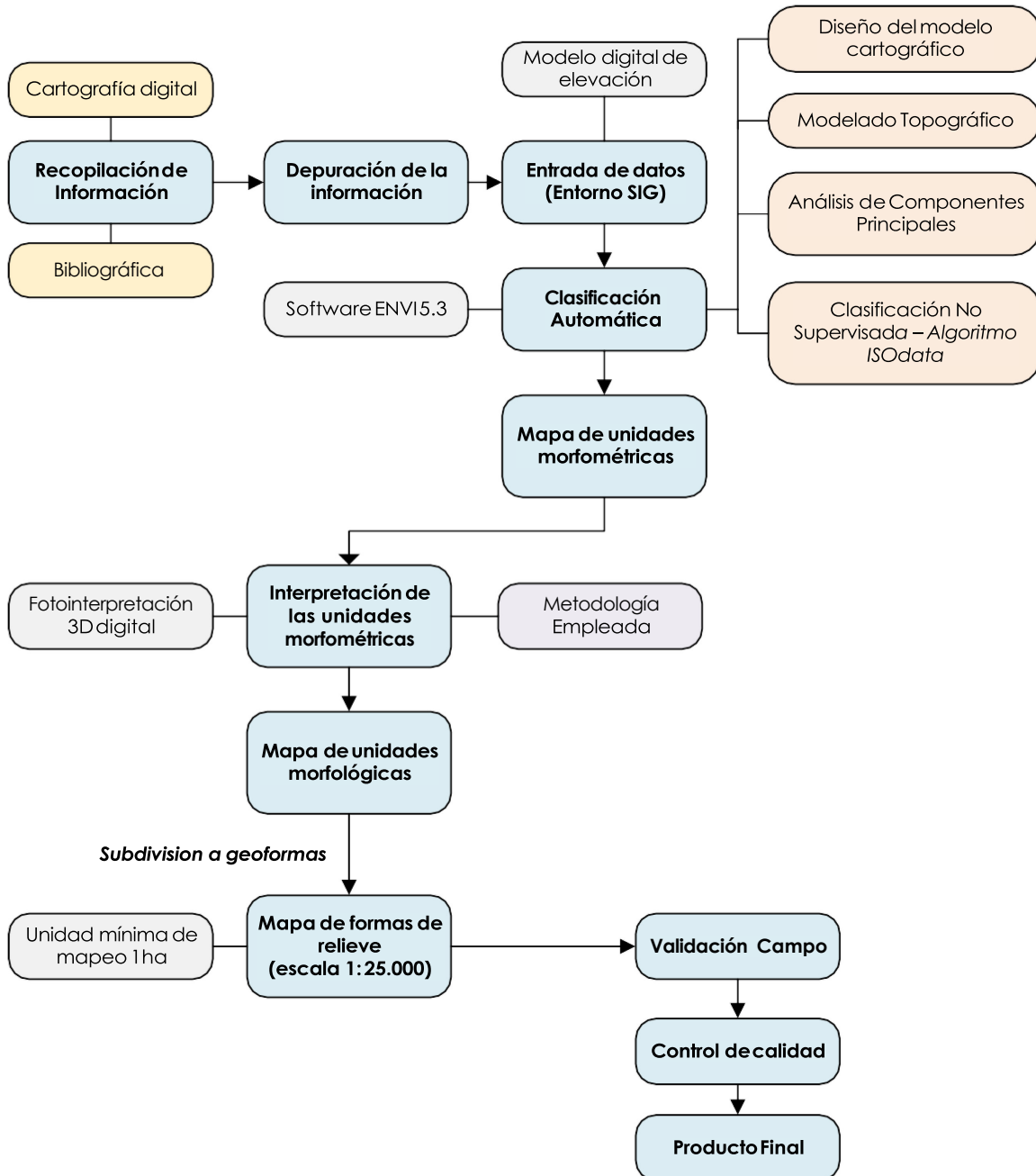
Reglas Topológicas	Gráfica
<b>Must Not Overlap:</b> con esta regla se corrige la superposición entre polígonos	
<b>Must Not Have Gaps:</b> esta regla muestra los vacíos dentro de un polígono simple o entre polígonos adyacentes.	

**Fuente:** ESRI, 2016

**Elaboración:** El Autor, 2017

## 5. METODOLOGÍA

La metodología de estudio llevada a cabo en el presente trabajo de titulación puede considerarse combinada, entre diferentes técnicas y procesos, así como la recopilación de información de diversas procedencias y formatos, enfocados en la consecución de los objetivos planteados. En la figura 13, se esquematiza las fases realizadas para la producción de la cartografía geomorfológica.



**Figura 13.** Esquema general de la metodología empleada en el presente proyecto  
**Fuente:** El Autor, 2017.



## 5.1. Recopilación y Revisión de la Información

Comprende la fase inicial del proyecto relacionada a la búsqueda de información y fuente de datos, para su posterior revisión, análisis y evaluación; a efectos de hallar sus características y establecer su compatibilidad con las especificaciones requeridas.

### 5.1.1. Bibliografía

Entre los diversos documentos y publicaciones adquiridas se ha tomado como referencia por su grado de importancia, el siguiente material bibliográfico:

- *“Modelo de Unidades Geomorfológicas del Ecuador” (2013)*, obtenido del geoportal del Ministerio del Ambiente; en este documento se detalla la metodología para realizar el trazado automático de las unidades de relieve (geoformas de nivel 4, escala 1: 50.000 – 100.000) y obtener como producto final un mapa morfométrico a partir de variables topográficas derivadas del DEM.
- *“Metodología del Levantamiento Geomorfológico” (2015)*, del Instituto Espacial Ecuatoriano, empleada para producir la cartografía geomorfológica, en base a las denominaciones que asigna a cada unidad de relieve (mapa morfométrico) y su posterior subdivisión a formas de relieve (geoformas de nivel 5, escala 1: 25.000).

### 5.1.2. Cartografía

Los recursos cartográficos digitales, conseguidos en los diversos geoportales e Instituciones como: IGM, SIGTIERRAS, INIGEMM, y GAD de Olmedo, se los describe a continuación:

- Fotografías áreas verticales multiespectrales (4 bandas) y modelos digitales de elevación (DEM); del año 2010 – 2011, escala aproximada 1: 5.000, serie NVI-E4a-E4 – NVI-E4d-F3, del SIGTIERRAS (Proyecto Generación de Geoinformación para el Territorio Nacional – Ministerio de Defensa).
- Modelo ASTER – GDEM, con una resolución espacial de 30 metros, obtenido del geoportal <https://reverb.echo.nasa.gov>
- Base topográfica del Instituto Geográfico Militar, escala 1: 50.000
- Hoja Geológica Zaruma – CT-NVI-E, del año 1980, escala 1: 100.000 del INIGEMM.
- Mapa de paisajes naturales del Ecuador, año 1996, escala 1: 1’000.000, de Winckell
- Límites nacionales, cantonales (CELIR), mapa de uso actual de suelo e infraestructura catastral del GAD de Olmedo, escala 1: 50.000.

El procesamiento de la información mencionada en los dos subcapítulos anteriores se realizó aplicando el siguiente software:

- ENVI, versión 5.3; software comercial de la firma Harris Corporation
- ERDAS 14, software comercial de la firma Hexagon Geospatial
- ArcGIS, versión 10.5, software comercial de la firma ESRI
- Google Earth Pro, software libre de la firma Google
- Suite de Ofimática, Office 2013.

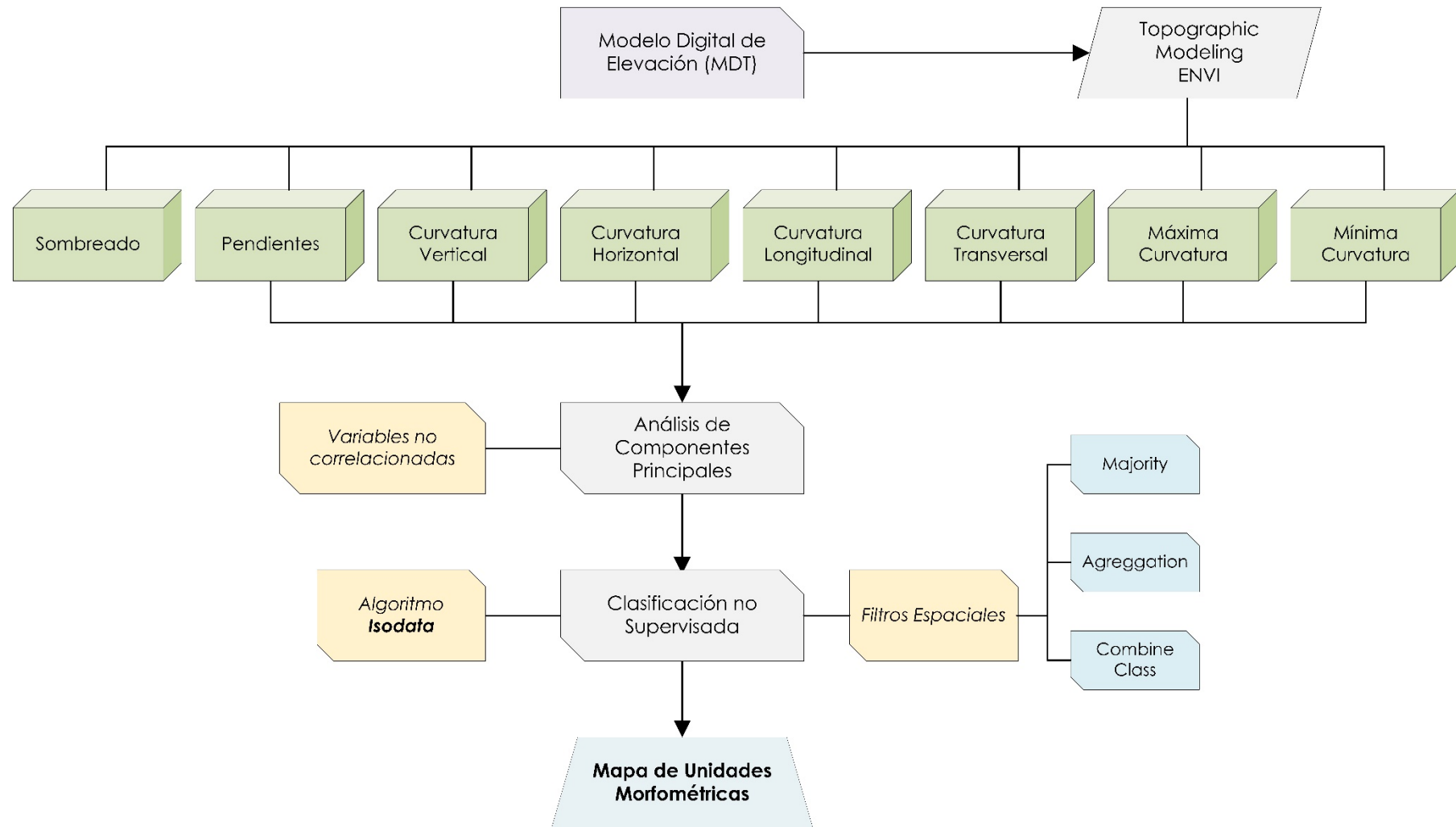
Además, durante la validación de datos en campo se requirió de los siguientes equipos y herramientas:

- Fichas para descripción geomorfológica y geológica
- GPS Garmín
- Cámara Fotográfica Sony
- Brújula Brunton
- Lupa
- Piqueta
- Ácido Clorhídrico (10%)

## 5.2. Clasificación automática de las unidades de relieve

Para la clasificación automática de las unidades de relieve, fue necesario el diseño de un modelo cartográfico (ver figura 14), que represente la metodología en una secuencia de pasos lógicos para obtener como resultado final el mapa morfométrico.

El modelamiento se inicia con el empleo del DEM del cantón Olmedo, con un pixel de resolución de 30 metros, mediante el cual se obtiene una serie de índices topográficos a través de la herramienta **Topographic Modeling** del software ENVI 5.3, seguido se elimina la información marginal a partir de un análisis de componentes principales; estas nuevas variables no correlacionadas servirán de insumo en la fase de clasificación no supervisada (*algoritmo Isodata*); el resultado de la clasificación genera los clústers (unidades poco definidas), junto a ello se aplica una serie de filtros espaciales y un proceso de edición para clasificar de mejor manera las unidades de relieve; consecuentemente en otra fase de la investigación, se efectúa la atribución temática a partir de visualizaciones en 3D.



**Figura 14.** Esquema del modelo cartográfico aplicado.

**Fuente:** Adaptación del proyecto del MAE, “Modelo de Unidades Geomorfológicas”, 2013.

**Elaboración:** El Autor, 2017.

### 5.2.1. Modelamiento Topográfico

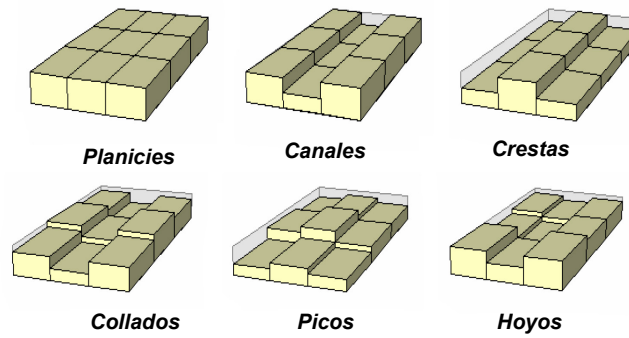
Uno de los fines de este estudio ha sido la aplicación de un conjunto de herramientas que describan la geomorfometría de la superficie donde se ejecuta la presente investigación. Para ello, se emplea como insumo el DEM (ver figura 15), puesto que proporciona información morfométrica, permitiendo sustraer datos cuantitativos del terreno de manera automática.

Entre las múltiples variables (índices topográficos) que se pueden extraer del DEM, se han escogido siete (excluyendo el sombreado), tomando como referencia el criterio dado por Wood (1996), quien menciona los siguientes:

- **La pendiente (%)** calcula la magnitud de la gradiente máxima.
- **La convexidad en planta** (que se intersecta con el plano del eje z y la dirección de aspecto) mide la velocidad de cambio de la pendiente a lo largo del perfil.
- **La convexidad horizontal** (intersección con el plano x, y) mide la tasa de cambio del aspecto a lo largo del plano. Estas dos medidas, están en direcciones ortogonales con la convexidad del perfil en la dirección de los efectos de gravedad máxima y la convexidad del plano en la dirección de efectos de gravedad mínimos.
- **La curvatura longitudinal** (que se intersecta con el plano de la pendiente normal y la dirección de aspecto) mide la curvatura superficial ortogonalmente en la pendiente descendente.
- **La curvatura de la sección transversal** (que se intersecta con el plano de la pendiente normal y la dirección de aspecto perpendicular) mide la curvatura de la superficie ortogonalmente a través de las direcciones de la pendiente.
- **Las curvaturas mínimas y máximas** se aplican a la superficie total.

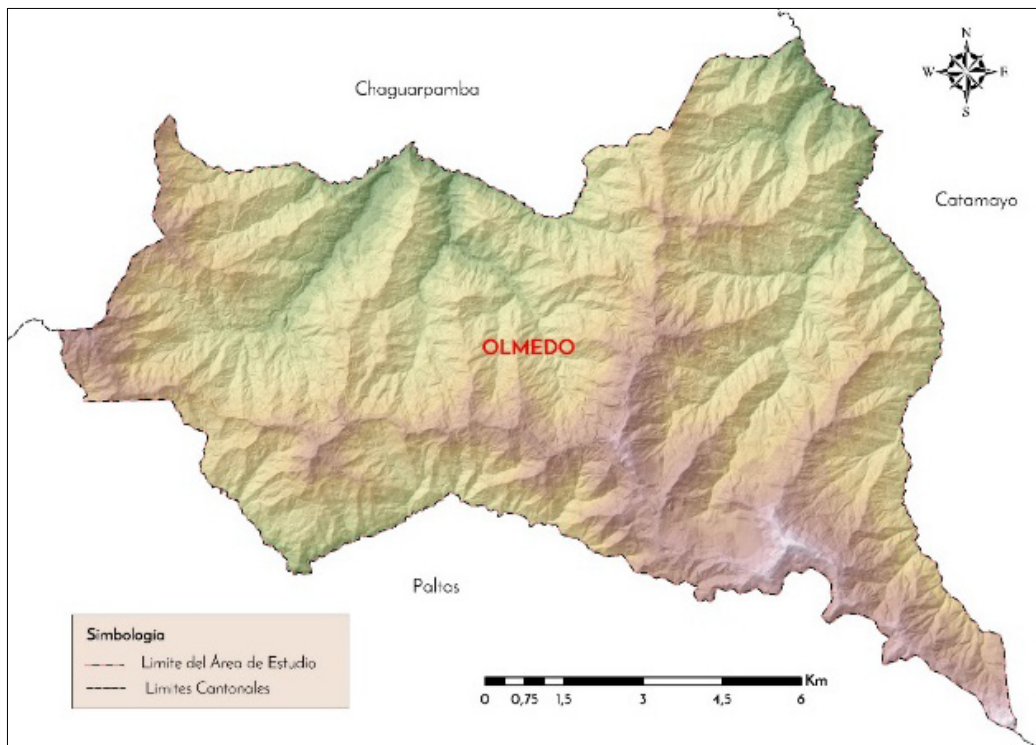
La aplicación de este conjunto de variables topográficas (ambiente SIG) da como resultado el trazado de seis formas generales de relieve (geoformas de nivel 4), los cuales atribuyen a las siguientes características morfométricas.

- Peak: punto en una convexidad local en todas las direcciones.
- Ridge: punto en una convexidad local ortogonal a una línea sin convexidad o concavidad.
- Pass: punto en una convexidad local ortogonal a una concavidad local.
- Plane: puntos que se encuentran en una superficie sin convexidad o concavidad.
- Channel: punto en una concavidad local ortogonal a una línea sin convexidad o concavidad.
- Pit: punto en una concavidad local en todas las direcciones.



**Figura 15.** Los seis tipos de características morfológicas  
**Fuente:** Wood, 1996.

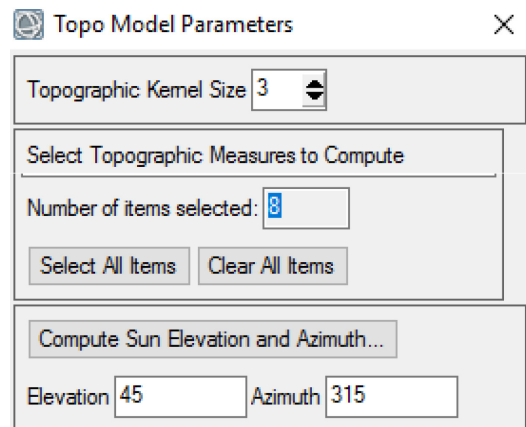
De acuerdo a la temática del presente proyecto, el modelamiento topográfico (proceso para derivar las ocho variables topográficas) se lo ejecuta en el entorno virtual del software ENVI.



**Figura 16.** DEM del cantón Olmedo  
**Fuente:** El Autor, 2017.

Para proceder con el cálculo se dirige al **ToolBox** del software ENVI 5.3, se selecciona la opción **Terrain > Topographic Modelling**; al ejecutarse la herramienta se despliega el cuadro de diálogo de entrada **Topo Model**, en donde se ingresa el DEM, que posee una banda con datos de elevación del terreno, simultáneamente aparece la ventana flotante **Topo Model Parameters**, que debe ser configurada de acuerdo a las siguientes características:

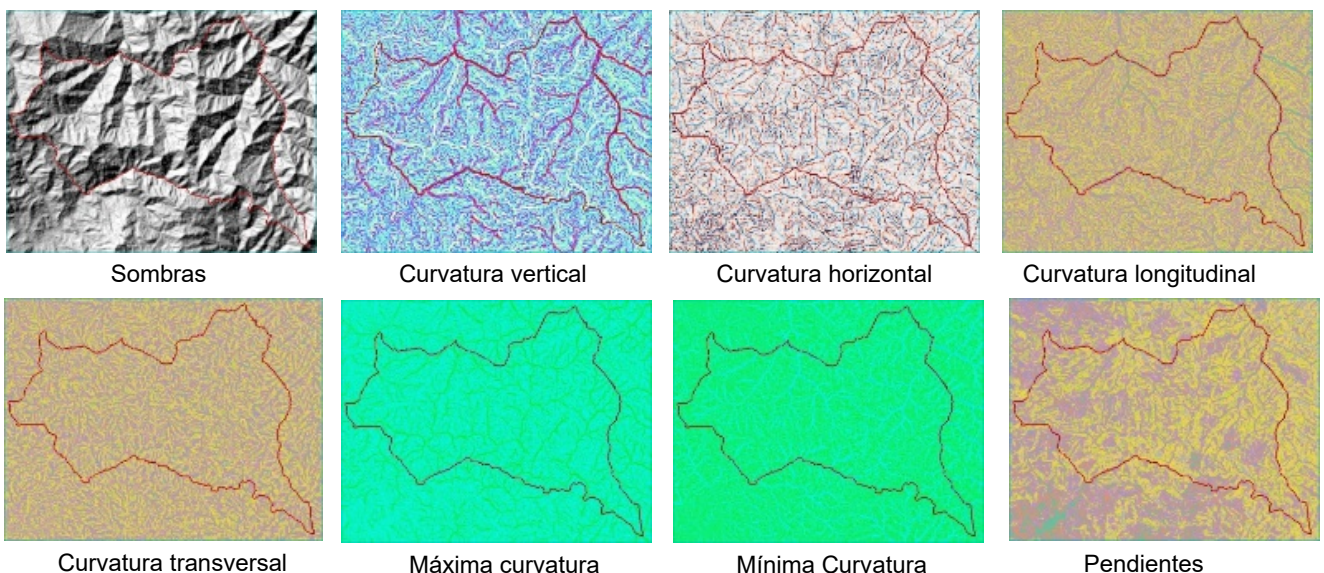
En la opción **Topographic Kernel Size** se ingresa un vecindario de 3 x 3 píxeles que corresponde a una matriz que escanea todo el DEM, de píxel en píxel para generar las derivadas apropiadas en función de los algoritmos de cada uno de ellos.



**Figura 17.** Modelamiento topográfico  
**Fuente:** El Autor, 2017.

En **Select Topographic Measures to Compute**, se elige las medidas topográficas a calcular, para el caso de estudio 8 variables; una capa de pendientes en porcentaje, varias curvaturas, convexidades y una capa de sombreado (visualización del relieve). Por defecto la herramienta crea una banda separada para cada medida topográfica. En el caso de la variable Shaded Relief, se ingresó datos de azimut y elevación del sol, que el software ArcMap automáticamente utiliza, equivalente a 315° y 45° respectivamente.

Como resultado se genera un archivo ráster multivariante, es decir que posee las ocho capas de índice topográficos generados por la herramienta, cabe mencionar que el área de intervención se extendió por una razón obvia; la de evitar la pérdida de información en los límites, más tarde se lo adecuará a la superficie del cantón con las herramientas de geoprocésamiento cuando se haya concluido con la fase de la clasificación automática.



**Figura 18.** Variables obtenidas en el modelamiento topográfico  
**Fuente:** El Autor, 2017.

### 5.2.2. Análisis de Componentes Principales (PCA)

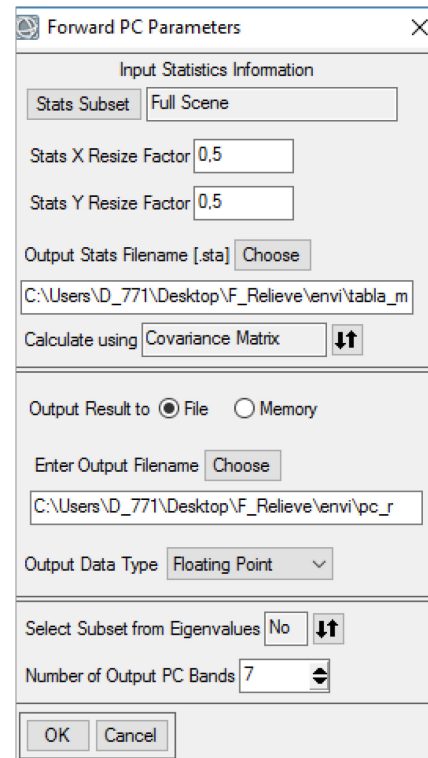
Generado el ráster multivariante (MDM), se procede a eliminar la redundancia de los datos a partir del análisis de componentes principales que permitirá producir bandas no correlacionadas, para separar los componentes del ruido, y reducir la dimensionalidad del conjunto de datos (bandas individuales).

Debido a que los datos topográficos son a menudo altamente correlacionados, la transformación a componentes principales producirá bandas no correlacionadas de salida. Esto se realiza mediante la búsqueda de un nuevo conjunto de ejes ortogonales que tienen su origen en los datos de la media y que se hacen girar, por lo que la varianza de los datos es máxima (Exelis Visual Information Solutions, 2015).

Como resultado se obtiene un producto con el igual número de bandas, donde la primera banda del ACP contiene el mayor porcentaje de variación de datos y la segunda banda contiene la segunda mayor variación de datos, y así sucesivamente. Las últimas bandas de los componentes principales aparecen con ruido, ya que contienen muy poca variación en los datos originales (Exelis Visual Information Solutions, 2015).

ENVI 5.3, permite calcular el PCA a través de la herramienta **Forward PCA Rotation New Statistics & Rotate** (ver figura 20), cuya configuración ha sido definido de acuerdo a los siguientes criterios:

- **Factores de Redimensionamiento X/Y**, equivalente al tamaño de celda, definido en 0.5 permitiendo a la herramienta mantener una velocidad óptima en los cálculos estadísticos.
- Cálculo a partir de una **Matriz de Covarianza**, debido a que los datos no difieren mucho entre las bandas y no se requiere la normalización de las mismas.
- **Elección de un subconjunto de valores propios**, aquí la herramienta permite escoger el número de bandas PC de salida, que por defecto son iguales al número de bandas de entrada.

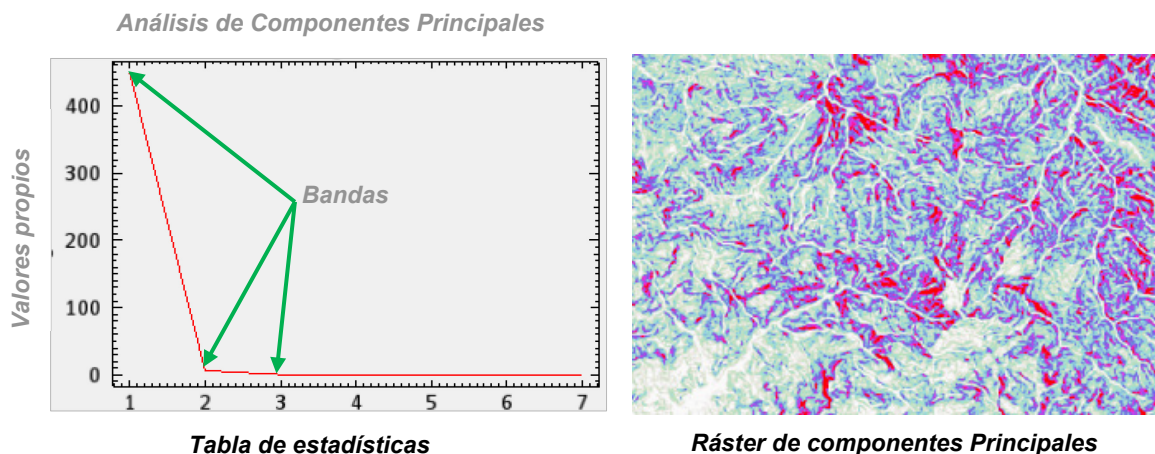


**Figura 19.** Configuración del PCA  
**Fuente:** El Autor, 2017.



Como resultado del ACP se obtienen dos archivos:

- Una tabla comparativa que muestra las capas no correlacionadas y estadísticas de ruido
- Un archivo ráster multivariante que posee las capas de salida de la herramienta de ACP.



**Figura 20.** Archivos generados con la herramienta de ACP  
**Fuente:** El Autor, 2017.

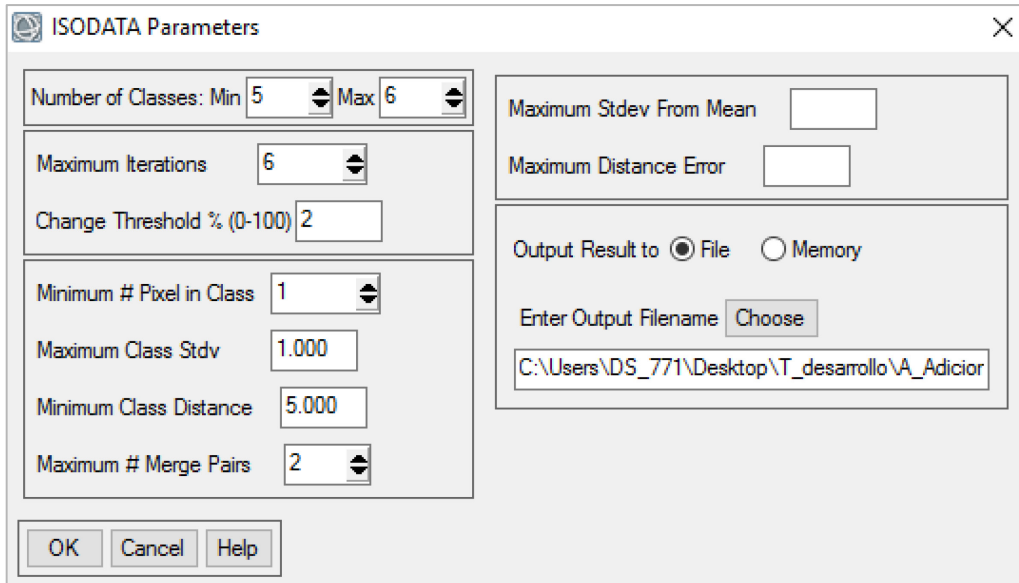
### 5.2.3. Clasificación Automática

Con el análisis de los componentes principales, se desarrolla el proceso de clasificación automática mediante el algoritmo **Isodata**, las variables que ingresan al proceso son las primeras tres bandas (ver figura 20) ya que representan la mayor cantidad de información relacionada a la morfometría del relieve y definen límites discretos de cada una de estas unidades, en función de sus características topográficas.

En el software ENVI 5.3 la herramienta **IsoData Classification** trabaja calculando los medios de clase uniformemente distribuidos en el espacio de datos, y luego agrupa iterativamente los píxeles restantes utilizando técnicas de distancia mínima. Cada iteración recalcula los medios y reclasifica los píxeles con respecto a los nuevos medios. Este proceso continúa hasta que el porcentaje de píxeles que cambian de clases durante una iteración es menor que el umbral de cambio o el número máximo de iteraciones se alcanza. Para ello se deben ajustar parámetros como el número de clases buscadas, el número de iteraciones y el umbral de cambio.

Para la zona de estudio estos parámetros se han definido de la siguiente forma (ver figura 21):

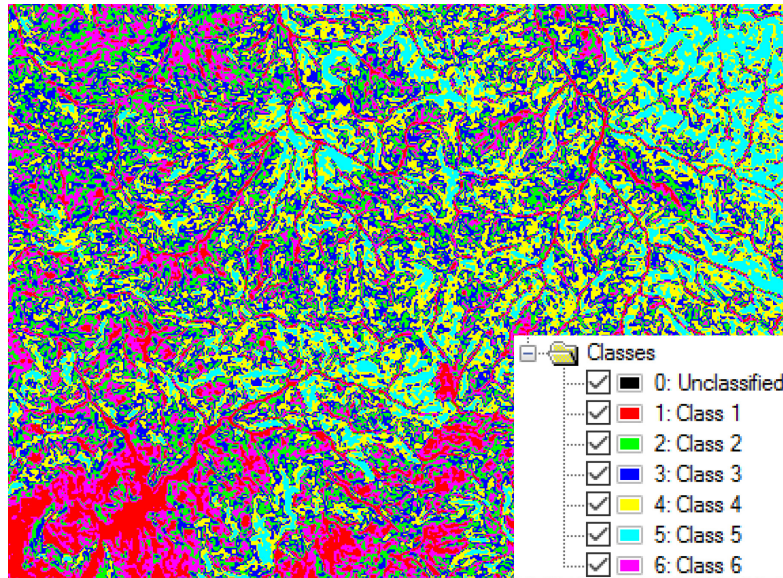




**Figura 21.** Configuración de la herramienta de Clasificación ISODATA  
**Fuente:** El Autor, 2017.

- **Number of Classes:** 6, valor estimado que corresponde a las unidades que se pueden representar en función de la leyenda temática, la escala y la realidad de la zona.
- **Maximun Iterations:** 6 (valor adecuado que permite al software continuar el proceso varias veces hasta cumplir el % del Umbral de cambio, una vez cumplido este criterio el proceso de clasificación termina. La mayoría de veces el proceso termina antes de las 6 iteraciones).
- **Change Threshold:** 2% (valor que indica la confianza en la clasificación, cuando el porcentaje de píxeles que cambian de clase durante una iteración es menor que el valor umbral, se finaliza el proceso de clasificación. La confianza es de 98%, el cual es adecuado para obtener una buena clasificación).

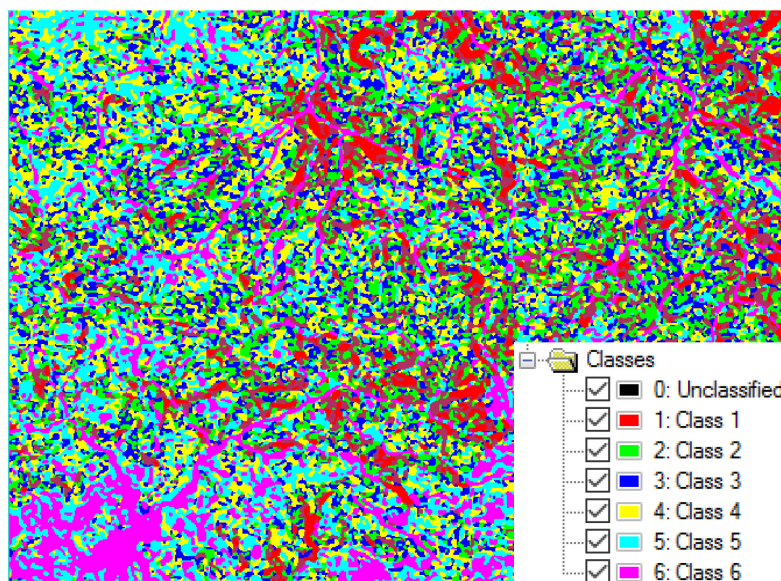
Una vez clasificado el modelo se requiere un post – procesamiento, dirigido a evaluar la precisión de la clasificación y generalizar las clases para la exportación en formato vectorial. Como se puede observar en la figura 22, las unidades se aprecian dispersas y desordenadas, donde aún no se visualiza una unidad de relieve específica, para ello se deben aplicar ciertos filtros espaciales que permitan minimizar el ruido y afinar las mismas, obteniendo un conjunto de unidades interpretables según el sistema de clasificación a emplearse.



**Figura 22.** Clasificación automática a partir del modelado topográfico  
**Fuente:** El Autor, 2017.

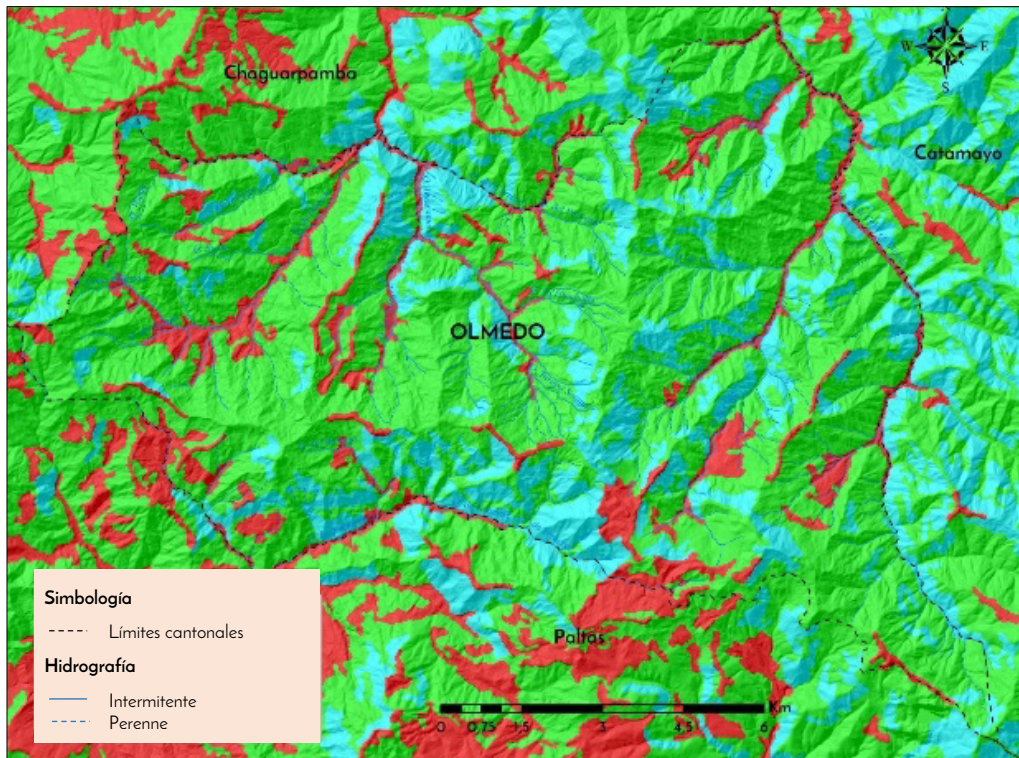
Estos filtros son el suavizado (Majority Analysis) y el de agregación (Aggregation); cuya función consiste en remover el ruido o también conocido como efecto sal y pimienta; para el cálculo utiliza una matriz cuadrada (kernel) definida por un número impar, cuyo valor del pixel central será reemplazado por el valor mayor presente en la matriz (Exelis Visual Information Solutions, 2015). La configuración de la herramienta debe realizarse de acuerdo al siguiente criterio:

- **Tamaño de matriz de suavizado:** 3 x 3 (matriz más fina para el cálculo).
- **Área mínima de agregación:** 4 ha. (En función de la escala cartográfica).



**Figura 23.** Aplicación del filtro de agregación  
**Fuente:** El Autor, 2017.

Finiquitando el proceso de filtrado, aún existen varios pixeles correspondientes a una misma categoría, por lo que se aplica la herramienta **Combine**. Esta función elimina clases individuales pertenecientes a una misma clase temática y las agrupa en una sola categoría, sin realizar cambios a la clasificación final.



**Figura 24.** Clasificación automática finalizada  
**Fuente:** El Autor, 2017.

Al finalizar el proceso se obtiene un archivo en formato ráster (ver figura 24), constituido por las unidades morfométricas (geoformas de nivel 4) listas para ser asignadas con un atributo. Es importante mencionar que el dato cartográfico generado contiene información a nivel general, es decir, el trazado delimita la unidad de relieve definida como Laderas heterogéneas, pero no las geoformas contenidas dentro de esta unidad como: vertientes heterogéneas, vertiente rocosa, por lo que en una siguiente etapa de interpretación 3D, se especificará y delimitará nuevas unidades contenidas dentro de las producidas en esta fase. Además se editará y afinará cada recinto, debido a que la clasificación automática no es un modelo cartográfico totalmente preciso.



### 5.3. Fotointerpretación

En esta etapa de la investigación, se realiza la interpretación de cada unidad morfométrica, a través de la tecnología de visualización 3D que ofrecen los sistemas Información Geográfica, como el software ArcGIS, específicamente su componente ArcScene 10.5, cuya versatilidad hacen que este proceso se desarrolle de una manera más ágil, permitiendo el almacenamiento de la interpretación directamente en bases de datos espaciales diseñadas acorde a las necesidades del proyecto de estudio.

Uno de los aspectos esenciales en el proceso de identificación e interpretación, es la creación de nuevos productos cartográficos a partir de las fotografías aéreas y el DEM, como:

- *El ortofotomosaico*, cuya confección se realiza con el empleo de la herramienta **Mosaic Pro** del software ERDAS 14, a partir del conjunto de 38 ortofotos (ver cuadro 6 y figura 25) obtenidas del SIGTIERRAS, con una resolución espacial de 0.3 pixeles. Con este archivo cartográfico se puede extraer información georreferenciada mediante procesos mucho más rápidos que los requeridos en la generación de cartografía vectorial.

**Cuadro 5.** Fotografías aéreas del cantón Olmedo

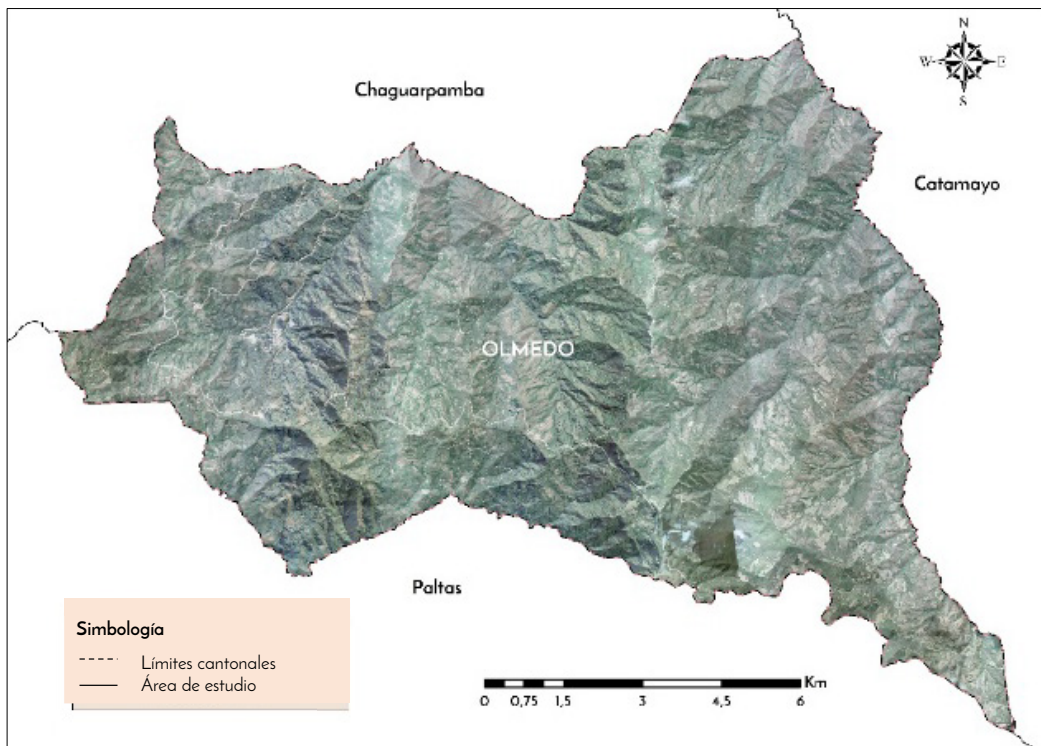
Nº	Carta	Fecha de Toma	Resolución Espacial	Escala
1	NVI-E4a-E4	2010	0,3 por pixel	1: 5000
2	NVI-E4a-F3	2010		
3	NVI-E4a-F4	2010		
4	NVI-E4b-D3	2010		
5	NVI-E4b-D4	2010		
6	NVI-E4b-E1	2010		
7	NVI-E4b-E2	2010		
8	NVI-E4b-E3	2010		
9	NVI-E4b-E4	2010		
10	NVI-E4c-B2	2010		
11	NVI-E4c-B4	2011		
12	NVI-E4c-C1	2011		
13	NVI-E4c-C2	2011		
14	NVI-E4c-C3	2011		
15	NVI-E4c-C4	2011		
16	NVI-E4c-F1	2010		
17	NVI-E4c-F2	2011		
18	NVI-E4d-A1	2010		
19	NVI-E4d-A2	2011		
20	NVI-E4d-A3	2010		
21	NVI-E4d-A4	2011		
22	NVI-E4d-B1	2010		

*Continúa...*

23	NVI-E4d-B2	2010	0,3 por pixel	1: 5000
24	NVI-E4d-B3	2010		
25	NVI-E4d-B4	2010		
26	NVI-E4d-C1	2010		
27	NVI-E4d-C3	2010		
28	NVI-E4d-D1	2011		
29	NVI-E4d-D2	2011		
30	NVI-E4d-E1	2010		
31	NVI-E4d-E2	2010		
32	NVI-E4d-E3	2010		
33	NVI-E4d-E4	2010		
34	NVI-E4d-F1	2010		
35	NVI-E4d-F3	2010		
36	NVI-E4d-F4	2010		
37	NVII-A2b-C1	2010		
38	NVII-A2b-C2	2010		

**Fuente:** SIGTIERRAS, 2016

**Elaboración:** El Autor, 2017.



**Figura 25.** Ortofotomosaico del cantón Olmedo

**Fuente:** El Autor, 2017.

– *El anaglifo*, creado a partir de insumos como el ortofotomosaico (ver figura 26) y el modelo digital de elevación (DEM), a través de la herramienta **Anaglyph Generation** ubicada en el grupo **Manage** del software ERDAS 14. La configuración de la herramienta mencionada debe ser acorde a lo siguiente:

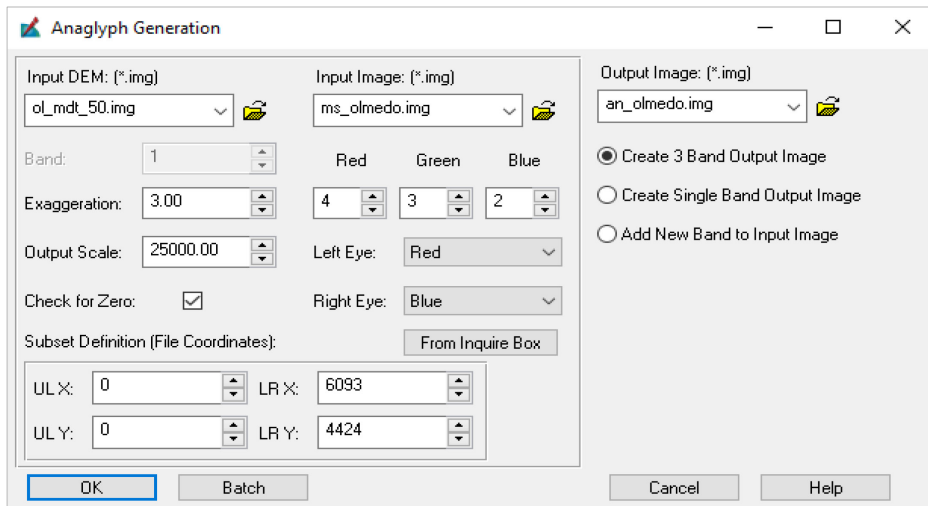
**Input DEM:** modelo digital de elevaciones (obtener la profundidad del relieve).

**Input Image:** mosaico del cantón Olmedo (archivo de imagen).

**Output Image:** ruta establecida para guardar el archivo a generarse.

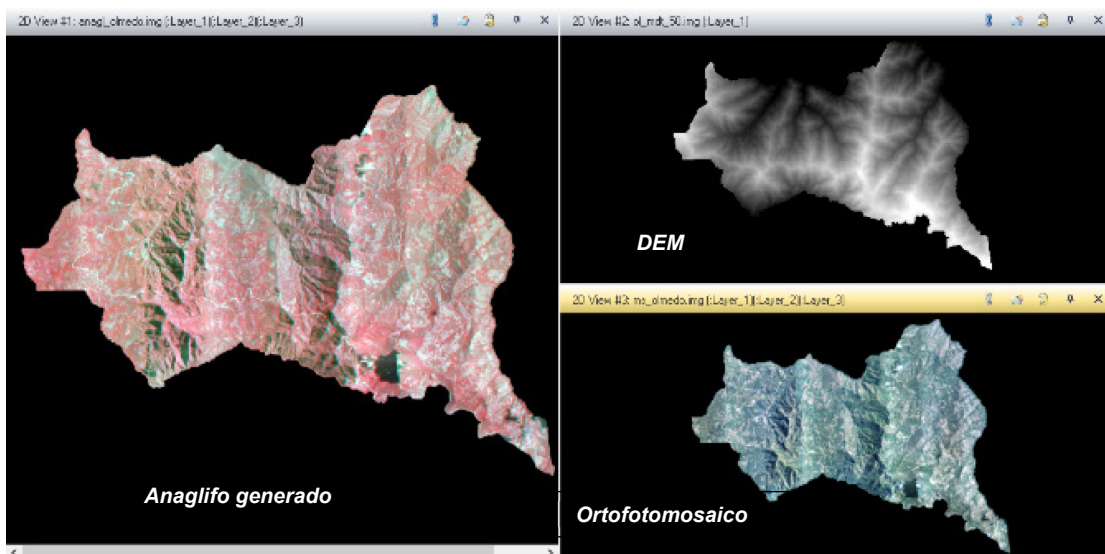
**Exaggeration:** se establece las veces que se quiere aumentar el relieve, esto permite visualizar mejor la profundidad, pero geoméricamente se genera más distorsión. En este campo se ingresa el valor 3x, equivalente al valor usado en los estereoscopios de espejos.

**Output Scale:** escala adaptada al proyecto, en este caso 1: 25 000



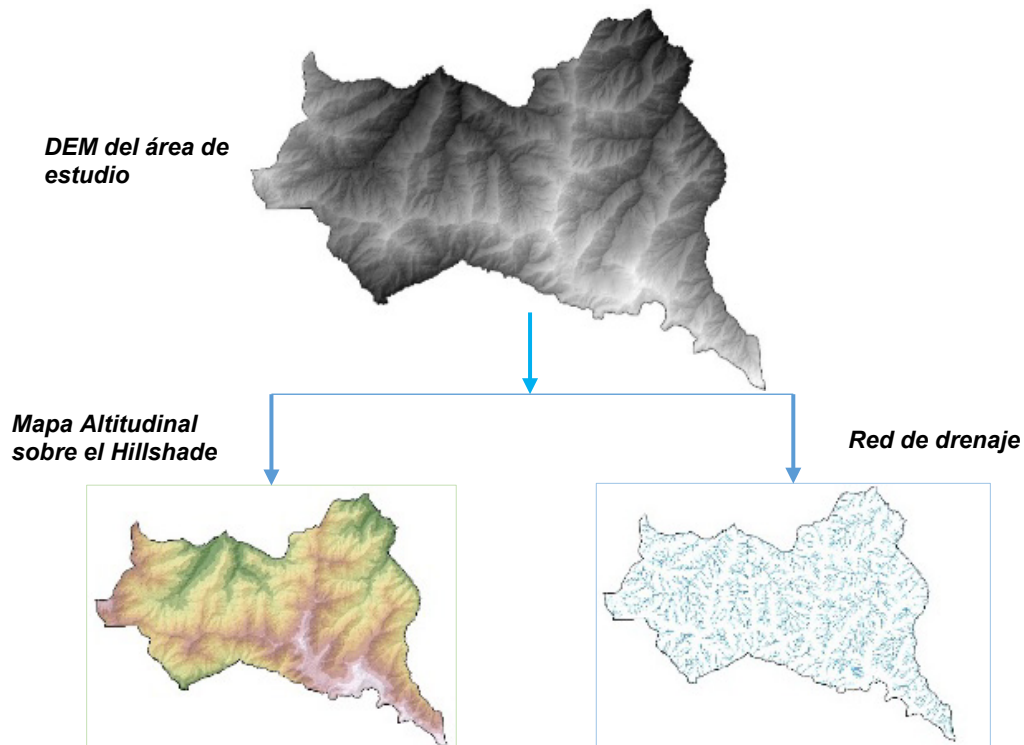
**Figura 26.** Configuración de la herramienta **Anaglyph** en el software **ERDAS 14**  
**Fuente:** El Autor, 2017.

Como resultado se obtiene un ráster en 2D (ver figura 27), que permite el análisis tridimensional (visualizado con gafas especiales) más extenso del territorio y está basado en distribuciones altimétricas cuantitativas como el DEM.



**Figura 27.** Anáglifo generado a partir del mosaico y DEM  
**Fuente:** El Autor, 2017.

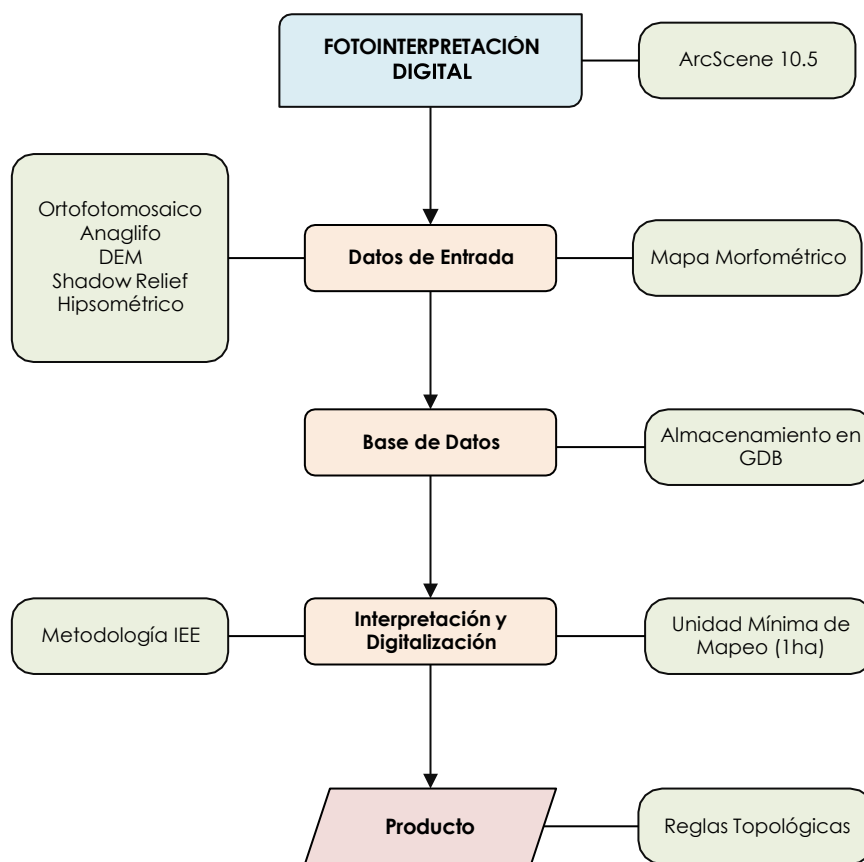
- Con el DEM se obtuvo el mapa de relieve sombreado, a través del modelado topográfico en el software ENVI 5.3; el producto contiene las diferencias de iluminación del terreno generadas por la luz incidente con cierto ángulo azimutal de orientación y un ángulo vertical. En la construcción del mapa altimétrico o hipsométrico, el DEM fue reclasificado en 10 intervalos con las herramientas de análisis espacial del software ArcMap 10.5.
- La red hidrográfica (ver figura 28), fue elaborada a partir del conjunto de herramientas del grupo **Hidrology**, del software ArcMap 10.5, empleando al igual que en los casos anteriores el DEM, del sitio de estudio. La red hidrográfica es una de las fuentes cartográficas que aporta información sobre geformas asociadas a orígenes fluviales y erosionales.
- Por último, el uso de la cartografía en formato vectorial, referente al uso actual de suelo, escala 1: 50 000, proporcionado por el GAD de Olmedo, la carta geológica Zaruma, escala 1: 100 000; y el mapa de Paisajes Naturales del Ecuador, escala 1: 1.000.000 (Winckell, 1997), datos que servirán de base para establecer el tipo de litología de la zona y el sistema de jerarquía del relieve en que se estructura la información geomorfológica.



**Figura 28.** Mapas elaborados a partir del DEM  
**Fuente:** El Autor

### 5.3.1. Fase de Fotointerpretación Digital

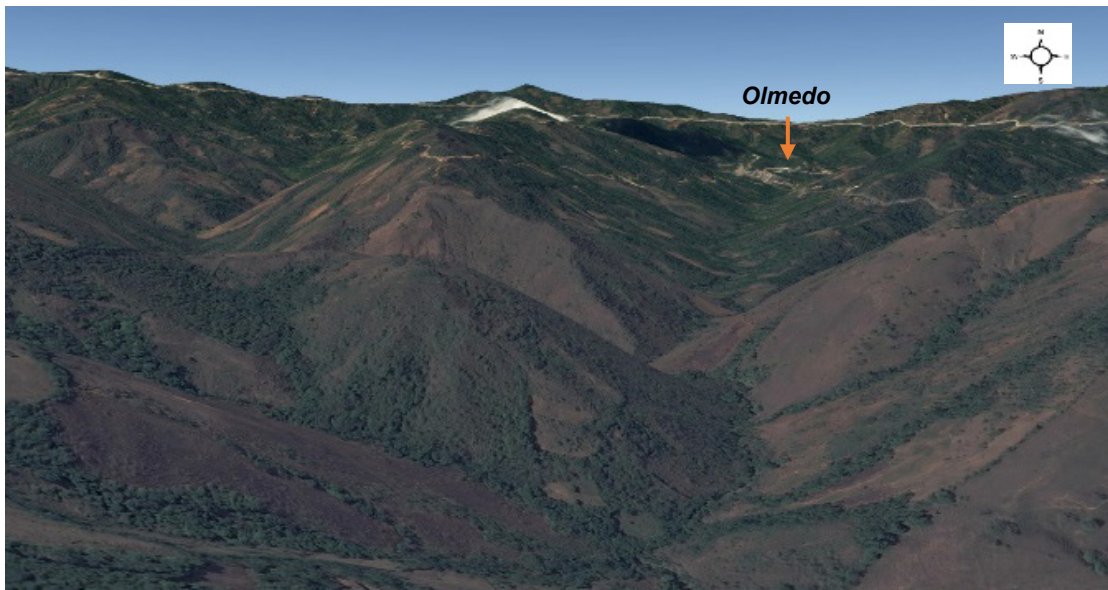
En este apartado se genera información esencial para la elaboración del mapa geomorfológico, debido a que se asignara un valor descriptivo y cualitativo a cada polígono trazado en la clasificación automática. El proceso se inicia cargando los datos cartográficos auxiliares al módulo de visualización de ArcScene, como paso siguiente y de acuerdo a los requerimientos de la interpretación y visualización se irá cambiando las vistas de escena, con la finalidad de producir diferentes perspectivas 3D, rescatando los aspectos más relevantes del relieve, haciendo la definición y diferenciación de cada tipo de unidad geomorfológica más ágil y dinámica.



**Figura 29.** Esquema general de la fase de fotointerpretación digital  
**Fuente:** El Autor, 2017.

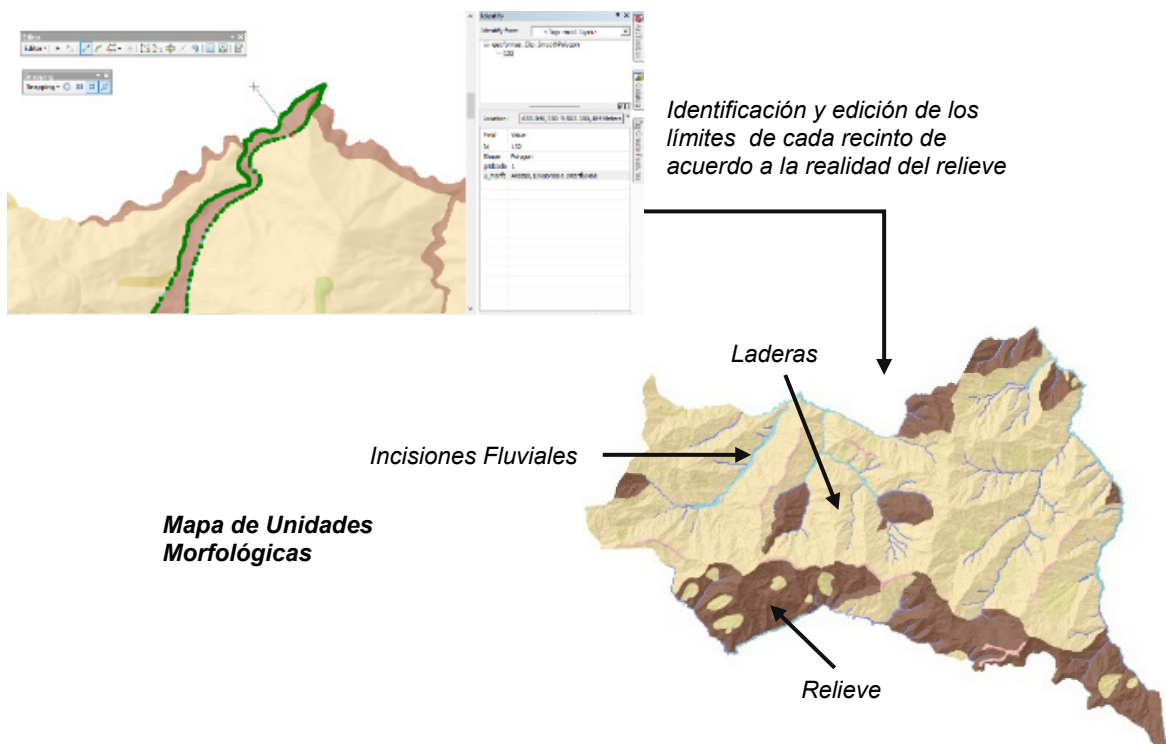
Es preciso destacar que cada clase será ingresada a partir de los nombres correspondientes a *unidades morfológicas* (p.ej. *laderas*), para posteriormente ser subdivididas a *formas de relieve o geoformas* (p.ej. *vertiente rectilínea, vertiente abrupta, etc*) en función de la leyenda propuesta.





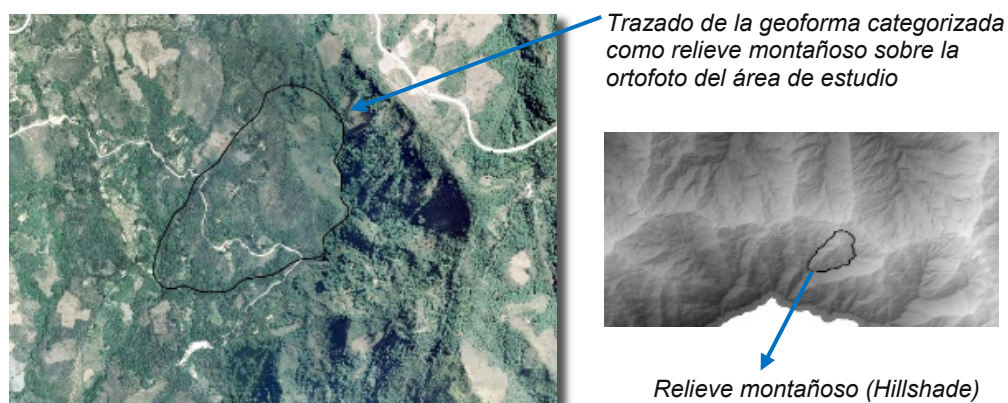
**Figura 30.** Perspectiva 3D, del área de estudio en Google Earth Pro  
**Fuente:** El Autor, 2017.

Del mapa morfométrico; se identifica, edita y delimita cada nueva unidad morfológica (atributo cualitativo del relieve) de ser el caso, de acuerdo al sistema metodológico; en este aspecto se efectúa el proceso hasta concluir con cada clase morfométrica generada en la clasificación automática.



**Figura 31.** Mapa de unidades morfológicas creado a partir del mapa morfométrico  
**Fuente:** El Autor, 2017.

Efectuado el procedimiento anterior, se obtiene un producto cartográfico de unidades morfológicas (ver figura 32). La subdivisión de cada unidad mencionada a geoformas se realiza, a una escala de digitalización de 1:10.000, con la finalidad de lograr polígonos con bordes suavizados, considerando el área mínima de mapeo equivalente a 1 ha.



**Figura 32.** Ejemplo de identificación de una geoforma  
**Fuente:** El Autor, 2017.

#### 5.4. Asignación de Atributos Temáticos

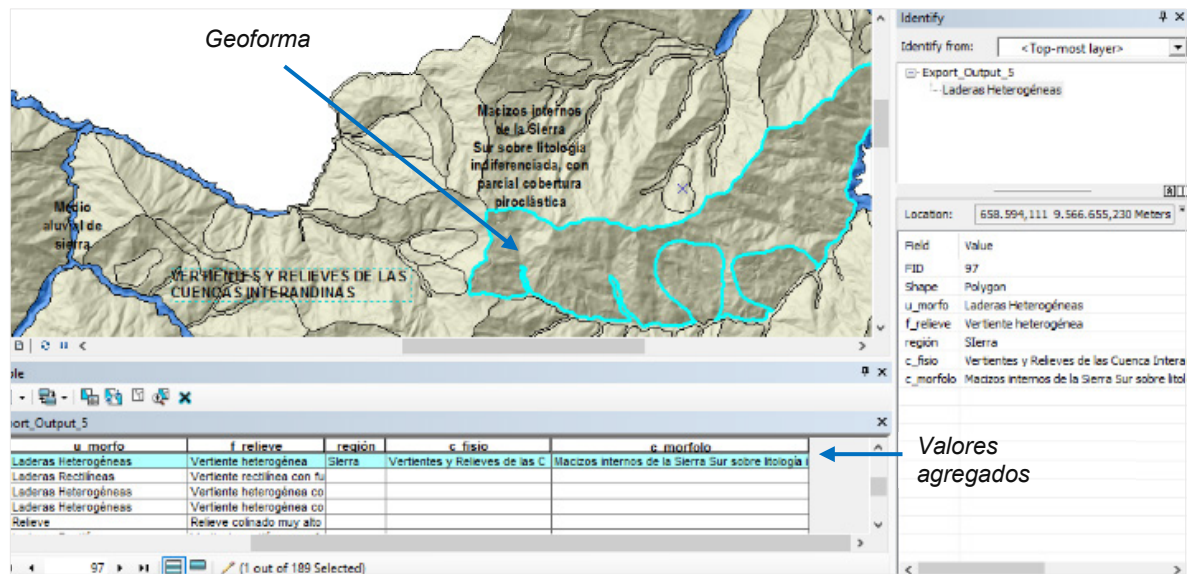
Identificadas las unidades geomorfológicas, se asigna las variables indispensables para la confección del mapa geomorfológico como: la génesis (procesos formadores), morfología (forma del terreno), morfometría (pendiente, desnivel relativo, longitud de ladera), procesos morfodinámicos actuantes y material constitutivo (formación geológica o depósito superficial sobre el que se asienta); empleados en el método de cartografía geomorfológica propuesto por el IEE (ex – CLIRSEN), aplicado al presente estudio.

La asignación de los atributos y la creación de la leyenda geomorfológica final se establecerán de acuerdo a las siguientes especificaciones:

- Jerarquía del relieve
- Génesis
- Atributos morfológicos: forma de la cima, forma de la vertiente y forma del valle
- Atributos morfométricos: desnivel relativo, longitud de vertiente y pendiente
- Formación geológica y litología.
- Atributos relacionados con el drenaje superficial: forma de drenaje y densidad de drenaje

### 5.4.1. Jerarquía del Relieve

Se asigna, de acuerdo al mapa de paisajes naturales del Ecuador a escala 1:1.000.000 (Winkell 1996), el mapa incorpora la información de región, dominio fisiográfico y contexto morfológico. Para obtener este atributo se adecua el producto cartográfico, a los límites de la zona de estudio a través de las herramientas de geoprocésamiento y se caracteriza cada geoforma de acuerdo a cada valor que presenta el producto mencionado.



**Figura 33.** Atribución de la jerarquía del relieve a cada geoforma  
**Fuente:** El Autor, 2017.

### 5.4.2. Génesis

Para definir el grupo genético de cada unidad geomorfológica, se toma en consideración las especificaciones expuestas en el cuadro 6.

**Cuadro 6.** Grupos genéticos

Grupo Genético	Características Generales
Fluvial	Formas y depósitos ligados a ríos y al flujo de agua habitualmente encauzada. También se incluyen formas resultantes de la erosión generalizada por agua
Laderas	Formas y depósitos relacionados con la evolución y dinámica de las laderas o vertientes
Glaciar y periglaciar	Formas y depósitos producidos por la acumulación de hielo (glaciares) y en las zonas de su periferia o en las que dominan los ciclos de hielo y deshielo del terreno y/o la existencia de permafrost (periglaciares)

Continúa...

<i>Marino</i>	Formas y depósitos relacionados tanto con la dinámica litoral actual y reciente, como formas relacionadas con depósitos marinos antiguos
<i>Eólico</i>	Formas y depósitos producidos por la acción del viento
<i>Estructural</i>	Modelados resultantes de la interacción entre los diversos procesos erosivos y la litología y estructura de las rocas
<i>Tectónico-erosivo</i>	Formas sin rasgos característicos (geoformas banales), no ligadas a ningún sustrato litológico concreto, de cierta extensión y continuidad. Las geoformas incluidas en este grupo han sido modeladas por una erosión relativamente uniforme en su conjunto, generalmente sobre materiales que habían sido con anterioridad elevados tectónicamente
<i>Poligénicas</i>	Formas y depósitos que tienen su origen en dos o más grupos genéticos o que son de difícil adscripción a uno de ellos
<i>Otras</i>	Se incluyen en este grupo geoformas de definición poco precisa, difícilmente representables por sus propias características y modo de aparición o áreas de fuerte intervención antrópica que impiden reconocer la geoforma original o representarla

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015

**Elaboración:** El Autor, 2017.

### 5.4.3. Atributos morfológicos

Los atributos morfológicos son esencialmente descriptivos y asignados por fotointerpretación, describen la geometría de las geoformas en términos topográficos y planimétricos (Zinck, 2012, p.89). Dentro de este atributo se incluyen variables como: la forma de la cima, forma de la vertiente y forma del valle.

#### 5.4.3.1. Forma de la cima

Se refiere a la forma de las crestas que presentan los relieves, y son catalogadas de acuerdo a los valores del cuadro 7.

**Cuadro 7.** Categorización de la forma de Cima (C)

<b>Tipo</b>	<b>Cod</b>	<b>Descripción</b>
<i>Aguda</i>	<b>Cag</b>	Se caracteriza por presentar un perfil rectilíneo a ambos lados de la arista (o divisoria) en la zona inmediata a las mismas, que permite definir de forma inequívoca la divisoria hidrográfica
<i>Redondeada</i>	<b>Cre</b>	Las cimas redondeadas son, habitualmente, de forma convexa y en ellas no resulta inequívoca la delimitación precisa de la línea o divisoria hidrográfica.
<i>Plana</i>	<b>Cpl</b>	En este caso, la cima de la geoforma será una superficie horizontal o ligeramente ondulada. <b>Continúa</b> En este caso, podrá tener una cierta inclinación con pendiente uniforme.
<i>No aplicable</i>	<b>NA</b>	Esta categoría se asigna a todas las geoformas que, por su propia definición, excluyen la existencia de cimas.

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015.

**Elaboración:** El Autor, 2017.

### 5.4.3.2. Forma de la vertiente

Se refiere a la forma del perfil de la ladera o vertiente y se asigna según las categorías del cuadro 8.

**Cuadro 8.** Categorización de forma de la vertiente

<b>Forma vertiente</b>	<b>Cod</b>	<b>Descripción</b>
<i>Cóncava</i>	Vca	Asociada a cimas agudas
<i>Convexa</i>	Vcx	Asociada a cimas redondeadas
<i>Rectilínea</i>	Vr	Asociada habitualmente a cimas agudas
<i>Irregular</i>	Vir	El perfil de la vertiente se descompone en 3 o más tipos básicos (cóncava, convexa, rectilínea). A menudo, el conjunto de la ladera no presenta un patrón geométrico
<i>Mixta</i>	Vmx	Laderas convexo-cóncavas, convexo-rectilíneas o cóncavo-rectilíneas (combinaciones de no más de 2 tipos de las anteriores)
<i>No Aplica</i>	NA	Esta categoría se asigna a todas las geoformas que, por su propia definición, excluyen la existencia de vertiente

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015.

**Elaboración:** El Autor, 2017.

### 5.4.3.3. Forma del valle

Define la forma de valles no cartografiados que se identifican al interior de otra unidad. En el cuadro 9, se describen los diferentes tipos que se pueden hallar.

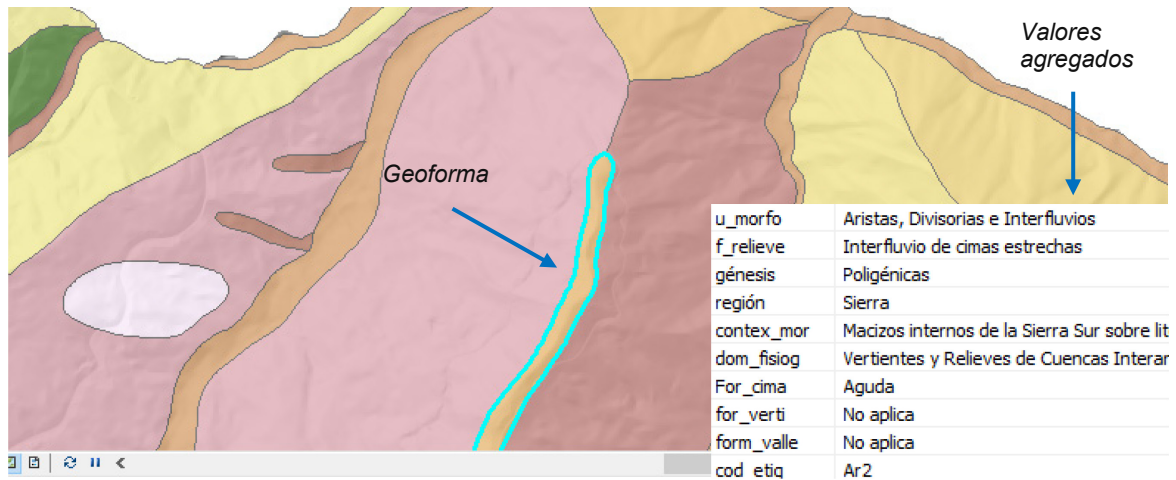
**Cuadro 9.** Categorización de la forma de valle

<b>Forma valle</b>	<b>Cod</b>	<b>Descripción</b>
<i>En U</i>	Fvu	Aplicable, especialmente, a ciertos valles glaciares y a algunos valles indiferenciados.
<i>En V</i>	Fvv	Aplicable a geoformas que presentan esta característica forma en "V" (valles con llanuras de inundación angostas o inexistentes, como barrancos, ciertos valles fluviales y, a veces, gargantas o encañonamientos)
<i>Plano</i>	Fvp	Normalmente, se aplica a valles con llanuras de inundación amplias y a ciertos valles glaciares que también presentan esta morfología.
<i>No Aplica</i>	NA	Esta categoría se asigna a todas las geoformas que, por su propia definición, excluyen la existencia de valles

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015.

**Elaboración:** El Autor, 2017.





**Figura 34.** Ejemplo de geoforma, asignada los atributos morfológicos  
**Elaboración:** El Autor, 2017.

#### 5.4.4. Atributos morfométricos

Este tipo de atributos cuantitativos son calculados automáticamente a partir del DEM, mediante herramientas de análisis espacial del software ArcMap 10.5. A continuación se especifica la metodología seguida para obtener cada variable.

##### 5.4.4.1. Desnivel relativo

El cálculo se efectúa con la herramienta **Zonal Statistic as a Table** a partir de dos elementos cartográficos: el DEM y la capa vectorial de las geoformas. Como resultado se obtiene una tabla de atributos con el campo denominado “range”, que posee el valor del desnivel relativo. Por último se agrupa y reclasifica los valores en concordancia a los rangos especificados en la tabla 2. De acuerdo a los valores calculados se definen las geoformas, procedentes de la unidad morfológica “Relieve” que no pueden ser calculadas por fointerpretación como: relieve colinado bajo, medio, relieve ondulado, etc.

**Tabla 2.** Clases del desnivel relativo

Clase	Desnivel	Geoforma
1	0 a 5 m	-
2	5 a 15 m	Relieve ondulado
3	15 a 25 m	Relieve colinado muy bajo
4	25 a 50 m	Relieve colinado bajo
5	50 a 100 m	Relieve colinado medio
6	100 a 200 m	Relieve colinado alto
7	200 a 300 m	Relieve colinado muy alto
8	>300 m	Relieve montañoso

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015.  
**Elaboración:** El Autor, 2017.

**5.4.4.2. Pendiente**

La pendiente es calculada a partir de las herramientas de geoprocésamiento y reclasificada de acuerdo a los valores de la tabla 3. Para asignar con este atributo a cada geoforma, se convierte la entidad de polígono a punto, posterior a ello se extrae del ráster creado los valores de la pendiente. Como paso final se une los atributos de la tabla de pendiente a la de geoformas. Con este tipo de variable, se definen las unidades geomorfológicas, procedentes de la unidad morfológica “vertientes” que no pueden ser atribuidas por fotointerpretación como la geoforma, *vertiente abrupta* (pendiente > 40 - 70°).

**Tabla 3.** Rangos de la pendiente

Clase	Tipo	Porcentaje (%)	Grados °
1	Plana	0 – 2	0 – 1
2	Muy suave	> 2 – 5	> 1 – 3
3	Suave	> 5 – 12	> 3 – 7
4	Media	> 12 – 25	> 7 – 14
5	Media a fuerte	> 25 – 40	> 14 – 22
6	Fuerte	> 40 – 70	> 22 – 35
7	Muy fuerte	> 70 – 100	> 35 – 45
8	Escarpada	> 100 – 150	> 45 – 56
9	Muy escarpada	> 150 – 200	> 56 – 63
10	Abrupta	> 200	> 63

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015.

**Elaboración:** El Autor, 2017.

**5.4.4.3. Longitud de vertiente (ladera)**

La longitud de vertiente se determina a partir de los valores del desnivel relativo (dr) y de la pendiente (P%). Para realizar el cálculo se emplea, la herramienta *Field calculator*, y se ejecuta la siguiente fórmula;  $L_v = [Dr / P(\%)] / 100$ . Seguido, se agrupan y reclasifican los datos obtenidos conforme a los valores que se indican en la tabla 4.

**Tabla 4.** Valores para categorizar la longitud de la vertiente

Clase	Tipo	Longitud (metros)
1	Muy corta	< 15
2	Corta	>15 – 50
3	Moderadamente larga	>50 – 250
4	Larga	>250 – 500
5	Muy larga	>500
No Aplica	Se utilizará esta categoría cuando el atributo no sea asignable a la Geoforma en estudio (presa)	

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015.

**Elaboración:** El Autor, 2017.

### 5.4.5. Atributos relacionados con la geología y depósitos superficiales

Se refiere a la composición de las unidades geomorfológicas en cuanto a su tipo de roca o depósito superficial. La descripción litológica para cada geoforma es en base a información secundaria de la carta geológica Zaruma, escala 1: 100 000 y unidades obtenidas en fotointerpretación. Se asigna de manera idéntica a lo realizado con el atributo jerarquía del relieve.

**Cuadro 10.** Ejemplo de descripción de litologías halladas en la carta geológica Zaruma

<b>Formación geológica</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Descripción del tipo de roca o sedimento</b>
Formación Celica	K <sub>C</sub>	Gruesa serie de rocas volcánicas falladas y localmente muy alteradas. Consiste de flujos de lava masivos, tobas soldadas, pillow brechas, conglomerados y aglomerados de mineralogía principalmente andesítica, con pocas intercalaciones delgadas de calizas negras laminadas.
Formación Ciano	K <sub>ACn</sub>	Lutita, limolita multicolor con intercalación de roca volcánica, pizarras.
Formación Zapotillo	K <sub>AZp</sub>	Lutitas, intercalaciones de lava y toba andesítica.

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015.

**Elaboración:** El Autor, 2017.

### 5.4.6. Atributos relacionados con el drenaje

Los atributos relacionados con el drenaje son: la forma de drenaje y la densidad de drenaje. La asignación y forma de cálculo de estos atributos se realizan a través del mapa de drenaje previamente elaborado a partir del DEM.

#### 5.4.6.1. Forma del drenaje

La asignación se realiza por fotointerpretación, empleando la red hídrica de la zona de estudio, y tomando en consideración las tipologías expuestas en el cuadro 11.

**Cuadro 11.** Formas de drenaje

<b>Tipo</b>	<b>Cod</b>	<b>Descripción</b>
<i>Dendritico</i>	Dt	Típico en rocas sedimentarias blandas y rocas homogéneas (granitos), en medio árido
<i>Subdendritico</i>	St	Típico en rocas sedimentarias blandas y rocas homogéneas (granitos)
<i>Paralelo</i>	Pa	Típico de llanuras y planicies costeras
<i>Subparalelo</i>	Sbp	Típicamente asociado a formas de relieve elongadas, sin control litológico ni tectónico
<i>Rectangular</i>	Rc	Típico en diferentes rocas metamórficas y en relieves estructurales

*Continúa....*



<i>Radial</i>	Ra	Típico en abanicos aluviales y domos, volcanes y cerros residuales
<i>Anastomosado</i>	An	Grandes llanuras aluviales y ríos en cabecera con fuerte carga de fondo
<i>Pinnado</i>	Pn	Típico de materiales con muy alta susceptibilidad a la erosión
<i>Meandrónico</i>	Md	Típico en llanuras aluviales bien desarrolladas
<i>Asimétrico</i>	As	Típico de rocas metamórficas en capas gruesas con diferente resistencia a la erosión
<i>Enrejado</i>	Er	Típico de series sedimentarias con alternancia entre rocas duras y blandas, así como en materiales con fracturación ortogonal
<i>Angular</i>	An	Típico en pizarras y en relieves estructurales
<i>No aplicable</i>	Se utilizará esta categoría cuando el atributo no sea asignable a la Geoforma en estudio	

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015.

**Elaboración:** El Autor, 2017.

#### 5.4.6.2. Densidad del drenaje

Se calcula a partir de la herramienta de geoprocésamiento, *Intersect*, del software ArcMap 10.5, empleando el mapa de la red hídrica y geoformas. Al ejecutar la herramienta se obtiene la red hídrica en función del área (km<sup>2</sup>) de cada geoforma; para complementar este proceso, se calcula automáticamente las longitudes de cada red de drenaje (km). Finalmente se emplea la herramienta *Field Calculator*, que es ejecutada con la siguiente fórmula:  $Densidad\_D = L\_red\_hidrica (km) / Geoformas (km^2)$

Los datos obtenidos son reclasificados de acuerdo a los valores de la tabla 5.

**Tabla 5.** Categorías de la densidad de drenaje

<b>Clase o tipo</b>	<b>Densidad</b>
<i>Drenaje grueso (baja densidad)</i>	<5 km/km <sup>2</sup>
<i>Drenaje medio (media densidad)</i>	5-12 km/km <sup>2</sup>
<i>Drenaje fino (alta densidad)</i>	>12 km/km <sup>2</sup>

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015.

**Elaboración:** El Autor, 2017.

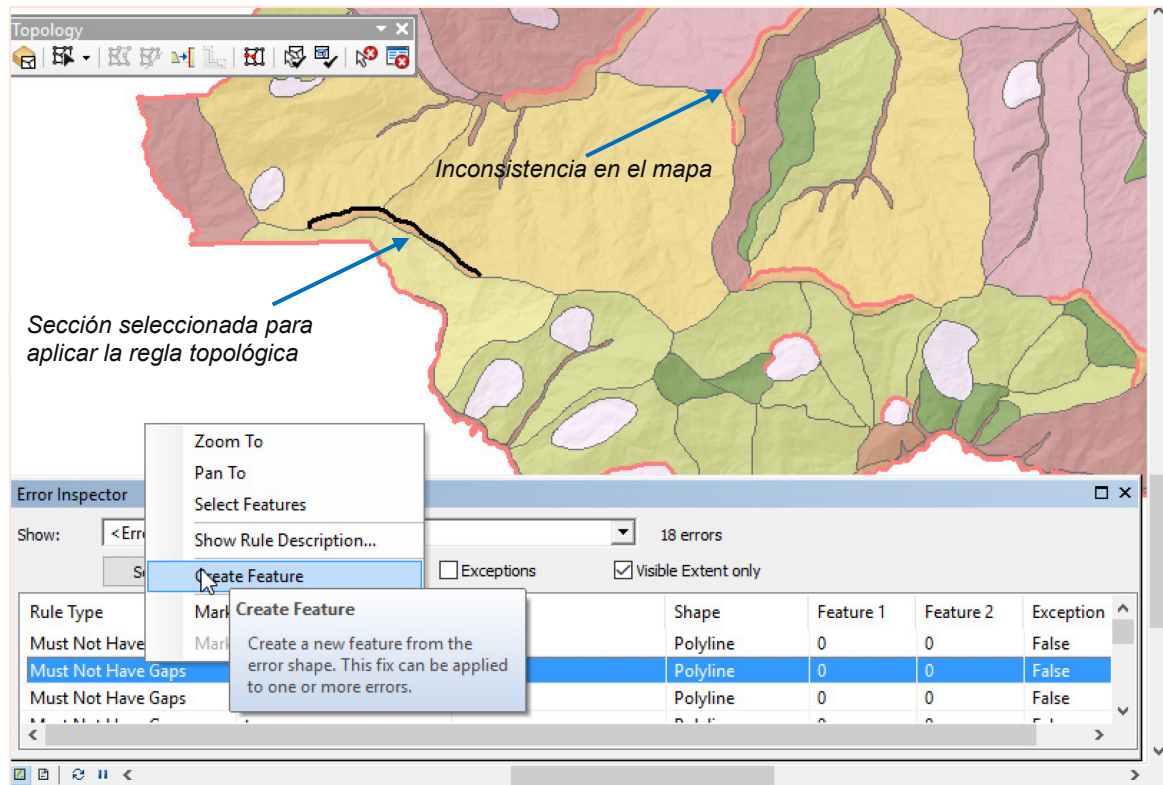
#### 5.5. Revisión Cartográfica

En esta fase se determinan las inconsistencias del mapa preliminar, aplicando las siguientes reglas topológicas, existentes en el software ArcMap 10.5:

**Must not overlap:** permite identificar y ubicar las geoformas que han sido solapadas.

**Must not have gaps:** determina lo vacíos o huecos entre las fronteras de cada geoforma.

Entre otros aspectos de igual relevancia que deben ser comprobados, es la presencia de polígonos con áreas iguales o inferiores a 1ha y de recintos que no posean información.



**Figura 35.** Aplicación de reglas topológicas  
**Fuente:** El Autor, 2017.


### 5.6. Verificación & Control de Campo

Elaborado el mapa geomorfológico preliminar, se procede a verificar en campo, la calidad de los datos cartográficos obtenidos en el apartado de la fotointerpretación digital.

Para el desarrollo de la actividad de campo se establecen puntos de control (tracks), que son cargados al GPS, facilitando la ubicación de los mismos. En cada punto a visitar, se realiza el levantamiento de información mediante el uso de fichas (ver cuadro 12) diseñadas para rescatar valores como: unidad geomorfológica, unidad ambiental, morfología, morfometría, cobertura vegetal, descripción de afloramientos, caracterización de rocas y depósitos superficiales, observaciones y un esquema de los aspectos más relevantes acompañados del respectivo registro fotográfico; es necesario puntualizar que para la descripción, es vital hallar afloramientos rocosos, debido que se constata la relación de unidad geomorfológica y tipo de roca o depósito superficial.

**Cuadro 12. Fichas para validación de campo**

	<p style="margin: 0;"><b>LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000</b></p> <p style="margin: 0;">Ficha de caracterización para geoformas</p> <p style="margin: 0;">TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017</p> <p style="text-align: right; margin: 0;"><b>FICHA N</b></p>	
<b>1. DATOS GENERALES</b>		
Coordenadas	Ubicación	
<b>X:</b>	PROVINCIA: LOJA	
<b>Y:</b>	CANTÓN: OLMEDO	
<b>Z:</b>	PARROQUIA: <input style="width: 100px;" type="text"/> BARRIO: <input style="width: 100px;" type="text"/>	
<b>2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA</b>		
<b>GEOFORMA:</b>		
Atributos Morfológicos	<div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div>	
<b>FORMA DEL VALLE:</b>		<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>		<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>		<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>
Atributos Morfométricos		
<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>		<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>
<b>PENDIENTE</b>	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	
<b>L. DE VERTIENTE</b>	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	
<b>U. GEOLÓGICA</b>		

	<p style="margin: 0;"><b>LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000</b></p> <p style="margin: 0;">Ficha de caracterización para afloramientos rocosos</p> <p style="margin: 0;">TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017</p> <p style="text-align: right; margin: 0;"><b>FICHA N</b></p>	
<b>1. DATOS GENERALES</b>		
Coordenadas	Ubicación	
<b>X:</b>	PROVINCIA: LOJA	
<b>Y:</b>	CANTÓN: OLMEDO	
<b>Z:</b>	PARROQUIA: <input style="width: 100px;" type="text"/> BARRIO: <input style="width: 100px;" type="text"/>	
<b>2. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA</b>		
Estrato, capa (bed)	<div style="border: 1px solid black; height: 150px; width: 100%;"></div>	
1.		
Rumbo		Inclinación
Pt (m)		
<b>1</b>		<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>
<b>2</b>		<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>
<b>3</b>	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	
Observaciones:	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	

**Fuente:** El Autor, 2017.

### 5.7. Obtención de la cartografía e información final

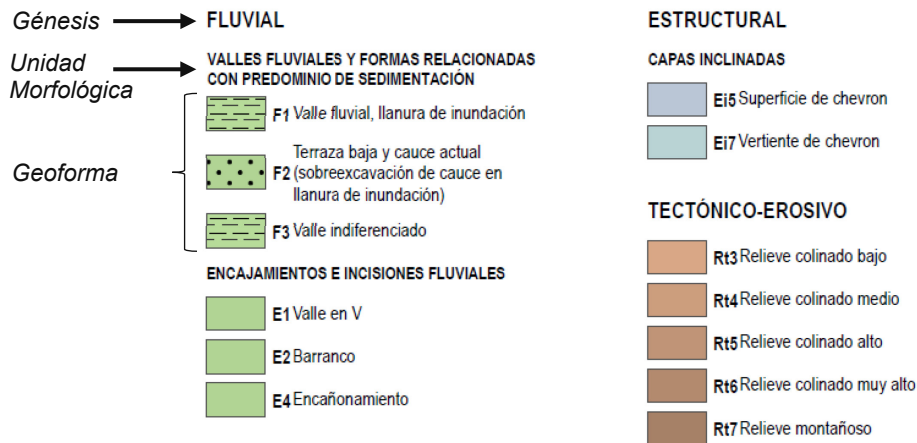
Con base a la información recogida en campo, se ajustan ciertas unidades geomorfológicas, y se realiza la revisión topológica. Para la salida cartográfica se prepara el layout conforme a lo establecido en el documento guía “Estándares de Información Geográfica - Requisitos Mínimos de Información Marginal para Cartografía Temática” publicado por la SENPLADES (2013). En función a lo expresado, el mapa final tendrá el siguiente nivel de información.

**Cuadro 13.** Nivel de información del mapa final

Información	Fuente de datos	Formato
Límites Cantonales	CELIR	-
Toponimia y cartografía base	IGM	-
Infraestructura catastral	GAD Local	-
Formato de Hoja	-	A1
Esquema Layout	CONAGE – IEE – SINAGAP	
Impresión	-	.pdf

Fuente: El Autor, 2017.

La creación de la leyenda geomorfológica final será de acuerdo a los atributos referentes a: Génesis (p.ej., Fluvial), Unidad Morfológica (p.ej. Encajonamientos e Incisiones Fluviales) y finalmente la Geoforma o Unidad Geomorfológica (p.ej. Valle en V).



**Figura 36.** Esquema de leyenda geomorfológica

Fuente: SIGTIERRAS, 2015

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Características Geográficas del Proyecto

#### 6.1.1. Ubicación

El cantón Olmedo se ubica en la parte central y noroccidental, a 95 kilómetros de la capital provincial Loja. Sus límites son: al norte el cantón Chaguarpamba, al sur y oeste el cantón Paltas, y al este el cantón Catamayo; es el más pequeño de la provincia con una superficie de 116,07 km<sup>2</sup> (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Olmedo, 2014,p.8).



**Figura 37.** Ubicación general del proyecto  
Fuente: El Autor, 2017.

#### 6.1.2. Reseña Cantonal

En sus inicios, fue designado como parroquia civil el 25 de octubre de 1909, en el cual pertenecía al cantón Paltas, bajo el nombre de Olmedo, y proclamado como cantón el 24 de febrero de 1997 (GAD de Olmedo, 2014, p.4). Bajo éste enfoque el cantón Olmedo posee dos parroquias: una urbana Olmedo y una rural denominada La Tingue, en cuyo interior se halla un territorio con una vocación mixta, con características que encierran a lo rural y urbano (2014, p.4). En su conjunto, posee una población total de 4 870 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010); el área urbana, tiene una población de 622 habitantes, de los mismos 282 son hombres y 340 son mujeres; en cuanto al área rural la población es de 4 248 habitantes, de los cuales 2 140 son hombres y 2 108 son mujeres (INEC, 2010).

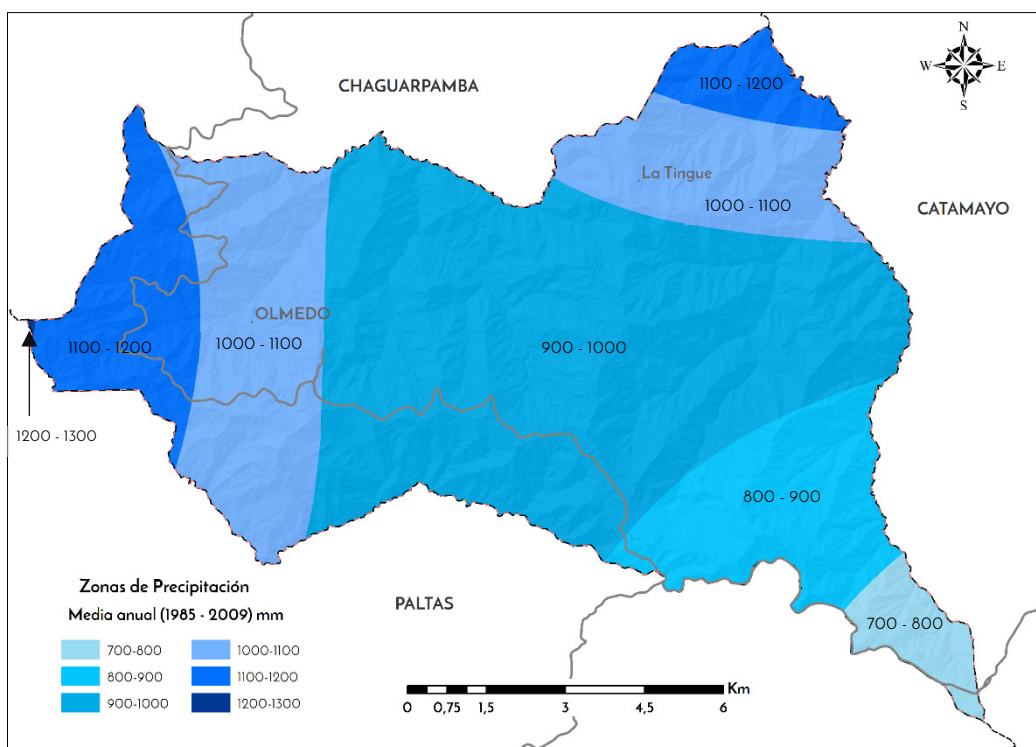
### 6.1.3. Acceso

El acceso hasta el cantón Olmedo se lo puede realizar a través de la autopista Panamericana que conduce desde Quito hacia Loja y posteriormente tomar la vía a la costa por la carretera, Catamayo, San Pedro de la Bendita, Las Chinchas y Velacruz; todas de primer orden, o también se lo puede realizar por avión hasta el aeropuerto Camilo Ponce Enríquez, localizado en el Cantón Catamayo.

### 6.1.4. Clima

El área de estudio se ve influenciada directamente por factores climáticos que afectan a toda la Región Sur andina, por tal motivo, el cantón Olmedo registra precipitaciones que oscila los 1000 – 1200 mm/año; distribuidos en un régimen de temporada de lluvia o invierno que comprende los meses de Febrero y Marzo, coincidiendo con el efecto de la interacción Océano Pacífico – Atmósfera (Corriente del Niño y Corriente Fría de Humboldt), que introduce aire húmedo y caliente provocando lluvias convectivas; y un segundo período de menor precipitación durante los meses de Julio a Septiembre atribuidos a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

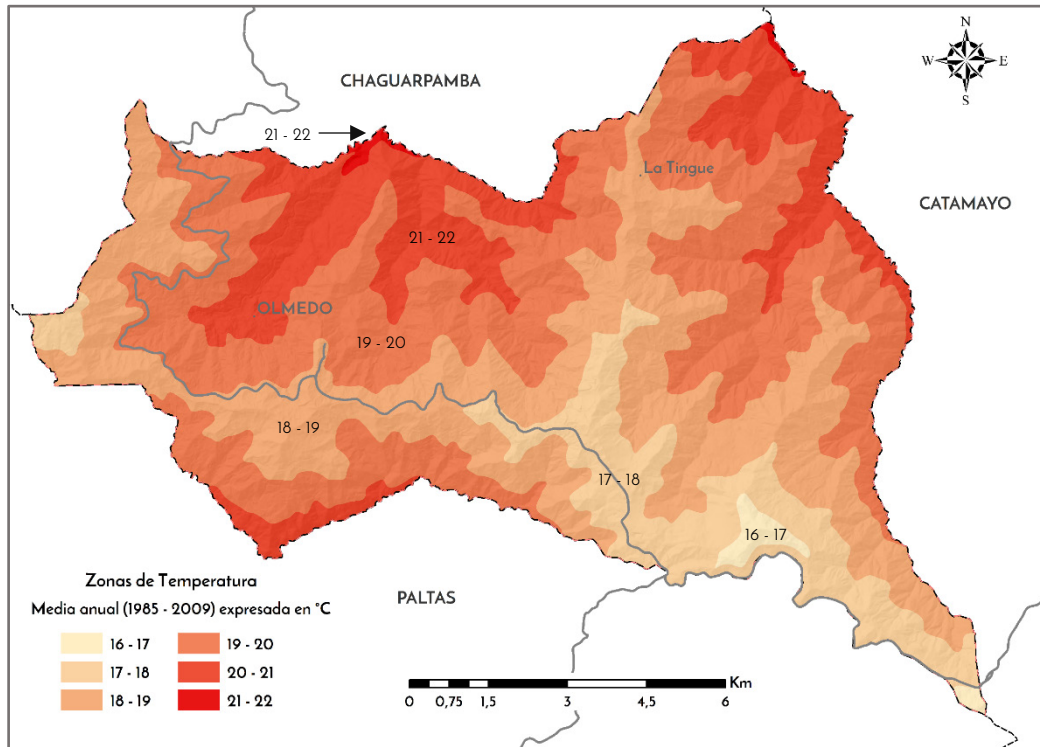
A continuación en la figura 38, se detalla el mapa de zonas de precipitación, con una media anual establecida entre los años 1986 – 2009 (INAMHI, 2012).



**Figura 38.** Zonas de precipitación del cantón Olmedo, media anual (1985 – 2009) mm  
**Fuente:** El Autor, 2017.



Por su ubicación orográfica el cantón cuenta con una temperatura que varía entre los 16 a 22 °C (ver figura 39) denotando un clima temperado y cálido, siendo los meses de Julio a Diciembre los más calurosos y un fotoperiodo superior a 12 horas diarias.



**Figura 39.** Zonas de temperatura del cantón Olmedo, media anual (1985 – 2009) en °C  
**Fuente:** El Autor, 2017.

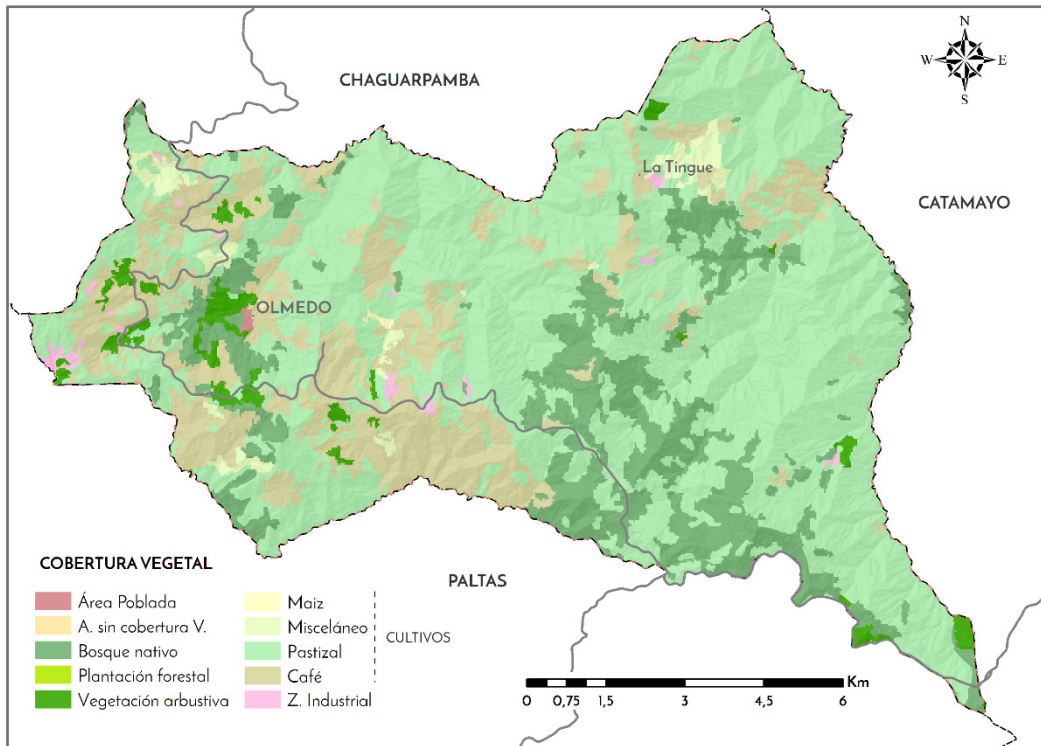
### 6.1.5. Vegetación

La vegetación del área de estudio debe su origen y clasificación a la influencia combinada del clima, relieve, suelo, roca madre, organismos vivos y el tiempo. Conforme a la base cartográfica otorgada por el GAD de Olmedo (2013), el uso actual de suelo, se define en función de los valores que se exponen en la tabla 6.

**Tabla 6.** Cobertura vegetal del área de estudio

Tipo de uso	Área (ha)	Porcentaje (%)
Área poblada	8,30	0.005
Área sin cobertura vegetal	2,07	0.0014
Bosque nativo	4110,03	2.75
Plantación forestal	22,85	0.015
Vegetación arbustiva	11084,35	7.43
Cultivos	134006,15	89.8

**Fuente:** El Autor, 2017.



**Figura 40.** Cobertura vegetal del cantón Olmedo (año 2013)

**Fuente:** El Autor, 2017.

### 6.1.6. Hidrografía

Las principales vertientes que recorren la zona de estudio dan origen a 4 microcuencas, denominadas: Quebrada de Olmedo, Quebrada Yaguachi, Quebrada de Sigro y Quebrada San José. Luego de recorrer varios kilómetros en dirección sur – norte las dos primeras vertientes se unen y forman parte de la subcuenca del Río Yaguachi, mientras tanto las dos últimas vertientes en su recorrido norte – sur, llegan a formar parte de la subcuenca del Río Catamayo.

A continuación en la tabla 7 y en la figura 41, se detallan las características hidrográficas del área de interés.

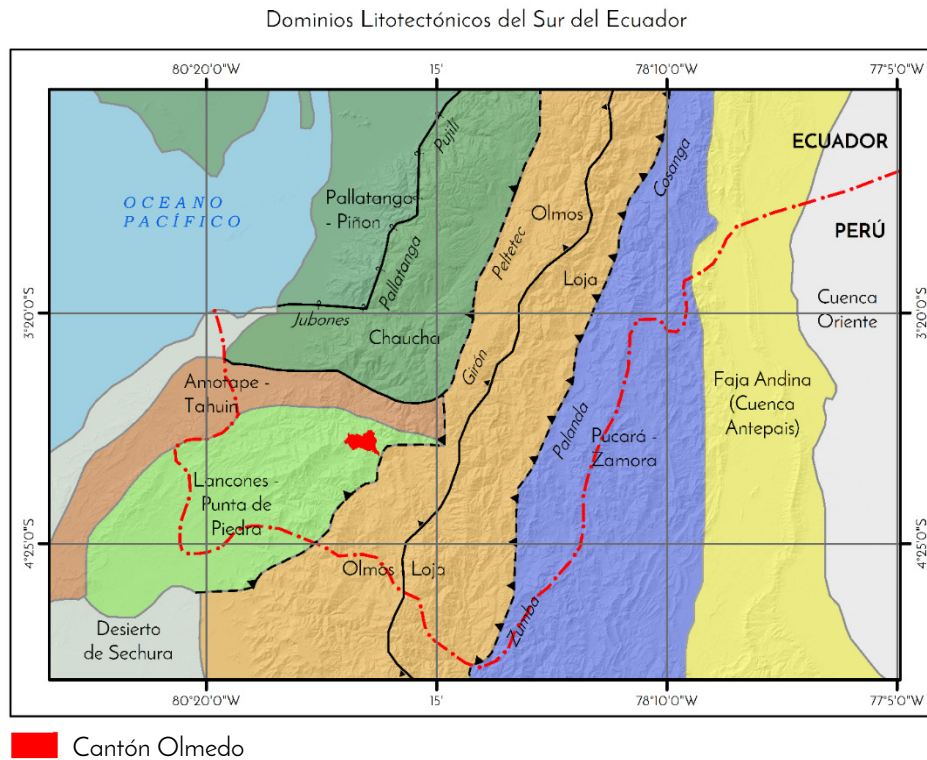
**Tabla 7.** Características morfométricas por microcuenca

Nombre de microcuenca	Índice de compacidad	Forma de la unidad	Tendencia a crecidas	Drenaje (Km)	Área Km <sup>2</sup>
Q. de Olmedo	1.3	Oval redonda a oval oblonga	Media	98.95	48.2
Q. Yaguachi	1.5	Oval oblonga a rectangular oblonga	Baja	106.34	41.1
Q. de Sigro	1.4	Oval redonda a oval oblonga	Media	5.8	1.5
Q. San José	1.5	Oval oblonga a rectangular oblonga	Baja	38.76	18.3

**Fuente:** El Autor, 2017.







**Figura 42.** Ubicación del área de estudio dentro del dominio de la cuenca Lancones – Punta de Piedra. Adaptación de Pilatasig., et al 2014.  
**Fuente:** El Autor, 2017.

Según Jaillard., et al (1999), el primer periodo corresponde al desarrollo de una plataforma carbonatada de edad Albiana inferior (?) a medio, interrumpido en el Albiano superior por la acreación de una cuenca turbidítica tectónicamente activa. La cuenca posee unidades tectónicas distintas con diferentes series estratigráficas de edad Cretáceo superior temprano, separadas por fallas mayores. Las unidades pueden ser agrupadas en una provincia paleogeografica suroriental caracterizada por depósitos mayormente volcanoclásticos, y un dominio noroccidental marcado por depósitos clásticos ricos en cuarzo detrítico (1999, p.51).

Entre el Coniaciano inferior y el Campaniano medio, la cuenca “Lancones – Punta de Piedra” fue deformada y erosionada (“Fase Peruana” del Cretáceo superior) (Jaillard., et al, 1999, p.52). El segundo periodo corresponde al Cretáceo Superior, durante el cual se formó una nueva cuenca de ante – arco (Cuenca Paita – Yunguilla) caracterizada por una serie Campano – Maastrichtiana homogénea en toda el área, que sella la yuxtaposición tectónica de las unidades pre – Santonianas. Mas luego, la ocurrencia de potentes conglomerados y brechas de grano grueso en el Maastrichtiano (?) temprano indican un nuevo evento tectónico importante (1999, p.52).

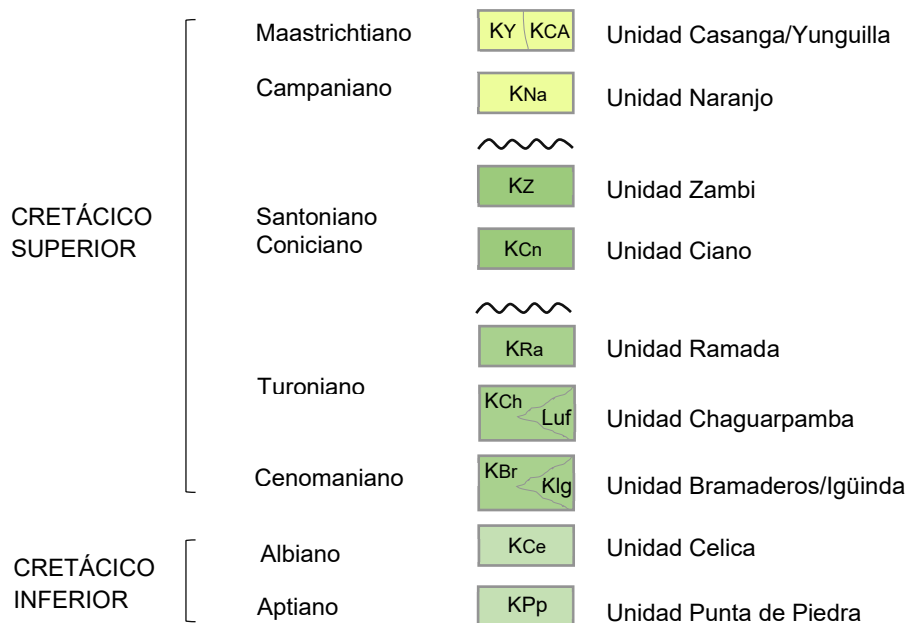
### 6.2.1. Litoestratigrafía de la cuenca cretácica

Conforme a lo descrito, la sucesión estratigráfica de las unidades geológicas, se divide en dos zonas (Pilatasig., *et al*, 2014, p.10), la primera ubicada al suroriente abarcando la mayor parte de la “cuenca”, desde el río Pindo hasta el Perú constituyendo el Arco Volcánico Oceánico. La segunda ubicada al noroccidente abarcando un área reducida de la cuenca entre Guerras y el río Pindo, constituyendo la Cuenca Sedimentaria Continental.

#### 6.2.1.1. Arco Volcánico Oceánico

La sucesión estratigráfica del Arco Volcánico Oceánico está formada de rocas más antiguas de origen intrusivo y volcánico de composición máfica, incluidas en la Unidad Punta de Piedra (Pilatasig *et al.*, 2014, p.10). Sobre esta unidad o interdigitadas lateralmente ocurren facies de rocas volcanoclásticas como hialoclastitas y tobas incluyendo lavas subordinadas, todas de composición basáltico – andesítica, incluidas en la Unidad Celica (2014, p.11).

De la misma forma, al norte del batolito de Tangula se evidencian rocas sedimentarias finogranulares bien estratificadas intercaladas dentro de la secuencia volcanoclástica incluida en la Unidad Bramaderos. Según Jaillard *et al.* (1999), atribuye la edad al Cretácico Inferior Tardío – Cretácico Superior temprano, además suma unidades como la Chaguarpamba, Iguinda, El Carmelo y la Ramada.



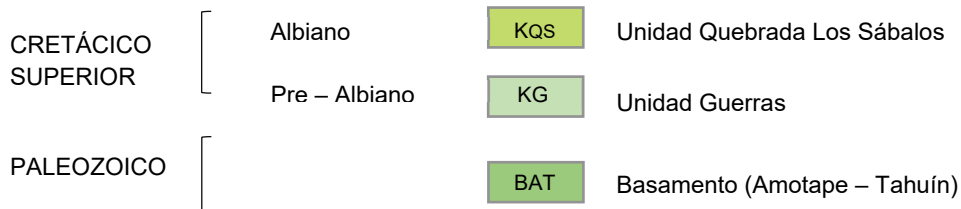
**Figura 43.** Columna estratigráfica del arco volcánico oceánico de la cuenca Lancones – Punta de Piedra. Adaptación de Pilatasig., *et al*, 2014.  
**Fuente:** El Autor, 2017.

**6.2.1.2. Cuenca Sedimentaria Continental**

La sucesión estratigráfica de la cuenca sedimentaria continental cretácica (figura 44), aparte de las secuencias metamórficas del basamento definidas por Aspden (en Pilatasig., *et al*, 2014), expuestas en el borde noroccidental y considerando la naturaleza y el predominio litológico, establece la presencia de dos secuencias de rocas constituidas por facies de origen sedimentario con aporte mayormente de materiales de origen continental.

La secuencia denominada como Unidad Guerras (Jurásico Superior – Cretácico Inferior), está constituida de rocas de grano grueso, mayormente areniscas y conglomerados ricos en clastos de cuarzo, intercalados con niveles de grawacas y limolitas negras. Adicionalmente, contiene facies de rocas aglomeráticas con líticos volcánicos, intercalados entre niveles de arcillas rojas.

La segunda secuencia denominada Unidad Quebrada Los Sábalos (Cretácico inferior), relacionada directamente al basamento metamórfico por encontrarse entre dos bloques de la misma naturaleza, está constituida de areniscas cuarzosas con parches rojizos, incluyendo niveles de grawacas y aglomerados volcánicos (Pilatasig., *et al*, 2014, p.14). Además está expuesta como la continuación oriental de los niveles sedimentarios que contienen los troncos fosilizados en el sector del Bosque Petrificado de Puyango. (2014, p.14)

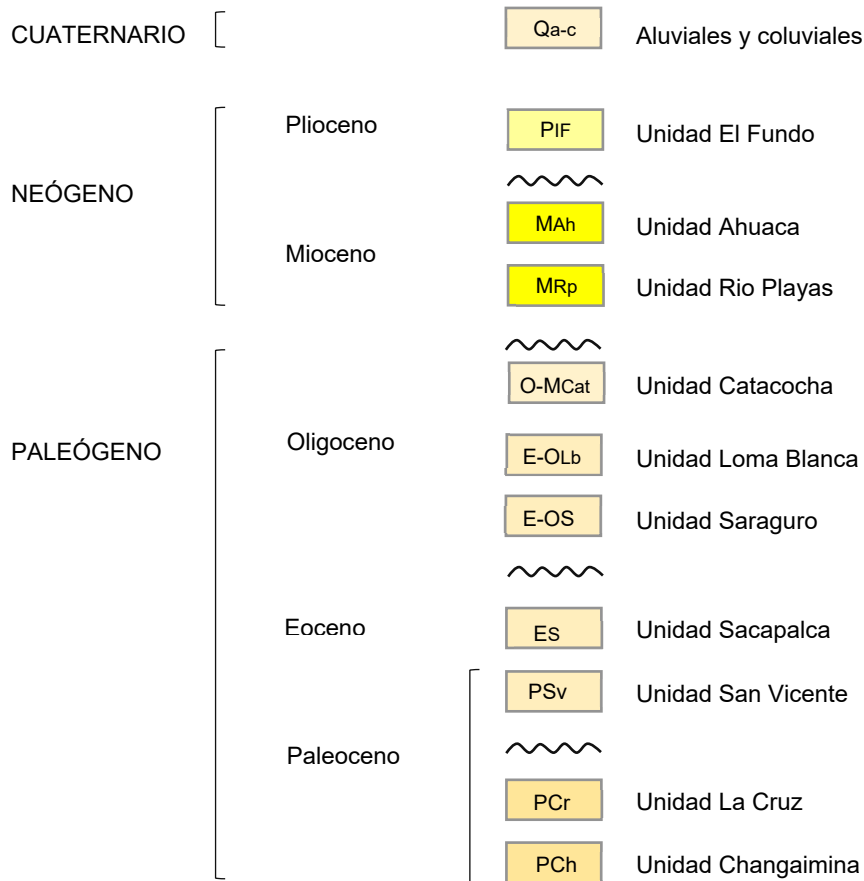


**Figura 44.** Columna estratigráfica de la región sedimentaria continental de la cuenca Lancones – Punta de Piedra. Adaptación de Pilatasig., *et al*, 2014.  
**Fuente:** El Autor, 2017.

Las secuencias litológicas están afectadas por varias estructuras, la principal es la Falla Orianga que constituye el límite entre las rocas metamórficas y las facies sedimentarias distales del arco volcánico oceánico. La estructura presenta una dinámica inversa tiene rumbo NEE – SOO variando a E – O donde es vertical. Otra estructura importante es la Falla Los Amarillos que marca el contacto tectónico entre la Unidad El Tigre del Bloque Amotape Tahuín y la Unidad Guerras (Pilatasig., *et al*, 2014).

**6.2.1.3. Arco Volcánico Terciario**

Las unidades Cretácicas en la zona nororiental y oriental de la cuenca están cubiertas por dos secuencias de rocas volcánicas típicas de arco volcánico continental calcoalcalino del Terciario, incluidas en las Formaciones Sacapalca de edad Paleoceno – Eoceno (Pratt en Pilatasig., *et al*, 2014) y Loma Blanca del Oligoceno (Hungerbühler, en Pilatasig., *et al*, 2014). Las unidades Changaimina, La Cruz, San Vicente y Sacapalca son secuencias que están cubiertas localmente por rocas volcánicas y volcanosedimentarias incluidas en las Unidades Catacocha, Río Playas, Ahuaca y El Fundo, interpretadas como de edad Oligoceno, Mioceno y Plioceno.



**Figura 45.** Columna estratigráfica del arco volcánico continental Terciario de la cuenca Lancones – Punta de Piedra. Adaptación de Pilatasig., *et al*, 2014.  
**Fuente:** El Autor, 2017.

### 6.3. Configuración Geomorfológica

En el cantón Olmedo se analizaron e interpretaron los datos cartográficos derivados de las fotografías aéreas y los modelos digitales de elevación, enmarcados en la implementación del modelo cartográfico (clasificación automática del relieve) y la aplicación de SIG, para automatizar la fase de fotointerpretación, adquiriendo mayor eficiencia y rapidez en la definición de las geoformas y la elaboración de la leyenda temática.

Actualmente la base geológica nacional, se encuentra disponible a una escala de detalle equivalente a 1: 100.000, por lo tanto fue necesario realizar el ajuste de cada unidad litológica a la escala del proyecto, atribuyendo rasgos característicos mediante visualizaciones 3D, en el software ArcScene 10.5.

Durante el trabajo de campo, se verificó cada unidad, con el propósito de comprobar la consistencia con la información levantada previamente; para complementar los resultados se tomó fragmentos de las investigaciones realizadas actualmente en la hoja geológica Zaruma por parte del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (2014) e información contenida en el mapa Paisajes Naturales del Ecuador, publicado por Winckell, Zebrowski, & Sourdat (1997). A continuación se redacta la memoria adquirida durante toda la fase investigativa.

#### 6.3.1. Geología Local

El levantamiento geológico realizado en el cantón Olmedo, determinó la presencia de varias unidades litológicas y cuerpos subvolcánicos e intrusivos de diferente composición y edad; A continuación se detallan las unidades litológicas y en el anexo 5, se presenta la cartografía referente al mapa geológico del área de estudio.

##### 6.3.1.1. Litoestratigrafía

###### – Unidad Celica ( $K_{ce}$ ¿Albiano – Aptiense?)

**Definición:** En este trabajo se considera como la unidad basal, se caracteriza por ser una secuencia volcanoclástica proximal de grano medio a grueso intercalada con mantos de rocas volcánicas, que forman varios cuerpos alargados de diferente magnitud (Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico [INIGEMM], 2014). En base a datos bioestratigráficos en la sección del río Playas y la correlación realizada por Jaillard *et al.* (1999), sugiere que la secuencia es del Albiano.



**Distribución:** La unidad aflora en su mayoría al borde oriental del área de estudio. La localidad está bien definida en los cortes de taludes de la autopista a la costa, tramo Las Chinchas – Velacruz (UTM: 661077 / 9559756; 658214 / 9560170), aunque también se tiene afloramientos rocosos característicos ubicados a 1.8 km del sector Chivatós (UTM: 655265 / 9563095) y por la vía de segundo orden que conduce a la Tingue, específicamente en el Barrio Santa Cruz del Huato. La unidad litológica abarca una superficie aproximada de 7.84 km<sup>2</sup>.

**Litología:** Se compone esencialmente de rocas volcanoclásticas y volcánicas.

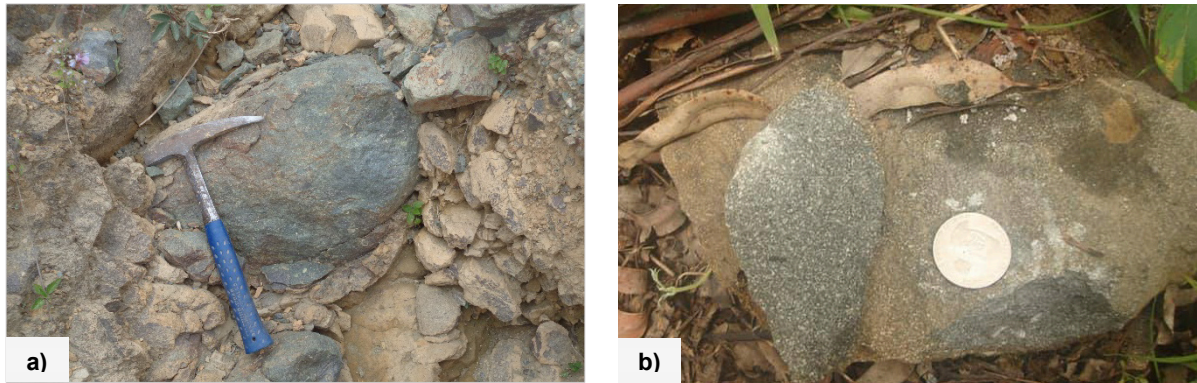
La primera secuencia litológica incluye: hialoclastitas identificadas a 0.8 km del sector Cruz del Huato (UTM: 657256 / 9565753) con tonalidad gris verdosa (ver imagen 46), de grano fino y textura piroclástica, con líticos volcánicos en matriz con piroxeno, plagioclasa y vidrio volcánico. Procesos externos como la meteorización y erosión provocan que la mayoría de afloramientos posean una estructura sumamente alterada con discontinuidades marcadas, cuyos espacios son rellenados con material más suave de la misma roca.

En esta unidad litológica también se incluyen tobas de cristales en su mayoría masivas (ver imagen 47.b) con tonalidades grises verdosas, grano medio y textura piroclástica, contienen líticos volcánicos en matriz compuesta de piroxeno, plagioclasa y vidrio volcánico; en algunos afloramientos se observa una marcada meteorización esfenoïdal que debilita la roca desde afuera hacia adentro, dando un aspecto de capas de cebolla.



**Figura 46.** Rocas de la Unidad Celica. Afloramiento de hialoclastitas gris verdosa, fuertemente meteorizadas (color claro), en el pie de la ladera se hallan depositados fragmentos por la gravedad.

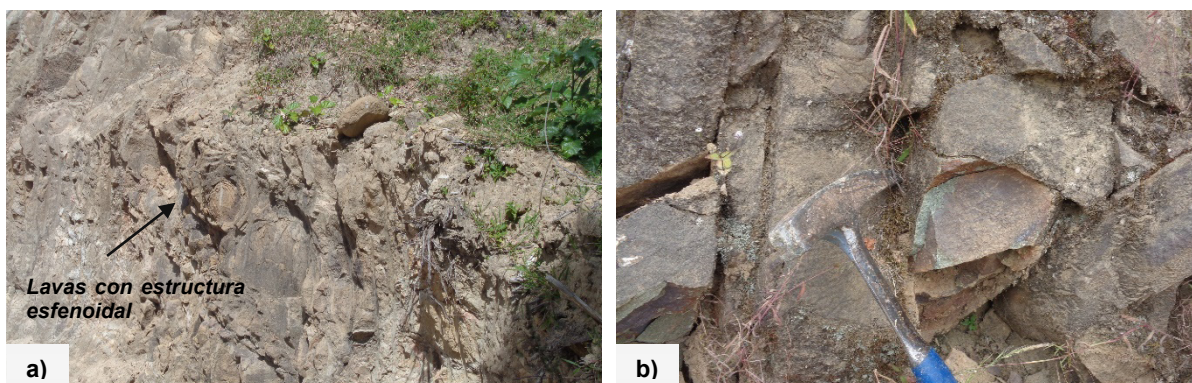
**Fuente:** El Autor, 2017.



**Figura 47.** Rocas de la Unidad Celica. a) Hialoclastitas gris verdosa. b) Fragmento de una toba de cristales, con piroxeno.

**Fuente:** El Autor, 2017.

Mientras que las rocas volcánicas incluyen (ver imagen 48.a) predominantemente lavas de color gris verdosas (UTM: 660628 / 9559677; 660802 / 9560200) masivas, de composición andesítica – basáltica, grano fino, textura holocristalina, inequigranular y traquítica, contienen plagioclasa y clinopiroxeno. Las rocas básicas (ver imagen 48.b) identificadas a 2.16 km del sector Velacruz (UTM: 659532 / 9560135) tienden a ser andesitas basálticas o basaltos, relacionados con toleítas de arco de islas (Pilatasig., *et al*, 2014, p. 7).



**Figura 48.** Rocas de la Unidad Celica. a) Afloramiento de lavas cretácicas con estructuras tipo pillow .b) Rocas andesíticas – basálticas de tono gris verdosas

**Fuente:** El Autor, 2017.

### – Unidad Bramaderos (KBr – Cenomaniano)

**Definición:** Constituye una secuencia volcanoclástica de color gris verdoso, finogranular, bien estratificada (Pilatasig., *et al*, 2014, p. 11). Se constituye de aglomerados volcánicos de granulometría variable, fuertemente meteorizados y subordinadas tobas de cristales medianamente meteorizadas (no identificados en el área de estudio). En base a la relación estratigráfica con las Unidades Celica (edad Albiano) y Ciano (edad Coniaciano –



Santoniano), y la datación de fósiles hallados en el poblado del Carmelo (moldes de bivalvos e inoceramus – Unidad Ciano), se atribuye una edad del Cenomaniano. (INIGEMM, 2014).

**Distribución:** La unidad aflora en su mayoría en la parte centro y sur oriental del área de estudio. Es claramente definida en los taludes de los tramos: Chivatos – San Isidro (UTM: 656611 / 9562814; 648877 / 9564001); Loma la Jaigua - Cerro Calangora (UTM: 661537 / 9559668; 661077 / 9559755). Además existen afloramientos característicos ubicados en los poblados: La Sidra, Y de Olmedo, Buringo, Yamalaca y el Tundo. La unidad litológica posee la mayor superficie del cantón, abarcando una extensión de 25.29 km<sup>2</sup>.

**Litología:** Constituida de rocas sedimentarias de constitución volcánica intercaladas dentro de una secuencia volcanoclástica.

La secuencia volcanoclástica está constituida de tobas de cristales de composición andesítica a basáltica, presentan en la mayoría de los afloramientos descritos una estructura masiva y muy consolidada (UTM: 653747 / 9565063), son de grano grueso, e incluyen piroxeno, anfíbol, cuarzo, vidrio volcánico y líticos volcánicos. Poseen tonalidades claras a grises, aunque la matriz suele tener a tonalidades verdosas oscuras. Igualmente presentan algunas formas de lajamiento que se hallan afectando este tipo de roca.



**Figura 49.** Unidad Bramaderos. Tobas masivas de composición andesítica, constituida por granos de tamaño grueso.

**Fuente:** El Autor, 2017.

Las rocas sedimentarias en cambio ocurren cerca del poblado Yamalaca (UTM: 653752, 9563026), y del sector las Chinchas (UTM: 662650, 9558844) donde se evidencia estratos de areniscas de grano medio a fino con algunas incrustaciones de clastos volcánicos, limolitas y arcillas de coloración clara. En la mayoría de los taludes expuestos en esta zona presentan una prominente meteorización, las capas presentan una baja cohesión entre sus materiales constituyentes y se evidencia vestigios de una acentuada incisión fluvial.



**Figura 50.** Rocas de la Unidad Bramaderos. Afloramiento de areniscas volcánicas con presencia de material arcilloso (UTM: 662650, 9558844).  
**Fuente:** El Autor, 2017

#### – Unidad Chaguarpamba ( $K_{ch}$ – Cenomaniano)

**Definición:** Forma un cuerpo alargados de dirección E – O en la zona noroccidental del cantón Olmedo, constituida de una secuencia de rocas volcanoclásticas en su mayoría. Estudios recientes ejecutados por el INIGEMM (2014), describen que los niveles sedimentarios de rocas aflorantes en el sector El Triunfo (vía Chaguarpamba – El Pindo), se halla la presencia de restos de microfósiles (amonites y bivalvos). La relación con la Unidad Celica no está establecida pero se interpreta como discordante por la presencia de ventanas erosionales de rocas volcanoclásticas de grano grueso al E de Chaguarpamba. Por otra parte, el contacto con la Unidad Ciano es tectónico, marcado por la presencia de franjas de rocas variablemente afectadas por clivaje pizarroso y de fractura (INIGEMM, 2014). Como las litologías de la Unidad Chaguarpamba constituyen las facies distales de la Unidad Bramaderos, una edad correspondiente al Cenomaniano se asigna a esta unidad.

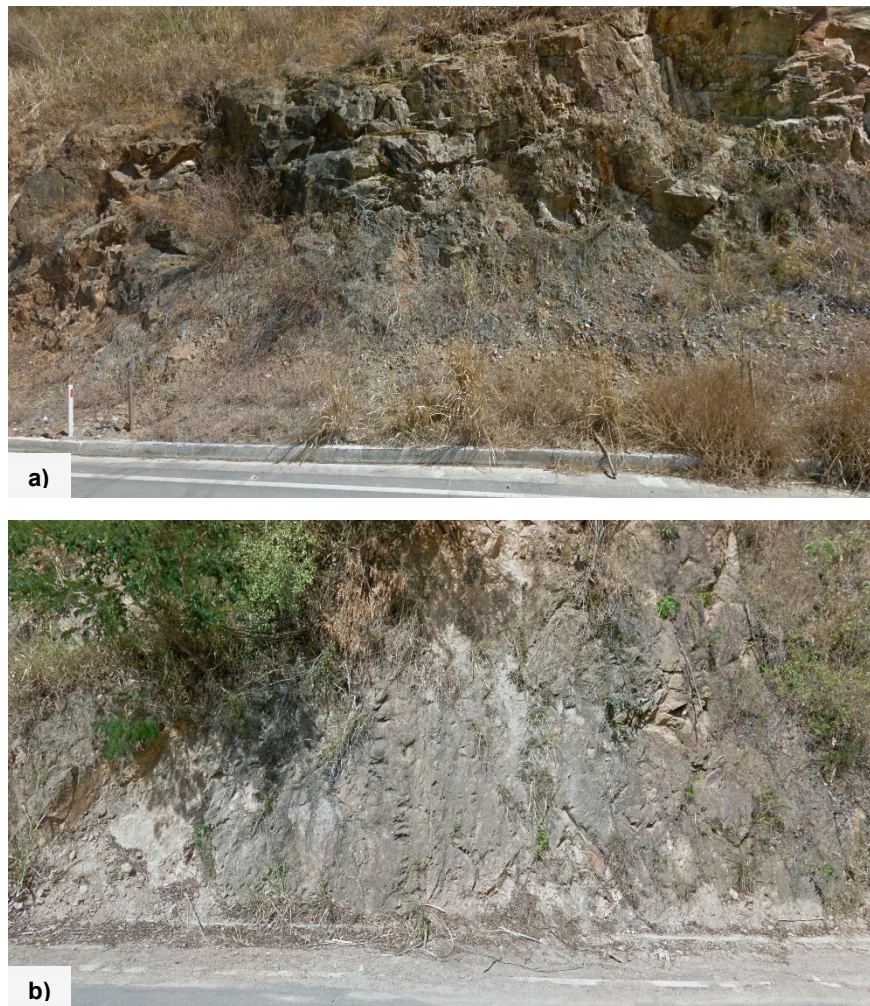
**Distribución:** La unidad aflora en su mayoría en toda la parte norte, en dirección E – O a manera de cinturón. La localidad tipo está presente en el tramo Sector Las Peñas – Huacayahsca (UTM: 649109 / 9566891; 648796 / 9568361). Además existen afloramientos característicos ubicados en los poblados: La Tingue y Huanga. La unidad litológica posee una extensión equivalente a 14 km<sup>2</sup>.



**Litología:** La unidad está formada por rocas clásticas de grano grueso, estratificadas, con componentes volcánicos.

La secuencia volcánica consiste de rocas de color verde oscuras a claras (mayor erosión), grano fino a medio, generalmente estratificadas (ver imagen 51.a), incluyen tobas arenosas, (ver imagen 51.b) constituidas por líticos oscuros de grano fino y granos de cuarzo, soportados en una matriz limosa. En su mayoría presentan una acentuada meteorización, con sistemas de diaclasas con dirección preferencial NO.

La secuencia clástica posee lutitas y limolitas de color claro y gris, ocurren en capas métricas a decamétricas. Algunos de los afloramientos observados en campo presentan incrustaciones de clastos volcánicos angulosos de constitución andesítica.



**Figura 51.** Unidad Bramaderos. a) Tobas estratificadas con tonalidad verdosa (UTM; 650475 / 9568511). b) Tobas arenosas de coloración verdosa (UTM; 650666 / 9566470).

**Fuente:** El Autor, 2017

– **Unidad Ciano ( $K_{Cn}$  ¿Coniaciano – Santoniano?)**

**Definición:** Cubre la mayor parte central con dirección E - O del área de estudio, a manera de faja. La unidad Ciano a nivel regional produce fajas tectónicas y erosionales de las unidades Celica, Chaguarpamba y Bramaderos (INIGEMM, 2014). Consiste de capas bien estratificadas de lutitas, limolitas, arcillolitas y areniscas. La secuencia sobreyace discordantemente a la Unidad Bramaderos, mientras el contacto con las Unidades El Tigre y Chaguarpamba es tectónico. Sigal (citado en Kennerley *et al.*, 1973) determinó microfauna de edad Senoniana al N de Alamor.

Posteriormente, estudios realizados por Jaillard *et al.* (1999), a las rocas de la región Chaguarpamba – Sabanilla les atribuyó una edad correspondiente al Albiano – Coniaciano? Por otra parte como sobreyace discordantemente a las Unidades Bramaderos y Chaguarpamba atribuidas al Cenomaniano, una edad Coniaciano – Santoniano se asume para esta secuencia (Pilatasig., *et al.*, 2014).

**Distribución:** La unidad aflora en su mayoría en la parte central, en dirección E – O a manera de faja. La localidad tipo está presente en el tramo Sector Cascajo – Sector las Peñas (UTM; 649170 / 9563635; 649107 / 9566920). En poblados como: Olmedo, San Isidro, La Guallama y la Delicia se evidenciaron varios afloramientos rocosos característicos. La unidad litológica posee una extensión equivalente a 24.46 km<sup>2</sup>.

**Litología:** Está formada de una secuencia mayormente sedimentaria constituida de lutitas y limolitas poco estratificadas y algunos cuerpos subvolcánicos procedentes de la Unidad Celica.

Las areniscas (ver imagen 52 y 53) son de color claro, grano fino a medio, contienen mayormente líticos de origen volcánico, además de granos de plagioclasa alterada, cuarzo, sericita, granos de cuarzo microgranular y arcillas. Se encuentran muy alteradas, lo que en gran parte de esta unidad se localizan movimientos en masa, del tipo deslizamiento rotacional. Algunos clastos son de origen volcánico y se hayan incrustados de forma esporádica. Poseen una acentuada incisión fluvial, por los surcos formados en las capas, conjuntamente se observa la cantidad de material depositado en el pie de cada afloramiento, aunque la vegetación en gran parte atribuye a este fenómeno.





**Figura 52.** Unidad Ciano. Afloramiento de areniscas meteorizadas con tonalidad rojiza y lentes de arcillas, además presenta fragmentos rocosos volcánicos (UTM; 651636 / 9564102).

**Fuente:** El Autor. 2017



**Figura 53.** Unidad Ciano. Afloramiento de areniscas meteorizadas con tonalidad clara y granos de origen volcánico (UTM; 651636 / 9564102).

**Fuente:** El Autor, 2017

En la quebrada Sin Nombre (ver imagen 54.a – UTM; 650836 / 9564418) ubicada a 1.2 km del poblado de Olmedo afloran rocas volcánicas verdes de la Unidad Celica, consideradas como parte de cuerpos subvolcánicos de composición andesítica – basáltica. En varios afloramientos (ver imagen 54.b) identificados a lo largo de la vía que conduce al poblado de Olmedo, se evidencia la existencia de varios cuerpos de igual composición, los cuales se hallan afectando a las capas sedimentarias de la Unidad Ciano.



**Figura 54.** Unidad Ciano. a) Afloramiento de rocas verdosas de la unidad Celica. b) Posible cuerpo subvolcánico afectando las capas sedimentarias volcánicas (UTM; 651726 / 9564811).  
**Fuente:** El Autor, 2017

### – Unidad Zambí (K<sub>z</sub> ¿Campaniano – Maastrichtiano?)

**Definición:** Forma parte de una faja litológica en dirección NO – SE. Ocurren capas de filitas, pizarras y areniscas gris oscuras intensamente deformadas. En el NE la secuencia sobreyace discordantemente a la Unidad Chaguarpamba, mientras al O el contacto con las Unidades Celica y Bramaderos es tectónico (INIGEMM, 2014). Jaillard *et al* (1999), en base a estudios de fósiles (*Platyceramus*, *sp*) hallados cerca del poblado de las Chinchas, atribuye una edad correspondiente al Coniaciano temprano a Maastrichtiano. Otras dataciones realizadas a especímenes encontrados en depósitos discordantes del Cretácico tardío determinan que el Campaniano – Maastrichtiano tardío es la edad más probable de la secuencia como sugiere Litherland (citado en Jaillard *et al.*, 1999).

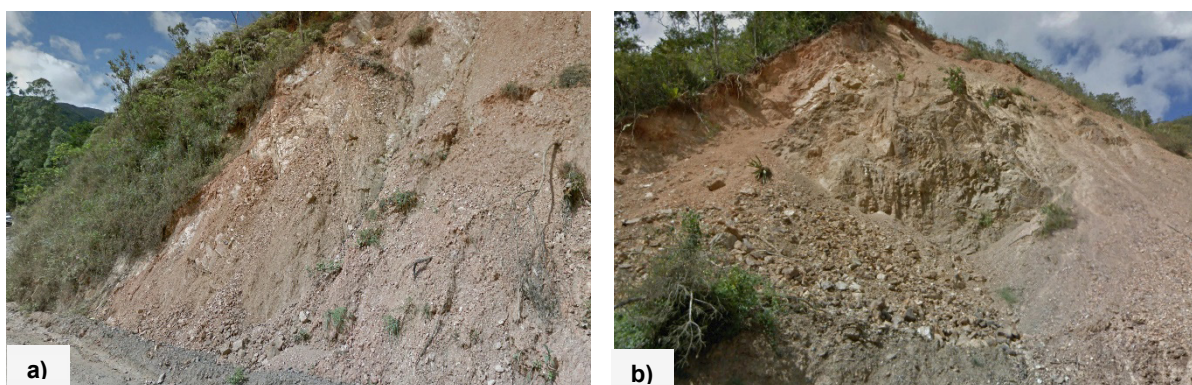


**Distribución:** La unidad aflora únicamente en la parte Nororiental. La localidad tipo está presente en el tramo La Tingue – Zaballar (UTM; 657852 / 9567567; 660106 / ). La unidad litológica posee una extensión equivalente a 21.48 km<sup>2</sup>.

**Litología:** Ocurren en estratos de lutitas, areniscas, limolita y rocas afectadas por metamorfismo.

Las filitas y pizarras están dispuestas en capas laminadas, incluyen niveles afectados por intenso clivaje pizarroso, presentan textura lepidoblástica. Estudios petrográficos realizados por el INIGEMM (2014) sobre esta litología, denotan granos de cuarzo con extinción ondulada y esporádica muscovita, en matriz con abundante mica de grano fino, arcilla, además de sílice y opacos como minerales secundarios.

Las areniscas de grano fino a grueso, dispuestas en capas centimétricas, contienen fenocristales de plagioclasa, granos de cuarzo y pequeños líticos de meta – areniscas cuarzosas, en matriz pelítica, incluyendo sericita débilmente orientada y calcita como minerales secundarios (INIGEMM, 2014). Las arcillas poseen tonalidades rojizas y se presentan en afloramientos con espesores equivalentes a 5 metros.



**Figura 55.** Unidad Ciano. a) y b) Afloramiento de filitas con bajo grado de metamorfismo y fuertemente meteorizadas (UTM; 651726 / 9564811).

**Fuente:** El Autor, 2017

#### – Unidad Catacocha (O<sub>Cat</sub> Oligo – Mioceno)

**Definición:** Constituye una nueva unidad litoestratigráfica (Pilatasig., *et al*, 2014). La secuencia sobryace discordantemente a las unidades Celica y Bramaderos, y en el caso del contacto con la Unidad Loma Blanca es concordante. Considerando que la secuencia sobryace concordantemente a la Unidad Loma Blanca, una edad Oligoceno – Mioceno se asigna para la Unidad Catacocha (INIGEMM, 2014).

**Distribución:** Se sitúa únicamente en la parte centro – sur de la zona de estudio. La localidad tipo está presente en el tramo Velacruz – Chivatos (697498 / 9535390). Cerca del

poblado Sotaña, se evidenciaron varios afloramientos rocosos característicos. La unidad litológica posee adquiere una superficie de 6.86 km<sup>2</sup>.

**Litología:** Constituida de rocas volcánicas y volcanosedimentarias de composición intermedia a ácida.

Las litologías incluyen tobas de cristales y andesitas. Las tobas (ver imagen 56) mayormente meteorizadas, son de color púrpura y estructura masiva, con alto contenido de feldespatos; en el sector El Carmelo y Chivatos claramente se observa este tipo de litología a lo largo de varios afloramientos realizados por el corte de la vía. Asimismo se encuentran pequeñas vetillas rellenas de material arcilloso blanquecino.



**Figura 56.** Tobas masivas con tonalidades purpura (UTM; 657417 / 9561810).

**Fuente:** El Autor, 2017

## – Depósitos Cuaternarios

### Coluviales

Los depósitos coluviales de mayor dimensión se localizan en la zona central del área de estudio y comprenden cantos de andesita verdosas con tamaños de hasta 0.4 m de radio, además de fragmentos angulosos y subangulosos de rocas intrusivas granodioríticas.

### Aluviales

Se encuentran dispersos por toda el área de estudio, corresponden a la zona baja de unidades morfológicas como las vertientes y relieves donde se conforman angostas a amplias áreas de depositación. Estos depósitos ocurren a lo largo de los márgenes de los principales drenajes del área de investigación, comprenden materiales tales como arenas, gravas y fragmentos redondeados y subredondeados de roca efusiva (andesita principalmente) y granodiorita con tamaños de hasta 30 cm de diámetro.



### Coluvio – Aluviales

Son depósitos menores, caracterizados por la presencia de arcillas grises, arenas verdosas y claras, arenas arcillosas, cantos y materia orgánica. Están dispersos por toda el área de estudio, en cauces menores y estacionales.



**Figura 57.** Materiales constituyentes de los depósitos cuaternarios del cantón Olmedo  
Fuente: El Autor, 2017

### – Intrusivos y Subvolcánicos

Se evidenciaron dos intrusiones mesozoicas – cenozoicas, de rocas granodioritas, caracterizadas por su composición intermedia, textura subporfirítica; constituyen geoformas subredondeadas ocurren al, OSO y NE del área de estudio, específicamente en los poblados de Olmedo y La Tingue.

Los cuerpos subvolcánicos andesíticos relacionadas a cuellos volcánicos, son de color gris – verdoso, masivos, textura porfirítica que por meteorización adquieren tonalidades de color crema. Se ubican en la parte SE, en los poblados de Tambara y las Chinchas.

### **6.3.2. Geología Estructural**

A nivel general, la principal característica tectónica es el fallamiento. Las fallas regionales tienen una dirección preferencial OSO – ENE. Localmente se ha identificado la presencia de fallas menores, que en general mantienen la dirección de las estructuras regionales. Las principales estructuras a nivel regional son el sistema de Fallas Piñas Portovelo que se localizan a unos 20 km al NO del área de estudio. La falla de Yamana (646400, 9559200), definida en la hoja geológica de Zaruma como de tipo inverso, con un rumbo general ENE – OSO a veces E – O, limita la margen NO de la cuenca del Río Playas. Esta falla parece constituir el límite entre las secuencias del Cretácico Inferior ubicadas al N y Superior al S y seguramente controló la evolución de la cuenca Paita – Yunguilla y posteriormente Río Playas.

#### **Fallas Menores**

Las fallas menores son las estructuras locales identificadas a través de fotointerpretación dentro del área de estudio, a continuación se indican las más destacadas.

Cerca la cabecera cantonal de Olmedo, en el sitio de coordenadas (650073, 9565119) se evidencia la presencia de una falla tipo normal con dirección N40E, buzando 70° al SE, localmente se presentan pequeñas zonas de plegamiento; litológicamente afecta a las rocas volcanosedimentarias de la Unidad Ciano. Este tipo de estructura atraviesa también la Unidad Chaguarpamba y se sitúa en todo el recorrido de la Quebrada de Olmedo.

Al NE del sector de Huacanuma, en la Quebrada del mismo nombre (655648, 9564218), se tiene una falla con dirección N55O, buzando 66° al SO, localmente se presenta una zona de fracturamiento con relleno de material, las fracturas tienen un ancho aproximado de  $\pm 20$  cm, la dinámica de la estructura no es fácilmente identificable, dicha estructura pone en contacto a rocas de la Unidad Ciano, Bramaderos y Catacocha

En el sector El Chorro (659294, 9562547), se ha identificado una falla tipo normal con dirección N34E, buzando 49° al NO, dicha estructura está afectando a rocas volcánicas tipo lavas, tobas andesíticas y rocas meta sedimentarias que presentan alto grado de alteración. La estructura recorre el Quebrada del mismo nombre hasta la unión con la Q. Cola donde aún prosigue extendiéndose.

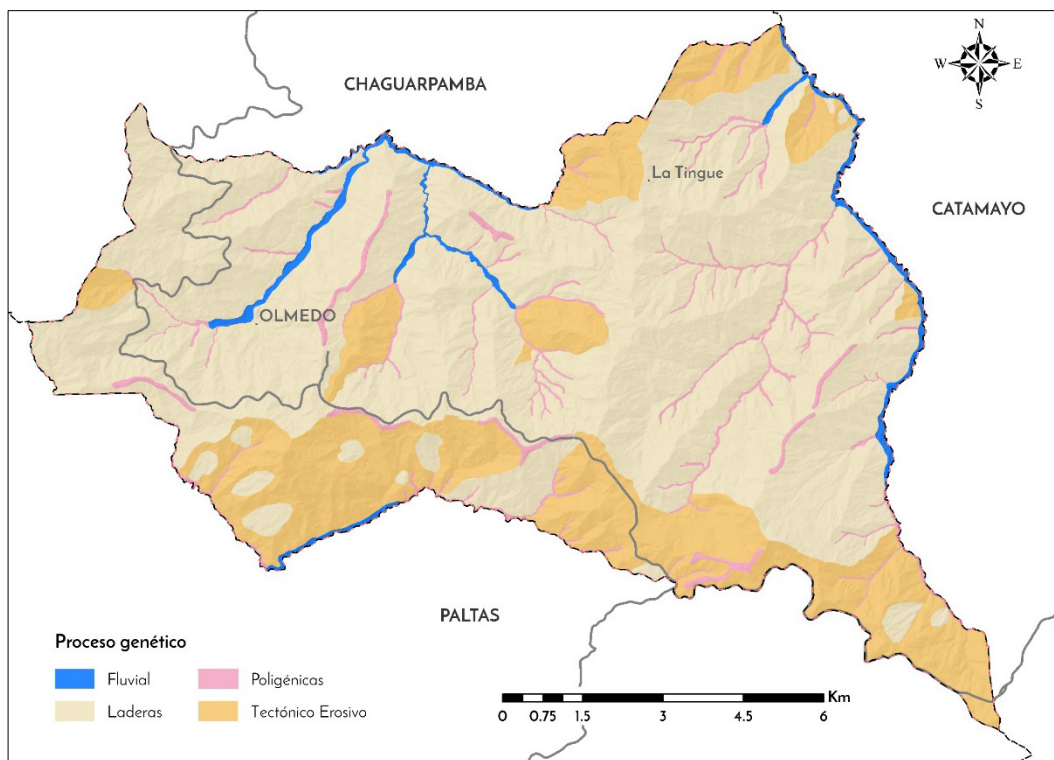
Al SO del poblado de Olmedo (650473, 9565293), se definió una falla inversa con dirección S51E, buzando 63° al NE, la estructura afecta a las rocas cretácicas de la Unidad Ciano y Bramaderos.



El dominio fisiográfico Medio Aluvial ocupa la parte noroccidental y oriental del cantón, se compone de restos de materiales Cuaternarios poligenéticos. La ocurrencia del dominio es por la acción de las Quebradas: Olmedo, Yaguachi, Sigro y San José que recorren en dirección preferencial E – O y SE – NO. Estos cauces conjuntamente con el tipo de material presente en el cantón han provocado la aparición de Valles en V y unidades Coluvio – Aluviales. Ocupa aproximadamente un 2.09 % de la superficie del área de estudio.

### 6.3.3.2. Estudio del Modelado

Agrupando el conjunto de unidades geomorfológicas existentes en el área de estudio acorde a la metodología del IEE, resultan los siguientes grupos genéticos (ver imagen 59): formas fluviales, de laderas, poligénicas y tectónico – erosivo. A continuación se describe cada uno de los procesos modeladores del relieve.



**Figura 59.** Formas asociadas a la génesis  
**Fuente:** El Autor, 2017.

#### – Formas Fluviales

Se encuentra asociadas a formas y depósitos ligados al flujo hídrico, a nivel general se agrupan 3 unidades morfológicas, pero en este caso de estudio solo se compone de la unidad denominada “Encajonamiento e Incisiones Fluviales”. Ocupa una superficie equivalente a 242 ha. Las formas de relieve identificadas son los valles en V, cuyos fondos

son cubiertos por material poligénico del Cuaternario de diversos tamaños, desde centimétricos hasta decamétricos.

#### – Formas de Ladera

Las unidades morfológicas asociadas a este proceso genético lo constituyen las formas y depósitos relacionados con la evolución y dinámica de las laderas o vertientes. En el cantón Olmedo, ocurren como las mayores unidades de paisaje y ocupan una superficie equivalente a 8069.5 ha, es decir el 69.5% del área total. La naturaleza geológica de cada unidad es de carácter volcánico, volcanoclástico, sedimentario y metamórfico en la parte nororiental; rocas con edades que van del Cretácico al Oligoceno.

#### – Formas Poligénicas

Las formas poligénicas identificadas en el área de estudio, se hallan asociadas a unidades morfológicas como Aristas, Divisorias e Interfluvios y Coluvio – Aluviales que tienen su origen en varios grupos genéticos o que son de difícil adscripción a uno concreto. Ocurren de manera dispersa por todo el cantón, ocupando una superficie de 463.7 ha, equivalente al 4.03% del área total. La unidad morfológica Coluvio – Aluvial se constituye de fragmentos de material de diversa litología, producto de la erosión hídrica de unidades mayores como las vertientes y relieve general. En cambio la unidad morfológica de Aristas, Divisorias e Interfluvios se compone únicamente del material característico de cada formación litológica que aflora en el cantón.

#### – Formas Tectónico – Erosivo

Se halla representado por unidades sin rasgos característicos, originadas en procesos tectónicos (subducción) y modelados por procesos denudativos, con diferente grado de intensidad según las propiedades físicas y mecánicas de las rocas que constituyen las formaciones aflorantes. En el cantón Olmedo, la unidad morfológica relieve ocupa el 24.4% de la superficie total se halla representado por la unidad morfológica relieve general, ubicada de manera dispersa por toda el área del proyecto, aunque en la parte sur, con dirección E – O posee su mayor expresión. En su mayoría se constituye de material volcánico, volcanoclástico y sedimentario, con un rango de edad que va desde el Cretácico inferior al Oligoceno.



### 6.3.3.3. Unidades Geomorfológicas

En el cantón se identificaron un total de 185 geoformas, en base al análisis del DEM y técnicas de fotointerpretación digital. Cada una de las unidades está definida de acuerdo a la metodología del IEE. En los siguientes apartados se describe cada forma de relieve de acuerdo a su génesis.

#### – Fluvial

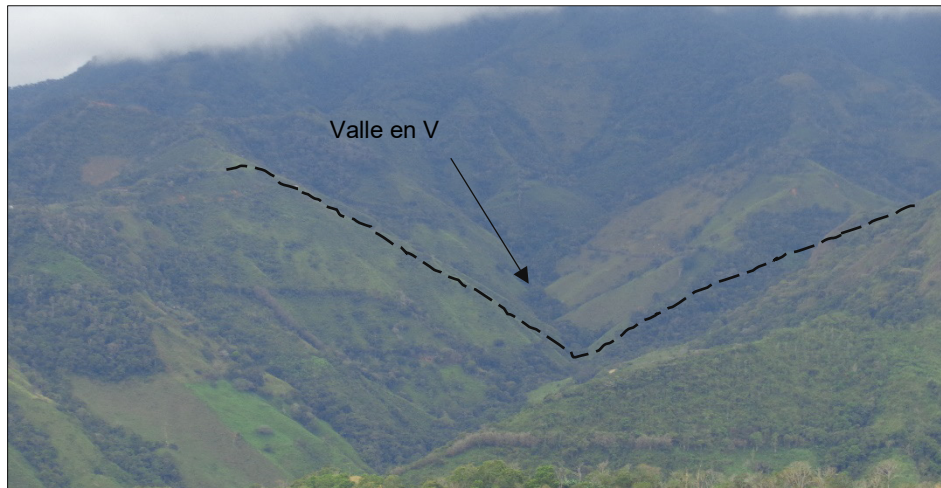
##### Valles en V (E1)

La geoforma se sitúa en el sector noroccidental, nororiental y suroeste del cantón Olmedo, formando parte de los cauces de las quebradas: Olmedo, Yaguachi, Sigro y San José, que recorren en sentido preferencial E – O, SE – NO. Son unidades con un perfil transversal en forma de V, caracterizados por la existencia de pendientes fuertes a muy fuertes (de 40 a 100%). Las dimensiones longitudinales de estos valles son por lo general de orden kilométrico y las anchuras de orden hectométrico.

Su litología está constituida de los fragmentos de materiales cretácicos de las unidades Bramaderos, Chaguarpamba, Ciano y Zambi. Ocupan una superficie de 220.6 ha equivalentes al 2.03% del área total. Forman parte de la unidad morfológica Encajonamientos e Incisiones Fluviales.



**Figura 60.** Vista general. Valle en V, sobre la Quebrada Olmedo. Sector Huanga  
**Fuente:** El Autor, 2017.



**Figura 61.** Vista general 2. Valle en V, sobre la Quebrada Olmedo. Sector Las Peñas  
Fuente: El Autor, 2017.

## – Laderas

### Vertiente Rectilínea (Lr1)

Se sitúa en la zona noroccidental del área de estudio, formando parte de la unidad morfológica Laderas Rectilíneas. La geoforma presenta una escasa disección y un perfil longitudinal predominantemente rectilíneo, pendientes medias a fuertes (20% - 70%), un desnivel relativo característico > 300 metros y una densidad de drenaje media (< 5 – 12 km/km<sup>2</sup>). La longitud de vertiente es relativamente muy larga (> 500 metros) con formas de drenaje paralelo. Se desarrolla sobre la litología volcanoclástica de la Unidad Chaguarpamba (Cenomaniano) y la secuencia volcánica – sedimentaria de la Unidad Ciano (Coniaciano – Santoniano).



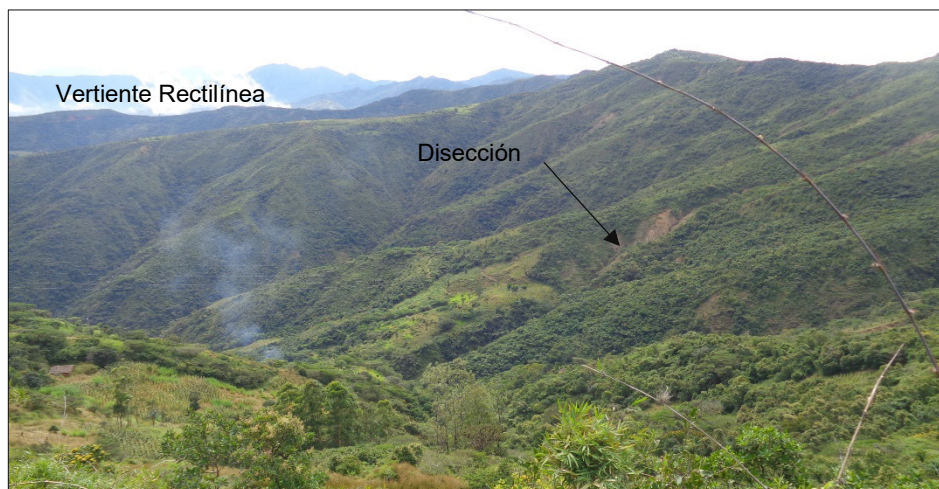
**Figura 62.** Vista general: Vertiente rectilínea con escasa disección. Sector Huanga  
Fuente: El Autor, 2017.

### **Vertiente Rectilínea con Fuerte Disección (Lr2)**

Esta geoforma posee una evidente y marcada disección. Forma parte de la unidad morfológica Laderas Rectilíneas, y se encuentra ampliamente representado en la zona noroccidental, central y sur – oeste del cantón Olmedo.

La unidad geomorfológica se caracteriza por ostentar un perfil longitudinal marcadamente rectilíneo, presenta pendientes fuertes (de 40 a 70%), desniveles relativos superiores a 300 metros y longitudes de vertiente categorizadas en un rango de largas (> 250 – 500 metros) Se definen por presentar disecciones asociadas a drenajes con formas paralelas o subparalelas con densidades medias (5 – 12 km/km<sup>2</sup>) a altas (> 12 km/km<sup>2</sup>)

Se desarrollan sobre los materiales volcánicos, volcanoclásticos y sedimentarios de las Unidades Bramaderos y Chaguarpamba (Cenomaniano), Ciano (Coniaciano – Santoniano), para las geoformas ubicadas en la parte noroccidental y central. En cambio las geoformas ubicadas en el sur – oeste del cantón se constituyen rocas volcánicas y volcanosedimentarias de composición intermedia a ácida de la Unidad Catacocha (Oligoceno).



**Figura 63.** Vista general: Ladera rectilínea con fuerte disección. Sector Huancanuma  
**Fuente:** El Autor, 2017.

### **Vertiente Rectilínea con Abruptos (Lr4)**

Se ubican en el sector noroccidental, la parte centro – sur y sur – oriental del cantón en estudio. Forma parte de la unidad morfológica Laderas Rectilíneas, pero se caracteriza por su predominante sentido rectilíneo con presencia de una o más zonas de ruptura de pendiente, en las que se crean escalones por un brusco incremento de la pendiente general de la ladera.



Se desarrollan sobre material ígneo y sedimentario de las Unidades Geológicas: Celica, Bramaderos, Chaguarpamba, Ciano y Catacocha, presentando pendientes fuertes (> 40 a 70%) y muy fuertes (de 70 a 100%) y desniveles relativos superiores a 300 metros. Las longitudes de vertiente son largas (> 250 - 500 m) a muy largas (más de 500 m), con una densidad de drenaje baja (> 5 km/km<sup>2</sup>) a media (5 – 12 km/km<sup>2</sup>).



**Figura 64.** Vista general: Vertiente rectilínea con abruptos. Sector Pangarillas  
Fuente: El Autor, 2017.

### Vertiente Abrupta (La1)

Esta geoforma se encuentra distribuida en el extremo noroeste del cantón Olmedo, siguiendo una tendencia estructural de dirección E – O. Pertenece a la unidad morfológica Laderas Abruptas y se desarrolla sobre las rocas clásticas de grano grueso, estratificadas, con componentes volcánicos de la Unidad Chaguarpamba (Cenomaniano).



**Figura 65.** Vista general: Ladera abrupta. A 1 km del sector Ramirezpamba  
Fuente: El Autor, 2017.

Presenta pendientes muy fuertes (de 70 a 100%), el desnivel relativo es superior a los 300 metros, la longitud de vertiente es categorizada como muy larga (> 500 metros) y presenta una escasa densidad de drenaje (< 5 km/km<sup>2</sup>).

### **Vertiente Abrupta con Fuerte Disección (La2)**

Se distribuye en la parte central y en el extremo NNO del cantón Olmedo. Igual que en el caso anterior pertenece a la misma unidad morfológica Laderas Abruptas, pero con la única diferencia que se aprecia una marcada disección en la totalidad o en gran parte de la geoformas.

Se disponen sobre los materiales sedimentarios finogranulares bien estratificadas de la Unidad Bramaderos (Cenomaniano) y la secuencia volcánica y volcanosedimentaria de composición intermedia a ácida de la Unidad Catacocha, para las geoformas ubicadas en la parte central. En cambio las vertientes ubicadas en la parte NNO se constituyen de las rocas clásticas de grano grueso, estratificadas, con componentes volcánicos de la Unidad Chaguarpamba.

Se caracteriza por presentar disecciones asociadas a drenajes con formas paralelas o subparalelas con densidades bajas (< 5 km/km<sup>2</sup>) a medias (5 – 12 km/km<sup>2</sup>). Ostenta pendientes muy fuertes (de 70 al 100%), desniveles relativos mayores a 300 metros y longitudes de vertientes moderadamente largas (> 250 - 500 m) a muy largas (> 500 metros) con formas predominantemente rectilíneas a mixtas.



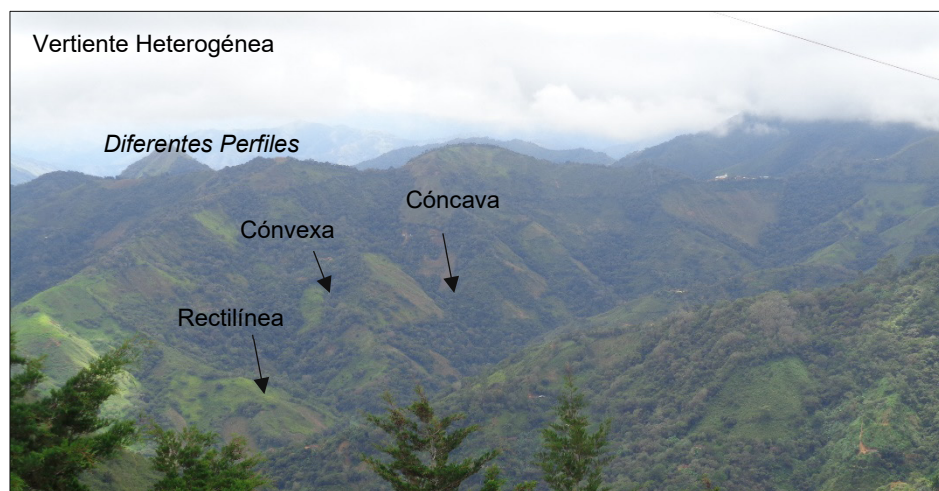
**Figura 66.** Vista general: Ladera abrupta con fuerte disección. A 2 km del sector Ramirezpamba  
**Fuente:** El Autor, 2017.

### Vertiente Heterogénea (Lh1)

Esta geoforma se reparte ampliamente por toda la zona norte con dirección E – O del cantón y en menor extensión en el extremo OSO. Es incluida en la unidad morfológica Laderas Heterogéneas y Otras Morfologías.

Las vertientes heterogéneas se han desarrollado en diferentes y variadas litologías cretácicas como: la secuencia volcanoclástica de color gris verdoso, finogranular, bien estratificada de la Unidad Bramaderos (Cenomaniano); las tobas arenosas intercaladas con limolitas, aglomerados de la Unidad Chaguarpamba y la secuencia sedimentaria de la Unidad Ciano.

Son laderas de perfil mixto (cóncavo-convexo, rectilíneo-cóncavo, etc.) o irregular, escasamente disectada. Presentan un amplio rango de pendientes de media a fuerte (> 25 – 40%) y fuerte (> 40 – 70%), desniveles relativos mayores a 300 metros y longitudes de vertientes moderadamente largas (> 50 – 250) a largas (> 250 – 500). Se caracteriza por presentar disecciones asociadas a drenajes con formas paralelas con densidades medias (5 – 12 km/km<sup>2</sup>) a altas (> 12 km/km<sup>2</sup>).



**Figura 67.** Vista general: Ladera heterogénea. A 1.8 km del poblado La Tingue  
**Fuente:** El Autor, 2017.

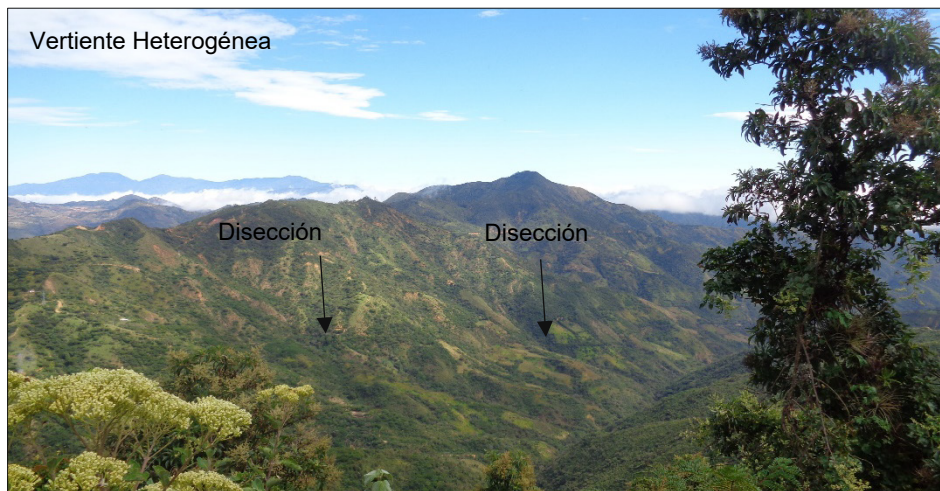
### Vertiente Heterogénea con Fuerte Disección (Lh4)

Se localiza en el tercio occidental y en el tercio oriental del cantón, con mayor representatividad en este último. Es incluida en la unidad morfológica Laderas Heterogéneas y Otras Morfologías. Contrariamente a las vertientes heterogéneas (Lh1), estas presentan una intensa disección, generada por la erosión de la escorrentía superficial.



Se asocia a relieves constituidos por materiales volcánicos, volcanoclásticos, volcanosedimentarios y sedimentarios de las unidades geológicas: Celica, Bramaderos, Chaguarpamba, Ciano y Catacocha; y rocas metamórficas de la unidad Zambí.

Estas vertientes presentan disecciones relacionadas a drenajes con formas dendríticas a paralelas con densidades medias ( $5 - 12 \text{ km/km}^2$ ) a altas ( $> 12 \text{ km/km}^2$ ), y su perfil longitudinal es irregular. Presentan pendientes fuertes ( $> 40 - 70\%$ ) a muy fuertes ( $> 70 - 100$ ), desniveles relativos muy variables comprendidos entre  $200 - 300$  a  $> 300$  metros. La longitud de la vertiente larga ( $> 250 - 500 \text{ m}$ ) a muy larga (más de  $500 \text{ m}$ ).



**Figura 68.** Vista general: Vertiente heterogénea con fuerte disección. A 1 km del poblado Cola  
**Fuente:** El Autor, 2017.

### **Coluvión Reciente (Col1)**

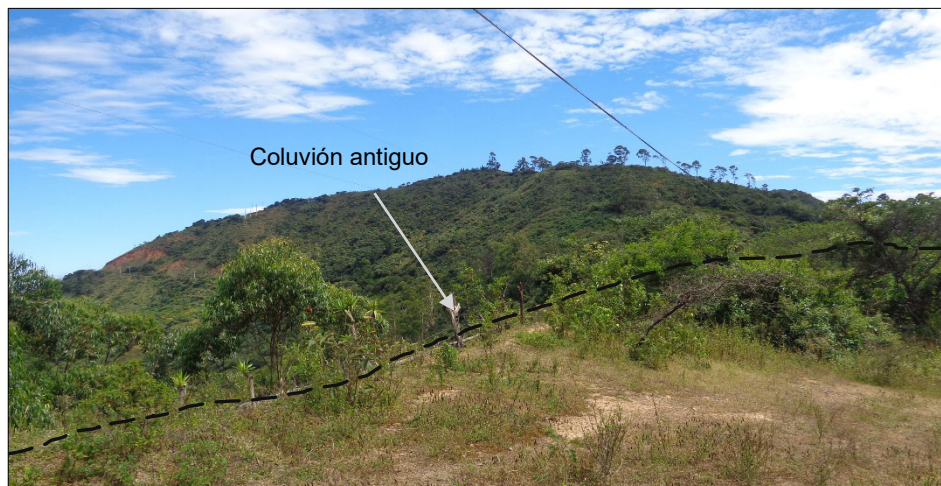
La geoforma (cuaternario) se sitúa en parte septentrional del área de estudio y pertenece a la unidad morfológica Depósitos de Ladera. Es común identificarlas en las partes medias y bajas de las laderas, donde el cambio de la pendiente favorece la acumulación de materiales finos y fragmentos angulares rocosos heterogéneamente mezclados. El origen del material es volcánico, sedimentario y metamórfico procedente de las unidades Ciano y Zambí. Otra característica común es la ausencia de estratificación, estructuras de ordenamiento interno y el desarrollo de vegetación pionera.

Presentan valores morfométricos muy variados: la pendiente es media – fuerte ( $> 12 - 40\%$ ) a fuerte – muy fuerte ( $> 40 - 100\%$ ), el desnivel relativo varía desde los  $50 - 300$  metros, la longitud de la vertiente es moderada – larga ( $> 50 - 500$  metros) a muy larga ( $> 500$  metros) y con formas convexas, cóncavas y mixtas. Presenta disecciones asociadas a drenajes con formas paralelas o subparalelas con densidades bajas ( $> 5 \text{ km/km}^2$ ).

### Coluvión Antiguo (Col2)

Los coluviones antiguos (mioceno) que circundan los relieves montañosos y la vertientes volcánicas, sedimentarias y metamórficas se hallan recubiertos por delgadas formaciones superficiales más recientes que incluyen coluviones de matriz limo – arcillosa. Se caracteriza por tener desarrollada vegetación pionera y se ubica de manera repartida por toda la superficie del área de estudio, aunque tiene mayor incidencia en la parte noroccidental.

Poseen pendientes con valores de media – fuerte (12 – 40%), fuerte (40 – 70%) y muy fuerte (70 – 100%), el desnivel relativo varía desde los 50 – 300 metros y > 300 metros. La disección identificada se asocia a drenajes en forma paralela con densidades bajas (> 5 km/km<sup>2</sup>) a medias (5 – 12 km/km<sup>2</sup>). La longitud de la vertiente es moderada – larga (> 50 – 500 metros) a muy larga (> 500 metros) y con formas convexas, cóncavas. Igual que la geoforma coluvión reciente (Col1) pertenece a la misma unidad morfológica Depósitos de Ladera.



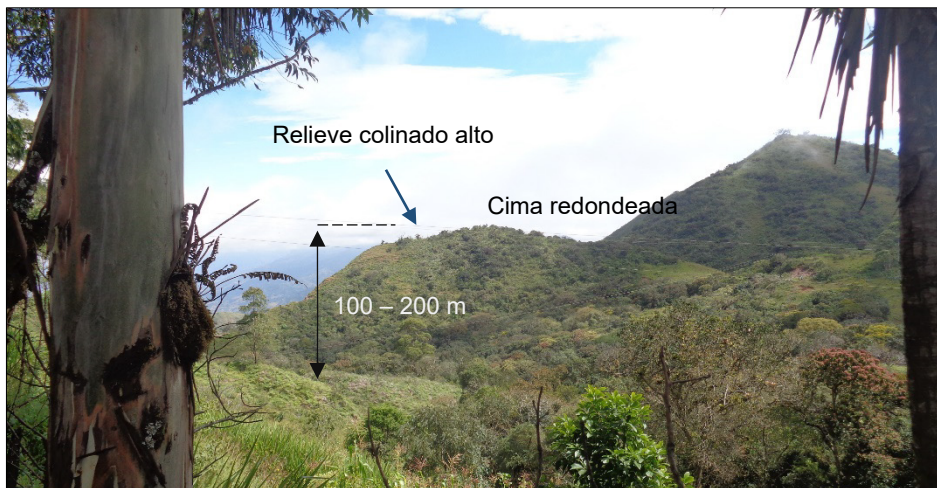
**Figura 69.** Vista general: Coluvión antiguo. Sector el Carmelo  
**Fuente:** El Autor, 2017.

### – Tectónico – Erosivo

#### Relieve colinado alto (Rt5)

Este tipo de relieve se distribuye por el sector nororiental y en mayor cantidad de manera aleatoria en la parte meridional del cantón, pertenecen a la unidad morfológica Relieve. Se constituye o desarrolla sobre los materiales meta – sedimentarios de la unidad Zambí (Campaniano – Maastrichtiano) (sector nororiental) y las secuencias volcánicas, volcanoclásticas de las unidades: Bramaderos (Cenomaniano) y Catacocha (Oligoceno).

Las geoformas asociadas presentan pendientes: media - fuerte (25 – 40%) a fuertes (40 – 70%), un desnivel relativo característico de este relieve de entre 100 y 200 metros. La disección identificada se asocia a drenajes en forma paralela a subparalela con densidades bajas (< 5 km/km<sup>2</sup>). La longitud de ladera es larga (> 250 – 500 metros) a muy larga (> 500 metros) con forma cóncava, irregular y mixta. Además luce formas de valle en V y cimas redondeadas a agudas.



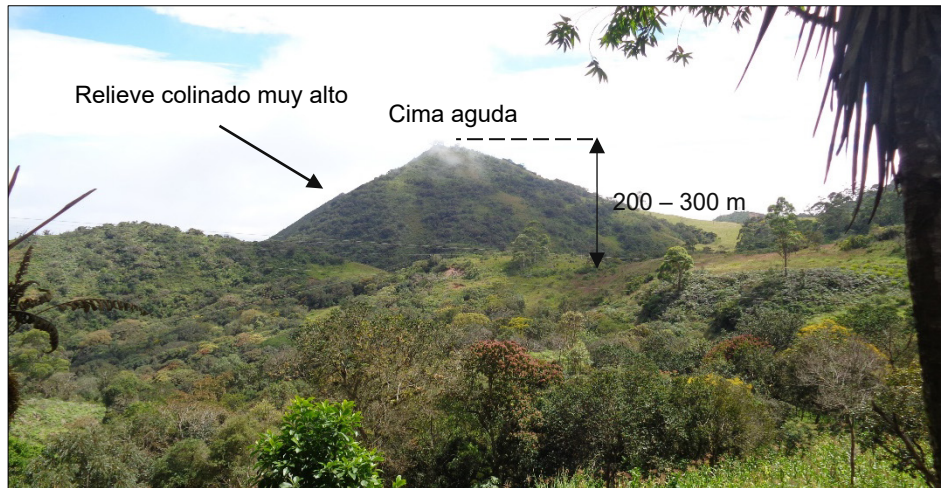
**Figura 70.** Vista general: Relieve colinado alto. A 2 km de Velacruz  
**Fuente:** El Autor, 2017.

### **Relieve colinado muy alto (Rt6)**

Se distribuye por el sector nororiental y en mayor densidad en la parte central y meridional a manera de franja, son formas banales sin ningún rasgo característico. Las geoformas ubicadas en la parte nororiental se constituyen de materiales meta – sedimentarios de la unidad Zambí, en cambio las unidades geomorfológicas de la zona central y meridional descansan sobre las litologías volcánicas, volcanoclásticas, sedimentarias de las unidades cretáceas: Bramaderos, Ciano; y Catacocha del oligoceno.

Comprenden una marcada pendiente fuerte (40 – 70%) a muy fuerte (70 – 100%), el desnivel relativo es representativo de esta unidad con valores de 200 – 300 metros. La disección identificada se asocia a drenajes en forma paralela con densidades bajas (< 5 km/km<sup>2</sup>). La longitud de ladera es larga (> 250 – 500 metros) a muy larga (> 500 metros) con forma irregular y mixta. Presenta cimas planas, redondeadas y agudas, con formas de valles en V.

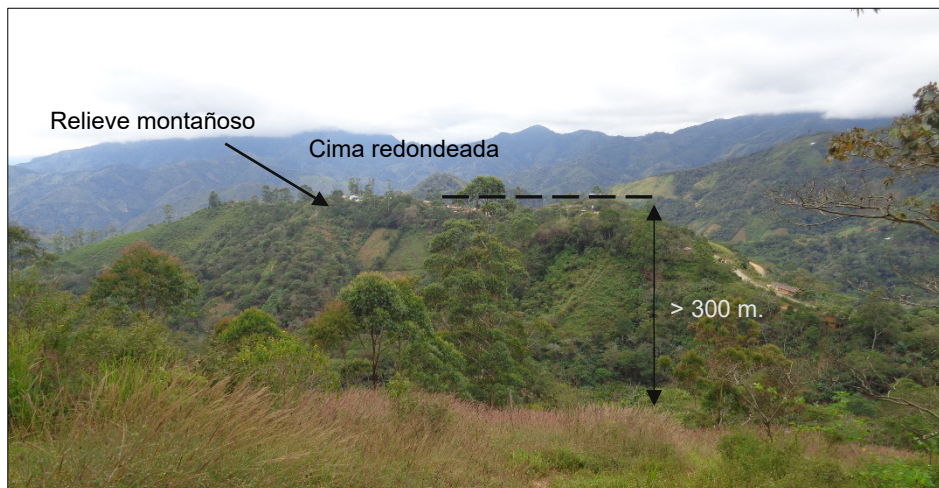




**Figura 71.** Vista general: Relieve colinado muy alto. A 2 km de Velacruz  
**Fuente:** El Autor, 2017.

### Relieve Montañoso (Rt7)

Este tipo de unidad geomorfológica se reparte por el sector nororiental, central y en mayor número en todo el extremo meridional (dirección E – O) del cantón a manera de faja, pertenecen a la unidad morfológica Relieve. Se constituye o desarrolla sobre los materiales meta – sedimentarios de la unidad Zambí (Campaniano – Maastrichtiano) (sector nororiental) y las secuencias cretácicas volcánicas, volcanoclásticas de las unidades Bramaderos (Cenomaniano), Celica y Catacocha (Oligoceno).



**Figura 72.** Vista general: Relieve montañoso. Poblado Guallana  
**Fuente:** El Autor, 2017.

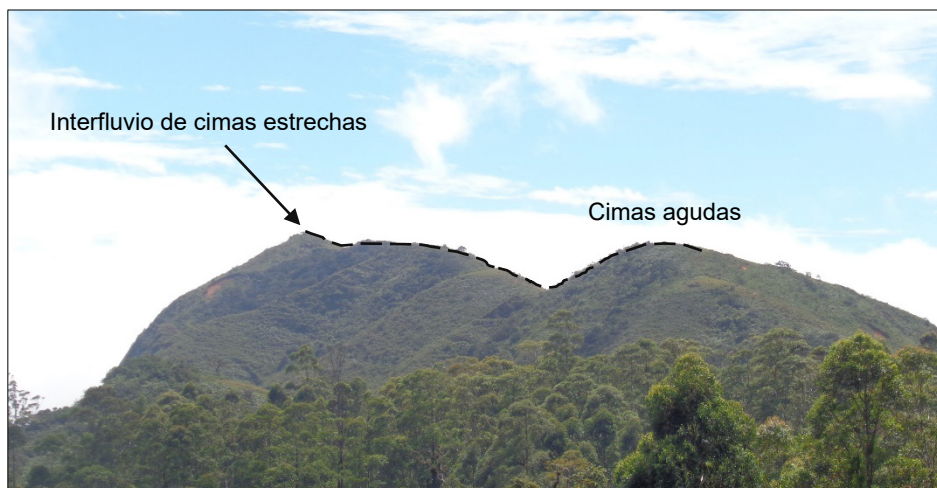
Las geoformas identificadas presentan una pendiente variada: media - fuerte (25 – 40%), fuertes (40 – 70%) a muy fuertes (70 – 100%), un desnivel relativo característico de este relieve igual o superior a 300 metros. La disección identificada se asocia a drenajes en forma paralela a dendrítico, con densidades bajas (< 5 km/km<sup>2</sup>) a medias (> 5 – 12 km/km<sup>2</sup>). La longitud de ladera es larga (> 250 – 500 metros) a muy larga (> 500 metros) con forma irregular. Culmina en cimas planas, redondeadas agudas con formas de valles en V.

### – Poligénicas

#### Interfluvio de cimas estrechas (Ar2)

Esta geoforma aparece de manera aleatoria por casi toda la superficie del cantón exceptuando únicamente la zona noreste. Geológicamente se han desarrollado sobre los volcánicos del cretáceo inferior de la Unidad Celica; las rocas volcanoclásticas de composición media a ácida de la Unidad Catacocha (Oligoceno) y las secuencias volcanoclásticas, volcanosedimentarias y sedimentarias del cretácico superior de las unidades Bramaderos, Chaguarpamba y Ciano.

Los interfluvios (Ar2) constituyen la unidad morfológica Aristas, Divisorias e Interfluvios, presentando características pendientes fuertes (40 – 70%) a muy fuertes (70 – 100%), un desnivel relativo variado que oscila desde los 100 m., hasta llegar y superar los 300 metros. Tiene un desarrollo lineal y estrecho y ocupa posiciones cimaras en forma angulosa.



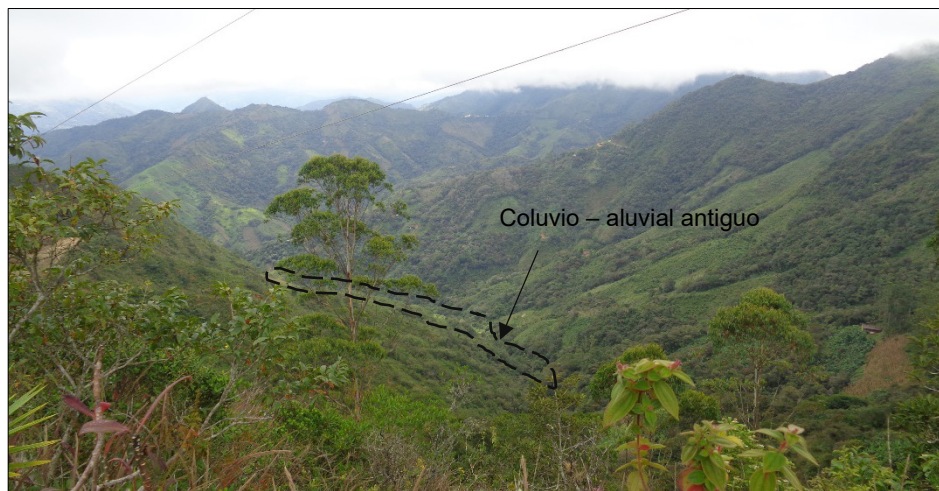
**Figura 73.** Vista general: Interfluvio de cimas estrechas. Poblado Pangarillas  
**Fuente:** El Autor, 2017.



### Coluvio – Aluvial Antiguo (Coa2)

Esta geoforma aparece con mayor profusión que la anterior, situándose de manera dispersa por toda la superficie del área de estudio, atravesando todas las unidades geológicas aflorantes.

Posee características propias como cierto grado de disección y el desarrollo de vegetación pionera, sus fondos están cubiertos de materiales fragmentados de las unidades cretácicas – oligocénicas, varían desde arcillas, limos, arenas, materia orgánica y cantos rodados de dimensiones centimétricas a decamétricas. Presentan pendientes fuertes a muy fuertes (de 25 a 100%), aunque mayoritariamente se dan pendientes fuertes (de 40 a 70%) y formas de valle planas, en V o en U.



**Figura 74.** Vista general: Coluvio – aluvial antiguo. Poblado Huato  
**Fuente:** El Autor, 2017.



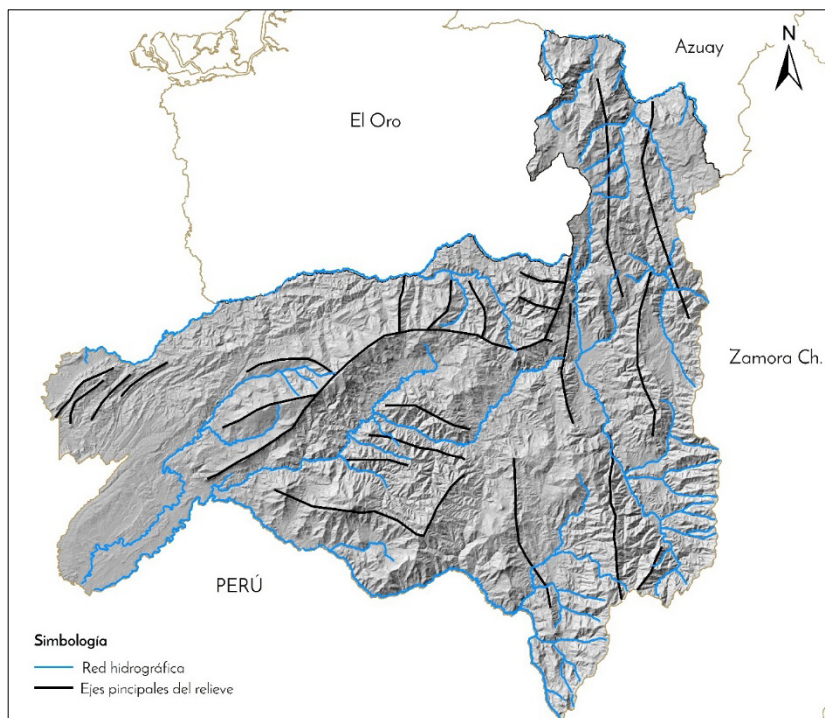
**Figura 75.** Vista general: Coluvio – aluvial antiguo. Poblado Chinchas  
**Fuente:** El Autor, 2017.

### 6.3.3.4. Evolución Dinámica

La geomorfología del área de estudio guarda una estrecha relación, con la historia y evolución geológica de la cordillera Occidental. El principal evento se dio durante la colisión del “plateau” Piñón –Pallatanga en el Campaniano, este proceso sería el responsable de la acreción y plegamiento del terreno Alao en la parte norte de la Cordillera Real, mientras que en la parte sur se produciría la máxima rotación horaria del bloque Amotape (59°) bajo un régimen extensional aún vigente (Reyes, 2009, pp. 19 - 20). Esta colisión sucesiva también influyó en la formación de la cuenca Lancones – Punta de Piedra.

Durante el levantamiento y posterior evento rotacional del bloque Amotape – Tahuín (35°) en el terciario, intervinieron fenómenos de orogénesis, tectonismo, vulcanismo (Arco volcánico Celica) y erosión que construyeron y modelaron el paisaje actual.

La apreciación de relieves con orientación preferencial dominante NE – SW, NNE – SSW (Winckell, Zebrowski, & Sourdat, 1997, p. 175), separados por valles con bruscos cambios de dirección, son una clara evidencia del modelo geodinámico constante en el sector suroccidental del Ecuador, con respecto al eje de la cordillera real, en su mayoría N – S.



**Figura 76.** Ejes Principales del relieve

**Fuente:** Modificado de Winckell., et al., 1997.

### 6.3.3.5. Procesos Actuales

El conjunto del área de estudio presenta un paisaje no muy enérgico, con excepción de algunos sitios donde se observa una incisión fluvial acentuada. Las litologías dominantes confieren zonas de estabilidad en ciertos lugares, mientras que otras partes existe una media a alta susceptibilidad a movimientos de ladera, especialmente en poblados como la Tingue, Chivatos, Y de Olmedo, Loma Redonda, Las Peñas y en varios tramos de la vía Velacruz – Chaguarpamba (Troncal a la costa) y Olmedo – Chaguarpamba (vía alterna).

Las zonas afectadas se encuentran vinculadas a los relieves montañosos y vertientes de la Unidad Ciano conformada por lutitas y limolitas con intercalaciones de roca volcánica y las vertientes de las Unidades Celica, Bramaderos compuestas por rocas andesíticas verdosas, localmente alteradas y meteorizadas y material volcanoclástico. La cobertura vegetal predominante en estos sectores está asociado a cultivo semipermanente (caña de azúcar artesanal), vegetación herbácea húmeda, cultivo de maíz, pasto cultivado y bosque seco.

A continuación en la tabla 8 se detalla el inventario de deslizamientos levantado en campo y en la figura 77, ítems a, b, c, se ejemplifica los más importantes.

**Tabla 8.** Inventario de deslizamientos

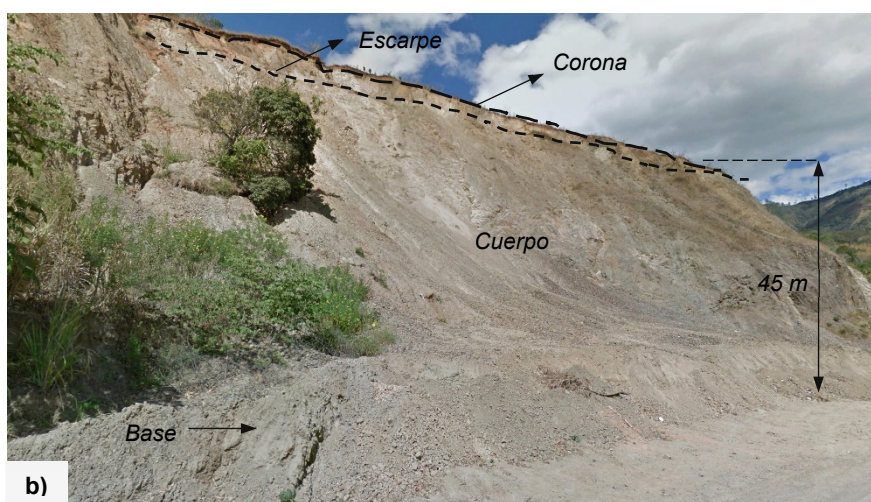
<i><b>Id</b></i>	<i><b>X</b></i>	<i><b>Y</b></i>	<i><b>Ubicación</b></i>	<i><b>Tipo</b></i>	<i><b>Área (m<sup>2</sup>)</b></i>
1	656625	9562493	A 2 km de Chivatos	Rotacional	915.2
2	656385	9562998	Chivatos	Rotacional	375.4
3	655106	9563226	Chivatos + 5km	Rotacional	241.3
4	653881	9563747	A 1 Km de las Cidras	Rotacional	2188.1
5	651619	9565258	A 3 km de Olmedo (Poblado)	Rotacional	121.5
6	651061	9564465	Olmedo	Rotacional	512.4
7	649833	9564939	Olmedo + 200m	Rotacional	317.21
8	649894	9565250	Olmedo + 1km	Rotacional	6951.21
9	650711	9566595	A 1km de las Peñas	Rotacional	2044.24
10	651409	9563934	Y de Olmedo	Rotacional	1552.78
11	650212	9563742	Y de Olmedo	Rotacional	1602.47
12	650015	9563562	Y de Olmedo + 2 Km	Rotacional	4389.78
13	649571	9565913	A 2 Km de Loma Redonda	Rotacional	1662.75
14	649680	9566072	Loma Redonda + 2.5 km	Rotacional	2400.21
15	649785	9566574	Loma Redonda + 4.5 km	Rotacional	2248.15

**Fuente:** El Autor, 2017.





a) Deslizamiento a 200 metros del barrio la Delicia (UTM: 651061; 9564465)



b) Deslizamiento ubicado en las coordenadas UTM: 649833; 9564939



c) Deslizamiento ubicado en el sector las Peñas UTM: 650711; 9566595

**Figura 77.** Procesos actuales. Varios deslizamientos identificados en campo  
**Fuente:** El Autor, 2017.



Por otra parte en las partes bajas de las vertientes la acción antropogénica está actualmente incidiendo en el cambio del paisaje por la apertura de canteras y extracción de materiales para la construcción de infraestructura, además de actividades como: cortes para vías, la deforestación que provoca un aumento de la escorrentía superficial, favoreciéndose el desarrollo de incisiones, las zonas de expansión agrícola. Además formas de relieve más estables como los coluviones dan lugar a pendientes regularizadas por ello su principal uso en actividades agrícolas y ganaderas.



**Figura 78.** a) Cantera abandona cerca del poblado de Olmedo (UTM: 650541; 9568580).y b) Explotación de pétreros en la quebrada de Olmedo (Valle en V) (UTM: 649809; 9565044).

**Fuente:** El Autor, 2017.

## 7. DISCUSIÓN

El análisis geomorfológico realizado en el cantón Olmedo a escala 1:25 000 comprendió un total de 116 km<sup>2</sup>, donde se identificó y caracterizó un total de 185 geoformas, desarrolladas sobre los materiales volcánicos, volcanoclásticos, volcasedimentarios de diferente edad y composición geológica, comprendidos entre el Cretácico al Oligoceno y depósitos superficiales correspondientes al Cuaternario.

El total de las unidades geomorfológicas definidas, fue de acuerdo a la Metodología del Levantamiento Geomorfológico propuesta por el IEE (Ex – CLIRSEN), empleando seis categorías o atributos descriptivos para cada unidad o geoforma (jerarquía del relieve, génesis, morfología, morfometría, atributos relacionados con la litología y atributos relacionados con drenaje). Cada atributo temático fue establecido bajo procedimientos digitales basados en el soporte de la tecnología de análisis SIG (modelo cartográfico) y técnicas fotointerpretativas en un entorno de trabajo asistido por el ordenador; automatizando cada proceso, en referencia a técnicas desarrolladas por la cartografía convencional.

Sobre el área de estudio no existen trabajos realizados con anterioridad, donde constate un nivel de detalle aceptable, entre los escasos datos cartográficos figuran: el Mapa de Paisaje Naturales de Ecuador realizado por Winckell, *et al*, 1997 (ORSTOM), a escala 1: 1' 000 0000, que en el actual proyecto de tesis se lo emplea únicamente como referencia para asignar el atributo Jerarquía del Relieve. El Mapa Geomorfológico del Sistema de Información INFOPLAN desarrollado por la Oficina de Planificación de la Presidencia del Ecuador (ODEPLAN, 1996), escala 1: 250 000; posee una escala mayor de detalle en comparación con el anterior, pero aun así, no constituye una fuente confiable para ser utilizado en el desarrollo del PD&OT del cantón en estudio, además una de sus debilidades es la superficialidad de los datos, únicamente contiene la morfografía y ninguna característica cuantitativa (morfometría) y atributos temáticos que describan cada unidad geomorfológica, lo que contempla el presente proyecto de investigación.

Actualmente la cartografía Geológica Nacional, contempla un nivel de escala establecido en 1: 100 000; considerada como incompatible a la escala del proyecto, por lo que se delimitó cada unidad a un nivel de detalle 1: 50 000. A partir de la escala empleada, se establecieron un total de 6 unidades litológicas: Unidad Catacocha (Oligoceno), U. Ciano, U. Zambi, U. Bramaderos, U. Chaguarpamba y U. Celica; 3 unidades superficiales; varios cuerpos Intrusivos y Subvolcánicos; y estructuras de fallamiento, ayudando a comprender la constitución litológica y el modelado de cada geoforma presente en el cantón.

La geomorfología del área de estudio procede de 6 tipos de génesis, una clara evidencia del modelo geodinámico constante en el sector suroccidental del Ecuador, las Laderas comprenden la mayor unidad genética (69.5%), seguido de la unidad Tectónico – Erosivo (24.4%), la unidad Poligénicas (4.03%) y finalmente con tan solo un 2.07% la unidad Fluvial.

Las Formas de Ladera (69.5%), contemplan unidades geomorfológicas atribuidas a Vertientes Rectilíneas, Heterogéneas y Abruptas y Coluviones Antiguos, identificadas claramente por sus rasgos denudativos y perfiles longitudinales, aunque ostentan variables valores morfométricos, se las define con pendientes entre el 50 – 70% y de 70 – 90% para la V. Abruptas; un desnivel relativo desde los 300 metros y superior a los 500 metros, la longitud de la vertiente por lo general con un rango establecido como Muy Larga (> 500 metros) y formas de drenaje tipo paralelo y dendrítico. Estas geoformas se han desarrollado sobre los materiales Cretácicos de las Unidades Celica, Chaguarpamba, Zambí, Ciano, la parte central de la Unidad Bramaderos, y sobre la litología Oligocénica de la Unidad Catacocha. Además se sitúan sobre ellas estructuras de fallamiento con dirección preferencial N – S y NE – SO.

Las unidades geomorfológicas categorizadas como Relieve Colinado Alto, Relieve Colinado Muy Alto y Relieve Montañoso procedentes de la unidad genética Tectónico – Erosivo, se han desarrollado sobre las materiales volcánico – sedimentarios de la Unidad Bramaderos y Ciano; y volcanoclásticos de la Unidad Chaguarpamba; sostienen valores de inclinación del terreno equivalentes a 40 – 70%; desniveles relativos característicos de 100 – 200 metros para el Relieve Colinado Alto, la geoforma Relieve Colinado Muy Alto posee valores de 200 – 300 metros, y un rango > 300 metros para la unidad Relieve Montañoso; finalmente la longitud de la vertiente es catalogada como Larga (> 250 – 500) y Muy Larga (> 500 metros). Se menciona que en el Mapa Geomorfológico empleado por el GAD Local en 2014, alude únicamente que todo el cantón está bajo la influencia del Relieve Montañoso, descartando unidades que han sido identificadas en este trabajo.

La acción Fluvial a esculpido los Valles en V sobre los materiales débiles del Cretácico, en estas unidades ocurren los mayores sistemas de fallamiento del cantón con un sentido preferencial NO – SE, NE – SO. La constante erosión de las vertientes de los valles ha colmatado el fondo con materiales poligenéticos de edad Cuaternaria formando la unidad de Aluviales de Fondo de Valles. Ocupan una extensión de 2.07% y sus paredes laterales poseen valores de pendientes fuertes con rangos entre 70 – 100%.



En cuanto al modelado Poligenético, las geoformas resultantes son los Coluvio – Aluviales e Interfluvios de Cimas Estrechas, distribuidas por todo el cantón y labradas sobre todas las litologías aflorantes, ocupan un porcentaje del 4.03%. La geoforma Coluvio – Aluvial, contiene materiales como cantos subredondeados centimétricos a decimétricos con presencia de limos, arenas de grano fino a grueso; erosionadas de los taludes de las vertientes y relieves.

Además se identificaron un total de 15 deslizamientos rotacionales, pero debido a la escala del trabajo solo fueron considerados como puntos referenciales.

Este trabajo trata de dar un modelo geomorfológico actual del cantón, coherente con la litoestratigrafía y estructuras evidenciadas tanto en fotointerpretación, como en campo. El producto cartográfico elaborado consiste de un amplio análisis y la aplicación de varios estudios, por lo tanto el GAD Local puede emplearlo en la actualización del PD&OT del cantón por el nivel de confiabilidad y la cantidad de datos calculados.

## 8. CONCLUSIONES

Este trabajo demostró, de una forma clara y precisa, la adaptación de una metodología fundamentada en el uso de técnicas modernas y análogas aplicadas a la producción del modelo de unidades geomorfológicas del cantón Olmedo (116 km<sup>2</sup>), teniendo como información básica: datos de detección remota, provenientes del proyecto nacional de Geoinformación (2011), imágenes satelitales de Google Earth (Images CNES / Airbus, 2017), la cartografía geológica antecedente del INIGEMM a escalas 1:100,000 y a 1:250,000 e información espacial en formato digital del IGM y GAD local.

La interpretación geomorfológica fue realizada mediante fotointerpretación digital de fotografías aéreas a escala 1: 5 000; con lo cual se logró determinar la presencia de unidades morfológicas que las existentes en las cartas morfopedológicas y geomorfológicas existentes. Incluso, a través de esta técnica se identificaron un total de 6 unidades litológicas: la Unidad Catacocha (Oligoceno), U. Ciano, U. Zambí, U. Bramaderos, U. Chaguarpamba y U. Celica (todas del era Cretácica); 3 unidades superficiales (Cuaternario); varios cuerpos Intrusivos y Subvolcánicos; y estructuras de fallamiento, considerando a la Unidad Celica como el basamento del área de estudio.

El mapa geomorfológico final contempla un total de 185 geoformas, agrupadas en 8 unidades morfológicas: Aristas, Divisorias e Interfluvios (133.3 ha), Coluvio Aluvial (334.1 ha), Depósitos de Ladera (672.5 ha), Encajonamientos e Incisiones Fluviales (242.8 ha), Laderas Abruptas (224 ha), Laderas Heterogéneas y Otras Morfologías (4921.2 ha), Laderas Rectilíneas (2250.8 ha) y Relieve (2827.2).

Las geoformas predominantes en el área de estudio lo constituyen las vertientes (63.72%), relieve general (24.4%) y en menor porcentaje (11.8%) las unidades como: valles en V, interfluvio de cimas estrechas, coluvio – aluviales antiguos y coluviones recientes y antiguos.

En campo se identificaron un total de 15 deslizamientos tipo rotacional, de pequeña a mediana magnitud, los poblados afectados por este tipo de evento geológico son: Olmedo, Chivatos, Y de Olmedo, Loma Redonda y Las Peñas.

La geomorfología del área de estudio guarda una estrecha relación, con la evolución meso – cenozoica de los Andes Ecuatorianos. Se asocia el evento de acreción del terreno Piñón – Pallatanga en el Campaniano, que tuvo una gran influencia en la evolución de las rocas de la Cordillera Real y Occidental y de producir la cinemática rotacional cretácica del bloque Amotape – Tahuín. Posteriores eventos denudativos construyeron y modelaron una gran variedad de geoformas que constituyen el paisaje actual de la zona suroccidental del Ecuador.

## **9. RECOMENDACIONES**

La cartografía geomorfológica generada para el Cantón Olmedo, debe ser empleada con fines investigativos en el campo del ordenamiento territorial y la gestión de riesgos por parte de las instituciones locales con el propósito de trabajar en el diseño urbano de los barrios y prever planes parciales para áreas de expansión, y evitar situaciones adversas relacionadas con eventos por la interacción geológica – antrópica.

Estructurar una base de datos funcional, donde la información sea identificada, almacenada y codificada de manera adecuada, para garantizar una redundancia mínima de los datos y un control ordenado de la misma, con la finalidad de viabilizar y facilitar posibles actualizaciones y modificaciones futuras.

Efectuar la evaluación de campo de las unidades geomorfológicas extraídas durante la etapa de fotointerpretación con la finalidad de comparar la información generada con la realidad, mediante el uso de diversas herramientas tanto tecnológicas como manuales.

La sustitución de técnicas análogas por tecnologías modernas permite almacenar directamente la información en bases de datos espaciales, a diferencia de los procesos tradicionales, que en muchos casos son demasiado imprecisos a consecuencia del pre procesamiento que debe realizarse con la información elaborada manualmente.

---

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Bravo, J. D. (1995). *Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. Madrid: CIEMAT.
- Bishop, M., James, A., Shroder, J., & Walsh, S. (2012). Geospatial Technologies and Digital Geomorphological Mapping: Concepts, Issues and Research. *Geomorphology*, 5-25.
- Carvajal, H., Cortez, R., Romero, F., Calderón, Y., & Montero, J. (2004). *Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica para la Zonificación Geomecánica* (Vol. I). Bogotá: Instituto Colombiano de Geología & Minería.
- Castro, D. (2012). *Clasificación de Unidades de Relieve a Partir de Variables Topográficas con Fines de Planificación Territorial de la Cuenca del Napo*. Quito, Ecuador: Universidad San Francisco de Quito.
- Castro, C., Romero, M., & Loarte, G. (2013). *Modelo de Unidades Geomorfológicas Para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador*. Ministerio del Ambiente del Ecuador.
- Correa, N. (2012). *Método para la caracterización de las formas del Terreno. Caso: Departamento del Cauca*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Cristancho, J. (2003). *Conceptos Básicos de Análisis y Modelamiento*. Bogotá: Universidad Nacional de Bogotá.
- ESRI. (2016). *ArcGIS Resources*. Retrieved from <http://resources.arcgis.com/>
- Exelis Visual Information Solutions. (2015). *Harris Geospatial*. Retrieved from [www.harrisgeospatial.com](http://www.harrisgeospatial.com)
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Olmedo. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Olmedo*. Olmedo.
- Huggett, R. J. (2007). *Fundamentals Geomorphology*. New York: Taylor & Francis e-Library.
- INGEOMINAS, Instituto Colombiano de Geología y Minería. (2004). *Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica para la Zonificación Geomecánica*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.
- Instituto Espacial Ecuatoriano (2015). *“Generación de Geoinformación Para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional”*. Geomorfología. Metodología
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). [www.inec.gov.ec](http://www.inec.gov.ec).
- Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico. (2014). *Hoja Geológica Zaruma*. Quito: INIGEMM.
- Jaillard, E., Laubacher, G., Bengtson, P., Dhondt, A., & Bulot, L. (1999). Stratigraphy and evolution of the Cretaceous forearc Celica-Lancones basin of southwestern Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*, 51-68.

- Martínez Casanova, J. L. (1999). *Erosión por Cárcavas y Barrancos en el Alt Penedés – Anoia (Cataluña). Un enfoque de estudio mediante tecnologías de la información espacial: Bases de datos, SIG y Teledetección*. Lleida, España: Universitat de Lleida.
- Meerow, S., & Newell, J. (2017). Spatial Planning for Multifunctional Green Infrastructure: Growing Resilience in Detroit. *Landscape and Urban Planning*, 62-75.
- Melelli, L., Gregori, L., & Mancinelli, L. (2012). The Use of Remote Sensed Data and GIS to Produce a Digital Geomorphological Map of a Test Area in Central Italy. *Remote Sensing of Planet Earth*, 97-116.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid. Retrieved from <http://volaya.github.io/libro-sig/>
- Olmos, P. S. (2010). *Sistemas de Información Geográfica, Técnicas Básicas Para el Estudio de la Biodiversidad*. Madrid: Instituto Geológico Minero de España.
- Pilatasig, L., Gordón, P., Palacios, O., & Sánchez, J. (2005). *Geología de Ecuador y Perú entre los 3°S y 6°S*. Quito: Proyecto Multinacional Andino: Geociencias Para las Comunidades Andinas, Ecuador – Perú – Canadá. Dinage – Ingemmet.
- Pilatasig, L., Ibadango, E., & Torres, C. (2014). *Síntesis Litoestratigráfica, Estructural, Geoquímica y Evolución de la Cuenca Alamor – Punta De Piedra, Sector Zaruma – Cariamanga*. Quito:INIGEMM.
- Prieto, Á., & Bocco, G. (2008). *Propuesta para la Generación Semiautomatizada de Unidades de Paisajes*. Méxio D.F: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental.
- Reyes, P. (2009). Discusión Sobre la Evolución Jurásico – Cretácica de la Cordillera Real y el Bloque Amotape. *Revista Politécnica*, 6-22.
- SIGTIERRAS. (2015). *Levantamiento de Cartografía Temática a Escala 1: 25 000 - Lote 2*. Quito: Consorcio TRACASA-NIPSA.
- Van Zuidam, R. A. (1985). *Aerial Photo-Interpretation In Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. The Hague, Netherlands: ITC.
- Vergara, A. G. (2014). *Implementación e Interpretación de Productos Fotogramétricos Digitales para Análisis Geomorfológicos*. Medellín: Centro de investigación y Desarrollo en Información Geográfica CIAF-GAC.
- Villota, H. (2005). *Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos & Zonificación de Tierras* (Segunda ed.). Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi
- Winckell, A., Zebrowski, C., & Sourdat, M. (1997). *Los Paisaje Naturales del Ecuador: Las Regiones & Paisajes del Ecuador* (Vol. II). Quito: CEDIG, IPGH, ORSTOM, IGM
- Wood, J. (1996). *The Geomorphological Characterization of Digital Elevation Models*. Doctoral Thesis. University of Leicester. Leicester.

# 11. ANEXOS

**Anexo 1. Tabla de mediciones estructurales en campo**

<i>PT</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>AZIMUT</i>	<i>BUZAMIENTO</i>	<i>ESTRUCTURA</i>	<i>U. GEOLÓGICA</i>
1	657377	9565692	94	21	Diaclasamiento	Zambi
2	647983	9564846	250	32	Estratificación	Ciano
3	649950	9567688	199	75	Estratificación	Chaguarpamba
4	650481	9568210	95	40	Diaclasamiento	Chaguarpamba
5	660991	9559692	201	30	Diaclasamiento	Celica
6	656496	9562937	162	23	Estratificación	Catacocha
7	648868	9568206	186	35	Diaclasamiento	Chaguarpamba
8	660993	9569580	300	62	Foliación	Zambi
9	656855	9562570	180	48	Estratificación	Catacocha
10	655152	9563256	190	54	Diaclasamiento	Celica
11	657679	9568017	160	84	Diaclasamiento	Chaguarpamba
12	656237	9566249	120	61	Diaclasamiento	Ciano
13	651304	9563709	100	74	Diaclasamiento	Ciano
14	657687	9560739	194	44	Estratificación	Catacocha
15	648267	9565013	240	42	Estratificación	Ciano
16	658058	9562274	198	38	Estratificación	Catacocha
17	661715	9568646	318	63	Foliación	Zambi
18	648984	9567882	184	25	Diaclasamiento	Chaguarpamba
19	661338	9561378	60	81	Estratificación	Bramaderos
20	649590	9563624	255	62	Estratificación	Bramaderos
21	649334	9564064	256	6	Estratificación	Bramaderos
22	649770	9567455	194	50	Estratificación	Chaguarpamba
23	648976	9568018	184	29	Diaclasamiento	Chaguarpamba
24	650762	9568111	85	44	Diaclasamiento	Chaguarpamba
25	651782	9564462	85	82	Diaclasamiento	Ciano
26	657746	9567106	204	51	Diaclasamiento	Chaguarpamba
27	656384	9566224	100	45	Diaclasamiento	Ciano
28	660468	9561711	134	14	Diaclasamiento	Subvolcánicos
29	655810	9563000	164	52	Diaclasamiento	Celica
30	660741	9559648	185	25	Diaclasamiento	Celica
31	659501	9561953	239	80	Estratificación	Celica
32	655739	9562954	159	42	Diaclasamiento	Celica
33	661726	9568874	310	51	Foliación	Zambi
34	661200	9569515	284	58	Foliación	Zambi
35	648427	9565792	240	45	Estratificación	Ciano
36	654498	9563423	202	14	Diaclasamiento	Celica
37	658281	9560337	195	20	Estratificación	Catacocha
38	653882	9563769	250	54	Estratificación	Bramaderos
39	648242	9565318	225	33	Estratificación	Ciano
40	656710	9562687	174	35	Estratificación	Catacocha
41	657615	9568280	150	72	Diaclasamiento	Chaguarpamba
42	657480	9566454	197	61	Diaclasamiento	Zambi
43	659849	9560206	9	41	Estratificación	Celica



44	651320	9563777	94	64	Diaclasamiento	Bramaderos
45	649155	9567001	130	68	Estratificación	Ciano
46	657745	9566911	190	71	Diaclasamiento	Chaguarpamba
47	649005	9566764	138	75	Estratificación	Ciano
48	659732	9560163	40	48	Estratificación	Celica
49	649569	9567311	190	65	Estratificación	Chaguarpamba
50	657366	9565542	100	30	Diaclasamiento	Celica

**Anexo 2. Tabla de puntos de observación geomorfológica en campo**


<i>PT.</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>GEOFORMA</i>	<i>SITIO DE OBSERVACIÓN</i>
1	651770	9565313	1526	Vertiente abrupta con fuerte disección	Barrio La delicia
2	649357	9566004	1883	Relieve montañoso	Cerca de Loma Redonda
3	660406	9566345	1239	Vertiente abrupta	Cerca al Barrio Zapallar
4	657393	9561230	1889	Relieve Colinado alto	Santa Cruz del Huato
5	657418	9560661	1718	Relieve colinado alto	Yacuma
6	651190	9561813	1525	Relieve montañoso	Sector Yamalaca
7	653278	9568102	1308	Vertiente abrupta con fuerte disección	Cerca de Chivatos
8	652967	9563259	1758	Relieve montañoso	La Sidra
9	657707	9564548	1762	Interfluvio de cimas estrechas	Cerca de Yacuma
10	660463	9566730	1286	Vertiente heterogénea con fuerte disección	Sector Zapallar
11	647177	9565148	1513	Vertiente rectilínea con abruptos	Barrio Loma Redonda
12	647177	9565148	1513	Vertiente heterogénea con fuerte disección	Barrio Loma Redonda
13	658468	9563039	1503	Vertiente heterogénea con fuerte disección	Sector El Chorro
14	650912	9570741	1222	Vertiente rectilínea	Barrio Huanga
15	658013	9561898	1686	Vertiente rectilínea con abruptos	Barrio El Chorro
16	660620	9561645	1869	Relieve colinado muy alto	Cerca de Tambara
17	652387	9564977	1527	Vertiente rectilínea con abruptos	Cerca de Guallana
18	651196	9561793	1526	Relieve colinado muy alto	Sector Yamalaca
19	647336	9565246	1839	Coluvión antiguo	Loma redonda
20	651277	9561666	1491	Vertiente rectilínea con fuerte disección	Barrio Yamalaca
21	656140	9563485	1787	Interfluvio de cimas estrechas	Cerca de Chivatos
22	656316	9562804	1612	Interfluvio de cimas estrechas	Cerca de Chivatos
23	657835	9566768	1699	Vertiente heterogénea	Cerca de Lobongo
24	657230	9565121	1834	Vertiente rectilínea con abruptos	Santa Cruz del Huato
25	651648	9565133	1553	Relieve montañoso	La Delicia
26	653083	9563354	1759	Relieve colinado muy alto	La Sidra
27	656838	9565269	1805	Coluvio aluvial antiguo	Barrio El Huato
28	657721	9567015	1764	Vertiente heterogénea	Sector El Carmelo
29	660591	9561617	1888	Vertiente rectilínea con fuerte disección	Barrio Tambara
30	660180	9563619	1644	Vertiente heterogénea con fuerte disección	Cerca de Guayuro
31	656134	9564129	1640	Vertiente rectilínea con fuerte disección	Barrio Sotaña
32	651336	9570640	1121	Vertiente abrupta con fuerte disección	Barrio Las Peñas
33	653278	9568102	1308	Vertiente abrupta	Cerca de Ramírez Pamba
34	649357	9566004	1883	Relieve colinado alto	Sector Lobongo
35	651964	9562237	1692	Relieve colinado muy alto	Buringo
36	656467	9567241	1397	Relieve montañoso	Cerca de El Porvenir
37	658188	9560092	1996	Relieve montañoso	Velacruz + 2.5 km
38	648346	9563873	1694	Coluvio aluvial antiguo	Sector Cascajo
39	663296	9558624	1994	Relieve colinado muy alto	Sector Aguasillas
40	656539	9562419	1996	Vertiente abrupta	Barrio Lobongo
41	657393	9561230	1889	Relieve colinado alto	Barrio Velacruz + 3 km
42	653278	9568102	1308	Vertiente rectilínea con abruptos	Cerca de Pangarillas
43	657418	9560661	1718	Coluvión antiguo	Barrio El Carmelo
44	651336	9570640	1121	Valle en V	Barrio Las Peñas
45	654818	9562347	1736	Coluvio aluvial antiguo	Sector Pangarillas
46	649998	9566691	1484	Vertiente rectilínea	Barrio Las Peñas

---

47	649206	9562985	1547	Relieve montañoso	Cerca de El Tundo
48	649466	9567774	1482	Vertiente abrupta con fuerte disección	Barrio Huanga
49	654169	9565107	1289	Vertiente rectilínea con fuerte disección	Barrio Huancanuma
50	649800	9566416	1522	Vertiente heterogénea	Las Peñas + 1Km
51	656265	9564304	1607	Vertiente abrupta con fuerte disección	Cerca de Sotaña
52	650139	9566819	1472	Coluvión reciente	Sector Las Peñas
53	654473	9564628	1411	Interfluvio de cimas estrechas	Huancanuma
54	656539	9562419	1996	Relieve colinado muy alto	Barrio Velacruz + 4 km
55	649232	9567869	1480	Vertiente heterogénea	Cerca de La Huanga
56	656327	9564236	1764	Relieve colinado muy alto	Sotaña
57	652963	9563135	1749	Interfluvio de cimas estrechas	La Sidra
58	656539	9562419	1996	Relieve Colinado alto	Zapallar + 2 km
59	656460	9567358	1416	Vertiente heterogénea	Barrio El Porvenir
60	660024	9563094	1745	Vertiente abrupta	Guayuro + 1 km

---

**Anexo 3. Ejemplos de fichas de descripción para afloramientos rocosos**

	<b>LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000</b>		
	Ficha de caracterización para afloramientos rocosos		
	TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017		Ficha 1

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación		
X: 662650	PROVINCIA:	LOJA	
Y: 9558844	CANTÓN:	OLMEDO	
Z: 2078	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO: Cerca de las Chinchas

**2. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**


Estrato, capa (bed)

**1.** Volcano sedimentos (limo y arcillas) de origen riolítico fuertemente erosionados, por agentes como el viento, agua y la vegetación del sector.



	Rumbo	Inclinación	Pt (m)
1	S 46 O	34 NO	3.50
2			
3			

Observaciones:

	<b>LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000</b>		
	Ficha de caracterización para afloramientos rocosos		
	TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017		Ficha 2

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación		
X: 662650	PROVINCIA:	LOJA	
Y: 9558844	CANTÓN:	OLMEDO	
Z: 2078	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO: Cerca de las Chinchas

**2. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**

Estrato, capa (bed)

**1.** Lavas andesíticas – basálticas fuertemente meteorizadas con la presencia de familias de diaclasas con dirección preferencial NE



	Rumbo	Inclinación	Pt (m)
1	N 42 O	44 SE	18
2			
3			

Observaciones:



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para afloramientos rocosos

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**Ficha 3**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 657507	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9560885	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1994	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO:	Cerca Chivatos

**2. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**

Estrato, capa (bed)

**1.** Lavas andesíticas – basálticas con estructura de pillow y meteorización por capas de cebolla



	Rumbo	Inclinación	Pt (m)
<b>1</b>	S 58 O	38 SE	12
<b>2</b>			
<b>3</b>			

Observaciones:



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para afloramientos rocosos

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**Ficha 4**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 656897	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9563626	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 2021	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO:	Cerca de la Cruz de Huato

**2. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**

Estrato, capa (bed)

**1.** Hialoclastitas fuertemente meteorizadas, en las partes del pie de la ladera se observa el material disgregado a causa de procesos erosivos.



	Rumbo	Inclinación	Pt (m)
<b>1</b>	N 64 E	76 NO	32
<b>2</b>			
<b>3</b>			

Observaciones:





**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para afloramientos rocosos

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**Ficha 5**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 656946	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9564611	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1923	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO:	Cruz de Huato

**2. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**

Estrato, capa (bed)

1. Andesitas verdosas, a causa de la meteorización el material tiene un aspecto brechado con dirección preferencial de diaclasamiento NE



	Rumbo	Inclinación	Pt (m)
1	N 80 O	84 NO	12
2			
3			

Observaciones:



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para afloramientos rocosos

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**Ficha 6**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 651743	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9564336	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1637	PARROQUIA:	Olmedo	BARRIO:	Y de Olmedo + 1 Km

**2. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**

Estrato, capa (bed)

1. Sedimentos volcánicos de la Unidad Ciano, se puede notar la fuerte erosión a causa de agentes físicos y orgánicos



	Rumbo	Inclinación	Pt (m)
1	S 81 O	40 NE	8
2			
3			

Observaciones:





**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para afloramientos rocosos

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**Ficha 7**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 650832	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9564424	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1390	PARROQUIA:	Olmedo	BARRIO:	Cerca de La Delicia

**2. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**

Estrato, capa (bed)

1. Andesitas verdosas de la Unidad Celica aflorando en un afluente cerca del barrio La Delicia, este tipo de material es considerado la unidad basal del área de estudio



	Rumbo	Inclinación	Pt (m)
1	S 86 O	76 NO	6
2			
3			

Observaciones:



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para afloramientos rocosos

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**Ficha 8**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 650837	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9564426	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1388	PARROQUIA:	Olmedo	BARRIO:	Cerca de La Delicia

**2. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**

Estrato, capa (bed)

1. Cantos subredondeados a subangulosos poligénicos, arenas, limos y gravas.



	Rumbo	Inclinación	Pt (m)
1			
2			
3			

Observaciones:

	<b>LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000</b>
	Ficha de caracterización para afloramientos rocosos
	TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017 <span style="float: right;">Ficha 9</span>

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación				
<b>X:</b> 657508	PROVINCIA:	LOJA			
<b>Y:</b> 9560777	CANTÓN:	OLMEDO			
<b>Z:</b> 1989	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO:	Cerca de Veracruz	

**2. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**

Estrato, capa (bed)

1. Tobas andesíticas fuertemente meteorizadas, con presencia de diaclasas rellenas por material arcilloso



	Rumbo	Inclinación	Pt (m)
<b>1</b>	N 35 E	40 NO	15
<b>2</b>			
<b>3</b>			

Observaciones:

	<b>LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000</b>
	Ficha de caracterización para afloramientos rocosos
	TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017 <span style="float: right;">Ficha 10</span>

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación				
<b>X:</b> 657926	PROVINCIA:	LOJA			
<b>Y:</b> 9560612	CANTÓN:	OLMEDO			
<b>Z:</b> 1977	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO:	Cerca de Veracruz	

**2. DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA**

Estrato, capa (bed)

1. Fragmento de lava, con presencia de meteorización por capas de cebolla o lajamiento

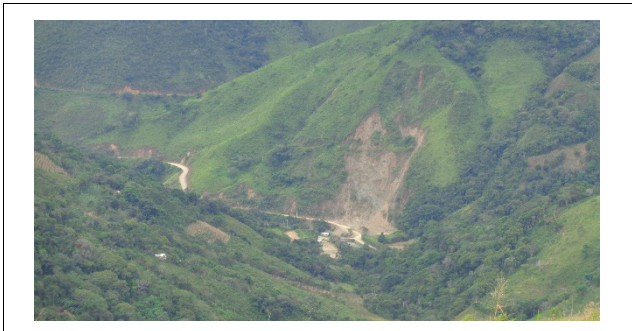


	Rumbo	Inclinación	Pt (m)
<b>1</b>	N 44 O	30 SO	12
<b>2</b>			
<b>3</b>			

Observaciones:


**Anexo 4. Ejemplos de fichas de descripción geomorfológica**

	<b>LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000</b> Ficha de caracterización para geoformas TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017 <span style="float: right;"><b>FICHA 1</b></span>	
<b>1. DATOS GENERALES</b>		
Coordenadas	Ubicación	
<b>X:</b> 651336	PROVINCIA:	LOJA
<b>Y:</b> 9570640	CANTÓN:	OLMEDO
<b>Z:</b> 1121	PARROQUIA:	Olmedo      BARRIO:      Sector Las Peñas
<b>2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA</b>		
<b>GEOFORMA:</b> Valle en V (E1)		
Atributos Morfológicos		
<b>FORMA DEL VALLE:</b>	En V	
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	No aplica	
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	No aplica	
Atributos Morfométricos		
<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 300 m	
<b>PENDIENTE</b>	> 40 – 70 (Fuerte)	
<b>L. DE VERTIENTE</b>	No aplica	
<b>U. GEOLÓGICA</b>	Cantos poligénicos, arenas y arcillas.	



	<b>LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000</b> Ficha de caracterización para geoformas TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017 <span style="float: right;"><b>FICHA 2</b></span>	
<b>1. DATOS GENERALES</b>		
Coordenadas	Ubicación	
<b>X:</b> 650912	PROVINCIA:	LOJA
<b>Y:</b> 9570741	CANTÓN:	OLMEDO
<b>Z:</b> 1222	PARROQUIA:	Olmedo      BARRIO:      Sector Huanga
<b>2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA</b>		
<b>GEOFORMA:</b> Vertiente rectilínea		
Atributos Morfológicos		
<b>FORMA DEL VALLE:</b>	No aplica	
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	No aplica	
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	Rectilínea	
Atributos Morfométricos		
<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 300 m	
<b>PENDIENTE</b>	> 25 - 40 (Media a Fuerte)	
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Muy larga (> 250)	
<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Ciano	



	<b>LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000</b> Ficha de caracterización para geoformas TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017	FICHA 3
---	---	---------

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 654169	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9565107	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1289	PARROQUIA:	Olmedo	BARRIO:	Sector Huancanuma

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Vertiente rectilínea con fuerte disección

Atributos Morfológicos


<b>FORMA DEL VALLE:</b>	No aplica
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	No aplica
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	Rectilínea



Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 300 m
<b>PENDIENTE</b>	> 70 - 100 (Muy fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Muy larga (> 250)

<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Ciano
---------------------	--------------

	<b>LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000</b> Ficha de caracterización para geoformas TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017	FICHA 4
---	---	---------

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 658013	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9561898	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1686	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO:	Sector El Chorro

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Vertiente rectilínea con abruptos

Atributos Morfológicos

<b>FORMA DEL VALLE:</b>	No aplica
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	No aplica
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	Rectilínea



Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 300 m
<b>PENDIENTE</b>	> 70 - 100 (Muy fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Muy larga (> 250)

<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Catacocha
---------------------	------------------





**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para geoformas

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**FICHA 5**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 653278	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9568102	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1308	PARROQUIA:	Olmedo	BARRIO:	Cerca de Ramírez Pamba

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Vertiente abrupta

Atributos Morfológicos

<b>FORMA DEL VALLE:</b>	No aplica
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	No aplica
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	Rectilínea



Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 300 m
<b>PENDIENTE</b>	> 70 - 100 (Muy fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Muy larga (> 250)

<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Chaguarpamba
---------------------	---------------------



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para geoformas

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**FICHA 6**

**1. DATOS GENERALES**

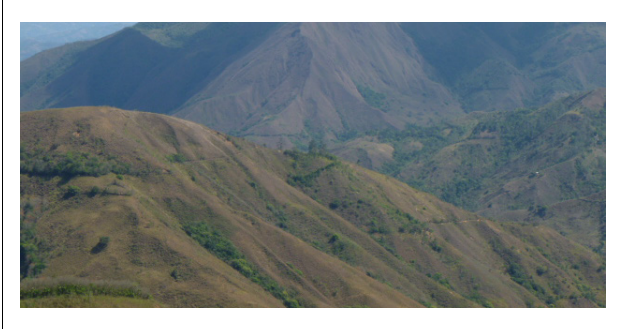
Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 653278	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9568102	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1308	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO:	Cerca de Chivatos

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Vertiente abrupta con fuerte disección

Atributos Morfológicos

<b>FORMA DEL VALLE:</b>	No aplica
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	No aplica
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	Rectilínea



Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 300 m
<b>PENDIENTE</b>	> 70 - 100 (Muy fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Muy larga (> 250)

<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Catacocha
---------------------	------------------



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para geoformas

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**FICHA 7**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 657835	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9566768	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1699	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO:	Cerca de Lobongo

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Vertiente heterogénea

Atributos Morfológicos

<b>FORMA DEL VALLE:</b>	No aplica
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	No aplica
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	Mixta



Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 300 m
<b>PENDIENTE</b>	> 40 - 70 (Fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Muy larga (> 250)

<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Chaguarpamba
---------------------	---------------------



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para geoformas

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**FICHA 8**

**1. DATOS GENERALES**

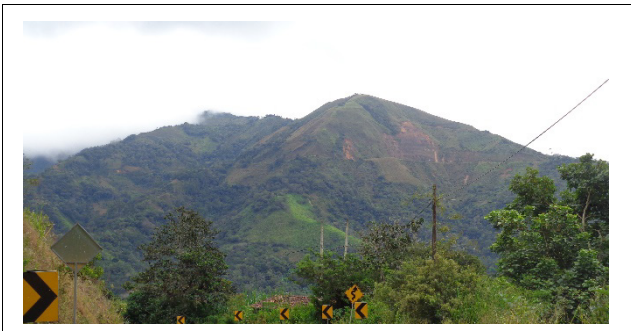
Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 647177	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9565148	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1513	PARROQUIA:	Olmedo	BARRIO:	Loma Redonda

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Vertiente heterogénea con fuerte disección

Atributos Morfológicos

<b>FORMA DEL VALLE:</b>	No aplica
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	No aplica
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	Mixta




Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 300 m
<b>PENDIENTE</b>	> 40 - 70 (Fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Muy larga (> 250)

<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Ciano
---------------------	--------------



	<b>LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000</b>		
	Ficha de caracterización para geoformas TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017		
	<b>FICHA 9</b>		

**1. DATOS GENERALES**

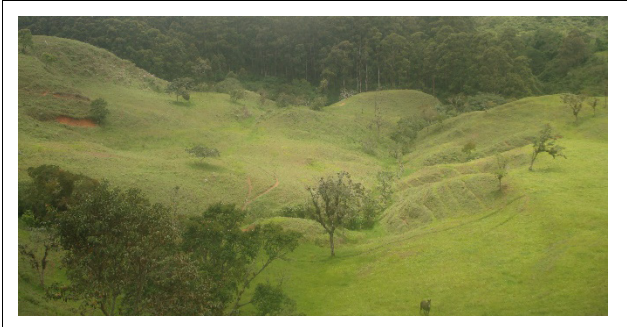
Coordenadas	Ubicación		
<b>X:</b> 657418	PROVINCIA:	LOJA	
<b>Y:</b> 9560661	CANTÓN:	OLMEDO	
<b>Z:</b> 1718	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO: El Carmelo

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Coluvión antiguo

Atributos Morfológicos


<b>FORMA DEL VALLE:</b>	No aplica
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	No aplica
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	Cóncava



Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 50 – 100 m
<b>PENDIENTE</b>	> 12 - 25 (Media)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Moderada (> 50 - 250)

<b>U. GEOLÓGICA</b>	Cantos semi angulosos volcánicos, arenas, gravas, arcilla
---------------------	---

	<b>LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000</b>		
	Ficha de caracterización para geoformas TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017		
	<b>FICHA 10</b>		

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación		
<b>X:</b> 657393	PROVINCIA:	LOJA	
<b>Y:</b> 9561230	CANTÓN:	OLMEDO	
<b>Z:</b> 1889	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO: Velacruz + 3 km

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Relieve Colinado alto

Atributos Morfológicos

<b>FORMA DEL VALLE:</b>	En V
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	Redondeada
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	Subparalela



Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 100 - 200 m
<b>PENDIENTE</b>	> 25 – 40 (Media a fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Larga (> 250)

<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Bramaderos
---------------------	-------------------



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para geoformas

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**FICHA 11**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 656539	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9562419	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1996	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO:	Velacruz + 4 km

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Relieve Colinado muy alto

Atributos Morfológicos

<b>FORMA DEL VALLE:</b>	En V
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	Aguda
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	Irregular



Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 200 - 300 m
<b>PENDIENTE</b>	> 70 – 100 (Muy fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Larga (> 250)

<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Bramaderos
---------------------	-------------------



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para geoformas

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**FICHA 12**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 649357	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9566004	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1883	PARROQUIA:	Olmedo	BARRIO:	Cerca de Loma Redonda

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Relieve montañoso

Atributos Morfológicos

<b>FORMA DEL VALLE:</b>	En V
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	Redondeada
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	Dendrítica



Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 300 m
<b>PENDIENTE</b>	> 70 – 100 (Muy fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Moderada (> 50 - 250)

<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Bramaderos
---------------------	-------------------



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para geoformas

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**FICHA 13**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 656316	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9562804	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1612	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO:	Cerca de Chivatos

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Interfluvio de cimas estrechas

Atributos Morfológicos

<b>FORMA DEL VALLE:</b>	No Aplica
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	Aguda
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	No Aplica

Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	No aplica
<b>PENDIENTE</b>	> 40 – 70 (Fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Larga (> 250)



<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Celica
---------------------	---------------



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para geoformas

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**FICHA 14**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 656838	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9565269	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1805	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO:	El Huato

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Coluvio aluvial antiguo

Atributos Morfológicos

<b>FORMA DEL VALLE:</b>	En V
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	No Aplica
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	No Aplica

Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	No aplica
<b>PENDIENTE</b>	> 40 – 70 (Fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Larga (> 250)



<b>U. GEOLÓGICA</b>	Arcillas, limos, arenas, cantos, materia orgánica
---------------------	---



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para geoformas

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**FICHA 15**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 649357	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9566004	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1883	PARROQUIA:	Olmedo	BARRIO:	Cerca de Loma Redonda

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Relieve montañoso

Atributos Morfológicos

<b>FORMA DEL VALLE:</b>	En V
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	Redondeada
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	Dendrítica



Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	> 300 m
<b>PENDIENTE</b>	> 70 – 100 (Muy fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Moderada (> 50 - 250)

<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Bramaderos
---------------------	-------------------



**LEVANTAMIENTO GEOMORFOLÓGICO DEL CANTÓN OLMEDO, ESCALA 1:25.000**

Ficha de caracterización para geoformas

TRABAJO DE CAMPO MARZO - ABRIL, 2017

**FICHA 16**

**1. DATOS GENERALES**

Coordenadas	Ubicación			
<b>X:</b> 656140	PROVINCIA:	LOJA		
<b>Y:</b> 9563485	CANTÓN:	OLMEDO		
<b>Z:</b> 1787	PARROQUIA:	La Tingue	BARRIO:	Cerca de Chivatos

**2. DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA**

**GEOFORMA:** Interfluvio de cimas estrechas

Atributos Morfológicos

<b>FORMA DEL VALLE:</b>	No Aplica
<b>FORMA DE LA CIMA:</b>	Aguda
<b>F. DE LA VERTIENTE:</b>	No Aplica



Atributos Morfométricos

<b>DESNIVEL RELATIVO:</b>	No aplica
<b>PENDIENTE</b>	> 40 – 70 (Fuerte)
<b>L. DE VERTIENTE</b>	Larga (> 250)

<b>U. GEOLÓGICA</b>	Unidad Ciano
---------------------	--------------

**Anexo 5.**  
**Mapa Geológico del Cantón**  
**Olmedo**

**Anexo 6.**  
**Mapa Geomorfológico del Cantón**  
**Olmedo**

---