

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA APLICADA A MOVIMIENTOS EN MASA DE LA
MICROCUEENCA DEL RIO GÁMEZA

SERGIO ANDRES BECERRA CAMACHO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
ESPECIALIZACIÓN EN ORDENAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2020

EVALUACIÓN GEOMORFOLÓGICA APLICADA A MOVIMIENTOS EN MASA DE LA
MICROCUEENCA DEL RIO GÁMEZA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE ESPECIALISTA EN
ORDENAMIENTO Y GESTION INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRAFICAS

DIRECTOR

PhD. JORGE ALBERTO SANCHEZ ESPINOSA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
ESPECIALIZACIÓN EN ORDENAMIENTO Y GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS
HIDROGRÁFICAS
BOGOTÁ
2020

CONTENIDO

INTRODUCCION	8
1 ANTECEDENTES	9
2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
3 JUSTIFICACIÓN	11
4 OBJETIVOS	12
4.1 OBJETIVO GENERAL	12
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
5 MARCO REFERENCIAL	12
5.1 MARCO TEORICO	12
5.1.1 Localización Geográfica	12
5.1.2 Delimitación de la microcuenca	13
5.1.3 Vías de Acceso	14
5.1.4 Hidrografía	15
5.1.5 Áreas Protegidas	16
5.1.6 Factores sociales y económicos	17
5.2 MARCO LEGAL	19
6 METODOLOGIA	19
6.1 METODOLOGIA UTILIZADA PARA LA ELABORACION DE CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA	19
6.1.1 Recopilación de la información	19
6.1.2 Análisis y fotointerpretación preliminar	20
6.1.3 Control de campo	20
6.1.4 Procesamiento de la información obtenida	20
6.1.5 Realización de mapas finales	20
6.1.6 Informe final	20
7 GEOLOGIA	21
7.1 ESTRATIGRAFIA	22
7.1.1 Formación Une (Kiu)	22
7.1.2 Formación Chipaque (Ksc)	22
7.1.3 Formación Plaeners (Ksgp)	22
7.1.4 Formación Los Pinos (Ksgpi)	23
7.1.5 Formación Arenisca Tierna (Ksgt)	23
7.1.6 Formación Guaduas (KPgg)	23
7.1.7 Formación Areniscas de Socha (Pgars)	24
7.1.8 Formación Arcillas de Socha (Pgas)	25
7.1.9 Formación Picacho (Pgp)	25
7.1.10 Formación Concentración (Pgc)	25

7.1.11	Cuaternario Glacial (Qm) -----	25
7.1.12	Cuaternario Coluvial (Qc) -----	25
7.1.13	Cuaternario Aluvial (Qal) -----	25
7.2	GEOLOGIA ESTRUCTURAL -----	25
7.2.1	Fallas -----	25
7.2.2	Pliegues -----	26
8	MORFOMETRIA DE LA CUENCA -----	27
8.1	AREA Y PERIMETRO DE LA MICROCUENCA -----	27
8.2	RELIEVE DE LA MICROCUENCA -----	27
8.2.1	Curva Hipsométrica -----	27
8.2.2	Elevación Media -----	29
8.2.3	Pendiente Media -----	29
8.3	FORMA DE LA CUENCA -----	29
8.3.1	Longitud axial y ancho máximo de la cuenca -----	29
8.3.2	Factor de forma de Horton (Kf) -----	30
8.3.3	Coeficiente de compacidad (Kc) -----	30
8.3.4	Índice de alargamiento (Ia) -----	31
8.3.5	Índice de asimetría -----	32
8.4	LONGITUD Y PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL -----	33
8.4.1	Longitud del cauce principal -----	33
8.4.2	Pendiente media del cauce principal -----	33
8.5	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN -----	34
9	GEOMORFOLOGIA -----	34
9.1	ATRIBUTOS DEL MAPA GEOMORFOLOGICO -----	35
9.2	MORFOGENESIS -----	39
9.2.1	Ambiente Denudacional -----	41
9.2.2	Ambiente Estructural -----	47
9.2.3	Ambiente Fluvial -----	54
9.2.4	Ambiente Glacial -----	57
9.3	SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLOGICA -----	66
9.3.1	Susceptibilidad por morfometría -----	66
9.3.2	Susceptibilidad por morfogénesis -----	71
9.3.3	Susceptibilidad por morfodinámica -----	74
9.3.4	Evaluación de la susceptibilidad geomorfológica a movimientos en masa --	84
10	CONCLUSIONES -----	88
11	RECOMENDACIONES -----	89
12	BIBLIOGRAFIA -----	90

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Localización de la microcuenca.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2 Microcuenca del rio Gámeza.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3 Vías de acceso al área de estudio</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4 Red Hidrográfica de la microcuenca.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5 Áreas Protegidas dentro de la microcuenca</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6 Mapa geológico de la microcuenca.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 7 Curva hipsométrica</i>	<i>27</i>
<i>Figura 8 Rango de alturas de la cuenca.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 9 Curva Hipsométrica de la microcuenca del Rio Gámeza</i>	<i>29</i>
<i>Figura 10 Índice de asimetría.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 11 Esquema de jerarquización geomorfológica.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 12. Rangos de forma de la ladera.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 13 Ambientes Morfogénéticos.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 14 Distribución porcentual de ambientes</i>	<i>40</i>
<i>Figura 15 Distribución porcentual de del ambiente denudacional</i>	<i>41</i>
<i>Figura 16 Mapa de subunidades de ambiente denudacional.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 17 Distribución porcentual ambiente estructural</i>	<i>47</i>
<i>Figura 18 Mapa de subunidades de ambiente estructural.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 19 Distribución porcentual del ambiente fluvial.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 20 Mapa de subunidades de ambiente Fluvial.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 21 Distribución porcentual del ambiente Glacial.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 22 Mapa de subunidades de ambiente Glacial</i>	<i>58</i>
<i>Figura 23 Componentes de geomorfología para susceptibilidad</i>	<i>66</i>
<i>Figura 24 Componentes del atributo de Morfometría.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 25 Mapa de pendientes</i>	<i>67</i>
<i>Figura 26 Mapa de Rugosidad</i>	<i>69</i>
<i>Figura 27 Mapa de Acuenca.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 28 Mapa de susceptibilidad por Morfometría</i>	<i>71</i>
<i>Figura 29 Mapa de susceptibilidad por Morfogénesis.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 30 Proceso metodológico en la construcción del atributo morfodinámico</i>	<i>75</i>
<i>Figura 31 Mapa de relieve relativo.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 32 Mapa de inclinación de ladera.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 33 Mapa del atributo Relaincli.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 34 Mapa de unidades de suelo.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 35 Mapa de localización de movimientos en masa</i>	<i>83</i>
<i>Figura 36 Mapa de susceptibilidad por morfodinámica.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 37 Mapa de susceptibilidad por Geomorfología aplicado a movimientos en masa.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 38 Distribución porcentual de la susceptibilidad por geomorfología.....</i>	<i>87</i>

LISTA DE FOTOGRAFIAS

<i>Fotografía 1 Fm. Planers</i>	<i>22</i>
<i>Fotografía 2 Fm. Los Pinos.....</i>	<i>23</i>
<i>Fotografía 3 Fm. Guaduas.....</i>	<i>24</i>
<i>Fotografía 4 Fm. Areniscas de Socha</i>	<i>24</i>
<i>Fotografía 5 Falla de Gámeza.....</i>	<i>26</i>
<i>Fotografía 6 Sinclinal de Mongua</i>	<i>26</i>
<i>Fotografía 7 Cono de talus (Dlo), Espolón (Sesml).....</i>	<i>43</i>
<i>Fotografía 8 Cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi).....</i>	<i>44</i>
<i>Fotografía 9 Loma denudada.....</i>	<i>45</i>
<i>Fotografía 10 Ladera ondulada.....</i>	<i>46</i>
<i>Fotografía 11 Cerro estructural.....</i>	<i>49</i>
<i>Fotografía 12 Espolón moderado de longitud larga</i>	<i>50</i>
<i>Fotografía 13 Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal.....</i>	<i>51</i>
<i>Fotografía 14 Ladera estructural de sierra anticlinal</i>	<i>51</i>
<i>Fotografía 15 Sierra sinclinal</i>	<i>52</i>
<i>Fotografía 16 Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal.....</i>	<i>53</i>
<i>Fotografía 17 Ladera estructural de sierra sinclinal</i>	<i>53</i>
<i>Fotografía 18 Cauce aluvial</i>	<i>56</i>
<i>Fotografía 19 Laguna glacial.....</i>	<i>61</i>
<i>Fotografía 20 Morrena lateral y Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal glaciada.....</i>	<i>62</i>
<i>Fotografía 21 Plano glaciolacustre</i>	<i>62</i>
<i>Fotografía 22 Ladera de contrapendiente y estructural de sierra sinclinal glaciada.....</i>	<i>65</i>
<i>Fotografía 23 Ladera de estructural de sierra sinclinal glaciada.....</i>	<i>65</i>
<i>Fotografía 24 Reptación en el municipio de Gámeza</i>	<i>82</i>
<i>Fotografía 25 Deslizamiento en el municipio de Gámeza.....</i>	<i>82</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Estudios anteriores.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 2 Habitantes y número de viviendas en Gameza</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3 Habitantes en Mongua.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 4 Descripción de la relación hipsométrica.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 5 Factor de forma.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 6 Coeficiente de compacidad.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 7 Índice de alargamiento.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 8. Rangos de relieve relativo.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 9. Rangos de inclinación de la ladera.</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 10. Rangos de longitud de la ladera.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 11. Rangos de forma de la ladera.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 12. Rangos de forma de la ladera.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 13 Clasificación de pendientes para morfometría.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 14 Clasificación de la Rugosidad.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 15 Clasificación del atributo Acuenca.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 16 Clasificación de la susceptibilidad por morfogénesis</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 17 Clasificación del relieve relativo.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 18 Clasificación de la inclinación de ladera.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 19 Inventario de movimientos en masa.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 20 Áreas de susceptibilidad geomorfológica</i>	<i>85</i>

INTRODUCCION

La geomorfología es la ciencia de la tierra que se encarga del estudio de la relación de las formas del relieve, sus materiales, su disposición, los procesos que la originaron y los procesos por los cuales cambia que se relaciona directamente con los fenómenos de remoción en masa en cuanto algunas geoformas presentan mayor vulnerabilidad a la inestabilidad llegando a generar movimientos en masa, por lo cual es importante para determinar dichas áreas por las afectaciones que pueden producir en obras públicas, vidas humanas, viviendas entre otros.

En un plan de ordenamiento y manejo de una cuenca es de gran importancia realizar una caracterización de las geoformas presentes en el terreno, puesto que este componente se convierte en un insumo para tener en cuenta en la gestión del riesgo para una adecuada planificación del territorio.

El propósito de este trabajo es identificar la relación existente entre la geomorfología y la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa en la microcuenca del Rio Gámeza del departamento de Boyacá en donde se desarrollan actividades económicas como agricultura, ganadería y minería, las cuales en algunos casos generan inestabilidad en el terreno por el mal uso del suelo, generando así movimientos en masa, por lo cual se hace necesario la evaluación de zonas inestables que pueden existir teniendo en cuenta los diferentes aspectos geomorfológicos.

1 ANTECEDENTES

Dentro de los antecedentes para el área de estudio se tienen esquemas de ordenamiento territorial municipal, proyectos realizados por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Servicio Geológico Colombiano entre otros que se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Estudios anteriores

ITEM	TITULO	AÑO	AUTOR
1	Informe preliminar sobre los deslizamientos de Mongua, Boyacá	1937	Ministerio de Industrias y Trabajo. Departamento de Petróleos
2	Deslizamientos en la vereda de Satoba, Municipio de Gámeza, Boyacá	1954	Ministerio de Minas y Petróleos Instituto Geológico Nacional. República de Colombia
3	Agrietamientos del terreno en el municipio de Gámeza	1956	Ministerio de Minas y Petróleos Instituto Geológico Nacional. República de Colombia
4	Anotaciones sobre deslizamientos ocurridos en el municipio de Gámeza en Noviembre - Diciembre de 1979	1980	Ministerio de minas y petróleos, Instituto nacional de investigaciones geológico- mineras. Dirección regional Sogamoso
5	Mapa de conflictos de uso del suelo	1994	INGEOMINAS
6	Mapa de amenaza Geológica, Geomorfológica y Geotécnica	1994	INGEOMINAS
7	Mapa Morfodinámico	1994	INGEOMINAS
8	Proyecto de Ordenamiento Ambiental Territorial de trece municipios carboníferos del departamento de Boyacá Fases de Tendencias, Escenarios, Planes y Programas de Ordenamiento	1995	Convenio Ecocarbón, Gobernación de Boyacá, IRME UPTC
9	Esquema de Ordenamiento Territorial de Gámeza	1999	Municipio de Gámeza
10	Esquema de Ordenamiento Territorial de Mongua	2001	Municipio de Mongua
11	Geología de la Plancha 172 Paz de Río a escala 1:100.000	2003	INGEOMINAS
12	Plan de Ordenación y Manejo Ambiental	2009	CORPOBOYACA

ITEM	TITULO	AÑO	AUTOR
	de la Cuenca Media del Río Chicamocha		
13	Investigación Geológica e Hidrogeológica en los Sectores Norte y Centro del Departamento de Boyacá	2007	Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. Universidad Pedagógica Y Tecnológica de Colombia
14	Zonificación de la susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 Plancha 172 - Paz de Río	2016	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM Servicio Geológico Colombiano - SGC

Fuente. Autor

Como se muestra en la Tabla 1 existen diversos tipos de estudios que involucran temáticas de deslizamientos, geología, ordenamiento territorial y gestión del riesgo en los cuales se evidencia que existen movimientos en masa históricamente que han modificado las condiciones y forma del terreno.

Históricamente en el área de la microcuenca se evidencia zonas con susceptibilidad a la inestabilidad. En 1936 se presentaron grietas en el terreno que condujeron a una serie de deslizamientos al sur oeste del casco urbano del municipio de Mongua en donde se afectaron 50 viviendas en las cuales Vivian 97 personas, las cuales tuvieron que ser evacuadas, por lo cual se realizó una visita técnica en 1937 por parte del ministerio de Industrias y trabajo de aquel entonces a la zona del deslizamiento llegando a concluir que estaba dado por infiltración de aguas y en el uso del suelo por pastoreo y cultivos mal manejados. En 1954 se produjo el desprendimiento de una gran masa de tierra en la cabecera de la vereda Satoba del municipio de Gámeza el cual tuvo como causa la infiltración de gran cantidad de agua por efecto del crudo invierno, llegando a afectar cultivos y viviendas en donde Vivian 52 personas. En 1956 un sismo de poca intensidad produjo agrietamientos en el terreno de poca profundidad y anchura en un area de 2.5 kilómetros cuadrados al oeste del casco urbano del municipio de Gameza, aunque este evento no llego a provocar deslizamientos de grandes dimensiones fue un llamado a prestar atención a este tipo de eventos y sus posibles consecuencias. En 1979 se presentó un deslizamiento de tipo rotacional en la parte inferior de un área que utilizaban campesinos para almacenar agua en reservorios a 2 kilómetros al este del casco urbano del municipio de Gámeza; la presencia de reservorios genero una infiltración alta que sumada al invierno provoco este deslizamiento que afecto a áreas de cultivos un algunas viviendas. En 1994 se realizó un mapa de conflictos de uso de suelo, dentro de este se enmarca que en los alrededores del municipio de Gámeza se encuentran usos inadecuados la sur y una sobre utilización del suelo al norte del casco urbano de Gámeza. En el mismo año un mapa de amenaza geológica, geomorfológica y geotécnica realizado por el Ingeominas indico que los alrededores del casco urbano de Gameza y sus alrededores un riesgo medio por presentar zonas con potencial de inestabilidad. En 1995 se desarrolló un proyecto de Ordenamiento Ambiental Territorial enfocado en varios municipios dedicados a actividad de explotación de carbón se establecieron áreas con riesgo de geoinestabilidad teniendo así para Mongua un área de 262 Ha de riesgo alto, para Gameza 600 Ha de riesgo alto y para Topaga 75 Ha de riesgo alto. Posteriormente en los planes de

ordenamiento territorial (POT) se establecieron zonas de amenaza geológica alta con deslizamientos y caídas de roca en áreas de amenaza alta y amenaza media en áreas con actividad minera. Finalmente en el año 2016 se realizaron estudios de susceptibilidad y amenaza en lo correspondiente a la plancha 172, la cual involucra gran parte de la microcuenca del río Gameza, estableciendo como resultado un grado de amenaza de media a alta a movimientos en masa en un trabajo que se realizó de manera regional a escala 1:100.000, específicamente respecto a geomorfología se encuentra en la Zonificación de la susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa del IDEAM y el SGC, en el cual se realizó la cartografía geomorfológica según metodología del IDEAM a una escala 1:100.000.

Cada uno de los estudios nombrados anteriormente evidencia cada uno de los eventos naturales como lo son los movimientos en masa y problemas de inestabilidad evidentes dentro del área de influencia de la microcuenca del río Gameza y la afectación que puede llegar a tener en poblaciones de cascos urbanos y veredas.

2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La microcuenca del río Gámeza tiene gran importancia ambiental para los municipios de Gámeza y Mongua puesto que en esta se localizan dos cascos urbanos, en esta se encuentra parte del páramo de Oceta en donde nace el río Gámeza también llamado río Saza, además de diferentes actividades económicas que se realizan dentro de la microcuenca.

Dentro de las actividades económicas se encuentra la agricultura y la ganadería, las cuales generan una sobreutilización en el suelo, ocasionando un rápido deterioro, con lo cual se acumulan algunos factores que contribuyen en la generación de movimientos en masa; otra actividad que se encuentra es la minería subterránea de Carbón, la cual genera fenómenos de hundimiento en el terreno ocasionados por las labores mineras subterráneas.

Cada uno de las actividades económicas genera un impacto que se evidencia en el uso inadecuado del suelo por cada una de las actividades antrópicas, generando así factores contribuyentes en la ocurrencia de movimientos en masa.

3 JUSTIFICACIÓN

El estudio de los procesos por los cuales es modelado el paisaje, es de gran importancia, ya que esto nos ayuda a comprender su proceso natural de evolución y es a partir de esto, que podemos tener una base para tomar decisiones en cuanto a planes de ordenamiento territorial y ambiental, puesto que los estudios geológicos, geomorfológicos y de movimientos en masa, son la base de diferentes investigaciones relacionadas con la gestión del riesgo de desastres.

En la zona de estudio se localizan las cabeceras municipales de Gameza y Mongua, siendo áreas en las que se concentra una parte importante de la población de la microcuenca, por esto es importante el estudio del modelamiento del paisaje, ya que en estas áreas tan pobladas es prioritario localizar zonas susceptibles a movimientos en masa que pueden llegar a afectar a la población de aproximadamente 10.000 habitantes, además de infraestructura como viviendas, vías veredales, acueductos y demás infraestructura vital para la economía. Adicionalmente se tiene en cuenta el

valor ambiental de la microcuenca para los diferentes ecosistemas como lo es el páramo presente en la parte alta, y que son consideradas como fábricas de agua en donde se encuentran hábitats de gran riqueza biológica.

Este tipo de proyectos es de gran importancia en el ordenamiento y gestión integral de cuencas hidrográficas ya que se convierten en parte inicial de un diagnóstico que contribuye además en la toma de decisiones por parte de las autoridades locales.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación de la geomorfología para determinar zonas inestables en la microcuenca del río Gámeza.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Elaboración de interpretación geomorfológica de la microcuenca a partir de modelos digitales de terreno e imágenes satelitales.
- ✓ Análisis morfodinámico para establecer zonas inestables a partir de inventarios de movimientos en masa y geoformas del terreno.
- ✓ Evaluación morfométrica y morfogenética de la microcuenca.

5 MARCO REFERENCIAL

5.1 MARCO TEORICO

5.1.1 Localización Geográfica

El área del proyecto se localiza en el departamento de Boyacá, dentro de la cuenca del Río Chicamocha al cual llegan las aguas del río Gámeza siendo esta la microcuenca de estudio. El río Gámeza drena sus aguas directamente al río Chicamocha, dentro de esta se localizan áreas de los municipios de Gámeza, Mongua y Tópaga. En la Figura 1 se muestra la localización de la microcuenca objeto de estudio.

Figura 1. Localización de la microcuenca

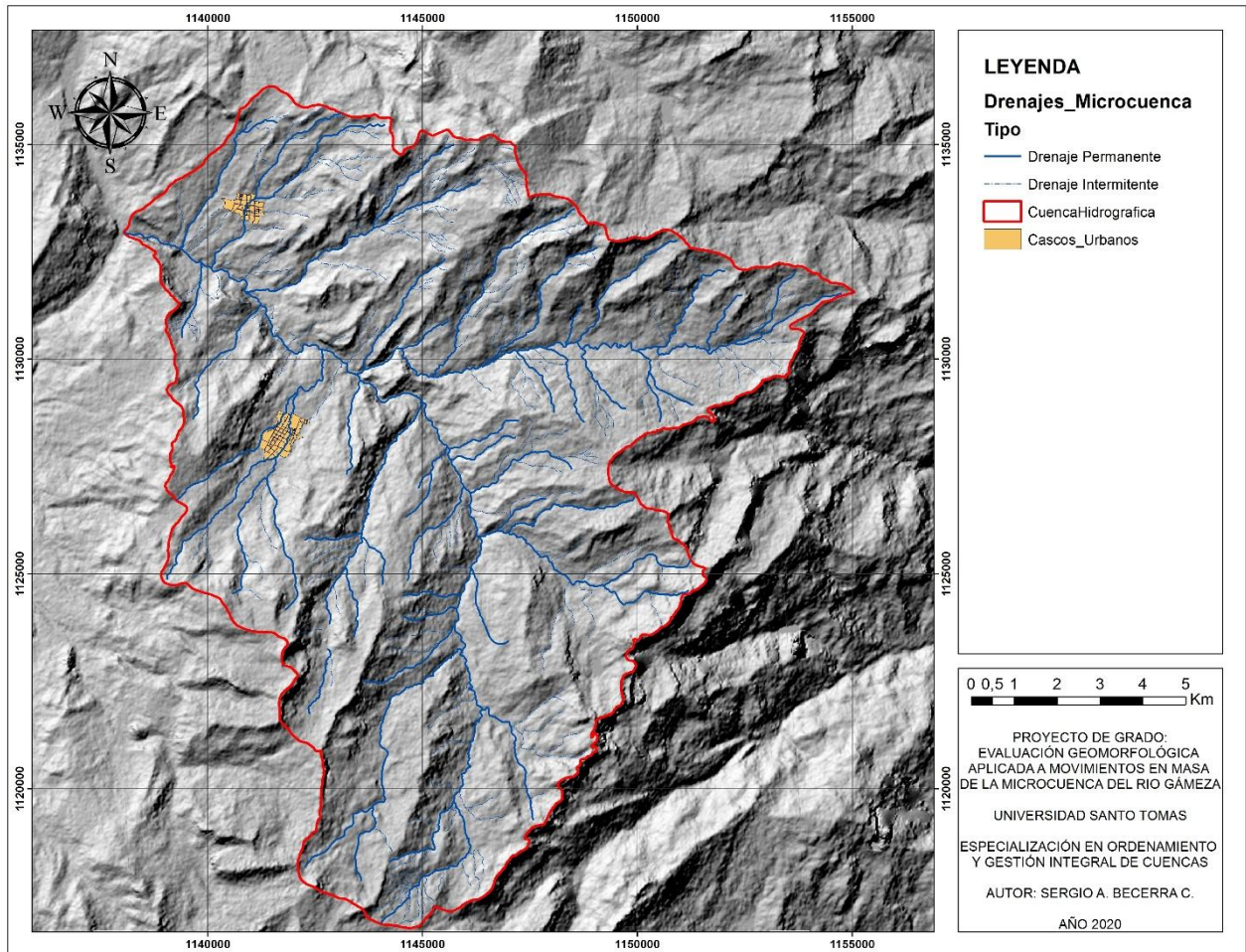


Fuente. Autor

5.1.2 Delimitación de la microcuenca

El área de estudio se encuentra definida por una microcuenca que fue delimitada a través de un modelo digital de elevación (DEM) Alos Palsar de la JAXA (Japan Aeroexploration Agency), el cual cuenta con una resolución espacial de 12.5 metros por pixel, apoyado en base a la cartografía base del IGAC a escala 1:25.000 en la que se encuentran los principales drenajes y curvas de nivel. Dentro del proceso se utilizó además de una imagen satelital de CNES Airbus, obtenida de Google Earth. En la Figura 2 se muestra la delimitación final de la microcuenca.

Figura 2 Microcuenca del río Gámeza

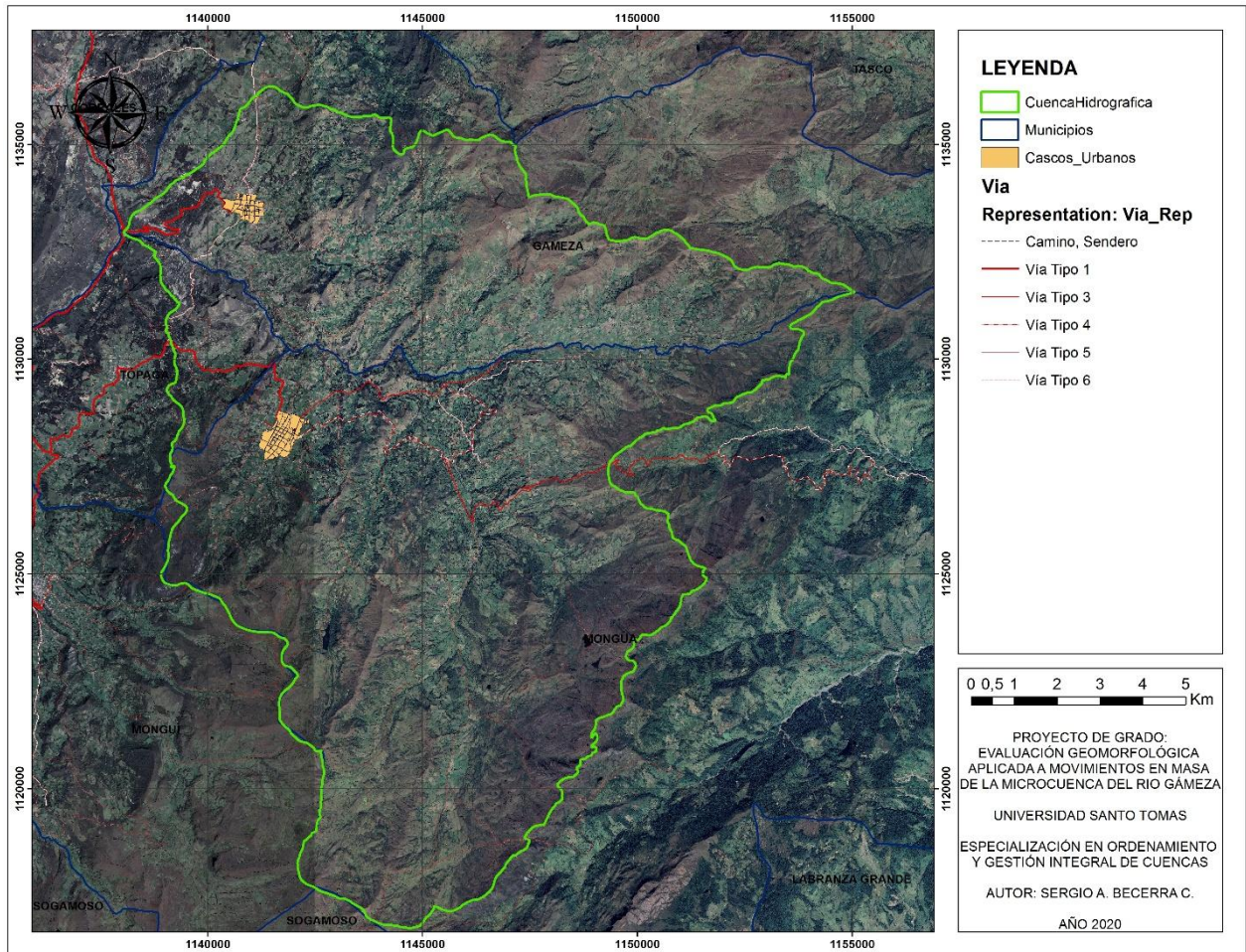


Fuente. Autor

5.1.3 Vías de Acceso

La principal vía de acceso a esta cuenca corresponde a la vía que comunica los municipios de Sogamoso y Corrales, en esta existe un desvío que lleva al casco urbano de Gámeza; al casco urbano de Mongua se accede por la vía Sogamoso – Mongui y Mongua, siendo estas las únicas vías pavimentadas, además existen más vías terciarias veredales sin pavimentar. En la Figura 3 se muestran las vías dentro del área de estudio.

Figura 3 Vías de acceso al área de estudio

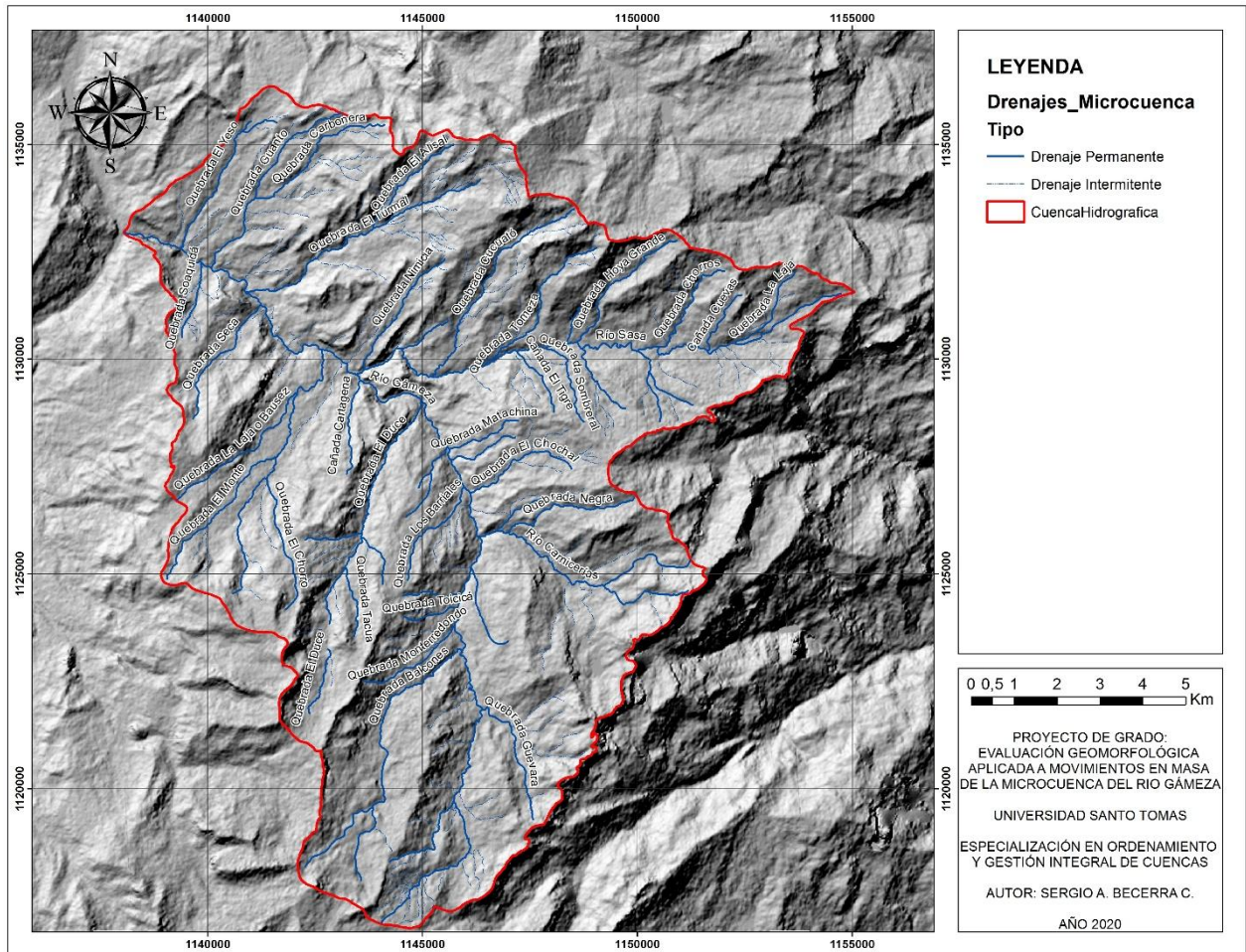


Fuente. Autor

5.1.4 Hidrografía

El principal drenaje corresponde al río Gámeza, el cual nace en el páramo del complejo Tota-Bijagual-Mamapacha, donde se localiza el páramo de Oceta. Otros de drenajes principales corresponden al río Sasa y las quebradas Chica, Cucuato, Chorros, Carbonera, Alisal, Chorchal, El Duce, El Monte, El Turmal, La Leonera entre otras. En la Figura 4, se muestra la red hidrográfica del área de la microcuenca.

Figura 4 Red Hidrográfica de la microcuenca



Fuente. Autor

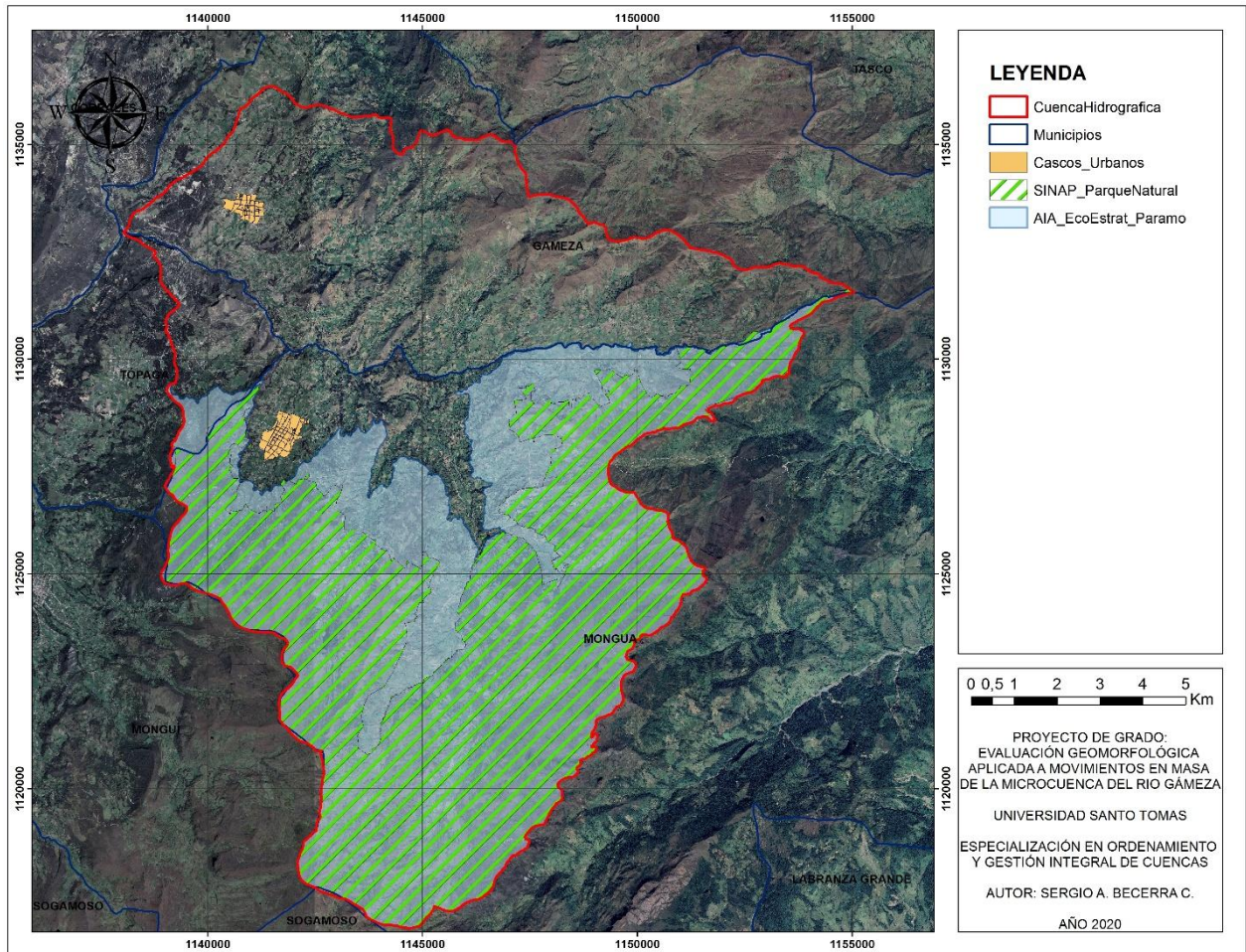
5.1.5 Áreas Protegidas

En la microcuenca del río Gámeza se localiza la Unidad Biogeográfica de Siscunsi Oceta, dentro de la cual se encuentra el complejo de paramos Tota-Bijagual-Mamapacha.

Teniendo en cuenta el área total del páramo tendríamos que en la microcuenca de Gámeza se localiza el 21,9 % de este.

En general se identificó que el 44,6 % de la microcuenca se encuentra en el área del páramo de Siscunsi Oceta, siendo así un área de gran importancia ambiental, para la preservación del recurso hídrico. En la Figura 5, se muestran las áreas protegidas de paramos en la microcuenca de estudio.

Figura 5 Áreas Protegidas dentro de la microcuenca



Fuente. Autor

5.1.6 Factores sociales y económicos

Algunos de los factores que influyen en la microcuenca tienen que ver con lo social y lo económico, dentro del área correspondiente a la microcuenca del Río Gameza se localiza principalmente los municipios de Gameza y Mongua.

5.1.6.1 Municipio de Gameza

Gámeza es un municipio colombiano ubicado en la provincia de Sugamuxi en el departamento de Boyacá. Está situado a unos 18 km del municipio de Sogamoso. Según el Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Gameza, se tiene una población de 6634 habitantes; concentrando una mayor población en el casco urbano con 1713 habitantes. Como actividades generadoras de empleo en Gámeza, se encuentran la agricultura, con los cultivos de Papa como el más importante, la ganadería para producción de carne y leche, la minería para extracción de carbón, y arcillas utilizadas para la fabricación de ladrillos. El 9.6% de los padres de familia se dedican a la actividad de la minería, el 54.31% se dedican a la agricultura y el 9.2% se dedica al

hogar.

Tabla 2 Habitantes y número de viviendas en Gameza

Municipio de Gameza		
Sector	Habitantes	# Viviendas
Centro	1713	223
Motua	314	76
Guantó	597	147
San Antonio	643	152
Villa Giron	360	105
Satoba	510	118
Sector Potosí	252	63
Daíta	360	82
Chital	171	33
La Capilla	793	188
Villa Coscucua	244	73
Nimicia	214	50
Saza	463	115

Fuente. EOT, Gameza

5.1.6.2 Municipio de Mongua

Mongua es un municipio colombiano ubicado en la provincia de Sugamuxi en el departamento de Boyacá. Está situado a unos 23 km del municipio de Sogamoso. Según el esquema de ordenamiento territorial del municipio de Mongua, se tiene una población de 6512 habitantes; concentrando la mayor parte de su población en el casco urbano con 1905 habitantes, la vereda con mayor población corresponde a la vereda Tunjuelo con 1336 habitantes. Las principales actividades de la población están representadas en la agricultura con cultivos de papa, arveja, maíz, cebada, trigo, habas y zanahoria, ganadería para producción de leche, minería de carbón que abastece la Siderúrgica Votorantim (Acerías Paz de Río) y la Termoeléctrica de Paipa.

Tabla 3 Habitantes en Mongua

Municipio de Gameza	
Sector	Habitantes
Centro	1.905
Urbano	851
Mongui	825
Tunjuelo	1.336
Sirguaza	919
Duce	676

Fuente. EOT, Mongua

5.2 MARCO LEGAL

Dentro de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (POMCA), la geomorfología juega un papel importante como base de la parte 1 de la incorporación de la Gestión del Riesgo en el POMCA. Involucra todas las etapas del POMCA desde el Aprestamiento hasta la Formulación. A continuación se muestra el marco legal en el cual se establece la Gestión del Riesgo, dentro de la cual encontramos la evaluación geomorfológica del territorio.

- Ley 99 de 1993: En cuanto a las funciones de las Corporaciones Autónomas Regionales - CAR-, en el numeral 23 del artículo 31 de la Ley 99 de 1993, se establece que deben “Realizar actividades de análisis seguimiento, prevención y control de desastres, en coordinación con las demás autoridades competentes, y asistirles en los aspectos medioambientales en la prevención y atención de emergencias y desastres; adelantar con las administraciones municipales o distritales programas de adecuación de áreas urbanas en zonas de alto riesgo, tales como control de erosión, manejo de cauces y reforestación”.
- Decreto 1640 de 2012, Título IV, “de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas”.
- Ley 1523 de 2012, por lo cual adoptó la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y estableció el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.
- Decreto 1807 de 2014, por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones.
- Resolución 1907 de 2013 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por la cual se expide la Guía Técnica para la formulación de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas.

Dentro del Anexo B de la Guía Técnica para la formulación de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas y el Protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en los planes de ordenamiento de cuencas hidrográficas se definen pautas acerca de la Geología y Geomorfología, siendo estas las bases para la elaboración del capítulo de Gestión del Riesgo.

6 METODOLOGIA

6.1 METODOLOGIA UTILIZADA PARA LA ELABORACION DE CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA

6.1.1 Recopilación de la información

La primera etapa del proyecto consistió en la búsqueda y recolección de información existente base del proyecto. Esta información está conformada por mapas geológicos, cartografía base, cartografía temática, imágenes satelitales etc.

Dentro de los insumos adquiridos se encuentran:

- Geología de la plancha 172, INGEOMINAS a escala 1:100.000 (1998).
- Memoria geológica de la plancha 172, INGEOMINAS (2003).
- Bases cartográficas a escala 1:25.000 del área de estudio.

- Modelo digital de elevación “Dem Alos Palsar”, resolución 12.5 m/pixel (GAXA).
- Modelo de Sombras, producto derivado del Dem.
- Mapa de pendientes, producto derivado del Dem.
- Imagen satelital de Sentinel 2A, resolución 10 m/pixel.
- Imagen Satelital de Google Earth.

6.1.2 Análisis y fotointerpretación preliminar

Con los insumos recopilados, se procede a iniciar el proceso de fotointerpretación.

- En base al modelo de sombras, el mapa de pendientes, mapas geológicos e imágenes satelitales se diferencian inicialmente los ambientes morfogenéticos, posteriormente dentro de cada ambiente se diferencian unidades y subunidades geomorfológicas según la clasificación del glosario encontrado en la Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa, del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

6.1.3 Control de campo

Posterior a la etapa de fotointerpretación se realizaron visitas de campo, intentando cubrir la mayor parte del área de la microcuenca, con el objetivo de corroborar o corregir información consignada en la fotointerpretación, teniendo así un panorama más claro de las geoformas encontradas dentro de la microcuenca.

6.1.4 Procesamiento de la información obtenida

Con base en la información obtenida de campo, se hicieron ajustes y modificaciones de la fotointerpretación que se había hecho previamente.

En estos ajustes, se agregaron datos geomorfológicos como, nuevas unidades que no se reconocieron en la fotointerpretación, descripción de los movimientos en masa más significativos encontrados dentro del área.

Dentro de esta etapa se realizaron ajustes en los límites definidos entre unidades, verificación o cambio del nombre de algunas unidades y clasificación definitiva de unidades geomorfológicas, para finalmente obtener un mapa final de geomorfología. Con este mapa se realiza una reclasificación de las unidades geomorfológicas por susceptibilidad a movimientos en masa basados en el documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano.

6.1.5 Realización de mapas finales

Como resultado se obtienen los mapas finales a escala 1:25.000 que corresponden a las temáticas de Geología, Geomorfología y Susceptibilidad geomorfológica a movimientos en masa.

6.1.6 Informe final

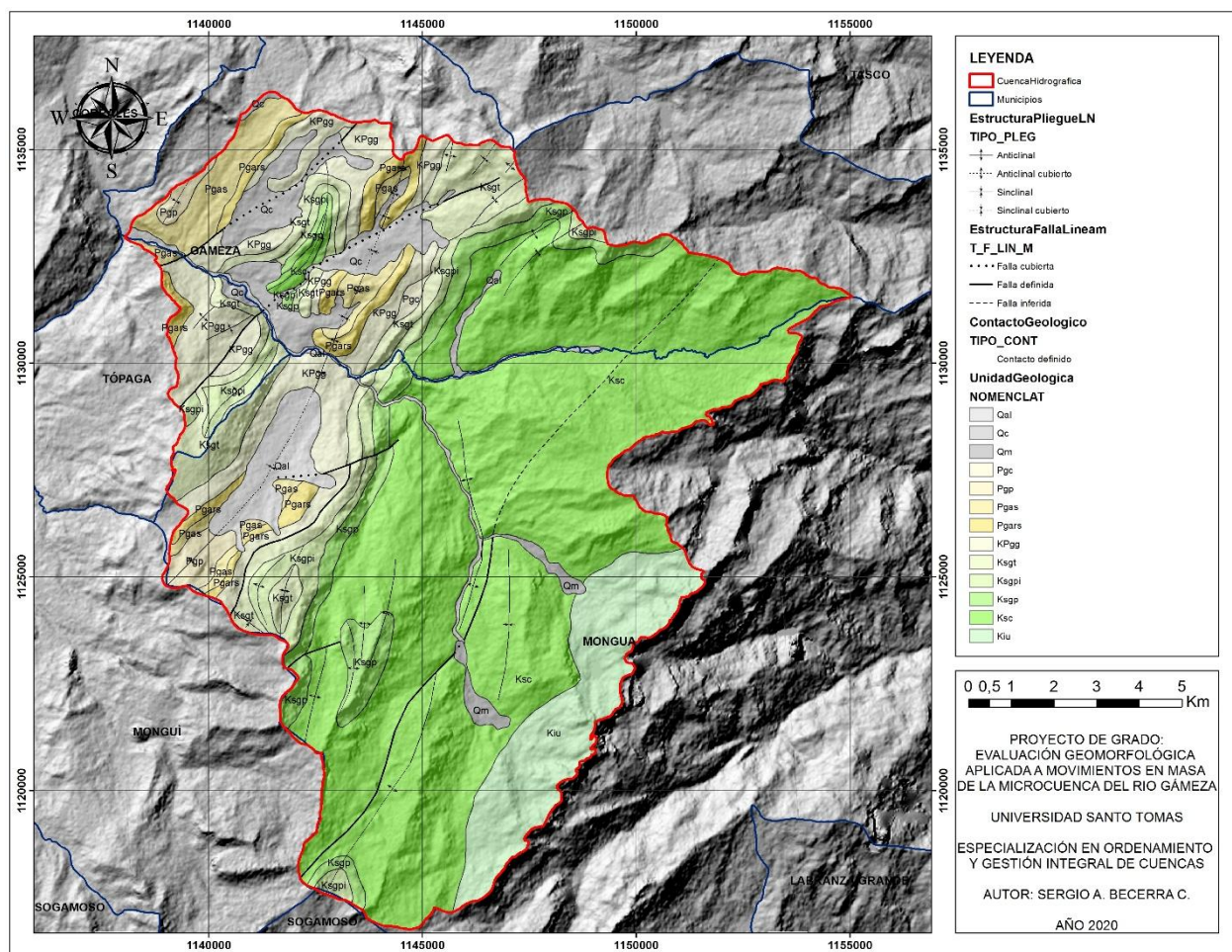
El informe final muestra los resultados obtenidos de cada una de las etapas del proyecto, describiendo cada una de las unidades geomorfológicas y su susceptibilidad a movimientos en masa.

7 GEOLOGIA

Dentro del área de la microcuenca del río Gámeza afloran formaciones de edades que varían desde el cretáceo hasta el cuaternario. La geología tiene gran importancia puesto que influye directamente en la modelación del terreno.

Para la generación del mapa geológico se realizó una interpretación en base al mapa geológico regional correspondiente a la plancha 172, del Servicio Geológico Colombiano, además de modelos digitales del terreno, modelos de sombras del terreno e imágenes satelitales, con las cuales se realizaron ajustes en cuanto a lineamientos, contactos entre formaciones geológicas y fallas. Obteniendo el mapa mostrado en la Figura 6.

Figura 6 Mapa geológico de la microcuenca



Fuente. Autor

7.1 ESTRATIGRAFIA

En la microcuenca del río Gámeza se encuentran principalmente rocas sedimentarias que van desde el cretácico hasta el cuaternario, teniendo en general las rocas más antiguas en la parte alta de la microcuenca correspondiente a la zona de paramo. Las rocas más recientes corresponden a depósitos de tipo glacial, aluvial y coluvial localizados en las partes bajas de las montañas o junto a las quebradas principales producto de procesos denudativos.

7.1.1 Formación Une (Kiu)

Aflora al sureste de la cuenca en la parte más alta de esta, formando grandes escarpes, que contrastan con la morfología de suaves colinas de las unidades geológicas que supra e infrayacen. Litológicamente se encuentran arenitas de cuarzo de grano fino a grueso en estratificación plano paralela y capas delgadas, algunos estratos presentan lentes conglomeráticos con guijos de cuarzo y alternancia de paquetes de lodolitas y arenitas de cuarzo. La edad de esta formación se encuentra entre el Albiano y el Cenomaniano.

7.1.2 Formación Chipaque (Ksc)

Esta formación aflora en la parte central y oriental de la microcuenca, cubriendo una gran área superficialmente, generando así relieves ondulados, consta de una sucesión de capas delgadas de lodolitas negras, con estratificación plano paralela y ocasionalmente ondulosa, con intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino, grises oscuras a amarillentas y rojizas, por meteorización, cemento silíceo, en capas delgadas y gruesas, plano paralelas y no paralelas.

7.1.3 Formación Plaeners (Ksgp)

Esta formación se localiza en la parte central de la microcuenca, formando franjas estrechas en sentido noreste, compuesta por lodolitas calcáreas gris oscuras en estratos delgados con intercalaciones de limolitas silíceas gris claras en capas medias a gruesas y ocasionales niveles de chert negro. Localmente se encuentra interrumpida por fallas locales. En la Fotografía 1, se muestra un afloramiento de esta formación.

Fotografía 1 Fm. Planers



Fuente. Autor

7.1.4 Formación Los Pinos (Ksgpi)

La Formación Los Pinos se localiza en la parte central de la microcuenca, formando una franja delgada en sentido Suroeste – Noreste, presenta espesores de 94,90 y 101,20 m, respectivamente, constituida por lodolitas y arcillolitas gris oscuras con intercalaciones de cuarzoarenitas y calizas fosilíferas de pocos metros de espesor. En la Fotografía 2, se muestra un afloramiento de esta formación.

Fotografía 2 Fm. Los Pinos



Fuente. Autor

7.1.5 Formación Arenisca Tierna (Ksgt)

Esta formación se localiza en la parte central de la cuenca y al occidente del casco urbano del municipio de Gámeza, morfológicamente se identifica por escarpes que contrastan en el relieve, la unidad está constituida por cuarzoarenitas de grano fino a grueso, con colores grises claros, grises oscuros a amarillentas, algo friables, en estratos delgados a gruesos con estratificación plano paralela, ondulosa e inclinada.

7.1.6 Formación Guaduas (KPgg)

Esta formación se encuentra en la parte media de la microcuenca, plegada en el sinclinal de Mongua, su morfología sugiere una litología exclusivamente arcillosa, está compuesta por arcillolitas grises oscuras a negras, arcillolitas carbonosas, en capas delgadas, con esporádicas intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino, se presentan igualmente intercaladas nueve (9) capas de carbón en la parte media de la formación, en su mayor parte meteorizadas y con espesores que varían entre 0,20 y 0,90 m. La importancia de esta formación radica en que es la fuente de carbón, existiendo así varias minas subterráneas en la región. En la Fotografía 3, se muestra un afloramiento de la formación guaduas.

Fotografía 3 Fm. Guaduas



Fuente. Autor

7.1.7 Formación Areniscas de Socha (Pgars)

Esta formación se localiza en la parte baja de la microcuenca, está compuesta por una sucesión de capas de cuarzoarenitas de grano fino a medio, blancas, grises pardas y grises amarillentas, cemento silíceo, en capas delgadas a muy gruesas, con esporádicas intercalaciones de arcillolitas grises claras y rojizas, que forman sucesiones con espesores que varían entre 2,30 y 9,40 m. En la Fotografía 4, se muestra un afloramiento de esta formación.

Fotografía 4 Fm. Areniscas de Socha



Fuente. Autor

7.1.8 Formación Arcillas de Socha (Pgas)

Esta formación se localiza en la parte baja de la microcuenca, está compuesta por una sucesión de capas de arcillolitas grises claras a oscuras, que por meteorización dan tonalidades amarillentas y rojizas. Son frecuentes las intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino, grises claras y predominan las arcillolitas grises oscuras, que se tornan amarillentas y rojizas por meteorización.

7.1.9 Formación Picacho (Pgp)

Esta formación se localiza en la parte más baja de la cuenca ya próxima a la desembocadura del río Gámeza en el Chicamocha; presenta morfología de lomas escarpadas, que resalta comparada con la morfología de valles de las unidades Socha Superior y Concentración que la infrayacen y suprayacen, respectivamente, litológicamente corresponde a una sucesión de cuarzoarenitas de grano medio hasta conglomerático, grises claras a blancas, con tonalidades amarillentas y rojizas por meteorización, friables, con cemento silíceo, en capas gruesas a muy gruesas y algunas intercalaciones de arcillolitas grises claras, oscuras y rojizas.

7.1.10 Formación Concentración (Pgc)

Esta formación presenta un morfología de colinas bajas, está compuesta litológicamente por arcillolitas comúnmente yesíferas y areniscas de grano fino a grueso, con estratos de hierro oolítico, que descansa sobre la Formación Picacho.

7.1.11 Cuaternario Glacial (Qm)

Depósitos glaciares se presentan la parte alta de la microcuenca en el área del páramo, constan de una serie de morrenas, formadas por bloques angulares, de arenitas y conglomerados, en una matriz areno arcillosa, sin ninguna selección.

7.1.12 Cuaternario Coluvial (Qc)

Con el término coluviales se incluyen los depósitos de talud y derrubios; están constituidos por acumulaciones de materiales de composición heterogénea y de tamaño variable, predominantemente bloques angulares.

7.1.13 Cuaternario Aluvial (Qal)

Depósitos aluviales se ubican hacia las márgenes de los drenajes principales y consisten de bloques redondeados a subredondeados, principalmente de arenitas, en una matriz areno arcillosa. Presentan una morfología plana. Localmente se localizan alrededor del río Gámeza.

7.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En el área de estudio se observa un estilo estructural predominantemente compresivo, que se manifiesta en estructuras tales como pliegues y fallas de extensión regional y local, estructuras que al parecer están relacionadas entre sí y fueron generados durante la orogenia andina.

7.2.1 Fallas

En el área de la microcuenca la principal falla presente corresponde a la falla de Gámeza, es una falla de tipo inverso; coloca las areniscas de Socha inferior y gran parte de la Formación Guaduas por encima de la Formación Socha Superior. La falla hacia el suroeste se transforma en falla direccional con rumbo Norte Sur. Al norte de Gámeza la falla se encuentra cubierta por los rellenos

cuaternarios. Presenta inclinaciones hasta de 40 grados y desplazamientos verticales variables. En la Fotografía 5 se muestra la falla de Gámeza.

Fotografía 5 Falla de Gámeza



Fuente. Autor

7.2.2 Pliegues

- Sinclinal de Mongua: corresponde a una estructura simétrica, cuyo eje tiene una dirección NE-SW, pliega rocas desde la formación Picacho a la formación Plaeners; es truncado al norte por la Falla de Gámeza. En la Fotografía 6 se muestra este pliegue.
- Pliegues Menores: corresponden a estructuras con vergencia NE-SW, que no presentan continuidad por grandes distancias y se localizan dispersos dentro del área de la microcuenca, formando una secuencia de estructuras anticlinales y sinclinales.

Fotografía 6 Sinclinal de Mongua



Fuente. Autor

8 MORFOMETRIA DE LA CUENCA

8.1 AREA Y PERIMETRO DE LA MICROCUENCA

El área de la microcuenca hidrográfica se define como la proyección horizontal delimitada por la línea de divorcio o parteaguas, siendo esta línea de divisoria la que define el límite de la cuenca uniendo los puntos topográficos de mayor elevación, la longitud de la línea de divorcio representa el perímetro de la cuenca.

La microcuenca del río Gámeza tiene un área correspondiente 178,252 km² (17825,2961 Ha) y un perímetro de 71,50 km.

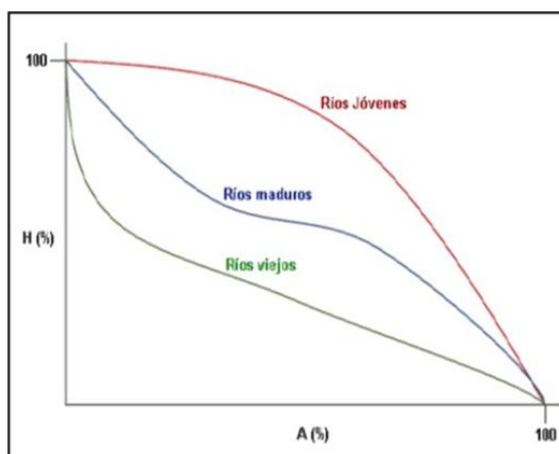
8.2 RELIEVE DE LA MICROCUENCA

Dentro de los aspectos a considerar en el relieve de la microcuenca del río Gámeza se tiene la curva hipsométrica, la elevación media de la cuenca y la pendiente media.

8.2.1 Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica es la representación del relieve de la microcuenca hidrográfica, donde se identifica la variación del terreno de la cuenca con referencia al nivel medio del mar. Esta variación se presenta por medio de un gráfico que representa el porcentaje de áreas de drenaje que existen por encima o por debajo de un nivel específico, las ordenadas de dicha gráfica corresponde a la elevación o cota, mientras que las abscisas representan el porcentaje de área acumulada de la microcuenca hidrográfica. En la Figura 7, se muestran curvas hipsométricas para diferentes tipos de cuenca.

Figura 7 Curva hipsométrica



Fuente: (Ibáñez Ascensio, 2004)

A partir del análisis de la curva hipsométrica se obtiene la relación hipsométrica (R_h), la cual corresponde a la relación entre el área sobre la curva y el área bajo la curva. Tanto el comportamiento de la curva hipsométrica, como el valor de la relación hipsométrica permiten clasificar la cuenca hidrográfica en función de su capacidad de transportar materiales y edad de la cuenca. En la Tabla 4 se muestra la relación hipsométrica según la edad de la cuenca.

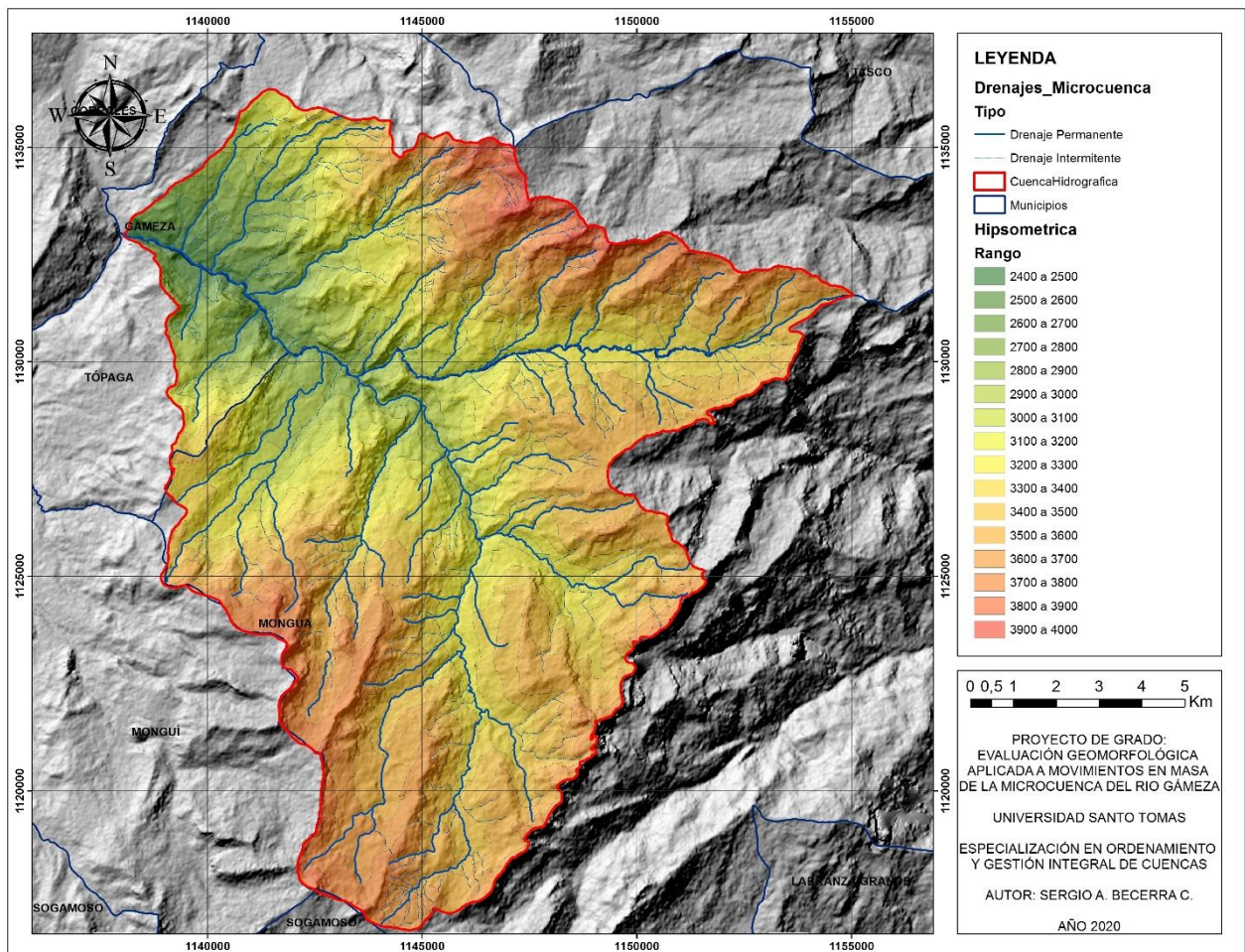
Tabla 4 Descripción de la relación hipsométrica

Relación hipsométrica (Rh)	Edad	Tipo de cuenca
$Rh > 1.0$	Viejo	Se considera como una cuenca de valle que deposita sedimentos.
$Rh = 1.0$	Maduro	Se considera como una cuenca intermedia y cuya función es transportar sedimentos.
$Rh < 1.0$	Joven	Este tipo de cuencas se consideran como cuencas de montaña altamente erosivas.

Fuente: (Ibáñez Ascensio, 2004)

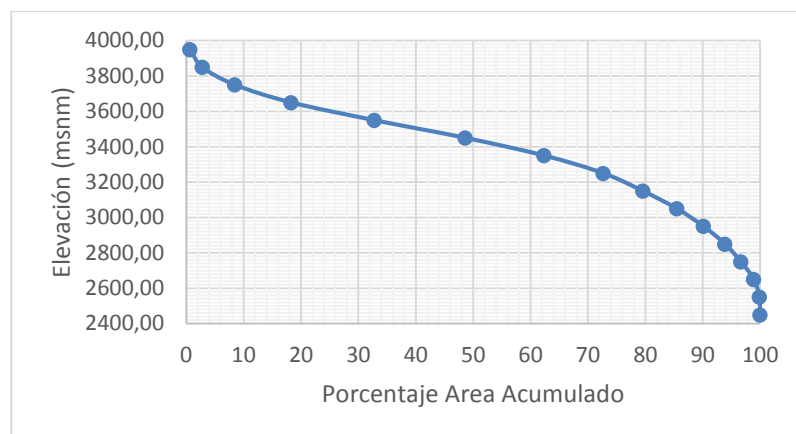
En términos generales se puede concluir con respecto a la curva hipsométrica y la relación hipsométrica, que la microcuenca del río Gámeza tiene características de un río maduro, el cual transporta sedimentos. La Figura 8 muestra la clasificación altimétrica con la cual se realiza el análisis hipsométrica.

Figura 8 Rango de alturas de la cuenca



Fuente. Autor

Figura 9 Curva Hipsométrica de la microcuenca del Río Gámeza



Fuente. Autor

8.2.2 Elevación Media

La elevación media corresponde al 50% de las áreas de una curva hipsométrica que indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca en km^2 que existe por encima de una cota determinada.

Para determinar la elevación media se hallan áreas entre intervalos de elevación de curvas de nivel y se realiza los cálculos de área acumulada, buscando el valor que corresponda al 50% a través de interpolación de los valores obtenidos entre áreas y porcentajes.

Para la microcuenca del río Gámeza se tiene una elevación media de 3441 msnm.

8.2.3 Pendiente Media

Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por lo tanto, el tiempo que lleva el agua lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje. La pendiente media de la cuenca se obtiene mediante procesamiento SIG a partir del MDE, con el cual se elabora el mapa de pendientes y una vez definido dicho mapa se aplican herramientas de estadísticas zonales para determinar la pendiente media de la cuenca. De esta manera se obtuvo que la pendiente media de la cuenca es de 29,36 %.

8.3 FORMA DE LA CUENCA

8.3.1 Longitud axial y ancho máximo de la cuenca

La longitud axial de la cuenca se mide mediante una línea en forma aproximadamente paralela al cauce principal, desde la desembocadura hasta el punto más alto en los límites de la cuenca.

El ancho máximo de la cuenca se define como la línea que corta la cuenca en sentido transversal desde los puntos más extremos cortando en sentido perpendicular el cauce principal.

Finalmente se tiene que la cuenca alta del río Chicamocha tiene una longitud axial de 16,695 km y un ancho de 12,832 km.

8.3.2 Factor de forma de Horton (Kf)

El factor de forma corresponde a una relación entre el área de la cuenca y un cuadrado de la longitud máxima de la misma. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.

Principalmente, los factores geológicos son los encargados de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas. Un valor de Kf superior a la unidad proporciona el grado de achatamiento de ella o de un río principal corto y por consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. La Tabla 5 muestra la clasificación de forma de cuenca en función del factor de forma de Horton.

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Fuente. Erosional development of streams and their drainage basins, Horton 1945

El factor de forma de Horton (KF), donde A corresponde al area y L corresponde a la longitud.

$$Kf = \frac{178,252 \text{ Km}^2}{(16,695 \text{ Km})^2}$$

$$Kf = 0,64$$

Tabla 5 Factor de forma

Valores Aproximados	Forma de la cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 - 0.30	Alargada
0.30 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.45	Ni alargada , ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.20	Muy ensanchada
>1.200	Rodeando el Desagüe

Fuente. Horton, 1945

Cuando una cuenca presenta un factor de forma con valor bajo no tiende a presentar crecientes. También se puede decir que cuencas con valores de $F < 1$ se consideran cuencas con una baja susceptibilidad a presentar avenidas torrenciales, mientras los valores de $F > 1$ corresponden a cuencas achatadas con tendencia a la ocurrencia de avenidas torrenciales.

8.3.3 Coeficiente de compacidad (Kc)

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área igual a la de la cuenca, este fue propuesto por Gravelius.

Si asociáramos el Coeficiente de Compacidad de cada cuenca con el Tiempo de Concentración, tendríamos que en el caso de la Cuenca con mayor Coeficiente de Compacidad tendríamos el mayor Tiempo de Concentración y de allí, es de esperarse que la magnitud de la escorrentía generada por una precipitación en ella sea menor que en aquella que posee el menor Coeficiente de Compacidad.

La Tabla 6 muestra la forma de la cuenca en función del coeficiente de compacidad (Kc).

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Fuente. Flusskunde, Gravelius 1914

Dónde: Kc = índice de compacidad

P = Perímetro de la cuenca en km

A = Área de la cuenca en km²

$$Kc = 0.28 \frac{71,50 \text{ Km}}{\sqrt{178,252 \text{ Km}^2}}$$

$$Kc = 1,49$$

Tabla 6 Coeficiente de compacidad

Rango Kc	Forma de la cuenca
1 < Kc < 1.25	Oval Redonda
1.25 < Kc < 1.50	Oval Oblonga
1.50 < Kc < 1.75	Oblonga Alargada

Fuente. Gravelius, 1914

Este parámetro define una susceptibilidad mediana a la torrencialidad. Si los valores de este parámetro se aproximan a 1 se presentaría un grado alto de susceptibilidad a las crecidas, mientras que si el valor es mayor a 1.5 la susceptibilidad a crecidas es baja.

8.3.4 Índice de alargamiento (Ia)

El coeficiente o índice de alargamiento fue propuesto por Horton, relaciona la longitud máxima encontrada en la cuenca, medida en el sentido del río principal y el ancho máximo de ella medido perpendicularmente; se lo calcula de acuerdo a la siguiente fórmula .

$$i_a = \frac{L_m}{I}$$

Fuente. Erosional development of streams and their drainage basins, Horton 1945

Dónde: I_a = Índice de alargamiento

L_m: Longitud máxima de la cuenca

I: Ancho máximo de la cuenca.

Para la microcuenca tenemos:

$$i_a = \frac{16,695 \text{ Km}}{12,832 \text{ Km}}$$

$$i_a = 1,30$$

La Tabla 7 muestra la clasificación del índice de alargamiento.

Tabla 7 Índice de alargamiento

I_a	Clasificación
0.0 – 1.4	Poco Alargada
1.5 – 2.8	Moderadamente Alargada
2.9 – 4.2	Muy Alargada

Fuente. Horton, 1945

8.3.5 Índice de asimetría

El índice de asimetría evalúa la homogeneidad en la distribución de la red de drenaje de la cuenca del río, este índice es una relación entre el área de la vertiente máxima (A_{max}) con la vertiente mínima (A_{min}).

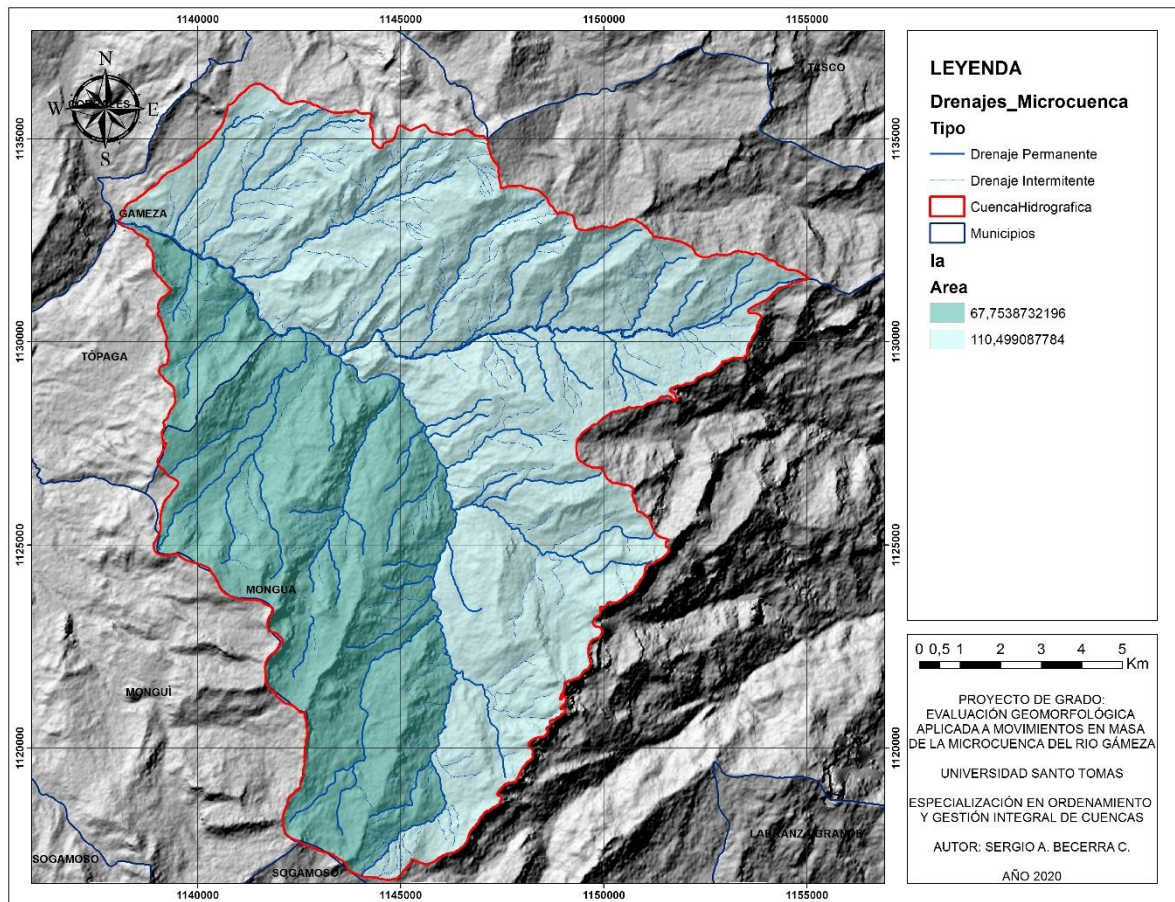
$$Ia = \frac{A_{max}}{A_{min}}$$

$$Ia = \frac{110.49}{67.75}$$

$$Ia = 1,63$$

Este resultado nos indica que existen mayores aportes de agua al río principal, de la vertiente derecha que tiene un área mayor como se muestra en la Figura 10.

Figura 10 Índice de asimetría



Fuente. Autor

8.4 LONGITUD Y PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL

8.4.1 Longitud del cauce principal

La longitud del cauce principal corresponde a la distancia medida desde el punto de desembocadura hasta el punto de nacimiento localizado en la parte alta de la cuenca, esta característica generalmente se expresa en kilómetros (km) y es de gran importancia en la definición de otras como la pendiente y el tiempo de concentración. Para la microcuenca del río Gámeza se tiene una longitud de cauce de 25,431 Km.

8.4.2 Pendiente media del cauce principal

La pendiente del cauce principal es un parámetro importante al momento de definir la velocidad de escurrimiento del agua por los drenajes de la cuenca, para su estimación se elabora un perfil del cauce principal basado en las curvas de nivel de la cartografía base. La pendiente media del cauce principal es del 15,28 %.

8.5 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Es considerado como el tiempo de viaje de una gota de agua de lluvia que escurre superficialmente desde el lugar más lejano de la cuenca hasta el punto de salida. Para su cálculo se emplea la fórmula de Kirpich (1940).

T_c: Tiempo de concentración (minutos)

L: Longitud cauce principal de la cuenca (m)

S: Diferencia entre las dos elevaciones extremas de la cuenca H(m), dividida en la longitud del cauce principal de la cuenca L (m) (m/m)

$$T_c: \frac{0,01947 \times L^{0,77}}{S^{0,385}}$$
$$S: \frac{4011 - 2441}{25431}$$
$$S: 0,0617$$
$$T_c: \frac{0,01947 \times 25431^{0,77}}{0,0617^{0,385}}$$
$$T_c: 140,32 \text{ minutos}$$

T_c: 2 Horas, 19 Minutos

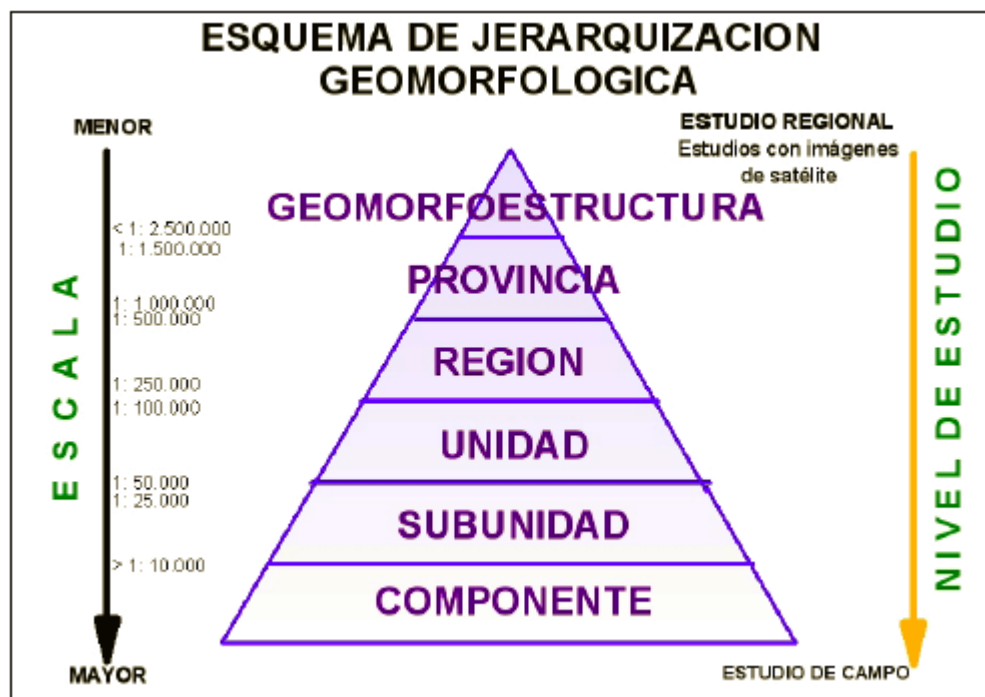
Fuente. Time of concentration of small agricultural watersheds.
Civil Engineering, vol. 6. Z. P. Kirpich, 1940

9 GEOMORFOLOGIA

La geomorfología se puede definir como la ciencia que estudia el origen, clasificación, procesos y evolución de las formas del terreno, relacionándolas con la influencia de factores hidrometeorológicos como; el agua, el viento, el brillo solar etc. Es de gran importancia ya que si estudiamos, el modelado del paisaje podemos reconstruir la historia pasada, presente y futura del relieve en un área dada, definiendo zonas homogéneas gracias a imágenes de satélite y así delimitar zonas vulnerables a movimientos en masa, todo esto con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Para proyecto, se utilizó la propuesta metodológica para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa, a escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano. En la Figura 11 se muestra el esquema de jerarquización geomorfológica a través del cual se realiza el proceso de interpretación.

Figura 11 Esquema de jerarquización geomorfológica



Fuente. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

Según la metodología utilizada y la escala de trabajo se definirán desde unidades a subunidades geomorfológicas.

Las subunidades están definidas fundamentalmente por contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de los mismos. Igualmente, está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación.

La notación cartográfica propuesta, corresponde a una abreviatura de hasta 5 caracteres; el primero en mayúscula. El primero y el segundo se utilizan para identificar el ambiente morfogenético principal (Denudacional: D, Estructural: S, Fluvial: F, Glacial: G, Antropogénico: A); letras adicionales para especificar tanto el relieve como, el nombre de la geoforma típica de cada ambiente morfogenético, ver Verstappen y Van Zuidam (1992).

9.1 ATRIBUTOS DEL MAPA GEOMORFOLOGICO

La valoración del relieve a través de atributos cuantificables, permite caracterizar un ambiente geomorfológico, agruparlo en sus similitudes y posteriormente calificarlo, en cuanto a la susceptibilidad o predisposición a generar movimientos en masa. Adicionalmente disminuye la subjetividad en las conclusiones derivadas de dichos atributos y permiten hacer una valoración espacial y numérica.

A continuación, se describen los parámetros principales, evaluados en la estandarización de los elementos componentes del terreno (Carvajal 2008 – Padilla y otros 2001).

- Morfología: está relacionado con los aspectos de la geometría e incluye fundamentalmente los gradientes topográficos y las formas relativas.
- Morfometría: Trata de aspectos cuantitativos, en términos de medidas de longitud, área, forma y pendiente. También se incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales. Los componentes del terreno para su descripción son:
- Relieve relativo: Hace referencia a la diferencia de altitud de la geoforma entre la parte más alta y más baja de ésta, independiente de la altura absoluta o el nivel del mar. Es un atributo que indica la energía potencial de un sistema de drenaje y los materiales constitutivos de la geoforma como se muestra en la Tabla 8

Tabla 8. Rangos de relieve relativo.

	DESCRIPCION DEL RELIEVE	RESISTENCIA RELATIVA DEL MATERIAL
< 50m	Muy bajo.	Materiales muy blandos y erosionables.
50 – 250 m	Bajo.	Blando erosionable.
250 – 500 m	Moderado.	Moderadamente blando y erosión alta.
500 – 1000 m	Alto.	Resistente y erosión moderada.
1000 – 2500 m	Muy alto.	Muy resistente y erosión baja.
> 2500 m	Extremadamente alto.	Extremadamente resistente y erosión muy baja.

Fuente. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

- Inclinación de la ladera: Es el ángulo que forma una ladera o terreno respecto a un plano horizontal. La inclinación de la ladera está relacionada con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a la formación de movimientos en masa. La Tabla 9 muestra los rangos de inclinación de laderas utilizadas para el análisis geomorfológico.

Tabla 9. Rangos de inclinación de la ladera.

INCLINACION (Grados)	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS DEL MATERIAL Y COMPORTAMIENTO
< 5	Plana a suavemente inclinada.	Muy blanda y muy baja susceptibilidad a movimientos en masa (MM).
6 – 10	Inclinada.	Blanda y baja MM.
11 – 15	Muy Inclinada.	Moderadamente Blanda y Moderada susceptibilidad a MM.
16 – 20	Abrupta.	Moderadamente Resistente y Moderada susceptibilidad a MM.
21 – 30	Muy abrupta.	Resistente y Alta susceptibilidad a MM.
31 - 45	Escarpada.	Muy Resistente y Alta susceptibilidad a MM.
> 45	Muy Escarpada.	Extremadamente Resistente, baja susceptibilidad a MM.

Fuente. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

- Longitud de la ladera: es un indicador de la homogeneidad del material constitutivo de las geoformas, puede determinar una mayor superficie para el desarrollo de los procesos morfodinámicos. La Tabla 10 muestra los rangos de clasificación para determinar la longitud de ladera.

Tabla 10. Rangos de longitud de la ladera.

LONGITUD (metros)	DESCRIPCION
< 50m	Muy corta.
50 – 250 m	Corta.
250 – 500 m	Moderadamente larga.
500 – 1000 m	Larga.
1000 – 2500 m	Muy larga.
> 2500 m	Extremadamente larga.

Fuente. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

- Forma de la ladera: Refleja la homogeneidad en la resistencia de los materiales y la presencia o control de estructuras geológicas. También condiciona los tipos de movimientos en masa que pueden desarrollarse en una ladera. Es común relacionar movimientos rotacionales a pendientes cóncavas o convexas, movimientos planares a pendientes rectas controladas estructuralmente y movimientos complejos a pendientes irregulares. La Tabla 11 establece los rangos de forma de ladera.

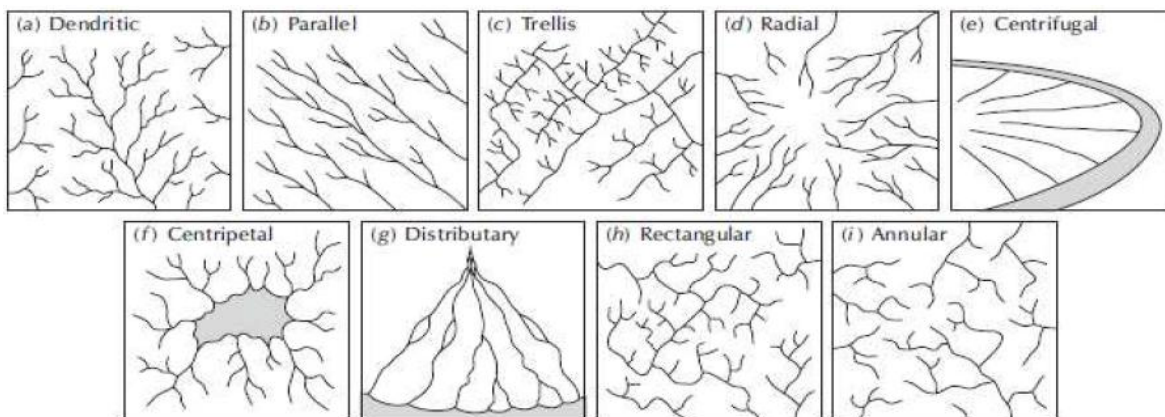
Tabla 11. Rangos de forma de la ladera.

CLASE	CARACTERÍSTICAS MATERIAL	MOVIMIENTOS EN MASA ASOCIADOS
RECTA	Alta resistencia y disposición estructural a favor de la pendiente.	Movimiento Traslacional.
CONCAVA	Material blando y disposición estructural no diferenciado.	Deslizamiento Rotacional.
CONVEXA	Materiales blandos y disposición estructural casi horizontal.	Predomina Meteorización y Erosión. Pequeños Deslizamientos Rotacionales.
IRREGULAR O ESCALONADA	Materiales con resistencia variada. Disposición estructural en contra de la pendiente.	Caída de Bloques. Erosión Diferencial.
COMPLEJA	Mezcla de materiales. Disposición estructural no definida.	Deslizamientos Complejos

Fuente. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

- Patrón de drenaje: Es la distribución de todos los canales de drenajes superficiales en un área que esté ocupada o no por aguas permanentes. El patrón de drenaje, está controlado por la inclinación del terreno, tipo y estructura geológica de la roca subyacente, densidad de vegetación y las condiciones climáticas. (Ver Figura 12).

Figura 12. Rangos de forma de la ladera.



Fuente. Huggett, 2007

- Forma de crestas y valles: Las divergencias entre las formas características que presenta el relieve, se consideran como un parámetro de agrupamiento, establecido en la apariencia superficial de la geoforma. Crestas agudas de cimas bien definidas con laderas de pendientes abruptas, contrastan con cimas anchas de laderas de pendiente inclinada; conjuntamente la presencia de valles con una forma definida y crestas alineadas que describen una orientación típica, sugieren un tipo de control estructural o de competencia

de los materiales que recubren la geoforma. Este parámetro adquiere relevancia en las observaciones realizadas en campo, para la caracterización de unidades geomorfológicas a escalas detalladas y escalas medias. La Tabla 12 establece las características de forma de crestas y valles.

Tabla 12. Rangos de forma de la ladera.

FORMA DE CRESTA	FORMA DE VALLE
Aguda	Artesa
Redondeada	Forma de V
Convexa amplia	Forma de U
Convexa plana	
Plana	
Plana disectada	

Fuente. Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la Zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.

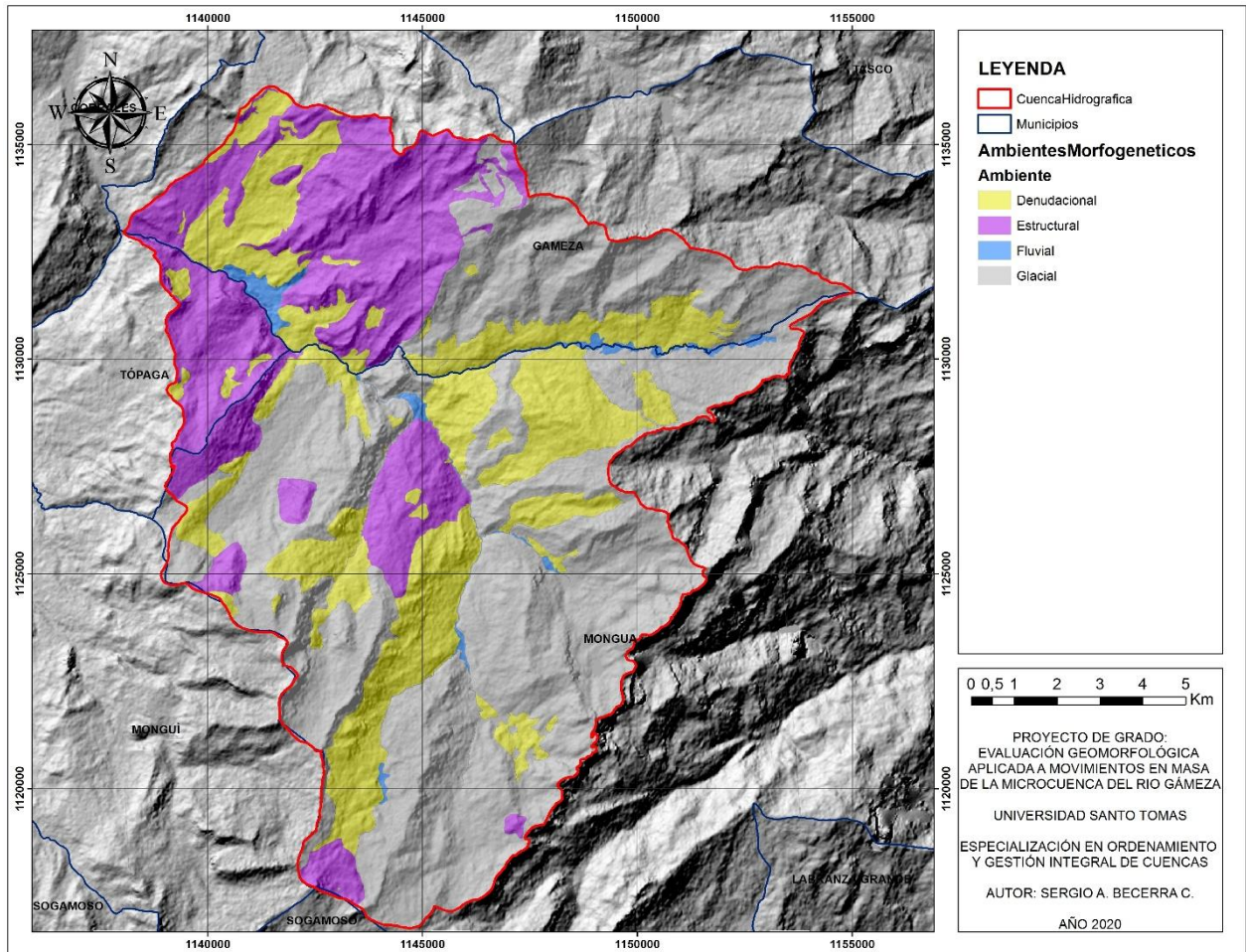
- **Morfogénesis:** Implica la definición del origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno.
- **Morfoestructura y Litología:** indica el modelaje del relieve, según composición, disposición y dinámica interna de la tierra. La morfoestructura incide en el modelaje del paisaje según: Condición pasiva que analiza las formas resultantes de los procesos o deformaciones tectónicas (activas o inactivas) expresadas en el relieve de la superficie terrestre, con dimensiones y configuraciones variables; y la condición activa que corresponde a los procesos morfogenéticos endógenos asociados tanto a la deformación y al fracturamiento tectónica como al vulcanismo que determina geoformas de configuraciones y dimensiones variables.

9.2 MORFOGENESIS

Implica la definición del origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno.

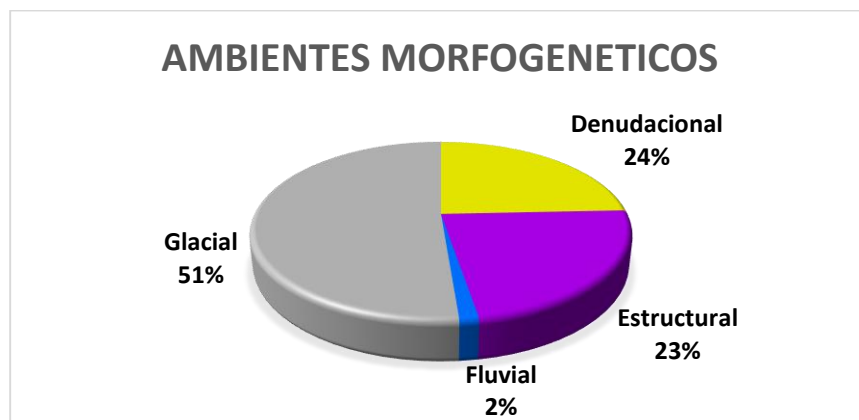
Aquí se delimitan las unidades el terreno por ambiente, determinando el agente exógeno que ha afectado al terreno, así definimos y clasificamos los ambientes en denudacional, estructural, fluvial y Glaciar. En la Figura 13 se muestra el mapa de ambientes morfogenéticos de la microcuenca del Río Gámeza y la Figura 14 muestra la distribución porcentual.

Figura 13 Ambientes Morfogénéticos



Fuente. Autor

Figura 14 Distribución porcentual de ambientes



Fuente. Autor

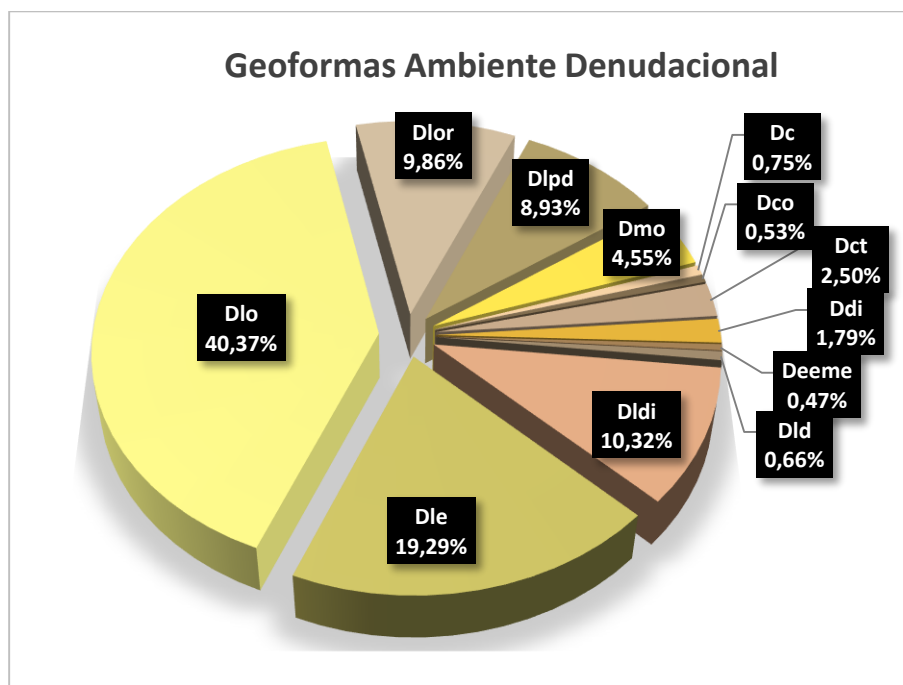
9.2.1 Ambiente Denudacional

Se incluyen las geoformas cuya expresión morfológica no depende del plegamiento de la corteza, ni tampoco por el vulcanismo, sino exclusivamente a procesos exógenos degradacionales, está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de lluvia-escorrentía, meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial, que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas morfoestructurales preexistentes, donde se generan nuevas subunidades por acumulación de sedimentos.¹

El ambiente denudacional es dominado por las lluvias, que son frecuentes en la zona de estudio, generando cambios en el las formas del terreno, el 24% del área total corresponde a este ambiente, que en las partes bajas de las geoformas de ambiente estructural. La unidad denudacional que más se presenta en el área corresponde a ladera ondulada (Dlo), sobre esta geoforma se encuentra el casco urbano del municipio de Gámeza.

En la zona se identifican, 12 unidades de este ambiente, distribuidas por toda el área de la microcuenca como muestra la distribución porcentual en la Figura 15 y el mapa de subunidades de ambiente denudacional en la Figura 16.

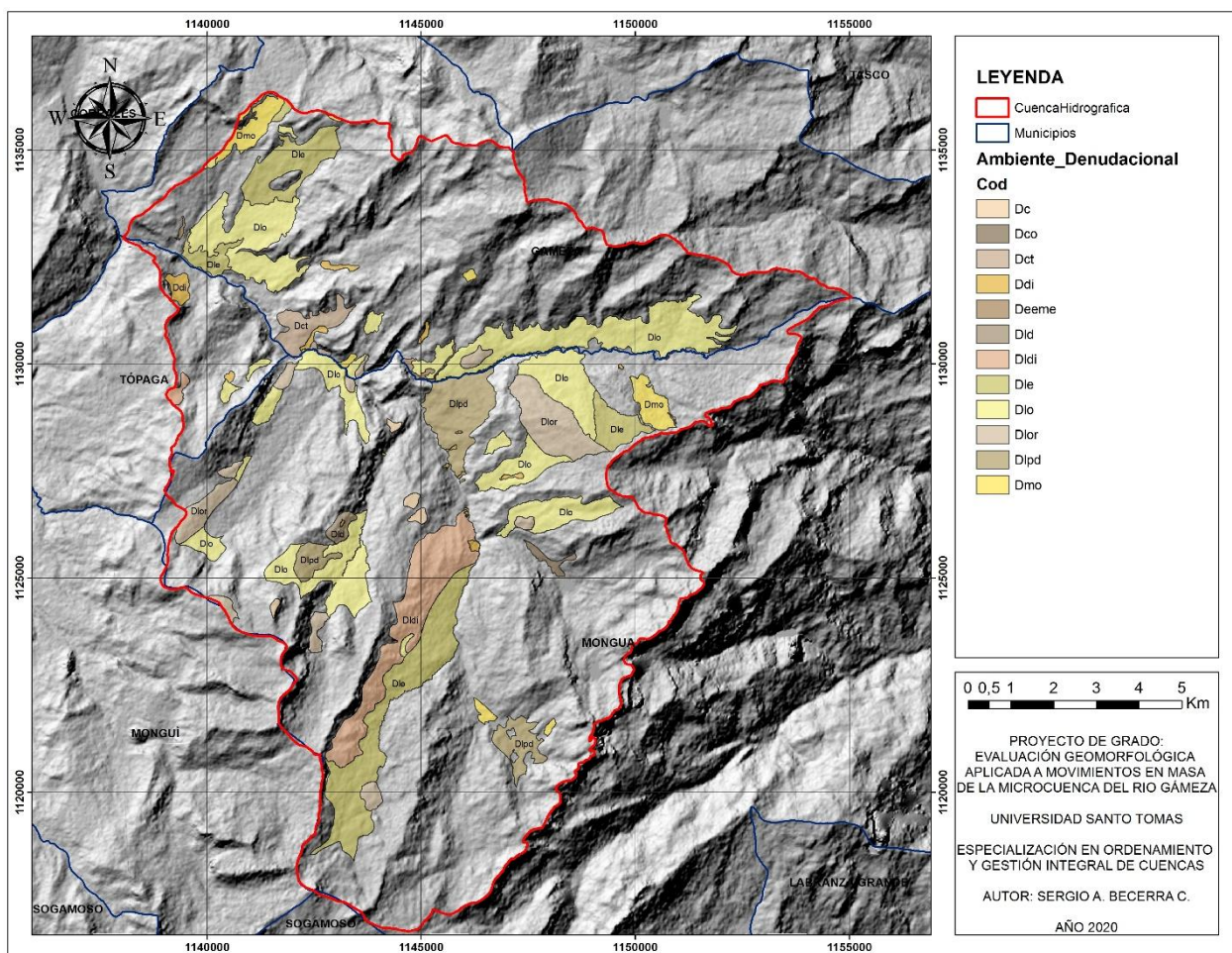
Figura 15 Distribución porcentual de del ambiente denudacional



Fuente. Autor

¹ MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESC 1:100.000. PLANCHA 265 – ICONONZO. / SGC 2014

Figura 16 Mapa de subunidades de ambiente denudacional



Fuente. Autor

9.2.1.1 Cima (Dc)

Subunidad localizada sobre rocas cretáceas de las formaciones Chipaque (Ksc) y Arenisca tierna (Ksgt), en la vereda Duce y Centro del municipio de Mongua.

Geomorfológicamente corresponde a una superficie amplia convexa a plana, dispuesta en franjas alargadas que bordean algunas divisorias de agua. Presentan pendientes planas a inclinadas de 500 metros de largo por 350 metros de ancho, limitadas por laderas cuya inclinación puede ser moderada a escarpada. Su origen se establece a partir de procesos meteorización, erosión intensa y actividad antrópica.

9.2.1.2 Cono o lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)

Subunidad localizada sobre rocas cretáceas de la formación Chipaque, en la vereda Tunjuelo del municipio de Mongua.

Geomorfológicamente corresponde a una estructura en forma de cono o lóbulo con morfología

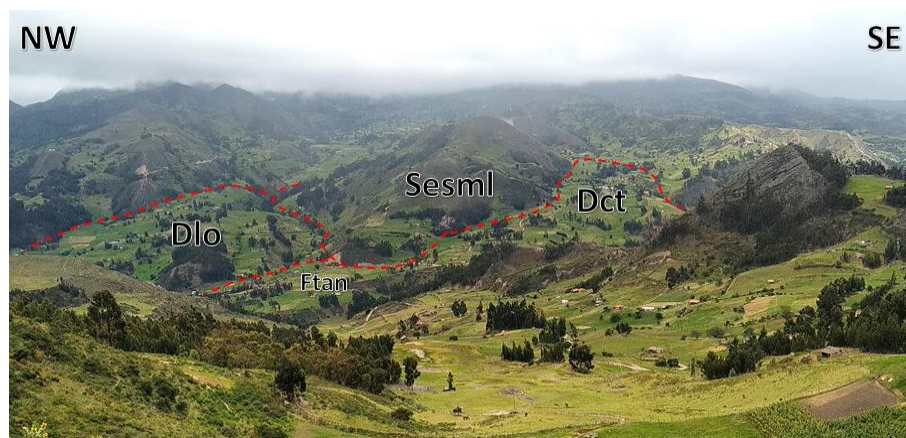
alomada baja. Su origen es relacionado a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz generalmente arcillosa a areno limo arcillosa.

9.2.1.3 Cono de talus (Dct)

Subunidad localizada sobre depósitos de edad cuaternaria, que corresponden a Coluviones (Qc), en la vereda Satoba del municipio de Gámeza.

Geomorfológicamente corresponde a una estructura en forma de cono o lóbulo localizada a la base de los escarpes. Presenta un ápice angosto y en los cambios de la pendiente extremos redondeados, laderas de longitudes cortas a medias, convexas a cóncavas hacia la parte distal. Su origen es relacionado a procesos de acumulación mecánica de bloques y fragmentos angulares heterométricos que se desprendieron de las partes altas. Incluye los conos generados por actividad tectónica. La Fotografía 7 muestra esta geoforma en el municipio de Gameza.

Fotografía 7 Cono de talus (Dlo), Espolón (Sesml)



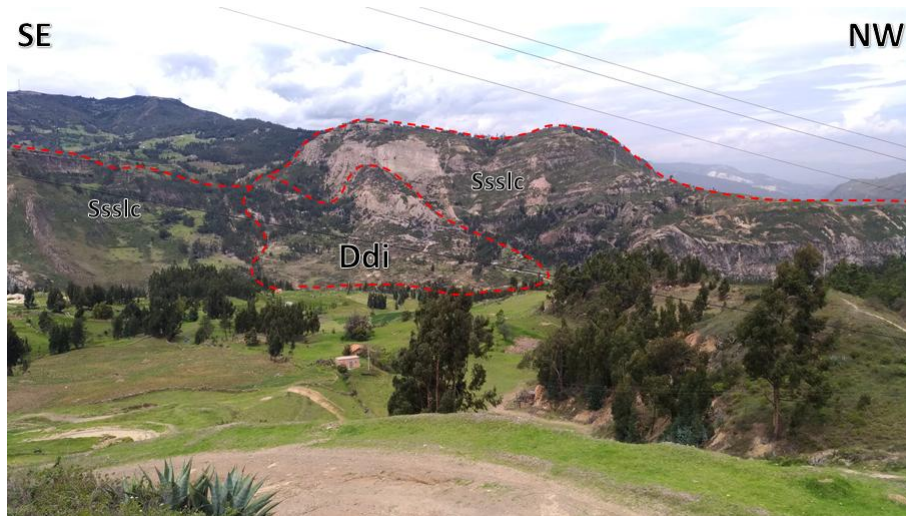
Fuente. Autor

9.2.1.4 Cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi)

Subunidad localizada sobre cada una de las unidades estratigráficas desde el cretáceo hasta el cuaternario en el área de la cuenca, dentro de los municipios de Mongua, Gámeza y Tópaga.

Geomorfológicamente corresponde a una estructura en forma de cono o lóbulo de morfología baja, cóncava a convexa, con una pendiente escalonada, nichos semicirculares, bloques inclinados, relieve irregular, formación de grietas y cambios súbitos de la pendiente. Su origen se relaciona con procesos de movimientos en masa de tierra o roca, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o en zonas con alta deformación cortante. En la Fotografía 8 se muestra esta geoforma localizada en el municipio de Tópaga.

Fotografía 8 Cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi)



Fuente. Autor

9.2.1.5 Escarpe de erosión menor (Deeme)

Subunidad localizada sobre rocas cretáceas de las formaciones Chipaque (Ksc) y Plaeners (Ksgp), además de rocas terciarias de la formación Arcillas de Socha (Pgas), en las veredas San Antonio y Zasa de Gámeza.

Geomorfológicamente corresponde a una ladera abrupta o a desplome de longitud corta a larga, de forma cóncavo convexa y eventualmente recta, con pendiente escarpada a muy escarpada, originado por socavación fluvial lateral o por procesos de erosión y movimientos en masa remontantes a lo largo de un drenaje.

9.2.1.6 Loma denudada (Dld)

Subunidad localizada sobre rocas cretáceas de las formaciones Plaeners (Ksgp) y Los Pinos (Ksgpi), en la vereda Mongui del municipio de Mongua.

Geomorfológicamente corresponde a una prominencia topográfica con una altura menor de 200 metros sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada, laderas cortas a muy cortas, convexas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas. Su origen es relacionado a procesos intensos de meteorización y erosión diferencial. Se caracteriza por presentar movimientos en masa y procesos erosivos intensos. En la Fotografía 9 se muestra una loma denudada en el municipio de Mongua.

Fotografía 9 Loma denudada



Fuente. Autor

9.2.1.7 Lomeríos disectados (Dldi)

Subunidad localizada sobre rocas cretáceas de la formación Chipaque (Ksc) y Guaduas (KPgg), en la vereda san Judas Tadeo del municipio de Tópaga y en la vereda Duce del municipio de Mongua.

Geomorfológicamente corresponde a prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas redondeadas y amplias, de laderas cortas a moderadamente largas de forma rectas, cóncavas y convexas, con pendientes muy inclinadas a muy abruptas, con índice de relieve bajo. Estas geoformas son originadas por procesos de denudación intensos y cuyas laderas se caracterizan por la moderada disección, generando valles en U con fondo redondeado a plano. Se presentan movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional con superficie de falla poco profundos.

9.2.1.8 Ladera erosiva (Dle)

Subunidad localizada sobre rocas cretáceas de la formación Chipaque (Ksc) y Guaduas (KPgg), en las veredas, Villa Girón y Guanto del municipio de Gámeza, y en las veredas Tunjuelo y Duce del municipio de Mongua.

Geomorfológicamente corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos como cárcavas, surcos y solifluxión, sobre materiales de suelo o roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura.

9.2.1.9 Ladera ondulada (Dlo)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas hasta depósitos cuaternarios, en los municipios de Tópaga, Gámeza y Mongua.

Geomorfológicamente corresponde a una superficie en declive de morfología alomada o colinada, pendiente inclinada a escarpada, la longitud varía entre corta y muy larga. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparelo. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos coluviales. La Fotografía 10 muestra una ladera ondulada sobre la cual se localiza el casco urbano de Gámeza.

Fotografía 10 Ladera ondulada



Fuente. Autor

9.2.1.10 Loma residual (Dlor)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Chipaque (Ksc) y Guaduas (KPgg) y terciarias de las formaciones Areniscas de Socha (Pgars) y Arcillas de Socha (Pgas), en la vereda Centro, Tunjuelo y Duce de Mongua.

Geomorfológicamente corresponde a prominencias topográficas con una altura menor de 200 metros sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada de laderas cortas a muy cortas, convexa y pendientes muy inclinadas a muy abruptas, constituida por suelos residuales, cubiertos por niveles de material coluvial. Su origen es relacionado a procesos intensos de meteorización y erosión diferencial.

9.2.1.11 Lomeríos poco disectados (Dlpd)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones: Chipaque (Ksc) y Los Pinos (Ksgpi), en las veredas Tunjuelo y Mongui del municipio de Mongua.

Prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas planas amplias y eventualmente redondeadas, de laderas muy cortas a cortas, de forma rectas, y eventualmente

cóncavas y convexas, con pendientes inclinadas a muy abruptas, e índice de relieve muy bajo a bajo. En estos lomeríos los procesos de incisión son muy leves y generalmente estas unidades se encuentran en áreas centrales de altiplanos o alejados de los frentes erosivos. Son frecuentes procesos erosivos y reptación y eventualmente movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional.

9.2.1.12 Montículos y ondulaciones denudacionales (Dmo)

Subunidad localizada sobre rocas cretáceas de las formaciones Guaduas (KPgg) y Chipaque (Ksc), además de rocas terciarias de la formación Arcillas de Socha (Pgas), en la vereda Tunjuelo del municipio de Mongua y en la vereda San Antonio del municipio de Gámeza.

Elevación del terreno con una altura menor de 50 metros sobre su nivel de base local, con una morfología colinada, cóncava o convexa, suavemente inclinada y con drenaje divergente. Su origen es relacionado a procesos de meteorización y erosión intensa sobre rocas blandas o friables y en sedimentos no consolidados, dispuestos de manera horizontal a ligeramente inclinados.

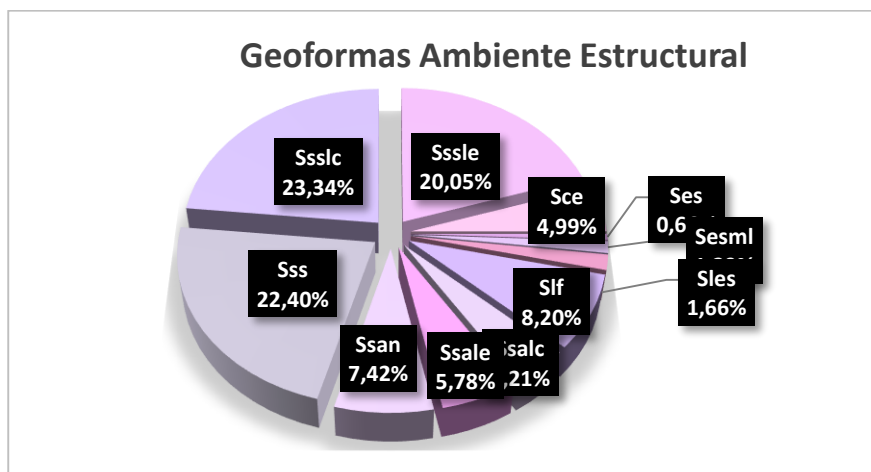
9.2.2 Ambiente Estructural

En el ambiente estructural, encontramos las geoformas generadas y relacionadas con la dinámica interna del planeta, las cuales se generan por plegamientos y fallamientos de las rocas, estas están definidas por la litología y disposición estructural de las rocas que afloran en superficie. En el área de estudio, encontramos este ambiente sobre rocas cretáceas como, la formación Plaeners, Pinos o Labor y Tierna además de rocas terciarias de las formaciones Picacho y Areniscas de Socha.

Este tipo de ambiente depende del grado de plegamiento de las rocas sedimentarias que favorecen geoformas como sierras, laderas estructurales y en contrapendiente.

Las geoformas de origen estructural del área de estudio fueron generadas por los procesos tectónicos como la orogenia Andina, en la cual se dio el levantamiento y plegamiento de la cordillera oriental, en su proceso generaron grandes estructuras anticlinales y sinclinales, así como grandes fallas geológicas.

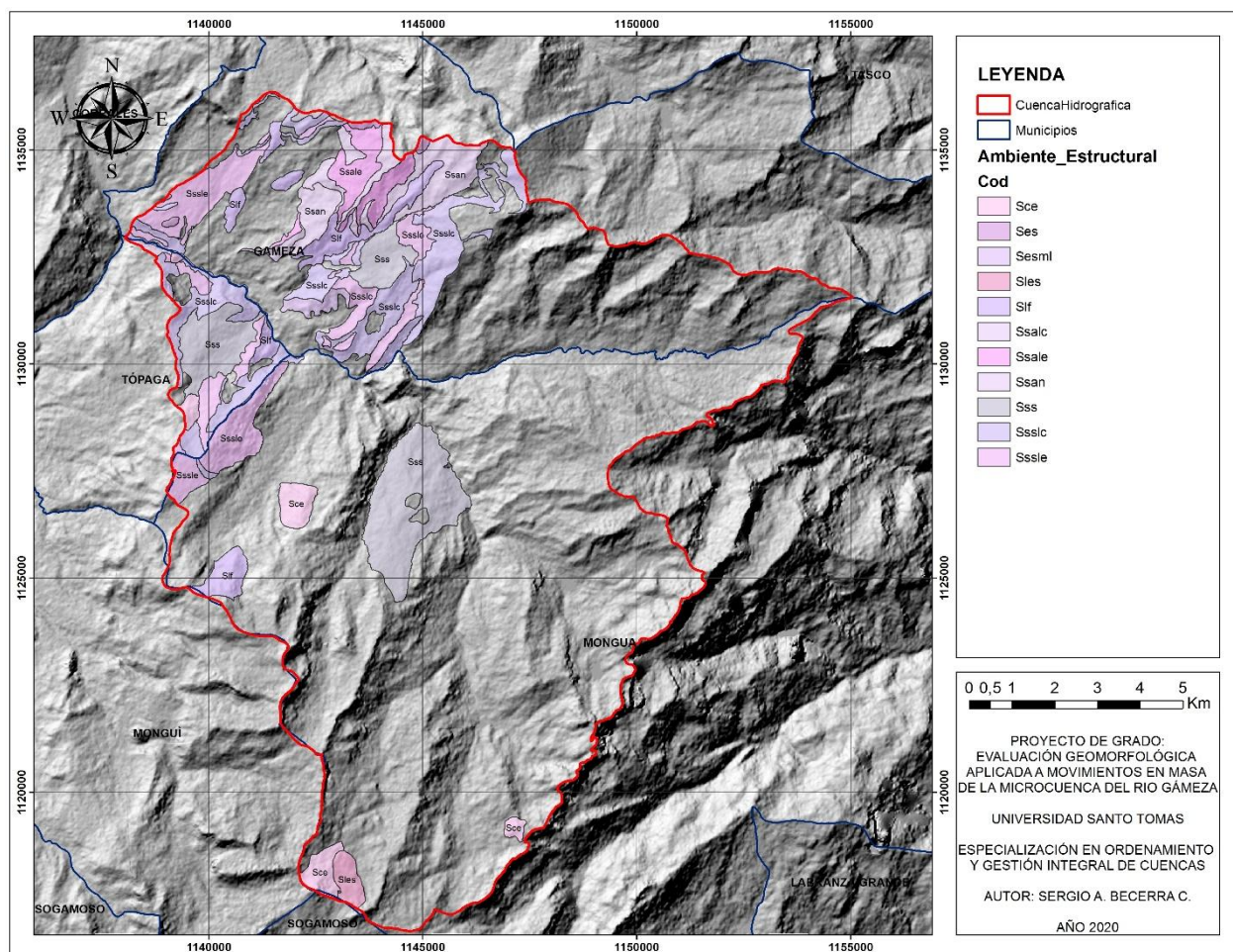
Figura 17 Distribución porcentual ambiente estructural



Fuente. Autor

En la zona, se identificaron 11 unidades del ambiente estructural, localizadas entre la parte media y baja de la microcuenca del río Gámeza. La Figura 17 muestra la distribución porcentual y la Figura 18 el mapa de unidades de ambiente estructural.

Figura 18 Mapa de subunidades de ambiente estructural



Fuente. Autor

9.2.2.1 Cerro estructural (Sce)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones: Une (Kiu), Chipaque (Ksc) y Los Pinos (Ksgpi) en las veredas San Judas Tadeo y San José de Tópaga.

Prominencia topográfica aislada de morfología montañosa a colinada, con laderas de longitud corta a moderadamente larga, cóncavas a irregulares, poco disectadas. La unidad presenta pendientes muy abruptas a escarpadas, las cuales han sido parcialmente aisladas de las zonas montañosas por fallamiento. La Fotografía 11 muestra un cerro estructural localizado en el municipio de Tópaga.

Fotografía 11 Cerro estructural



Fuente. Autor

9.2.2.2 Espolón (Ses)

Subunidad localizada sobre rocas terciarias de las formaciones Arcillas de Socha (Pgas) y Arenisca de Socha (Pgars), en la vereda San Antonio del municipio de Gámeza.

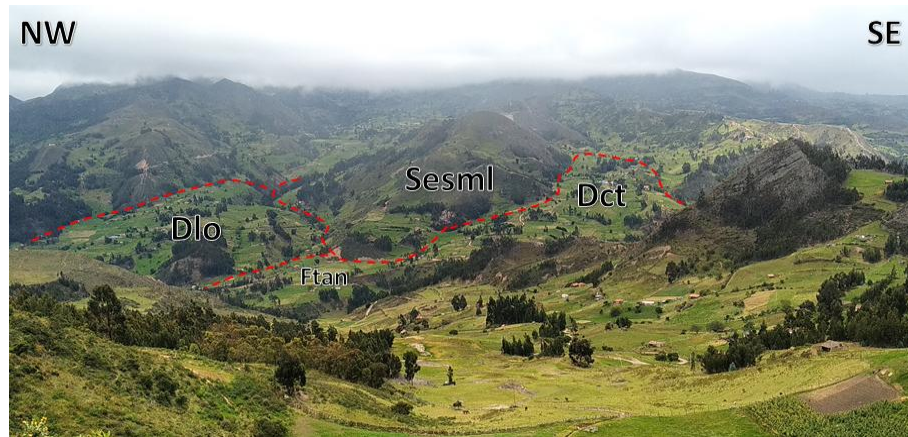
Saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, desarrollados sobre rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias y limitado por drenajes paralelos a subparalelos. Con laderas de longitudes variables, con pendientes que se ven reducidas de abruptas a inclinadas por intensos procesos denudativos.

9.2.2.3 Espolón moderado de longitud larga (Sesml)

Subunidad localizada sobre rocas de edad cretácica y terciaria de toda la serie presente en el área de la cuenca, en la vereda Santoba del municipio de Gámeza.

Saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, desarrollados sobre rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias y limitado por drenajes paralelos a subparalelos. Con laderas de longitudes variables, con pendientes que se ven reducidas de abruptas a inclinadas por intensos procesos denudativos. La particularidad de esta unidad radica en que el relieve relativo está entre 250 m y 1000 m y la longitud del eje principal del espolón es mayor que 1000 m. En la Fotografía 12 se muestra un espolón en el municipio Gámeza.

Fotografía 12 Espolón moderado de longitud larga



Fuente. Autor

9.2.2.4 Ladera escalonada (Sles)

Subunidad localiza sobre rocas cretácicas de la formación Plaeners (Ksgp), en la vereda Duce del municipio de Mongua.

Superficie definida por estratos dispuestos a favor o en contra de la pendiente del terreno con forma recta, irregular a escalonada, longitud larga a extremadamente larga y pendiente muy inclinada a escarpada. Estas superficies se presentan separadas por escarpes abruptos de menor longitud. Su origen es relacionado a la incisión de los drenajes o al fracturamiento perpendicular al buzamiento en niveles litológicos donde se concentran procesos de erosión diferencial.

9.2.2.5 Lomo de falla (Slf)

Subunidad localizada de manera dispersa en el área de la cuenca sobre rocas cretácicas y terciarias, en los municipios de Gámeza, Tópaga y Mongua.

Prominencia topográfica de morfología alomada, con laderas cortas a muy cortas, forma convexa y pendiente abrupta a escarpada, localizados a lo largo de una falla de rumbo y formados por el efecto combinado del desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla que determina la expulsión de un bloque de terreno. Se caracteriza por su alto fracturamiento y se encuentra relacionado a las fallas de Gámeza y Cadillal.

9.2.2.6 Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal (Ssalc)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Guaduas (KPgg) y los Pinos (Ksgpi) y rocas terciarias de las formaciones Areniscas de Socha (Pgas) y Arcillas de Socha (Pgars) en las veredas Guanto, Motuba y Villa Girón del municipio de Gámeza.

Superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma convexa a irregular escalonada, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, desarrollada en la ladera estructural de una estructura anticlinal debido a la acción de procesos de erosión, meteorización o tectonismo que cortan y moldean la estructura

original. La Fotografía 13 muestra una ladera de contrapendiente localizada en el sector de Puente Reyes.

Fotografía 13 Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal



Fuente. Autor

9.2.2.7 Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Guaduas (KPgg) y los Pinos (Ksgpi) y rocas terciarias de las formaciones Areniscas de Socha (Pgas) y Arcillas de Socha (Pgars) en las veredas Guanto y Motuba del municipio de Gámeza.

Superficie con estratos inclinados a favor de la pendiente, de longitud corta, formas convexa a recta y pendiente inclinada a muy abrupta, relacionada al flanco de una estructura anticlinal. Localmente los estratos se presentan con inclinaciones menores de la pendiente natural del terreno. La Fotografía 14 muestra una ladera estructural localizada en el municipio de Gámeza.

Fotografía 14 Ladera estructural de sierra anticlinal



Fuente. Autor

9.2.2.8 *Sierra anticlinal (Ssan)*

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Arenisca Tierna (Ksgt), Los Pinos (Ksgpi), Plaeners (Ksgp) y Chipaque (Ksc), en las veredas Motuba y San Antonio del municipio de Gámeza.

Prominencia topográfica elongada de morfología colinada a alomada de cimas o crestas agudas o redondeadas, limitada por laderas estructurales inclinadas a muy abruptas, rectas o convexas y de longitudes largas. El eje de la estructura es formado por el arqueamiento de los estratos o capas que se inclinan de manera divergente.

9.2.2.9 *Sierra sinclinal (Sss)*

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de la formación Guaduas (KPgg) y rocas terciarias de la formación Areniscas de Socha (Pgas), en la vereda Satoba del municipio de Gámeza y en la vereda Atraviesa del municipio de Tópaga.

Prominencia topográfica de morfología colinada, amplia en forma de artesa elevada formada en el eje de un sinclinal, limitada por laderas de contrapendiente. La disposición actual obedece a procesos denudativos diferenciales que han desmantelado los flancos de la estructura invirtiendo el relieve original. La Fotografía 15 muestra una sierra sinclinal en la vereda Duce del municipio de Mongua.

Fotografía 15 Sierra sinclinal



Fuente. Autor

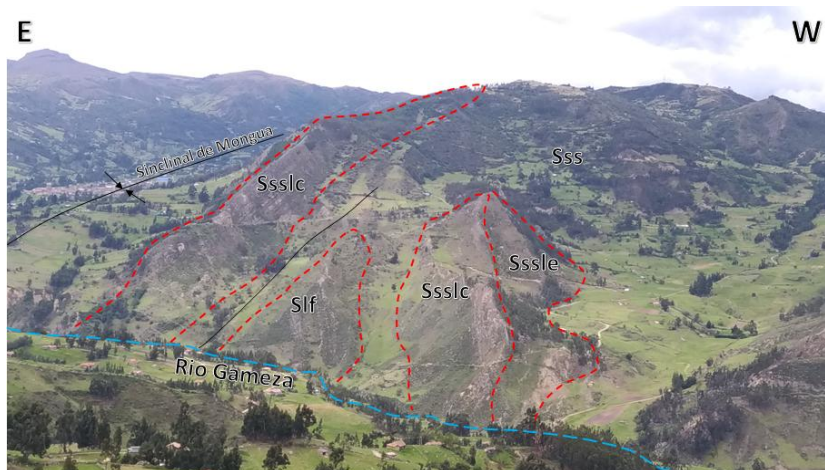
9.2.2.10 *Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc)*

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas y terciarias de manera dispersa en el área de la cuenca, en la vereda Satoba del municipio de Gámeza y vereda San José del municipio de Tópaga.

Superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma convexa a irregular escalonada, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la

pendiente del terreno, relacionada al flanco de una estructura sinclinal. La Fotografía 16 muestra laderas de contrapendiente relacionadas con el sinclinal de Mongua.

Fotografía 16 Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal



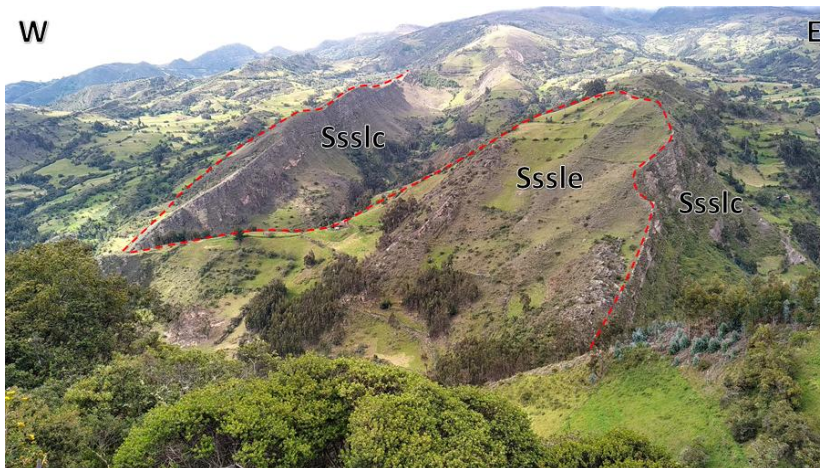
Fuente. Autor

9.2.2.11 Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas y terciarias de manera dispersa en el área de la cuenca, en la vereda Satoba del municipio de Gámeza, vereda San José del municipio de Tópaga y vereda Centro del municipio de Mongua.

Superficie definida por estratos inclinados a favor de la pendiente del terreno, de longitud corta a moderadamente larga, forma cóncava y pendientes inclinadas a abruptas, relacionada al flanco de una estructura sinclinal. La Fotografía 17 muestra una ladera estructural localizada en la vereda Satoba del municipio de Gameza.

Fotografía 17 Ladera estructural de sierra sinclinal



Fuente. Autor

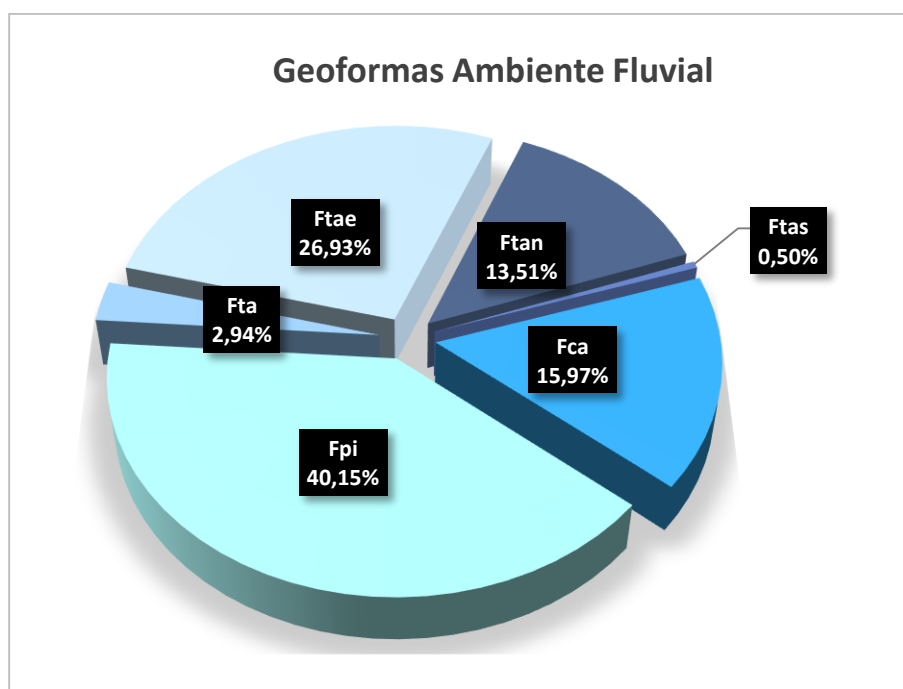
9.2.3 Ambiente Fluvial

Dentro de este ambiente se encuentran las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre.

Localmente este tipo de geoformas se relacionan con los ríos: Gámeza, Sasa, Leonera, quebrada el Duce y Balcones.

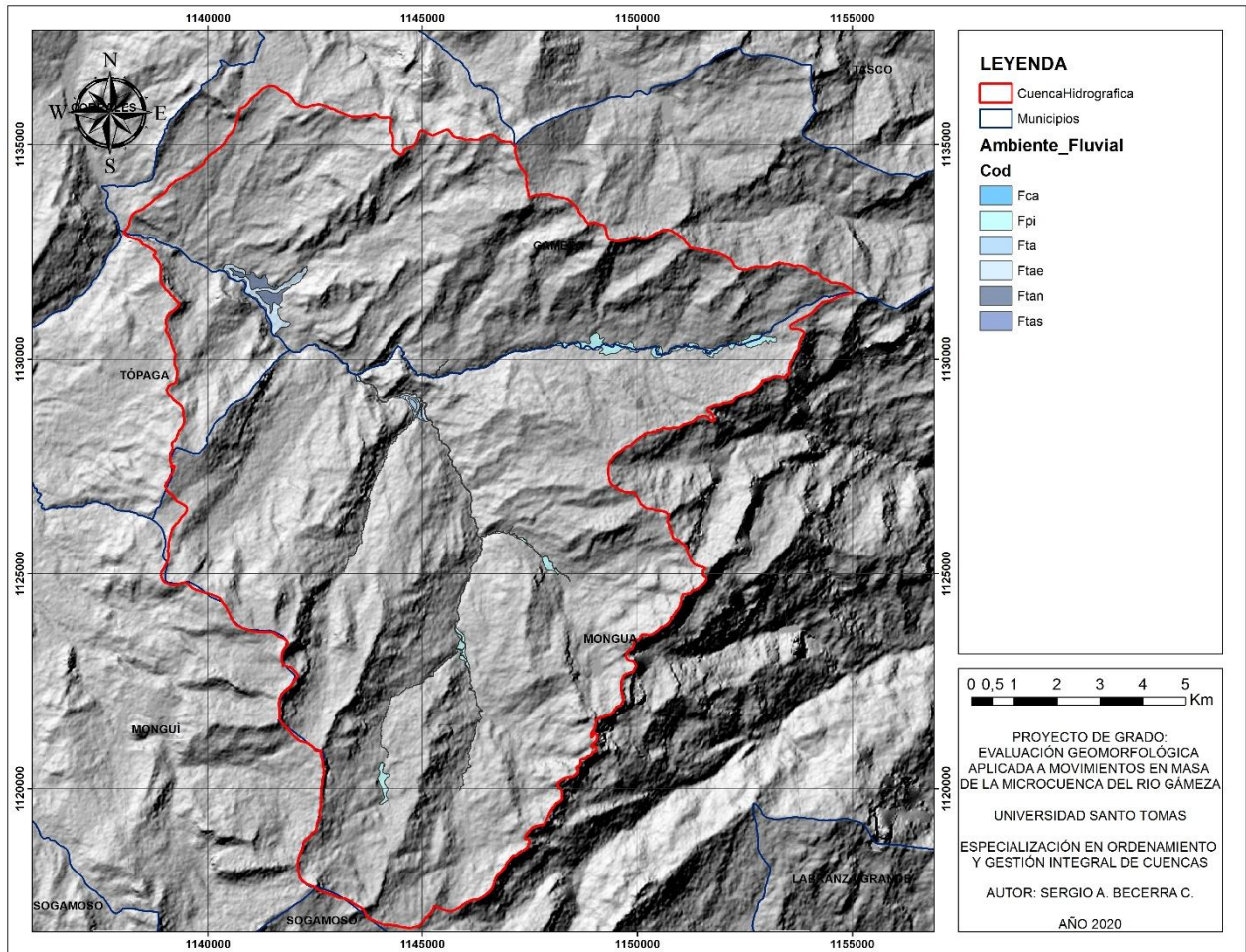
En la zona se identificaron 6 unidades correspondientes a este ambiente dentro de las cuales predominan las planicies de inundación (Fpi) y el cauce aluvial (Fca) como se muestra en la Figura 19 y Figura 20 el mapa de subunidades de ambiente Fluvial

Figura 19 Distribución porcentual del ambiente fluvial



Fuente. Autor

Figura 20 Mapa de subunidades de ambiente Fluvial



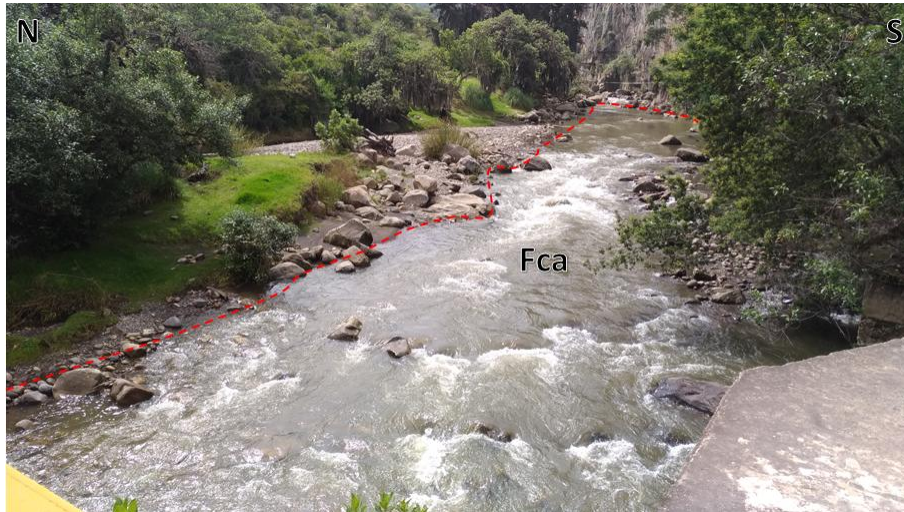
Fuente. Autor

9.2.3.1 Cauce aluvial (Fca)

Subunidad relacionada con los cauces de ríos y quebradas: Gámeza, Sasa, Leonera, quebrada el Duce y Balcones.

Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Los cauces rectos se restringen a valles estrechos en forma de V, generalmente relacionados al control estructural de fallas o diaclasas. En la Fotografía 18 se muestra el cauce del río Gámeza en la parte baja de la Microcuenca.

Fotografía 18 Cauce aluvial



Fuente. Autor

9.2.3.2 Planicie o llanura de inundación (Fpi)

Subunidad localizada alrededor de los cauces principales en las veredas Duce y Tunjuelo del municipio de Mongua y vereda Zasa del municipio de Gámeza.

Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de “U” o “V”, al igual que a los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos. En regiones montañosas, donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal, en red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad, se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas.

9.2.3.3 Terraza de acumulación (Fta)

Subunidad localizada sobre depósitos de tipo aluvial en las veredas Monguiy Duce dl municipio de Mongua.

Superficie elongada, plana a suavemente ondulada, modelada sobre sedimentos aluviales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un río. Su origen está relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial, dentro de antiguas llanuras de inundación. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Estas terrazas pueden ser parte de cauces rectos a meándricos. Su depósito está constituido por gravas arenas, limos y arcillas, con disminución del tamaño a medida que se aleja del cauce del río

9.2.3.4 Escarpe de terraza de acumulación (Ftae)

Subunidad localizada sobre depósitos de tipo aluvial en las veredas Monguiy Duce dl municipio de Mongua.

Plano vertical a subvertical, escalonado, excavado en sedimentos aluviales que bordean las terrazas

de acumulación. Su origen es relacionado a la incisión y profundización del cauce. La altura de los escarpes puede alcanzar decenas de metros

9.2.3.5 *Terraza de acumulación antigua (Ftan)*

Subunidad localizada sobre depósitos Coluviales en la vereda Satoba del municipio Gámeza.

Superficie alomada en forma de abanico de extensión kilométrica, laderas moderadamente largas, cóncavas a convexas. Se caracterizan por presentar pendientes de 5° a 10° en las partes altas, limitadas por escarpes de disección en forma de “V” que localmente pueden alcanzar inclinaciones de 20°. De manera general, se presentan colgadas, inclinadas y discordantes sobre unidades antiguas. Su origen es relacionado a la disección y tectonismo de abanicos y planicies aluviales antiguas. Su depósito está constituido por gravas, arenas y arcillas

9.2.3.6 *Terraza de acumulación subreciente (Ftas)*

Subunidad localizada sobre depósitos aluviales en la vereda Traviesa del municipio de Tópaga.

Superficie plana a suavemente inclinada, remanente de terrazas subrecientes de morfología ondulada, disectadas, localmente basculadas, con inclinaciones entre 3° a 5°, aunque algunos sectores pueden alcanzar los 10° donde se presenta limitada por escarpes de 5 a 20 m. Su origen es relacionado a la ampliación del valle de un río, al ganar importancia la erosión en sus márgenes. La superficie de la anterior llanura aluvial queda adosada a las márgenes del valle en forma de escalón o resalte topográfico que define la terraza. Pueden estar cubiertas por suelos arcillosos fluviales. Su depósito está constituido por arenas, arcillas e intercalaciones locales de grava fina.

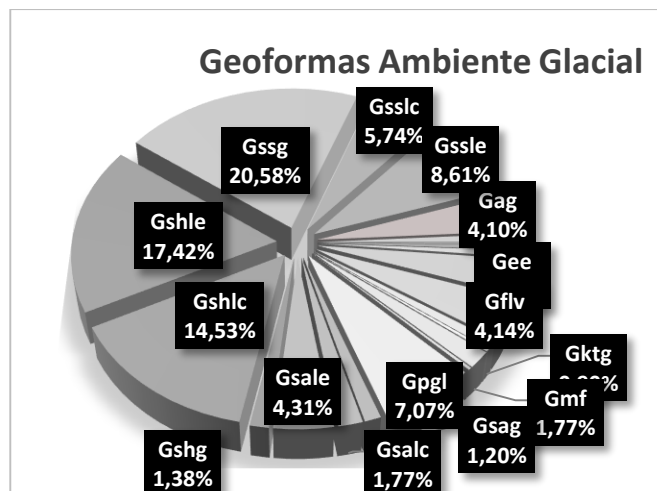
9.2.4 Ambiente Glacial

Este ambiente incluye las geoformas generadas por procesos relacionados con la erosión intensa, que ocasiona el movimiento de una masa de hielo. Este ambiente es común en la alta montaña, las cuales fueron cubiertas por glaciales hace miles años o en lugares que presentan masas glaciares en la actualidad. El movimiento de la masa glacial modela el sustrato rocoso, generando sedimentos por la abrasión con las rocas, que son transportados y depositados generando geoformas de este ambiente.

Dentro de la microcuenca se encuentra el páramo de Siscunsi – Oceta, dentro del cual se localizan geoformas de este ambiente. Los procesos que modelan el ambiente glacial son el resultado de la glaciación pleistocénica, que dio origen a las geoformas presentes en el páramo.

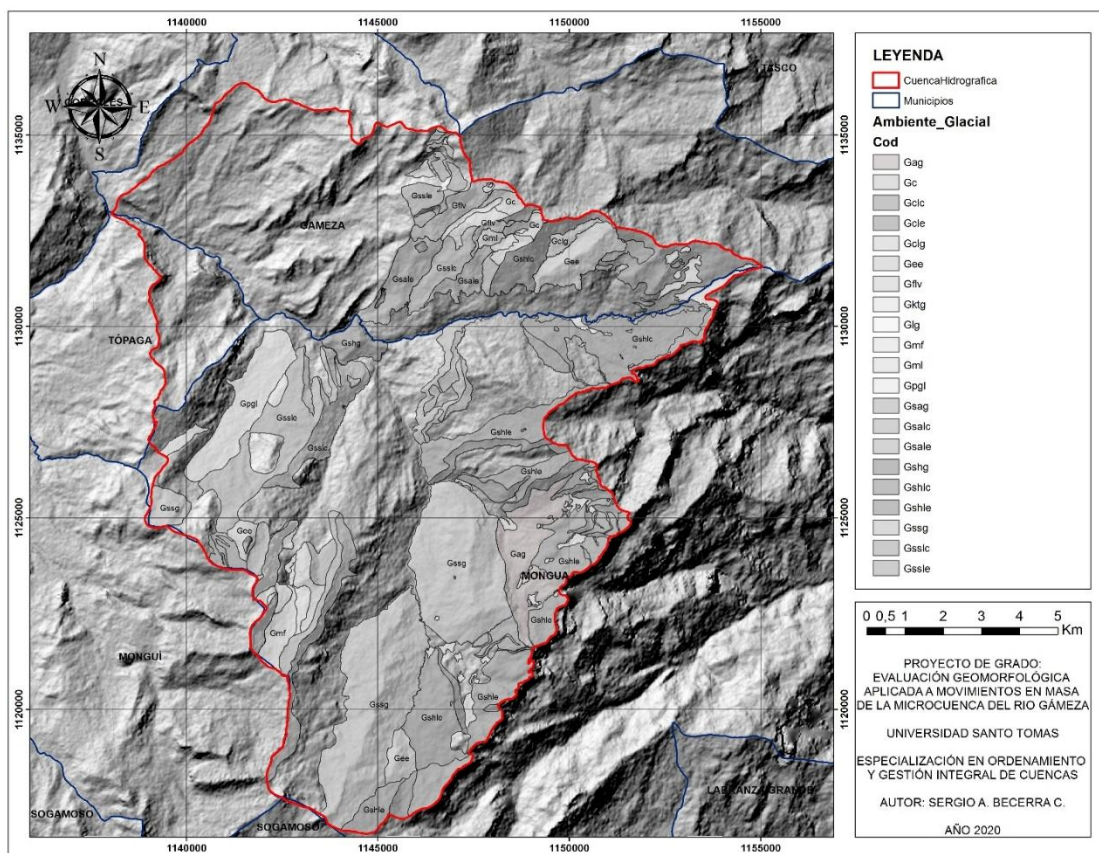
En la zona, se identificaron 21 unidades pertenecientes a este ambiente, principalmente en el páramo y partes con mayor elevación sobre el nivel del mar, se destacan las sierras sinclinales glaciadas además de laderas estructurales y en contrapendiente. En la Figura 21 se muestra la distribución porcentual de las subunidades de este ambiente y en la Figura 22 se muestra el mapa de subunidades de ambiente glacial.

Figura 21 Distribución porcentual del ambiente Glacial



Fuente. Autor

Figura 22 Mapa de subunidades de ambiente Glacial



Fuente. Autor

9.2.4.1 Artesa glacial (Gag)

Geoforma localizada sobre rocas cretácicas de la formación Une (Kiu), en la vereda Tunjuelo del municipio de Mongua.

Depresión continua e irregular limitada por laderas muy cortas a largas, con pendientes escarpadas y fondos planos. Por lo general su perfil tiene forma en U y su origen se asocia con una masa de hielo canalizada que excava o excavó profundos valles. Es una forma característica de la actividad erosiva de los glaciares.

9.2.4.2 Circo glacial (Gc)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de la formación Plaeners, en la vereda Zasa del municipio de Gámeza.

Paredes cóncavas semicirculares de longitudes cortas, escarpadas de concavidades o depresiones someras formadas por socavación debida a la acción erosiva de escarcha o nieve en zonas de influencia glacial y periglacial respectivamente. Mientras los primeros se forman o se formaron por retro excavación rotacional de la masa de hielo, los segundos se originan por procesos de congelamiento y deshielo de la masa rocosa que produce depresiones por despegue y extracción de partículas (plucking), acumuladas luego ladera abajo por procesos de gelifracción.

9.2.4.3 Ladera contrapendiente de cuesta estructural glaciada (Gclc)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de la formación Arenisca Tierna (Ksgt), en la vereda Centro del municipio de Mongua.

Ladera definida por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente producto del basculamiento suave de capas de rocas duras y blandas, de longitud moderada a muy larga, de formas cóncavas a irregulares escalonadas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas asociadas localmente a depresiones de nivación y circos glaciales

9.2.4.4 Ladera estructural de cuesta estructural glaciada (Gcle)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de la formación Arenisca Tierna (Ksgt), en la vereda Centro del municipio de Mongua.

Laderas definidas por la inclinación de los estratos en favor de la pendiente producto del basculamiento suave de capas de rocas duras y blandas, de longitud moderada a muy larga, de formas cóncavas a irregulares escalonadas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas

9.2.4.5 Cono o lóbulo de gelifracción (Gclg)

Subunidad localizada en las veredas Zasa y Motuba del municipio de Gámeza.

Conos y lóbulos alomados de longitudes moderadamente largas y formas cóncavas y convexas. Se constituyen de material particulado, soportado de bloques heterométricos, Su origen está asociado con procesos de gelifracción en terrenos altamente saturados y sometidos a congelamiento y deshielo periódico.

9.2.4.6 *Espolón estructural glaciado (Gee)*

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Chipaque (Ksc) y Arenisca Tierna (Ksgt) en la vereda Centro del municipio de Mongua y vereda Satoba del municipio de Gámeza.

Salientes simétricas agudas de morfología alomada y laderas cortas, de formas rectas y muy inclinadas a abruptas, formadas por planchas estructurales que limitan valles en forma de "U", cuyo origen obedece a procesos erosivos glaciales. Hacia la parte alta localmente se presentan aristas y circos glaciales.

9.2.4.7 *Flancos de valle glaciar (Gflv)*

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Chipaque (Ksc) y Plaeners (Ksgp) en la vereda Duce del municipio de Mongua y vereda Zasa del municipio de Gámeza.

Son laderas cóncavas de pendientes abruptas, longitudes cortas a moderadamente largas localmente con facetas truncadas. Se originaron por procesos laterales de exaración y por presiones ejercidas por las masas de hielo lateral sobre los flancos del valle inicial. Localmente los valles tributarios (valles colgantes) muestran el piso o fondo más alto que el valle principal que lo trunca en la confluencia

9.2.4.8 *Terraza de gelifracción (Gktg)*

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de la formación Chipaque (Ksc), en las veredas Monguiy Tunjuelo del municipio de Mongua.

Terraza o berma de morfología alomada irregular y suavemente inclinadas, formadas por acumulación en las depresiones formadas entre una lengua glacial y los costados del valle. Presentan laderas muy cortas, convexas y muy inclinadas, constituidas de gravas finas y bloques decimétricos subangulares en matriz arenosa. Se caracterizan por su aspecto tabular a lo largo del valle glacial.

9.2.4.9 *Laguna glaciar (Glg)*

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Une (Kiu) y Chipaque (Ksc) en las partes altas del páramo de Siscunsi – Ocetá en los municipios de Gámeza y Mongua.

Cuerpos de agua en zonas montañosas glaciadas, principalmente en la base o piso de los circos glaciales. Se incluyen igualmente los lagos formados en planicies glaciolacustres, la fracción sólida suele estar constituida por materiales finos arcillosos. Se incluyen los lagos formados en la parte trasera de morrenas terminales de recesión y localmente en planos glacio-lacustres. En la Fotografía 19 se muestra la laguna Negra en el municipio de Mongua.

Fotografía 19 Laguna glacial



Fuente. Autor

9.2.4.10 Morrena de fondo (Gmf)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Chipaque (Ksc) y Plaeners (Ksgp) en la vereda Duce del municipio de Mongua y vereda Zasa del municipio de Gámeza.

Montículos de forma alomada localizados en el fondo de los valles glaciales, constituidos en general de fragmentos de roca angulares dispuestos caóticamente en matriz arcillosa o arenosa muy compacta. Está asociada con la depositación de grandes masas de sedimento, producto de del transporte y acumulación por la masa de hielo y particularmente por la acción de corrientes fluviales producto de deshielos, ya sea durante la época de glaciación o una vez terminados los eventos estadiales.

9.2.4.11 Morrena lateral (Gml)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Chipaque (Ksc) en la vereda Zasa del municipio de Gámeza.

Crestas alomadas lineares y alongadas a lo largo de las márgenes de un valle glacial con laderas cóncavas y rectas muy cortas e inclinadas, constituidas de material glacial acumulado, tanto por lenguas glaciales como por conos glacio-fluviales. Se constituyen de fragmentos de rocas subangulares a subredondeados con lentes de grava y localmente con bloques de tamaños métricos. En la Fotografía 20 se muestra morrenas laterales (Gml) y una ladera de contrapendiente de sierra sinclinal glaciada (Gsslc).

Fotografía 20 Morrena lateral y Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal glaciada



Fuente. Autor

9.2.4.12 Plano glaciolacustre (Gpgl)

Subunidad localizada sobre depósitos cuaternarios dispersos en toda el área de la cuenca dentro del páramo de Siscunsi – Ocetá.

Son planos o laderas de suave pendiente formadas por depositación de sedimentos en lagos y zonas marginales a un glacial. Se constituyen de materiales finos (limos, arcillas) y localmente arenas y gravas traídas por aguas descongeladas. Se presentan como planos en zonas glaciadas y localmente en artesas elongadas asociadas con valles glaciales. Se encuentran relacionadas con lagunas y zonas pantanosas de origen glacial. En la Fotografía 21 se muestra un plano glacio lacustre (Gpgl) sobre el cual se localiza el casco urbano del municipio de Mongua.

Fotografía 21 Plano glaciolacustre



Fuente. Autor

9.2.4.13 Sierra anticlinal glaciada (Gsag)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Arenisca Tierna (Ksgt) y Plaeners (Ksgp), en las veredas Duce y Centro del municipio de Mongua.

Sierra elongada de morfología montañosa o colinada de cimas o crestas agudas o redondeadas, que siguen el eje anticlinal formado por el arqueamiento o combadura de los estratos o capas que se inclinan divergentemente a partir de su eje. Su origen se asocia al dismantelamiento por erosión glacial y periglacial de los estratos blandos de la cima dejando localmente depresiones de exaración, circos glaciales y de nivación manifiesta como concavidades poco desarrolladas.

9.2.4.14 Ladera en contrapendiente de sierra anticlinal glaciada (Gsalc)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de la formación Chipaque (Ksc), en la vereda Tunjuelo del municipio de Mongua y en la vereda Zasa del municipio de Gámeza.

Laderas de longitudes cortas a extremadamente largas, de forma convexa a cóncava hacia su base de pendientes abruptas a escarpadas, sus capas se encuentran dispuestas en sentido opuesto a la pendiente de las laderas. Su origen se asocia al dismantelamiento por erosión glacial y periglacial de los estratos blandos de la cima dejando localmente depresiones de exaración, circos glaciales y de nivación manifiesta como concavidades poco desarrolladas.

9.2.4.15 Ladera estructural de sierra anticlinal glaciada (Gsalc)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de la formación Chipaque (Ksc), en la vereda Tunjuelo del municipio de Mongua y en la vereda Zasa del municipio de Gámeza.

Laderas de longitudes cortas a extremadamente largas, de formas convexas a rectas y con pendientes abruptas a muy abruptas cuyas capas se encuentran dispuestas en el mismo sentido de la pendiente. Se constituyen de rocas competentes afectadas por procesos de gelifración y extracción (plucking). Son comunes las depresiones de exaración, localmente desarrolladas a circos de nivación y glaciales

9.2.4.16 Sierra homoclinal glaciada (Gshg)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de la formación Los Pinos (Ksgpi), Plaeners (Ksgp) y Chipaque (Ksc), en la vereda Tunjuelo del municipio de Mongua.

Sierra simétrica o ligeramente simétrica elongada de morfología montañosa de cimas agudas y formada por una secuencia estratos o capas apilados e inclinados en una misma dirección por efecto de replegamiento intenso y fallamiento afectadas posteriormente por procesos glaciales y periglaciales que dejaron laderas aborregadas con bloques, circos de nivación, glaciales y localmente valles en "U"

9.2.4.17 Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal glaciada (Gshlc)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Une (Kiu) y Chipaque (Ksc) en las veredas Tunjuelo y Duce del municipio de Mongua y en la vereda Zasa del municipio de Gámeza.

Laderas definidas por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente, de longitud moderada

a muy larga, de formas cóncavas a irregulares escalonadas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas asociadas localmente a depresiones de nivación y circos glaciales. Presentan crestas agudas (aristas glaciales), circos glaciales y localmente valles del mismo origen, transversales lo que le da una apariencia irregular en perfil. Es característica la morfología irregular en formas de “U” de las aristas glaciales.

9.2.4.18 Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Une (Kiu) y Chipaque (Ksc) en las veredas Tunjuelo y Duce del municipio de Mongua y en la vereda Zasa del municipio de Gámeza.

Laderas definidas por la inclinación de los estratos en el mismo sentido de la pendiente con rangos que varían desde abruptas a muy escarpadas, de longitud moderada a muy larga de morfologías cóncavas convexas y superficies aborregadas y pendientes que varían entre abruptas a muy escarpadas. Presentan crestas agudas (aristas glaciales), y delimitando valles glaciales en forma de "U".

9.2.4.19 Sierra sinclinal glaciada (Gssg)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de la formación Chipaque (Ksc) y Terciarias de la formación Picacho (Pgp), en las veredas Centro, Duce y Tunjuelo del municipio de Mongua.

Prominencia topográfica de morfología colinada, amplia en forma de artesa elevada formada en el eje de un sinclinal, limitada por laderas de contrapendiente. La disposición actual obedece a procesos denudativos diferenciales que han desmantelado los flancos de la estructura invirtiendo el relieve original.

9.2.4.20 Ladera en contrapendiente de sierra sinclinal glaciada (Gsslc)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Chipaque (Ksc), Plaeners (Ksgp) y Arenisca Tierna (Ksgt), en la vereda Duce del municipio de Mongui y en la vereda Zasa del municipio de Gámeza.

Superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma convexa a irregular escalonada, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada al flanco de una estructura sinclinal que ha sido afectada por procesos de glaciación. En la Fotografía 22 se muestra esta geoforma.

Fotografía 22 Ladera de contrapendiente y estructural de sierra sinclinal glaciada



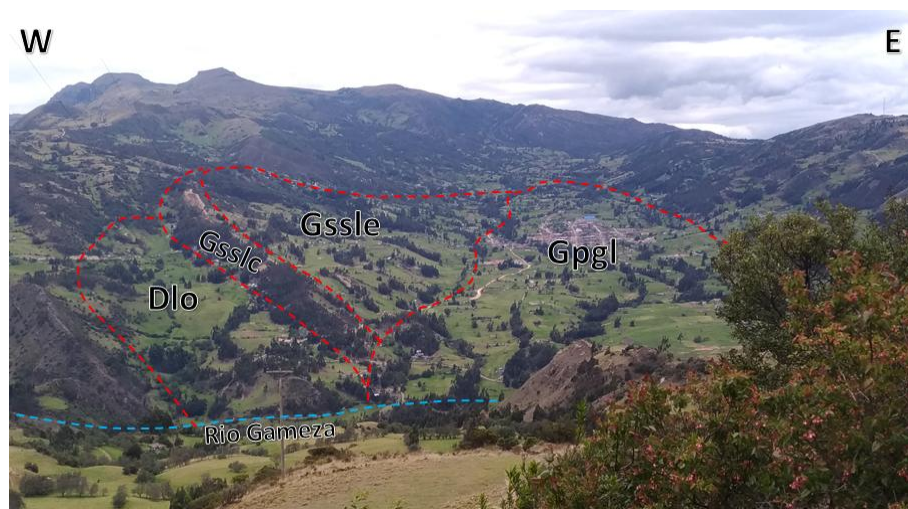
Fuente. Autor

9.2.4.21 Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada (Gssle)

Subunidad localizada sobre rocas cretácicas de las formaciones Chipaque (Ksc), Plaeners (Ksgp) y Arenisca Tierna (Ksgt), en la vereda Duce del municipio de Mongui y en las veredas Zasa y Satoba del municipio de Gámeza.

Superficie definida por estratos inclinados a favor de la pendiente del terreno, de longitud corta a moderadamente larga, forma cóncava y pendientes inclinadas a abruptas, relacionada al flanco de una estructura sinclinal que ha sido afectada por procesos de glaciación. En la Fotografía 23 se muestra esta subunidad geomorfológica a un lado del casco urbano del municipio de Mongua.

Fotografía 23 Ladera de estructural de sierra sinclinal glaciada



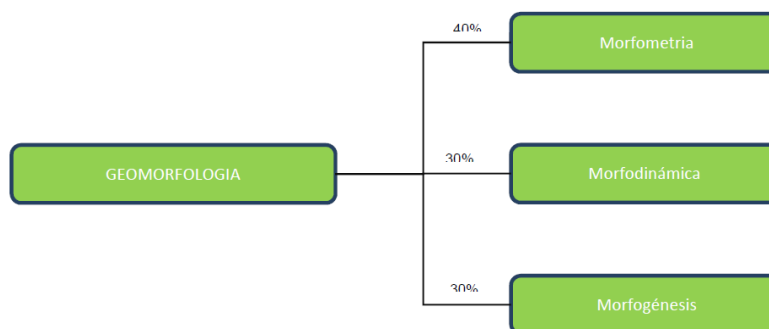
Fuente. Autor

9.3 SUSCEPTIBILIDAD GEOMORFOLOGICA

La susceptibilidad por el componente geomorfológico tiene gran importancia en la evaluación de susceptibilidad a movimientos en masa del terreno, puesto que aporta atributos geométricos y espaciales que determinan factores que influyen en la estabilidad del terreno.

La determinación de la susceptibilidad por geomorfología tiene en cuenta los atributos de: Morfometría, Morfodinámica y Morfogénesis, para los cuales se asigna un porcentaje de importancia como se muestra en la Figura 23.

Figura 23 Componentes de geomorfología para susceptibilidad

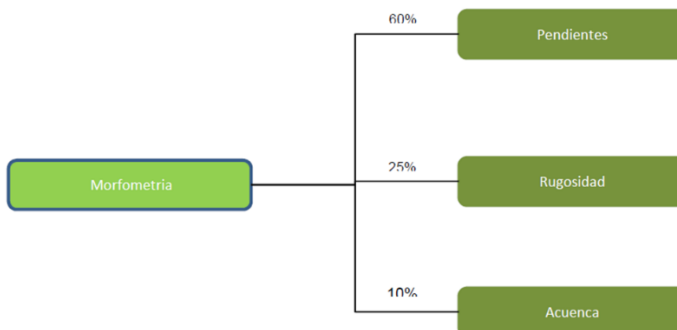


Fuente. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa

9.3.1 Susceptibilidad por morfometría

El atributo Morfométrico dentro de la geomorfología tiene un peso del 40 %, establecido en la metodología de zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano. Trata de aspectos cuantitativos en términos de pendientes, Rugosidad y Acuencia. También se incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales. Para las variables de Morfometría se empleó el modelo digital de elevaciones Alos Palsar de JAXA, el cual sirvió como insumo para la calificación de cada una de las unidades geomorfológicas, en la Figura 24 se muestran los atributos de la variable Morfometría con sus respectivos porcentajes.

Figura 24 Componentes del atributo de Morfometría



Fuente. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa

9.3.1.1 Pendientes

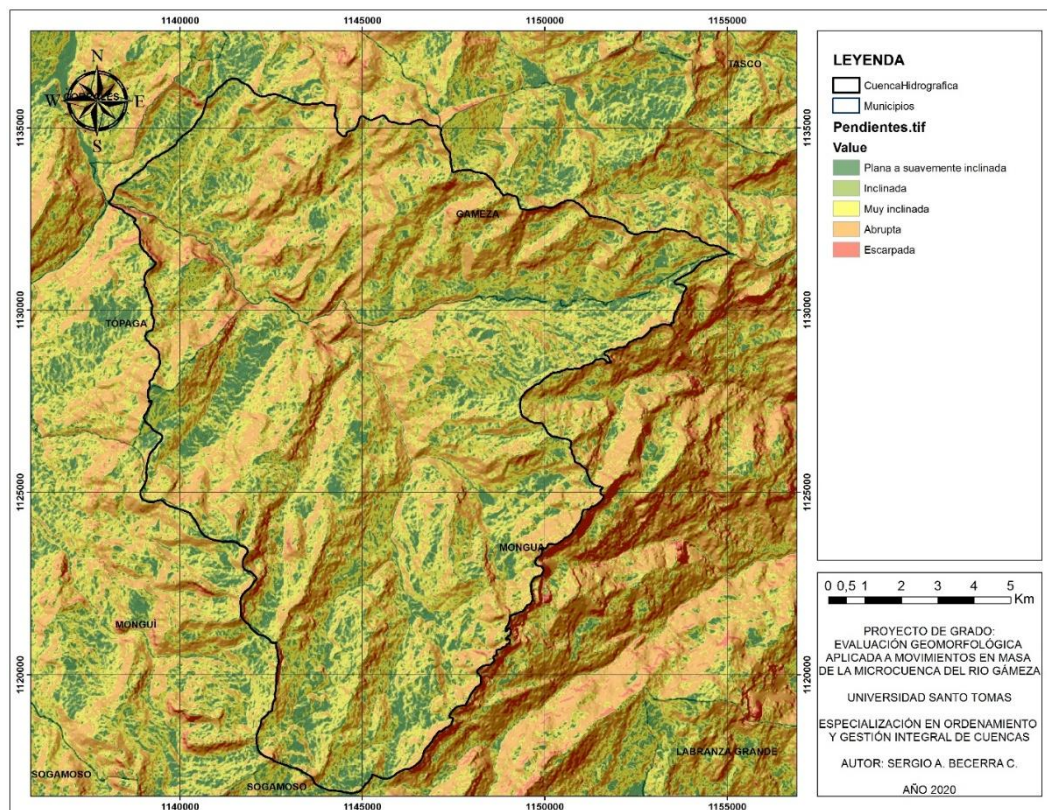
La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Su valor se expresa en grados de 0° a 90° o en porcentaje, se relaciona con los movimientos en masa de manera que; a mayor el grado de pendiente aumenta la susceptibilidad a los movimientos en masa. En la Tabla 13 se muestra los rangos de clasificación de la pendiente para obtener este atributo y en la Figura 25 el mapa de pendientes obtenido a partir de esta clasificación.

Tabla 13 Clasificación de pendientes para morfometría

Clasificación	Rangos	Descripción	Susceptibilidad
1	0 – 7 °	Plana a suavemente inclinada	Muy Baja
2	7 – 11°	Inclinada	Baja
3	11 – 19°	Muy inclinada	Media
4	19 – 40°	Abrupta	Alta
5	> 40°	Escarpada	Muy Alta

Fuente. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa

Figura 25 Mapa de pendientes



Fuente. Autor

9.3.1.2 Rugosidad

La rugosidad del terreno se define como la variación de la pendiente en un área y representa la desviación del vector normal a la superficie en cada celda. El valor 1 corresponde a rugosidad nula y los valores se hacen menores al aumentar la dispersión de los vectores (alta rugosidad). La rugosidad define bien las formas como los límites de taludes y laderas tanto en los valles como en las crestas (Felicísimo, 1992). Se relaciona con los movimientos en masa de manera que las laderas de rugosidad alta son más propensas a presentar movimientos en masa debido a que los cambios sucesivos de pendientes favorecen una mayor infiltración del agua en el terreno y por ende, aumenta la inestabilidad del mismo.

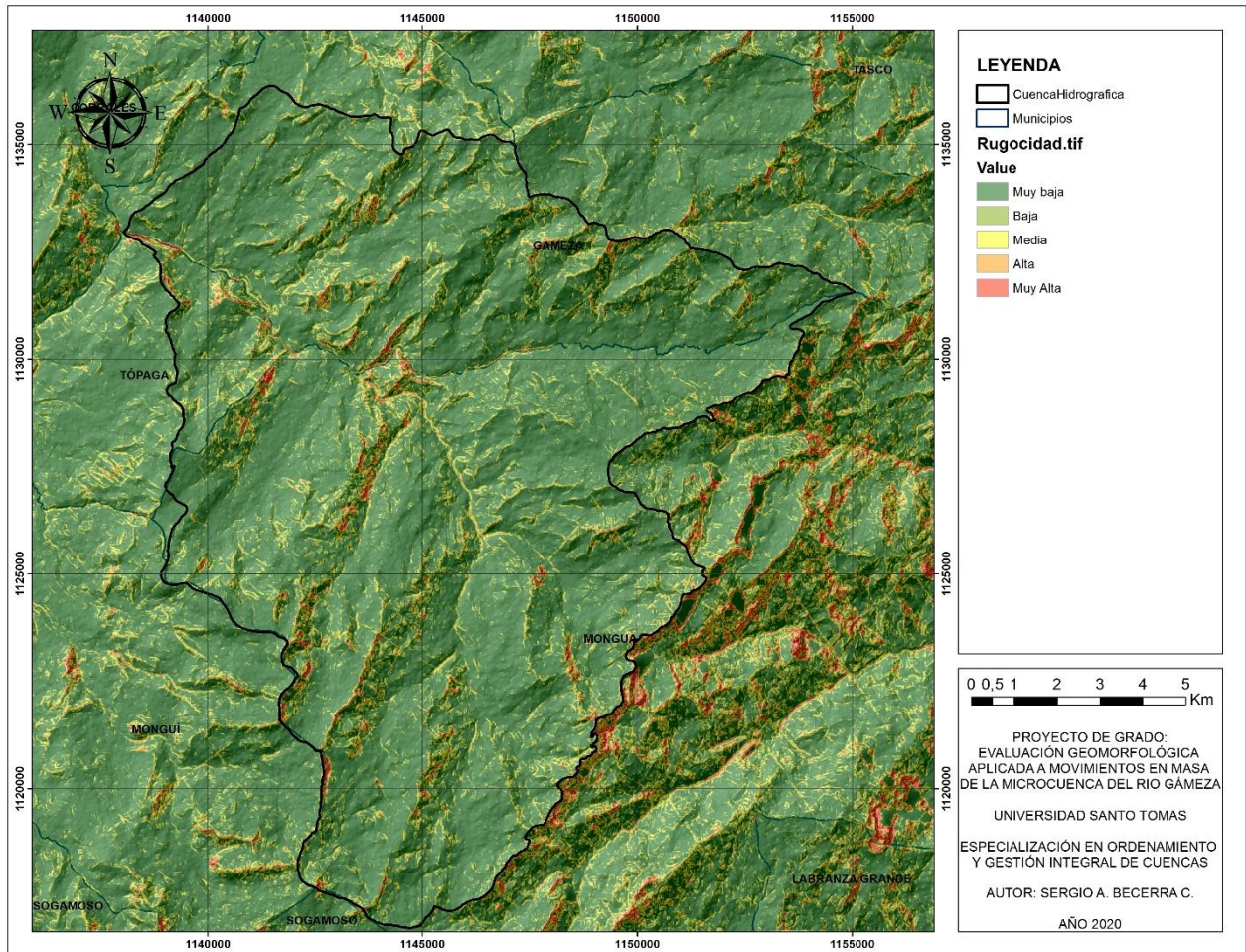
Para determinar este atributo se utilizó el algoritmo Terrain Ruggedness (VRM), que funciona como una herramienta dentro del Software ArcGIS, utilizando el Modelo Digital de Elevación (DEM) se calcula el parámetro rugosidad. En la Tabla 14 se muestra la clasificación del parámetro de Rugosidad y en la Figura 26 el mapa obtenido a partir de esta clasificación.

Tabla 14 Clasificación de la Rugosidad

Clasificación	Rangos	Descripción	Susceptibilidad
1	0.9975 – 1	Rugosidad muy baja a nula	Muy baja
2	0.995 – 0.9975	Rugosidad baja	Baja
3	0.99 – 0.995	Rugosidad media	Media
4	0.985 a 0.99	Rugosidad alta	Alta
5	< 0.985	Rugosidad muy alta	Muy Alta

Fuente. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa

Figura 26 Mapa de Rugosidad



Fuente. Autor

9.3.1.3 Acuenca

El atributo ACUENCA corresponde a la superficie de la cuenca aguas arriba de la celda cuya sumatoria de la superficie vierten a una celda determinada (cuenca acumulada). La variable se deriva del Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR y se expresa en m². Si bien es una variable cuantitativa, los valores de superficie son múltiplo del área de una celda, no tratándose de una variable continua. El área de la cuenca se relaciona con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar en un terreno, a mayor superficie más agua infiltrada y más posibilidades de desarrollar inestabilidad en el terreno (Neuland, 1976, Hatano 1976, Okimura 1983, Oyagi 1984).

Según Santacana (2001), el flujo de las aguas a través de la superficie es siempre en la dirección de máxima pendiente, una vez que la dirección de flujo (flow direction) es conocida es posible determinar cuáles y cuántas celdas fluyen hacia una celda particular, la sumatoria de estas se denomina flujos acumulados (flow accumulation). Los valores de los flujos acumulados multiplicados por el área del pixel crean la variable ACUENCA o sea el área de la cuenca. En la

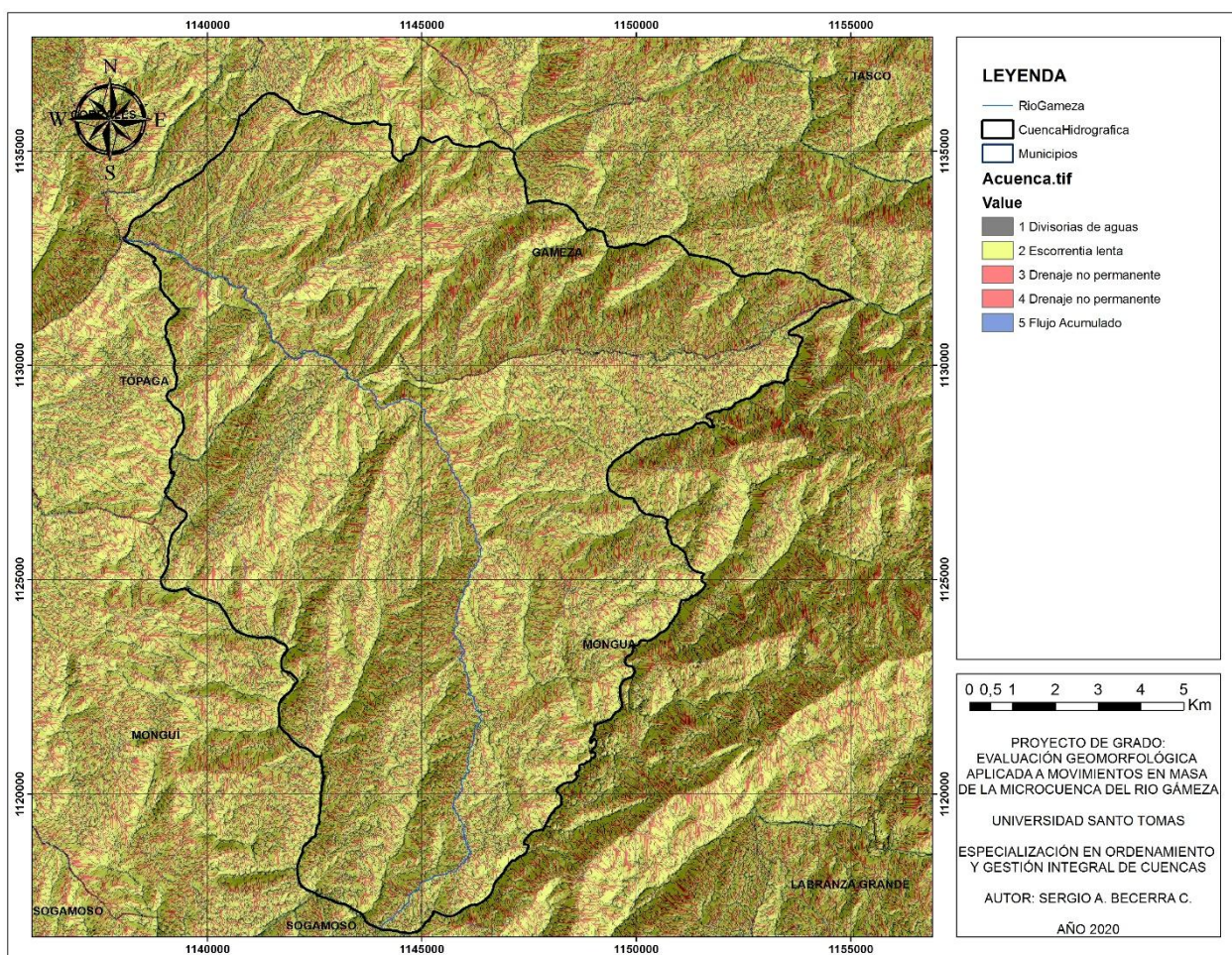
Tabla 15 se muestra la clasificación para el atributo de Acuenca y en la Figura 27 el mapa obtenido para este atributo.

Tabla 15 Clasificación del atributo Acuenca

Clasificación	Rangos	Descripción	Susceptibilidad
1	0	Divisorias de aguas	Muy baja
2	0 – 3500	Escorrentía lenta	Baja
5	3500 - 40000	Flujo Acumulado	Muy Alta
3	40000 - 1000000	Drenaje no permanente	Media
1	> 1000000	Quebradas, Ríos	Muy Baja

Fuente. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa

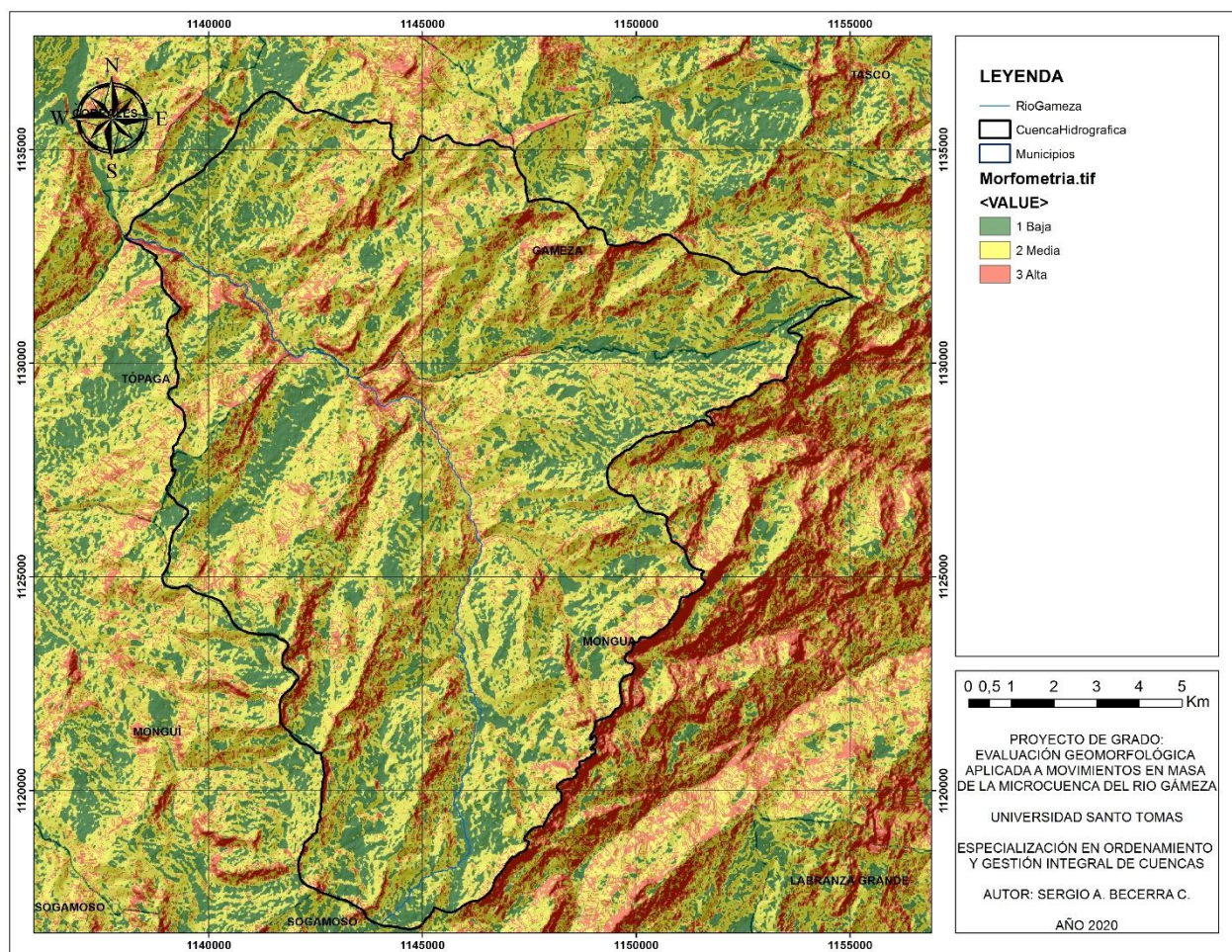
Figura 27 Mapa de Acuenca



Fuente. Autor

Finalmente se realiza la superposición de los atributos de Pendientes, Rugosidad y Acuenca, para poder determinar la susceptibilidad por Morfometría, esta operación se realiza a través de la función “raster calculator” de ArcGIS, en donde se tiene en cuenta el peso porcentual de cada atributo. El mapa obtenido de susceptibilidad por morfometria se muestra en la Figura 28.

Figura 28 Mapa de susceptibilidad por Morfometría



Fuente. Autor

9.3.2 Susceptibilidad por morfogénesis

La morfogénesis corresponde al origen de las formas del terreno, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. La morfogénesis es representada en subunidades geomorfológicas, que fueron cartografiadas mediante trabajo de campo y fotointerpretación.

La susceptibilidad por morfogénesis se realiza teniendo en cuenta: el ambiente morfogenético, los procesos genéticos y el modelado del paisaje. La sumatoria de estos tres aspectos da como resultado la calificación de susceptibilidad por morfogénesis. En la Tabla 16 se muestra los valores calificados de cada una de las geoformas presentes dentro del área de la microcuenca.

Tabla 16 Clasificación de la susceptibilidad por morfogénesis

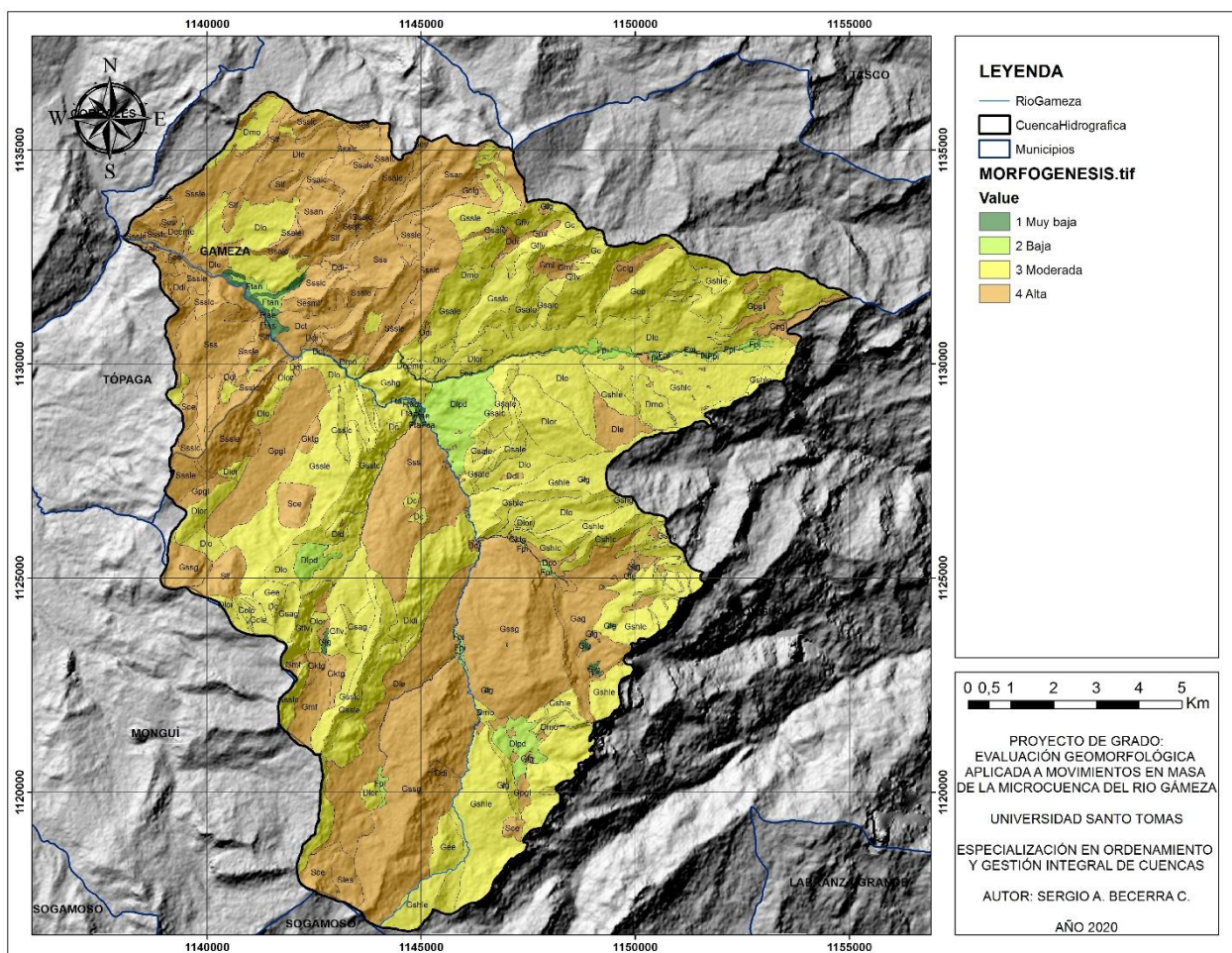
Cód	Subunidad	Amb	Proceso Genético	Modelado	Cal
Dc	Cima	2	1	0	3
Dco	Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión	2	1	1	4
Dct	Cono de talus	2	1	1	4
Ddi	Cono de deslizamiento indiferenciado	2	1	1	4
Deeme	Escarpe de erosión menor	2	1	0	3
Dld	Loma denudada	2	1	0	3
Dldi	Lomeríos disectados	2	1	0	3
Dle	Ladera erosiva	2	1	1	4
Dlo	Ladera ondulada	2	1	0	3
Dlor	Loma residual	2	1	0	3
Dlpd	Lomeríos poco disectados	2	0	0	2
Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	2	1	0	3
Fca	Cauce aluvial	0	1	0	1
Fpi	Plano o llanura de inundación	0	1	1	2
Fta	Terraza de acumulación	0	1	1	2
Ftae	Escarpe de terraza de acumulación	0	1	0	1
Ftan	Terraza de acumulación antigua	0	1	1	2
Ftas	Terraza de acumulación subreciente	0	1	1	2
Gag	Artesa glacial	2	1	1	4
Gc	Circo glaciar y de nivación	2	1	0	3
Gclc	Ladera contrapendiente de cuesta estructural glaciada	2	1	0	3
Gcle	Ladera estructural de cuesta estructural glaciada	2	1	0	3
Gclg	Cono y lóbulo de gelifracción	2	1	1	4
Gee	Espolón estructural glaciado	2	1	0	3
Gflv	Flancos de valle Glaciar	2	1	0	3
Gktg	Kame y Terraza de gelifracción	2	1	1	4
Glg	Laguna Glaciar	0	1	0	1
Gmf	Morrena de fondo	2	1	1	4
Gml	Morrena lateral	2	1	1	4
Gpgl	Plano Glacio- lacustre	2	1	1	4
Gsag	Sierra anticlinal glaciada	2	1	0	3
Gsalc	Ladera contrapendiente sierra anticlinal glaciada	2	1	0	3
Gsale	Ladera estructural sierra anticlinal glaciada	2	1	0	3
Gshg	Sierra homoclinal glaciada	2	1	0	3

Cód	Subunidad	Amb	Proceso Genético	Modelado	Cal
Gshlc	Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal glaciada	2	1	0	3
Gshle	Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada	2	1	0	3
Gssg	Sierra sinclinal glaciada	2	1	1	4
Gsslc	Ladera contrapendiente sierra sinclinal glaciada	2	1	1	3
Gssle	Ladera estructural sierra sinclinal glaciada	2	1	1	3
Sce	Cerro estructural	3	0	1	4
Ses	Espolón	3	0	1	4
Sesml	Espolón moderado de longitud larga	3	0	1	4
Sles	Ladera escalonada	3	0	1	4
Slf	Lomo de falla	3	1	0	4
Ssalc	Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal	3	0	1	4
Ssale	Ladera estructural de sierra anticlinal	3	0	1	4
Ssan	Sierra anticlinal	3	0	1	4
Sss	Sierra sinclinal	3	0	1	4
Ssslc	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	3	0	1	4
Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	3	0	1	4

Fuente. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa,
Modificado por autor.

La susceptibilidad por Morfogénesis, corresponde a la reclasificación de cada subunidad geomorfológica como se muestra en la Figura 29.

Figura 29 Mapa de susceptibilidad por Morfogénesis



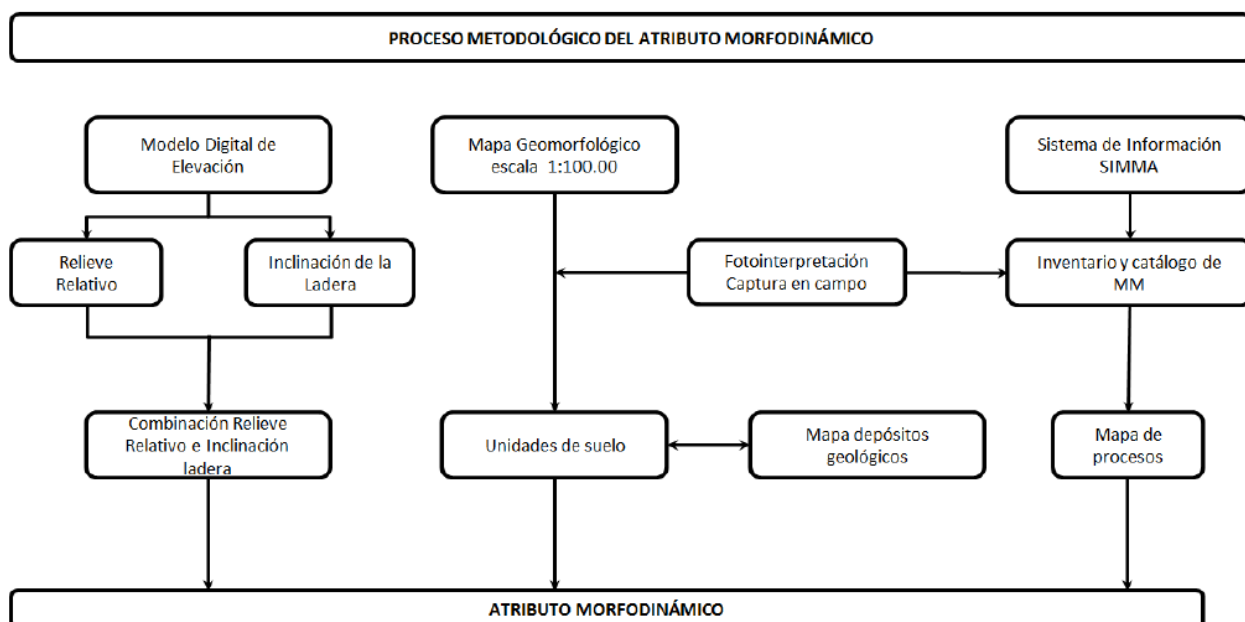
Fuente. Autor

9.3.3 Susceptibilidad por morfodinámica

La morfodinámico corresponde a los procesos que modifican y modelan el paisaje ya sea por procesos agradacionales o degradacionales, dentro de los cuales se tiene en cuenta los suelos identificados mediante la interpretación de geformas, el inventario de movimientos en masa y variables geométricas derivadas del Modelo Digital de Elevación (DEM ALOS PALSAR).

En la Figura 30 se resume el proceso metodológico para la obtención del atributo de Morfodinámica.

Figura 30 Proceso metodológico en la construcción del atributo morfodinámico



Fuente. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa

9.3.3.1 *Relieve relativo*

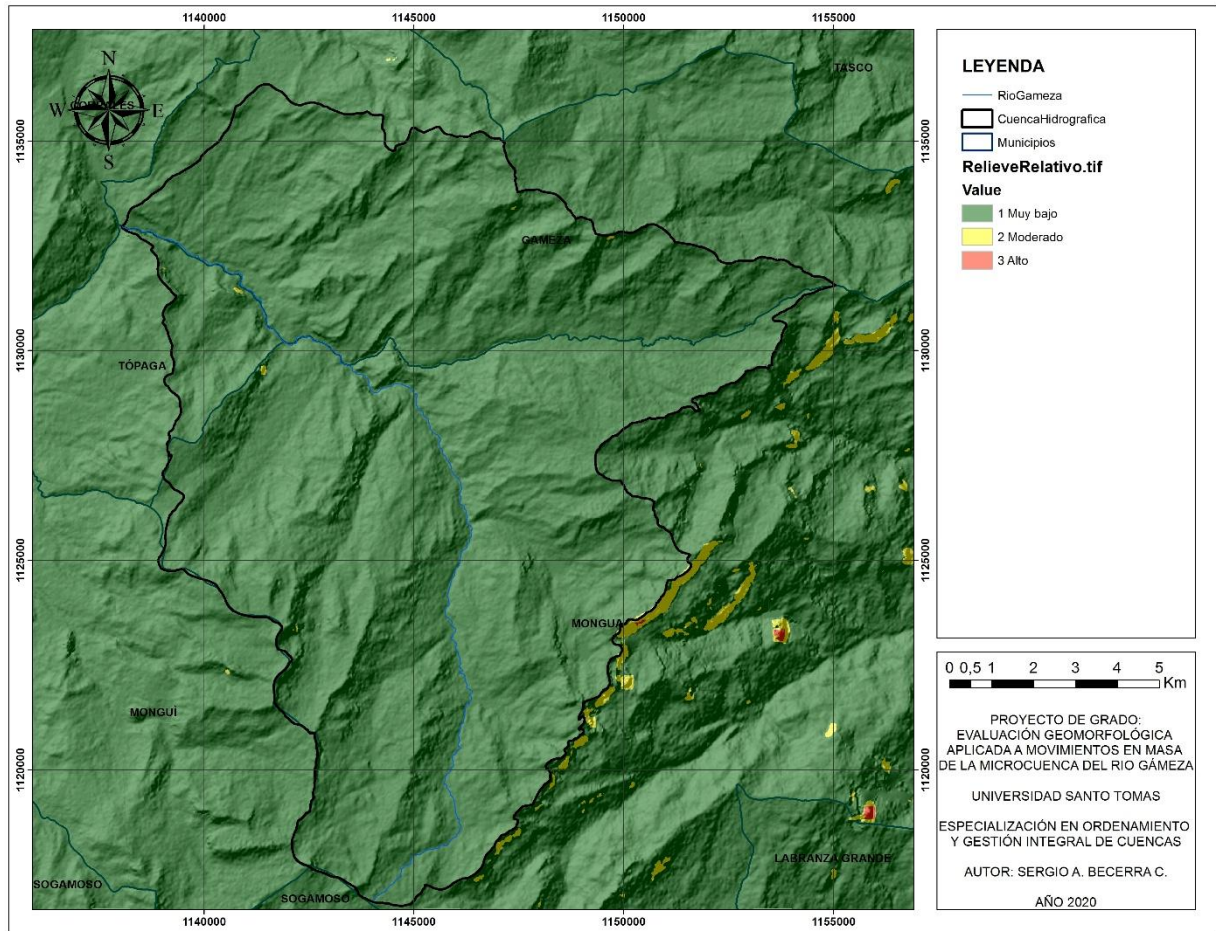
El relieve relativo representa la diferencia de altitud de la geoforma, independientemente de su altura absoluta o nivel del mar. Ella se mide por la diferencia de alturas entre la parte más baja y alta, llámese colina, montaña, meseta, terraza y otros. Para el cálculo del índice de relieve relativo se utilizó el algoritmo FocalRange; es una herramienta estadística de ArcGIS, que permite calcular la diferencia de altura por unidad de área. En la Tabla 17 se muestra la calificación del relieve relativo y en la Figura 31 el mapa correspondiente a este atributo.

Tabla 17 Clasificación del relieve relativo

Intervalos de Altura	Descripción del Relieve	Resistencia Relativa del Material	Calificación
< 50 m	Muy bajo	Materiales muy blandos y erosionables	1
50 – 200 m	Bajo	Blando erosionable	1
200 – 400 m	Moderado	Moderadamente blando y erosión alta	2
400 – 1000 m	Alto	Resistente y erosión moderada	3
1000 – 2500 m	Muy alto	Muy resistente y erosión baja	3
> 2500 m	Extremadamente alto	Extremadamente resistente y erosión baja	3

Fuente. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa

Figura 31 Mapa de relieve relativo



Fuente. Autor

9.3.3.2 *Inclinación de ladera (IL)*

La inclinación de la ladera porque generalmente está relacionada con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a la formación de los movimientos en masa. En la Tabla 18 se muestra los rangos de clasificación para la inclinación de ladera y en la Figura 32 el mapa obtenido para este atributo.

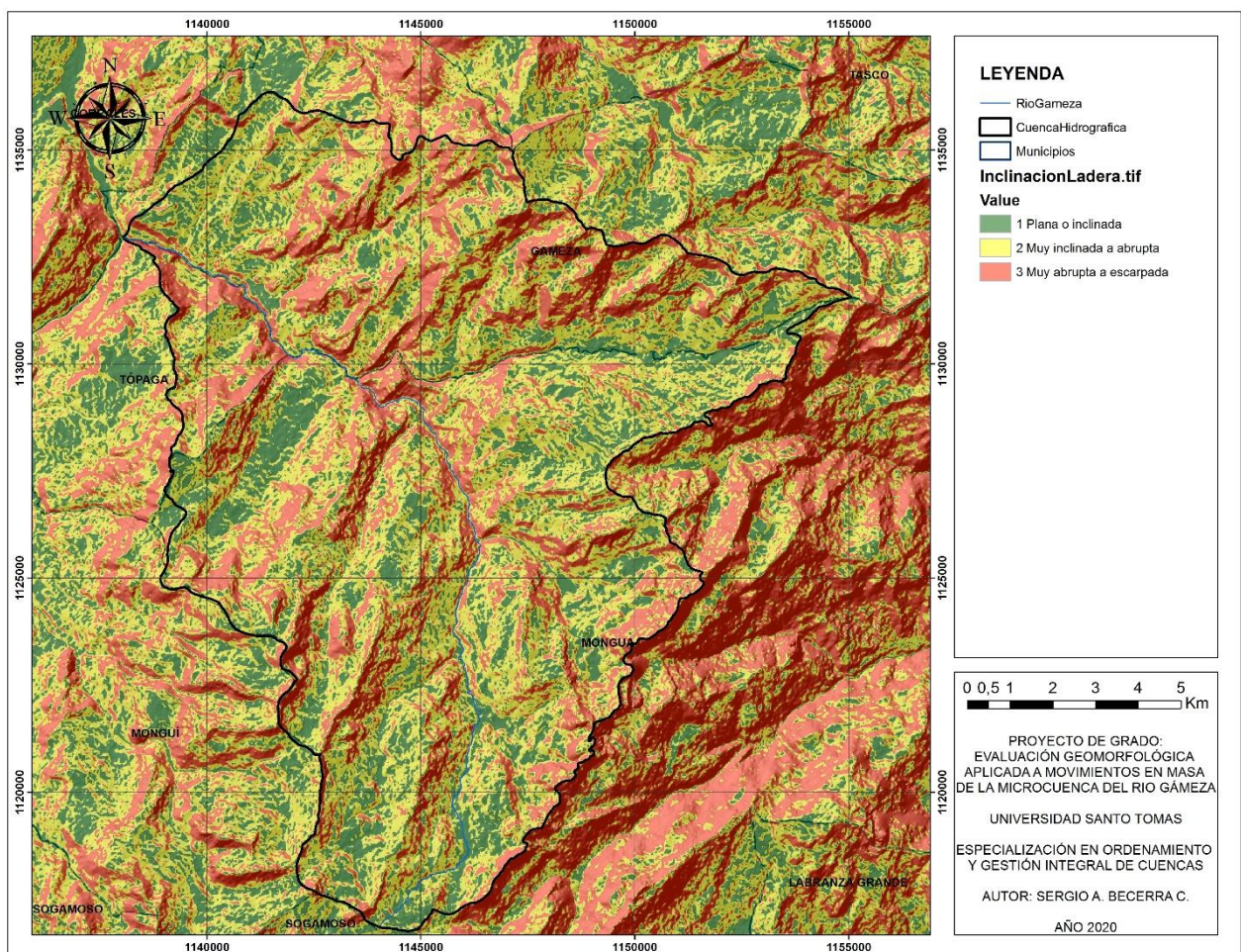
Tabla 18 Clasificación de la inclinación de ladera

Inclinación (Grados)	Descripción	Características del Material	Calificación
< 5	Plana a suavemente inclinada	Muy blanda y muy baja susceptibilidad a MM	1
5 – 10	Inclinada	Blanda y baja susceptibilidad a MM	1

10 – 15	Muy Inclínada	Moderadamente blanda y moderada susceptibilidad a MM	2
15 – 20	Abrupta	Moderadamente resistente y moderada susceptibilidad a MM	2
20 – 30	Muy Abrupta	Resistente y alta susceptibilidad a MM	3
30 – 45	Escarpada	Muy resistente y alta susceptibilidad a MM	3
> 45	Muy Escarpada	Extremadamente resistente y alta susceptibilidad a MM	3

Fuente. Documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa

Figura 32 Mapa de inclinación de ladera



Fuente. Autor

9.3.3.3 Combinación del relieve relativo y la inclinación de ladera (Relaincli)

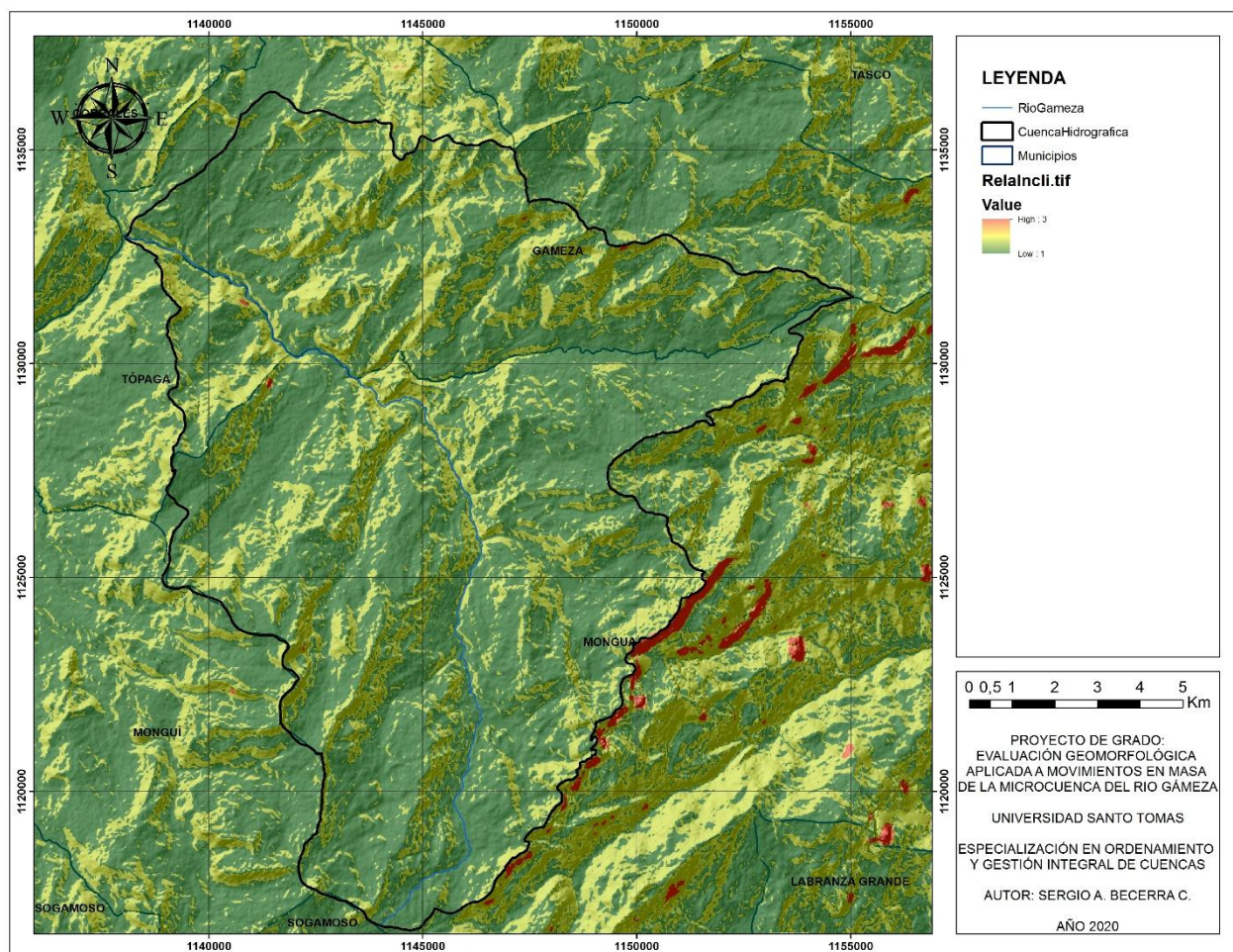
La combinación de los elementos fisiográficos, relieve relativo e inclinación de la ladera mediante el modelo Relaincli, permite la agrupación en un mismo escenario de los elementos geomorfológicos con mayor tendencia a los movimientos en masa tanto por evidencias antecedentes como por los eventos registrados en un catálogo e inventario de dichos movimientos.

La relación entre el relieve relativo y la inclinación de ladera se establece mediante la siguiente expresión establecida en el documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano.

$$\text{Relaincli} = 0.60 * \text{RR} + 0.40 \text{ IL}$$

En la Figura 33 se muestra el resultado obtenido entre la operación del relieve relativo y la inclinación de ladera denominada Relaincli.

Figura 33 Mapa del atributo Relaincli



Fuente. Autor

9.3.3.4 Unidades de suelo

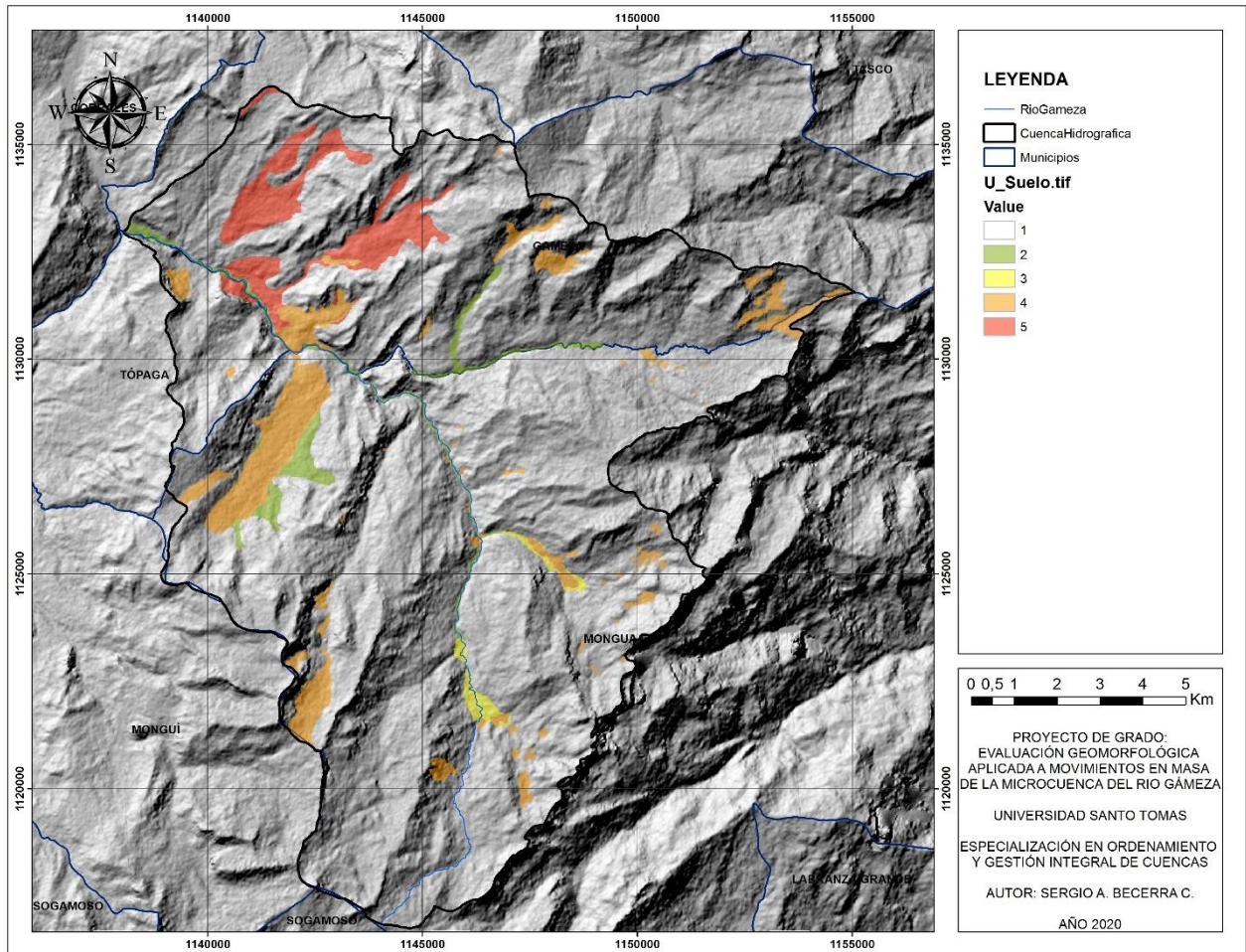
Son materiales resultantes de la acción dinámica de los procesos geomorfológicos y de agentes naturales, cuyo medio de transporte puede ser el agua, el hielo y el viento, con contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva, los cuales son depositados o llevados a los sitios que ocupan actualmente. Estos materiales son de carácter granular heterogéneo, no cohesivo, inconsolidado, compuesto de partículas sólidas y pueden tener materia orgánica. Así, la clasificación de los materiales, granulometría, forma y tamaño, dependen del medio de transporte.

Las unidades de suelo identificadas son extraídas de las geoformas interpretadas, que corresponden a Depósitos que se generan en ambientes denudacional, fluvial y glacial en las siguientes geoformas:

- Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)
- Cono de talus (Dct)
- Cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi)
- Terrazas de acumulación (Fta)
- Terrazas de acumulación subreciente (Ftas)
- Terrazas de acumulación antigua (Ftan)
- Planos glaciolacustres (Gpgl)
- Morrenas de fondo (Gmf)
- Morrenas laterales (Gml)

La Figura 34 muestra las unidades de suelo obtenidas de la interpretación geomorfológica como depósitos.

Figura 34 Mapa de unidades de suelo



Fuente. Autor

9.3.3.5 Inventario de movimientos en masa

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre y en la interface entre esta, la hidrósfera y la atmósfera. Así, si por una parte el levantamiento tectónico forma montañas, por otra la meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la acción del hombre) actúan sobre las laderas para desestabilizarlas y cambiar el relieve a una condición más plana. Esto implica que la posibilidad de ocurrencia de un movimiento en masa comienza desde el mismo momento en que se forma una ladera natural o se construye un talud artificial y que el análisis de tal posibilidad involucra distintas

disciplinas de las ciencias de la tierra y del medio ambiente.²

Para este atributo se identificaron 26 movimientos en masa a través de fotointerpretación, y posteriormente se realizó una visita de campo para verificación de estos mismos en la Tabla 19 se muestra la lista de movimientos en masa que se lograron identificar y en la Figura 35 la localización geográfica de los movimientos.

Tabla 19 Inventario de movimientos en masa

ID	TIPO DE MOVIMIENTO	COORDENADA		AREA (Ha)	LOCALIZACIÓN
		Este	Norte		
1	Reptación de suelos	1146401.48	1146401.48	5.179	Mongua, Vereda Duce
2	Caída de rocas	1140532.32	1140532.32	0.968	Mongua, Vereda Mongui
3	Reptación de suelos	1146091.49	1146091.49	0.285	Mongua, Vereda Duce
4	Reptación de suelos	1147134.91	1147134.91	0.51	Mongua, Vereda Duce
5	Deslizamiento traslacional	1145587.10	1145587.10	0.559	Mongua, Vereda Tunjuelo
6	Deslizamiento compuesto	1145450.05	1145450.05	4.381	Mongua, Vereda Tunjuelo
7	Deslizamiento compuesto	1145078.80	1145078.80	1.371	Mongua, Vereda Tunjuelo
8	Caída de rocas y detritos	1142496.15	1142496.15	1.116	Mongua, Vereda Duce
9	Reptación de suelos	1145944.06	1145944.06	0.555	Mongua, Vereda Mongui
10	Reptación de suelos	1139347.00	1139347.00	1.418	Mongua, Vereda Tunjuelo
11	Reptación de suelos	1145719.77	1145719.77	0.643	Mongua, Vereda Tunjuelo
12	Deslizamiento compuesto	1143054.17	1143054.17	4.247	Tópaga, Vereda Atraviesa
13	Deslizamiento de tierra	1145877.69	1145877.69	0.967	Mongua, Vereda Tunjuelo
14	Deslizamiento compuesto	1145732.52	1145732.52	9.325	Gámeza, Vereda Satoba
15	Deslizamiento de roca y detritos	1146057.00	1146057.00	5.82	Gámeza, Vereda Zasa
16	Deslizamiento traslacional	1147075.31	1147075.31	29.163	Tópaga, Vereda San José
17	Flujo de tierra y detritos	1145551.82	1145551.82	10.649	Gámeza, Vereda Satoba
18	Reptación de suelos	1142077.30	1142077.30	22.555	Mongua, Vereda Duce
19	Deslizamiento traslacional	1146077.85	1146077.85	0.214	Mongua, Vereda Tunjuelo
20	Reptación de suelos	1149663.62	1149663.62	1.044	Mongua, Vereda Tunjuelo
21	Reptación de suelos	1144123.28	1144123.28	0.685	Mongua, Vereda Duce
22	Deslizamiento traslacional	1146237.01	1146237.01	0.031	Mongua, Vereda Tunjuelo
23	Caída de rocas y detritos	1145957.14	1145957.14	0.323	Mongua, Vereda Duce
24	Caída de rocas	1146059.25	1146059.25	0.249	Tópaga, Vereda Atraviesa
25	Deslizamiento traslacional	1146277.40	1146277.40	5.177	Mongua, Vereda Centro
26	Caída de rocas y detritos	1141174.27	1141174.27	14.102	Gámeza, Vereda Zasa

Fuente. Autor

La Fotografía 24 y Fotografía 25 evidencias registros fotográficos de algunos de los movimientos

² PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO - GEOCIENCIAS Para Las COMUNIDADES ANDINAS (PMA-GCA). 2007. Movimientos en masa en la región andina.

en masa identificados dentro el área de la microcuenca del río Gámeza.

Fotografía 24 Reptación en el municipio de Gámeza



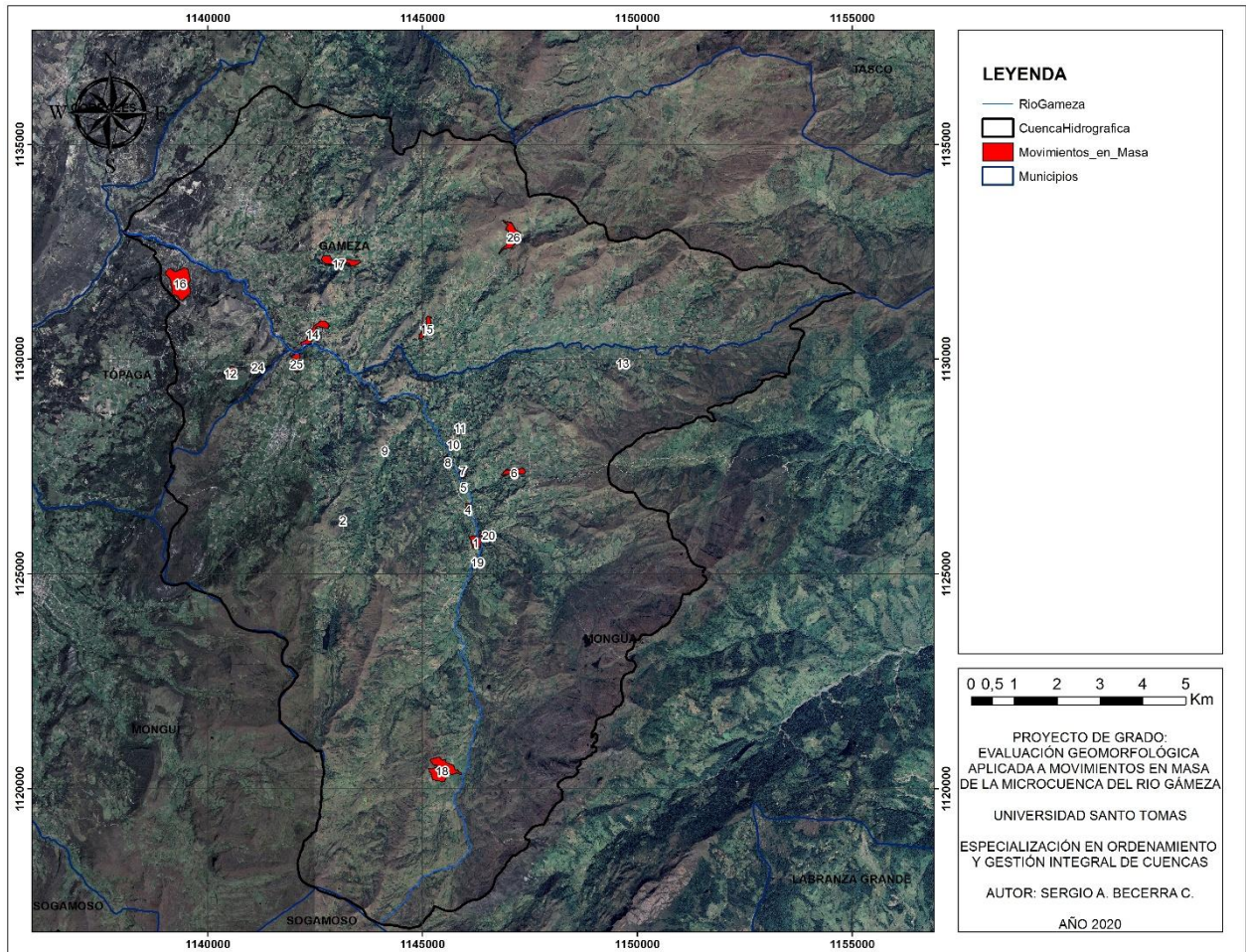
Fuente. Autor

Fotografía 25 Deslizamiento en el municipio de Gámeza



Fuente. Autor

Figura 35 Mapa de localización de movimientos en masa



Fuente. Autor

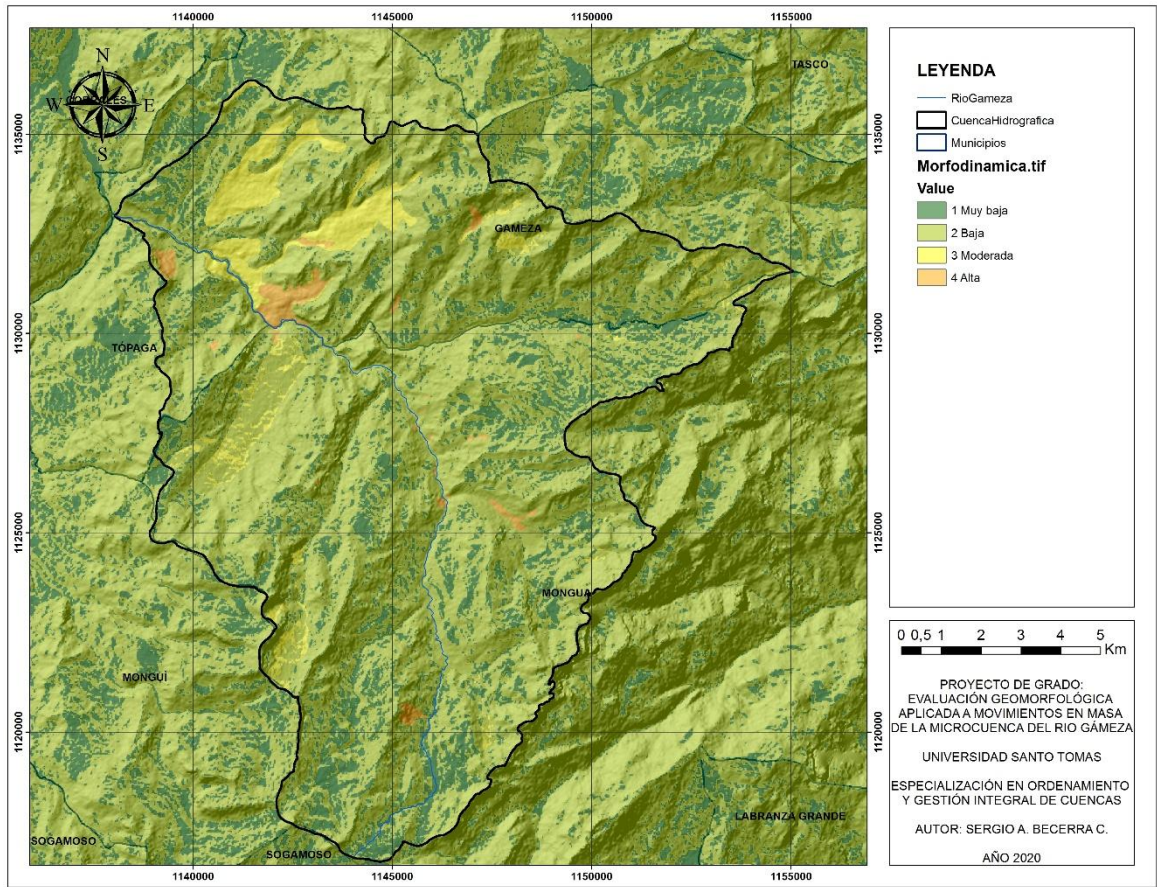
Finalmente se realiza la sumatoria de los mapas temáticos que incluyen: Relacincli (Relieve relativo + inclinación de ladera), unidades de suelo y movimientos en masa, de acuerdo a los pesos porcentuales de cada una de las capas.

La susceptibilidad por morfodinámica enmarca los procesos de movimiento en masa históricos que se han presentado en la cuenca, además de tipos de suelos y depósitos que presentan materiales no consolidados que son susceptibles a los movimientos en masa.

Susc_Morfodinamica: Relaincli + UnidadSuelo + InventarioMM

A través de la anterior expresión se logró determinar la susceptibilidad por morfodinámica mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica la cual está establecida en el documento metodológico de la zonificación de Susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano.. La Figura 36 evidencia el mapa de susceptibilidad por morfodinamica.

Figura 36 Mapa de susceptibilidad por morfodinámica



Fuente. Autor

9.3.4 Evaluación de la susceptibilidad geomorfológica a movimientos en masa

Los resultados obtenidos de cada uno de los atributos por los cuales se obtiene la susceptibilidad por Morfometría, Morfogénesis y Morfodinámico, son superpuestos para determinar la susceptibilidad a movimientos en masa por Geomorfología.

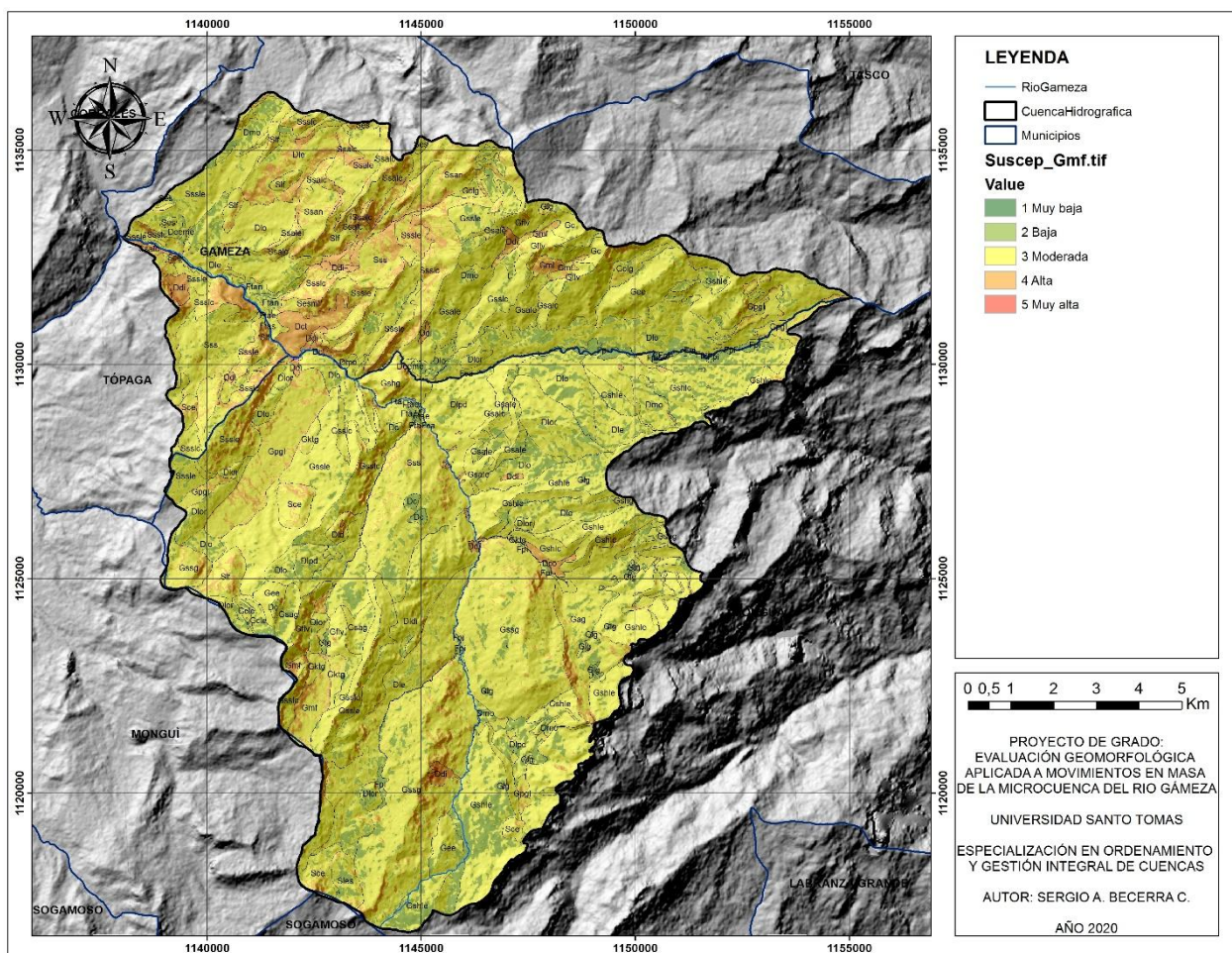
La susceptibilidad por Morfometría corresponde a la evaluación de atributos geométricos del área de la cuenca, los cuales tienen una importancia del 40% en la evaluación geomorfológica.

La susceptibilidad por morfogénesis hace referencia a la interpretación de geoformas del terreno, partiendo desde el origen de la geoforma, definiendo así subunidades que pueden llegar a variar de acuerdo a la escala de trabajo. Estas subunidades cartografiadas son evaluadas individualmente teniendo en cuenta ambiente, procesos genéticos y modelados del terreno; que son características únicas de cada tipo de geoforma. Este atributo tiene un peso del 30%.

La susceptibilidad por morfodinámico es de gran importancia, ya que tiene en cuenta los movimientos en masa históricos que dan información de áreas con inestabilidad, además de suelos y depósitos que son zonas con materiales no consolidados, con mayores probabilidades de ser inestables dadas sus características geológicas. Este atributo tiene un peso del 30%.

En la Figura 37 se muestra el mapa de susceptibilidad por geomorfología, aplicado a movimientos en masa y en la Tabla 20 los valores de áreas y porcentajes por cada zona de susceptibilidad geomorfológica.

Figura 37 Mapa de susceptibilidad por Geomorfología aplicado a movimientos en masa



Fuente. Autor

Tabla 20 Áreas de susceptibilidad geomorfológica

Valor	Susceptibilidad	Área m2	Área Ha	Porcentaje
1	Muy Baja	34609.39	3.460939	0.02
2	Baja	21755090	2175.509	12.20
3	Moderada	138438200	13843.82	77.66
4	Alta	17982660	1798.266	10.09
5	Muy Alta	43617.32	4.361732	0.02
		178254176.7	17825.4177	100

Fuente. Autor

9.3.4.1 Susceptibilidad muy baja

El 0,02% del área corresponde a susceptibilidad muy baja a los movimientos en masa, correspondiente a 3,46 Ha, en donde se encuentran pendientes del terreno plana a suavemente inclinada, sobre las cuales se desarrollan geoformas de origen Fluvial y Lagunar, que corresponde a geoformas como Cauce aluvial (Fca), Plano o llanura de inundación (Fpi) y Terraza de acumulación (Fta). Esta zona de susceptibilidad se localiza dispersa por toda el área de la cuenca del río Gámeza.

9.3.4.2 Susceptibilidad baja

El 12,20% del área corresponde a susceptibilidad baja a los movimientos en masa, correspondiente a 2175,50 Ha, en donde se encuentran pendientes planas a inclinadas, sobre las que se desarrollan geoformas de origen Fluvial y Lagunar, que corresponde a geoformas como Terraza de acumulación antigua (Ftan) y Plano o llanura de inundación (Fpi), geoformas de origen Denudacional, que corresponde a geoformas como Ladera ondulada (Dlo), Montículos y ondulaciones denudacionales (Dmo) y Loma residual (Dlor). Esta zona de susceptibilidad se localiza principalmente en las veredas: Villa Girón, y Zasa del municipio de Gámeza y veredas Tunjuelo, Mongui, y Centro del municipio de Mongua.

9.3.4.3 Susceptibilidad moderada

El 77,66% del área corresponde a susceptibilidad moderada a los movimientos en masa, correspondiente a 13843,82 Ha, en donde se encuentran pendientes inclinadas a muy abruptas, sobre las que se desarrollan geoformas de origen Denudacional correspondiente a Ladera erosiva (Dle), de origen estructural como Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle), Ladera estructural de sierra anticlinal (Ssale), Sierra sinclinal (Sss), y Sierra anticlinal (Ssan), de origen Glacial correspondiente a Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle), Espolón estructural glaciado (Gee), Plano glaciolacustre (Gpgl) y Sierra sinclinal glaciada. Esta zona de susceptibilidad se localiza disperso por toda el área de la cuenca del río Gámeza, puesto que corresponde al área de susceptibilidad que más se encuentra.

9.3.4.4 Susceptibilidad alta

El 10,09% del área corresponde a susceptibilidad alta a los movimientos en masa, correspondiente a 1798,26 Ha, en donde se encuentran pendientes escarpadas a muy escarpadas, sobre las que se desarrollan geoformas de origen Denudacional que corresponde a Cono de talus (Dct), Cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi) y Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco), de origen estructural como Cerro estructural (Sce), Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal (Ssalc), Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc) y Lomo de falla (Slf), de origen Glacial como Flanco de valle glacial (Gflv) y Morrena de fondo (Gmf). Esta zona de susceptibilidad se localiza principalmente en las veredas San José y Atraviesa del municipio de Tópaga, Vereda centro del municipio de Mongua y Veredas Satoba, Guanto y Motuba del municipio de Gámeza.

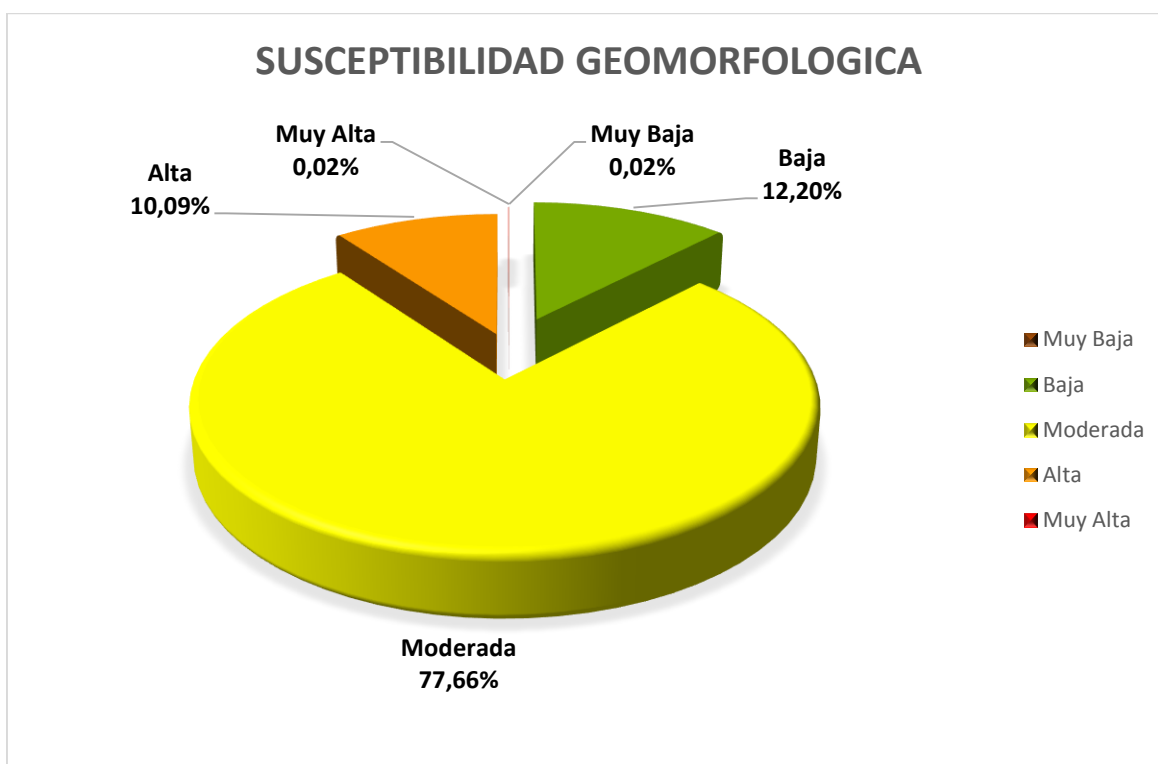
9.3.4.5 Susceptibilidad muy alta

El 0,02% del área corresponde a susceptibilidad muy alta a los movimientos en masa, correspondiente a 4,36 Ha, en donde se encuentran pendientes abruptas a escarpadas, sobre las que

se desarrollan geoformas de origen denudacional que corresponden a Conos de deslizamientos indiferenciados (Ddi), sobre los cuales se reúnen las condiciones del terreno para considerarse zonas con muy alta susceptibilidad a que exista una falla en el material y por ende se genere un movimiento en masa. Esta zona de susceptibilidad se localiza principalmente al sur de la vereda Duce del municipio de Mongua, Vereda San José del municipio de Tópaga y Vereda Satoba del municipio de Gámeza.

En la Figura 38 se muestra la distribución porcentual de la susceptibilidad a movimientos en masa respecto a la geomorfología.

Figura 38 Distribución porcentual de la susceptibilidad por geomorfología



Fuente. Autor

10 CONCLUSIONES

Se logró realizar una interpretación geomorfológica de la cuenca del río Gámeza, en base a la Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa, del Servicio Geológico Colombiano (SGC), a una escala de trabajo de 1:25.000.

De acuerdo a la morfodinámica del área de la cuenca se establece que existen zonas susceptibles a presentar inestabilidad en el terreno, dadas las características del relieve, la inclinación de laderas, unidades de suelo e inventario de movimientos en masa, que en conjunto enmarcan zonas con susceptibilidad alta por el atributo morfodinámico.

Con la evaluación morfométrica del terreno se establece la relación que existe entre las características geométricas de la cuenca respecto a la susceptibilidad que existe con estos parámetros que son inherentes al terreno.

El ambiente morfogenético que más predomina en el área corresponde al ambiente Glacial, siguiendo a este ambiente el Denudacional, Estructural y Fluvial.

El área que presenta una mayor susceptibilidad a presentar movimientos en masa corresponde a las veredas Satoba y Motuba del municipio de Gámeza, Veredas Atraviesa y San José del municipio de Tópaga y vereda Centro del municipio de Mongua; debido a las condiciones como la pendiente del terreno, el fallamiento y plegamiento del área, el fracturamiento de las rocas y procesos de erosión fluvial ocasionados por el río Gámeza.

Dentro del municipio de Gámeza las áreas con mayor susceptibilidad representan una población de 824 habitantes que corresponde a la población de las veredas Satoba y Motuba.

Dentro del municipio de Mongua las áreas con mayor susceptibilidad representan una población de 1905 personas que corresponde a la población del casco urbano, en donde históricamente se han presentado movimientos en masa en sus alrededores y dados los resultados de la susceptibilidad a movimientos en masa por el componente geomorfológico, es de gran importancia el seguimiento a aspectos que hagan una evaluación a la estabilidad del terreno.

11 RECOMENDACIONES

A fin de realizar una evaluación más detallada de la incidencia de los movimientos en masa se debería involucrar la metodología de zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano, en donde además de evaluar la geomorfología, se tienen en cuenta aspectos como: Suelos, Cobertura de la Tierra y Geología en cuanto a la evaluación de la Susceptibilidad.

Una continuación a este proyecto es la determinación de la amenaza por movimientos en masa, en donde se tiene en cuenta la susceptibilidad definida en la anterior recomendación y relacionada con los factores detonantes de estos fenómenos naturales como lo son la precipitación y la actividad sísmica.

Realizar estudios detallados en los cascos urbanos de Gámeza y Mongua acerca de la amenaza real que involucran los movimientos en masa y otros fenómenos naturales, que pueden llegar a ser incorporados en el ordenamiento territorial de estos municipios.

12 BIBLIOGRAFIA

- Butler, J. (1937). *Informe preliminar sobre los deslizamientos de Mongua*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Industrias y Trabajo. República de Colombia.
- Carvajal, J., & Gomez, J. (2012). *Propuesta de estandarización de los levantamientos geomorfológicos en la zona costera del Caribe colombiano*. Bogotá, Colombia: Invemar.
- Carvajal, J. (2005). *Características geomorfológicas del departamento del Quindío*. Bogotá, Colombia: INGEOMINAS.
- Carvajal, J. (2013). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia* (1.^a ed., Vol. 1). Bogotá, Colombia: Servicio Geológico Colombiano.
- Corpoboyacá. (2009). *Plan de Ordenación y Manejo Ambiental de la Cuenca Media del Río Chicamocha*. Tunja, Colombia: Corpoboyacá.
- Corpoboyacá, & Neotropical. (2011). *Plan de manejo del parque natural regional unidad biogeográfica Siscunsi – Ocetá*. Tunja, Colombia: Corpoboyacá.
- Ecocarbon, Gobernación de Boyacá, & IRME UPTC. (1995). *Proyecto de Ordenamiento Ambiental Territorial de trece municipios carboníferos del departamento de Boyacá Fases de Tendencias, Escenarios, Planes y Programas de Ordenamiento*. Sogamoso, Boyacá: IRME UPTC.
- Hoyos, F. (1980). *Anotaciones sobre deslizamientos ocurridos en el municipio de Gámeza en Noviembre – Diciembre de 1979* (1.^a ed.). Bogotá, Colombia: INGEOMINAS.
- Huggett, R. (2007). *Fundamentals of Geomorphology* (2.^a ed.). Londres, Reino Unido: Routledge.
- Ingeominas. (2003). *Geología de la Plancha 172 Paz de Río a escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Ingeominas.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam, & Servicio Geológico Colombiano. (2016). *Zonificación de la susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 Plancha 172 - Paz de Río*. Bogotá, Colombia: SGC.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas*. Bogotá, Colombia: MINAMBIENTE.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas Anexo B. Gestión del Riesgo*. Bogotá, Colombia: MINAMBIENTE.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas*. Bogotá, Colombia: MINAMBIENTE.
- Ministerio de Minas y Petróleos - Instituto Geológico Nacional. (1954). *Deslizamientos en la vereda de Satoba, Municipio de Gámeza*. Bogotá, Colombia: Instituto Geológico Nacional.
- Proyecto de cooperación entre la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional, el Servicio Geológico de Canadá y los Servicios Geológicos de Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. (2007). *Proyecto multinacional andino - geociencias para las comunidades andinas (PMA-GCA)*. Bogotá, Colombia.
- SGC. (2013). *Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: SGC.
- Servicio Geológico Colombiano. (2012). *Estándares de cartografía geomorfológica aplicada a movimientos en masa para planchas a escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: SGC.
- SGC. (2012). *Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: SGC.
- SGC y MIN MINAS (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Bogotá, Colombia: SGC y MIN MINAS.
- Tarbut, E. J. y Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física*. (8.^a ed., Vol. 1). Madrid, España. Pearson-Prentice Hall
- Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (2007). *Investigación geológica e hidrogeológica en los sectores Norte y Centro del Departamento de Boyacá*. Sogamoso, Colombia. UPTC
- Vargas, G. INGEOMINAS. (1994). *Mapa de amenaza geológica, geomorfológica y geotécnica*. Bogotá, Colombia. INGEOMINAS.
- Villota, H. (2005). *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia. IGAC. (2005).
- Wokittel, R. (1956). *Agrietamientos del terreno en el municipio de Gameza, Departamento de Boyacá*. Bogotá, Colombia. Ministerio de Minas y Petróleos. República de Colombia.