CI-AMBIENTAL
Ingeniería Geotécnica y Ambiental
con énfasis en Amenazas Geológicas y de Riesgos

VANCE

CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS BÁSICOS PARA LOS ESCENARIOS DE MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, AVENIDAS TORRENCIALES E INCENDIOS FORESTALES PARA EL MUNICIPIO DE EL TABLÓN DE GÓMEZ QUE PERMITAN LA INCORPACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE EL TABLÓN DE GÓMEZ DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

INFORME DE AVANCE 1

Bogotá, 25 de enero de 2023

Bogotá, D.C. Colombia
Dirección: Calle 171 # 21A-62
Tels:. (1) 726 8982 / cel.: 316 876 6310 - 317 503 0960 - 317 503 0961

Barranquilla, Colombia
Dirección: Carrera 45 # 79-202
Tels:. (5) 356 5865 / cel.: 317 368 3370
www.ciambiental.com - info@ciambiental.com

TÜVRheinland CERTIFIED
Sistema de Gestión
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
www.tuv.com
ID 9108655340

CONTENIDO

1 INFORMACIÓN SECUNDARIA 6

1.1 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE 9

1.1.1 Cartografía Básica, Fotografías Aéreas e Imágenes Satelitales 9

1.1.1.1 Instituto Geográfico Agustín Codazzi 9

1.1.1.2 Satélite Alos 15

1.1.1.3 Esquema de Ordenamiento Territorial (2003) 15

1.1.1.4 Análisis de la Información Cartográfica 17

1.1.2 Información Geológica, Geomorfológica y de Amenazas 20

1.1.3 Informe Visita Técnica de Emergencia al Resguardo Indígena Inga Aponte en el Municipio de El Tablón de Gómez – Departamento de Nariño (SGC, 2016) 23

1.1.4 Catálogo de Eventos 34

2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA REGIONAL 34

3 CARTOGRAFÍA BÁSICA 38

3.1 GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BÁSICA PARA EL ANÁLISIS A NIVEL RURAL – ESCALA 1:25.000 38

3.2 GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BÁSICA PARA EL ANÁLISIS A NIVEL URBANO – ESCALA 1:5.000 43

3.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 43

3.4 SISTEMA LIDAR (LIGHT DETECTION AND RANGING) 43

4 DEFINICIÓN DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 44

4.1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA A NIVEL RURAL – ESCALA 1:25.000 44

4.1.1 Método de Evaluación de Amenaza por MM (1:25.000) 45

4.1.1.1 Variables Geométricas 48

4.1.1.2 Variables Físicas 50

4.1.1.3 Proceso de Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa (1:25.000) a Partir de las Variables Geométricas y Físicas 51

4.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA A NIVEL URBANO – ESCALA 1:5.000 52

4.2.1 Método de Evaluación de Amenaza por MM (1:5.000) 53

4.2.1.1 Modelos Geológico-Geotécnicos 55
4.2.1.2 Parámetros de Resistencia 56
4.2.1.3 Agentes Detonantes 57
4.2.1.4 Escenarios de Análisis 57
4.2.1.5 Métodos Numéricos de Análisis 57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribución Espacial de las Aerofotografías Disponibles para el Análisis de El Tablón de Gómez 13
Figura 1.2 Comparativo Entre los Modelos de Elevación Digital de las Fuentes Igac (2013) y Alos Palsar (2010). Dirección de Control E-W 18
Figura 1.3 Comparativo Entre los Modelos de Elevación Digital de las Fuentes Igac (2013 - 2015) y Alos Palsar (2010). Dirección de Control E-W 19
Figura 1.4 Localización de la Zona de Estudio de SGC (2016) 23
Figura 1.5. Localización Epicentral de la Sismicidad Registrada y Localizada por el SGC – RSNC entre 1993 y 2015 24
Figura 1.6 Geología de la Plancha 411 La Cruz, escala 1:100.000 (Ingeominas, 2002) 26
Figura 1.7 Deformación del Depósito Coluvial, Tipo Escalonamiento 27
Figura 1.8 Mapa Geomorfológico de Aponte – Visita de Emergencia 28
Figura 1.9 Movimiento en Masa Objeto de la Visita de Emergencia del SGC a Aponte en 2016 29
Figura 1.10 Capturas Fotográficas de Algunas de las Afectaciones Evidenciadas en la Visita de Emergencia a Aponte 29
Figura 1.11 Zonas de Inestabilidad Aproximadas por el SGC en Aponte 30
Figura 1.12 Distribución Geográfica de los Movimientos en Masa Registrados en el Sistema de Información de Movimientos en Masa – SIMMA (SGC) 31
Figura 2.1 Amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 del área urbana del municipio El Tablón y centros poblados de Las Mesas, La Cueva y Aponte (Nariño) 35
Figura 2.2 Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000 para el área urbana de El Tablón y los Centros Poblados de Las Mesas, La Cueva y Aponte 36
Figura 2.3 Contexto geológico regional del área de estudio 37

Figura 4.1. Esquematización de la Técnica de Mapas Índice (Tomado de Soeters and Van Westen, 1996). 46

Figura 4.2 Esquema del Mecanismo de Falla por Talud Infinito 55

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Relación de Correspondencia de Solicitud de Información Secundaria a las Entidades Oficiales 7

Tabla 1.2 Listado de Información Cartográfica Disponible para la Zona de Estudio - Igac 10

Tabla 1.3 Inventario de las Coberturas Cartográficas Suministradas por el Igac 12

Tabla 1.4 Lista de Fotografías Aéreas Disponibles para la Zona de Estudio 14

Tabla 1.5 Cartografía del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT, 2003) 15

Tabla 1.6 Comparativo Altimétrico entre los Modelos Digitales de Elevación 17

Tabla 1.7 Listado de información Geológica, Geomorfológica e Hidrológica Disponible para la Zona de Estudio 20

Tabla 2.1 Catálogo de Eventos: Movimientos en Masa Registrados en El Tablón de Gómez (continúa) 32

Tabla 2.2 Catálogo de Eventos: Movimientos en Masa Registrados en El Tablón de Gómez (continuación) 33

Tabla 3.1 Atributos de la Capa Límite Municipal, Veredal y Corregimental – Mapa Base Rural 38

Tabla 3.2 Distribución Espacial de las Construcciones en el Territorio Municipal – Mapa Base Rural 39

Tabla 3.3 Atributos de la Cobertura Construcciones – Mapa Base Rural 39

Tabla 3.4 Atributos de la Capa Curva de Nivel – Mapa Base Rural 40

Tabla 3.5 Atributos de la Capa Drenaje – Mapa Base Rural 41

Tabla 3.6 Atributos de la Capa Laguna – Mapa Base Rural 41

Tabla 3.7 Atributos de la Capa Puente – Mapa Base Rural 42

Tabla 3.8 Atributos de la Capa Vías – Mapa Base Rural 42

Tabla 4.1 Intervalos Propuestos para el Análisis de la Variable “Pendiente” en la Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa a Nivel Rural 48

Tabla 4.2 Intervalos Adoptados para la Variable “Densidad de Drenaje” en la Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa a Nivel Rural 49

Tabla 4.3 Intervalos Adoptados para la Variable “Curvatura” en la Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa a Nivel Rural 49

Tabla 4.4 Categorización para la Variable “Aspecto” Adoptada en la Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa a Nivel Rural 50

Tabla 4.5 Valoración de la Incertidumbre - Coeficientes de Variación Según Eurocode 57

PLANOS

Plano 1..... Mapa Base Rural a Escala 1:25.000

ANEXOS

Anexo A .....Correspondencia

Anexo A.1 ..... Correspondencia Enviada

Anexo A.2 ..... Correspondencia Recibida

Anexo B .....Información Secundaria

ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS BÁSICOS PARA LOS ESCENARIOS DE MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN, AVENIDAS TORRENCIALES E INCENDIOS FORESTALES PARA EL MUNICIPIO DE EL TABLÓN DE GÓMEZ

INFORME DE AVANCE 1

Temática de indudable importancia para el desarrollo a cualquier nivel territorial es la gestión del riesgo, y su contemplación en la toma de decisiones de orden político administrativo en los municipios de Colombia es inobjetable. La incorporación de esta materia en los planes de ordenamiento fue mandato desde la entrada en vigencia de los requerimientos legales y técnicos dictados por el decreto 1077 de 2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.

En busca de provisionar al departamento y al municipio con una de las herramientas más relevantes para atender el mandato, la Gobernación de Nariño ha suscrito el contrato GN2367-2021 con CI Ambiental S.A.S., a través del que se concierta la elaboración de los "Estudios Básicos para los Escenarios de Movimientos en Masa, Inundación, Avenidas Torrenciales e Incendios Forestales para El Municipio del Tablón de Gómez", destinados a implementarse en la planificación del territorio.

En este camino, el primer informe tiene por objeto reportar formalmente los avances logrados en la etapa inicial de desarrollo del proyecto, por lo que las páginas subsiguientes recuentan las mayores relevancias abstraídas de la información secundaria, recogen algunos pormenores de la generación de la cartografía básica del municipio, ilustran lo acaecido con el levantamiento topográfico de los centros poblados hasta la fecha, y exponen los métodos seleccionados para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa en los niveles rural y urbano.

1 INFORMACIÓN SECUNDARIA

La búsqueda de la información secundaria se efectúa con la intención de hacer el compendio de toda la información técnica o de emergencias que las entidades oficiales y privadas hayan reconocido, generado y recopilado en el tiempo. Se realiza, además, bajo la premisa de que el conocimiento de la historia entrega elementos de irrefutable valor a la previsión.

Así pues, acorde con las labores para las que están facultadas, se recurrió a las entidades de orden nacional, departamental y municipal, en busca de información cartográfica, territorial, hidroclimatológica, geológica, geomorfológica, de amenazas o riesgos, entre otra. Se remitió correspondencia con solicitud a la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres

(UNGRD); a la Gobernación de Nariño, representada por su competencia en la temática por la Dirección Administrativa de Gestión del Riesgo de Desastres (DAGRD); a la Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño); al Servicio Geológico Colombiano (SGC); al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Igac); y a la Alcaldía Municipal de El Tablón de Gómez.

De las comunicaciones distribuidas y reportadas en la Tabla 1.1, se obtuvieron las respuestas y la información que allí mismo se resume. La correspondencia enviada y la recibida se recopilan en el Anexo A.1.

Tabla 1.1 Relación de Correspondencia de Solicitud de Información Secundaria a las Entidades Oficiales

Entidad	Comunicado Emitido por CI Ambiental	Comunicado de Respuesta	Información Suministrada o Reportada
Servicio Geológico Colombiano – SGC	CI-2-060-22	20227000028681	El SGC reporta las temáticas de las que tiene manejo, y sugiere el uso de sus herramientas y páginas para realizar la consulta directa, para las que también entrega instrucciones de acceso: - Motor de Integración de Información Geocientífica – MIIG. Sitio de consulta de los estudios Geocientíficos y demás información institucional disponible - Geoportal. En el que se puede consultar los servicios web geográficos asociados - Sistema de Información de Movimientos en Masa – SIMMA. Agrupa información disponible sobre amenazas por remoción en masa - Sitio de Sismos. Divulga el monitoreo y análisis de la actividad sísmica y movimiento fuerte del país, así como la evaluación de la amenaza sísmica - Sitio de programas de investigación, productos y servicios - Sitio de Volcanes. Divulga el análisis de la actividad volcánica y de la amenaza, a partir de la integración de diferentes áreas del conocimiento en ciencias de la tierra). - Sitio Geored. Divulga información de la implementación de la Red Nacional de Estaciones Geodésicas Satelitales GPS con propósitos geodinámicos) - Sitio de programas de investigación, productos y servicios - Inventario de muestras de Litoteca - Hidrotermales. Divulga información del inventario de manifestaciones termales de Colombia - Mapa Geológico de Colombia

Entidad	Comunicado Emitido por CI Ambiental	Comunicado de Respuesta	Información Suministrada o Reportada
			- Cartografía geológica a escala 1:100.000 - Portal de Datos Abiertos del SGC - Listado de nuevos estudios oficializados (presenta la divulgación de estudios geocientíficos recientemente generados) - Sitio de revistas del SGC - Sitio de publicaciones científicas no seriadas
Instituto Geográfico Agustín Codazzi – Igac	CI-2-061-22	2410SCG-2022-0002213-EE-001	El Igac informa que tiene en su sitio web la herramienta "Colombia en Mapas", en la que se puede explorar y descargar la información oficial geográfica, cartográfica, geodésica, agrológica, y catastral del país. Además, entrega los pasos para efectuar la consulta y descarga de la información. En lo que a la información agrológica respecta, la entidad comunica que los shapefile de suelos y capacidad de uso a nivel departamental (esc. 1:100.000), y los estudios de conflicto entre uso y vocación de uso de los suelos se pueden descargar a través de las herramientas de datos abiertos y geoportal de la página web del Igac
Corporación Autónoma Regional de Nariño – Corponariño	CI-2-097-22	No se obtuvo respuesta	-
Gobernación de Nariño	CI-2-099-22	No se obtuvo respuesta	Pese a que no se recibió un pronunciamiento oficial como respuesta al oficio remitido por CI Ambiental, la Gobernación suministró a esta Consultoría el informe de la visita de emergencia a Aponte que el Servicio Geológico Colombiano hizo en 2016
Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)	CI-2-100-22	2022EE06571	La UNGRD informa que, conforme a las competencias, trasladó la consulta a la Gobernación de Nariño, en el marco de la Ley 1523 de 2012, del Decreto Nacional 4147 de 2011, del Artículo 21 de la Ley 1755 de 2015 (Radicado 2022ER05930)
Alcaldía Municipal de El Tablón de Gómez	CI-2-101-22	SPM 0401-23-2	La Alcaldía remite el Esquema de Ordenamiento Territorial 2001 – 2009, y el Plan de Desarrollo del Municipio (2020), y manifiesta no contar con más información. Es prudente relacionar el listado de información que se solicitó a la Alcaldía Municipal:

Entidad	Comunicado Emitido por CI Ambiental	Comunicado de Respuesta	Información Suministrada o Reportada
			"a) Mapa político municipal (o a mayor minucia, de ser posible) - En formatos .mxd, .shp, .dwg, pdf, etc. *b) Estudios de amenazas, vulnerabilidad y riesgos por MM, inundación, avenidas torrenciales y/o incendios forestales (Documentos, planos y anexos, preferiblemente en formato nativo)* *c) Diagnósticos o reportes de visitas técnicas* *d) Inventario de movimientos en masa (procesos inestables)* *e) Mapas topográficos a todas las escalas y de todos los años posibles* *f) Reporte de atención de emergencias: movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales, incendios (preferiblemente con localización)* *g) POT o EOT Municipal* *h) Delimitación de áreas urbanas y de expansión urbana* *i) Zonificaciones de amenazas, vulnerabilidad y riesgo* *j) Información del casco urbano y centros poblados del municipio* *k) Información socio económica del municipio* *l) Sitios críticos identificados para su contemplación en la evaluación de amenazas por movimientos en masa* *m) Cuerpos de agua identificados o considerados por la administración municipal como relevantes en la evaluación de inundaciones o torrencialidad"*

1.1 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Con la recolección de la información suministrada o hallada tanto en las bases de datos de las fuentes oficiales que se mencionaron en el aparte anterior, como en las de otras fuentes que disponen de acceso directo y abierto en la web, se logra acceder a los datos o documentos técnicos que se relacionan adelante, de los que se procura una síntesis enfocada en los aportes al proceso que nos ocupa.

1.1.1 Cartografía Básica, Fotografías Aéreas e Imágenes Satelitales

1.1.1.1 Instituto Geográfico Agustín Codazzi

Por ser la fuente oficial para esta temática, en la búsqueda de la cartografía base y de las fotografías aéreas disponibles para el municipio se recurre a la información que engrosa las bases de datos del

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). De este modo, se logra el acceso a las planchas 410 y 430 a escala 1:100.000; y 410IVB, 410IVD, 411IIIA, 411IIIB, 411IIIC, 411IIID, 430IA y 430IB, a escala 1:25.000; que cubren toda la extensión del municipio de El Tablón de Gómez; en los formatos y con los detalles que se reportan en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Listado de Información Cartográfica Disponible para la Zona de Estudio - Igac

Id. Registro	Título del Documento	Autor	Escala	Fecha	Formato del Archivo	Información General del Documento
1	Hoja 410	Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC	1:100000	2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008	PDF – GDB – GPKG – SHP	La hoja cartográfica cubre parcial o totalmente el (los) municipio(s) de Albán (Nariño), Arboleda (Nariño), Belén (Nariño), Buesaco (Nariño), Chachagüí (Nariño), Colón (Nariño), Cumbitara (Nariño), El Peñol (Nariño), El Rosario (Nariño), El Tablón (Nariño), El Tambo (Nariño), Florencia (Cauca), La Florida (Nariño), La Llanada (Nariño), La Unión (Nariño), Linares (Nariño), Los Andes (Nariño), Mercaderes (Cauca), Pasto (Nariño), Policarpa (Nariño), Samaniego (Nariño), San Lorenzo (Nariño), San Pedro De Cartago (Nariño), Sandoná (Nariño), Taminango (Nariño)
2	Hoja 410IVB	Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC	1:25000	2010	PDF – GDB – GPKG – SHP	La hoja cartográfica cubre parcial o totalmente el (los) municipio(s) de Buesaco (Nariño), Albán (Nariño), El Tablón (Nariño), Arboleda (Nariño), San Pedro De Cartago (Nariño), San Lorenzo (Nariño)
3	Hoja 410IVD	Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC	1:25000	2010	PDF – GDB – GPKG – SHP	La hoja cartográfica cubre parcial o totalmente el (los) municipio(s) de Buesaco (Nariño), El Tablón (Nariño)
4	Hoja 411IIIA	Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC	1:25000	2010	PDF – GDB – GPKG – SHP	La hoja cartográfica cubre parcial o totalmente el (los) municipio(s) de Albán (Nariño), El Tablón (Nariño), La Cruz (Nariño), San Bernardo (Nariño), San Pedro De Cartago (Nariño)

Id. Registro	Título del Documento	Autor	Escala	Fecha	Formato del Archivo	Información General del Documento
5	Hoja 411IIIB	Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC	1:25000	2007	PDF – GDB – GPKG – SHP	La hoja cartográfica cubre parcial o totalmente el (los) municipio(s) de El Tablón (Nariño), La Cruz (Nariño), San Bernardo (Nariño), Santa Rosa (Cauca)
6	Hoja 411IIIC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC	1:25000	2007, 2010	PDF – GDB – GPKG – SHP	La hoja cartográfica cubre parcial o totalmente el (los) municipio(s) de Buesaco (Nariño), El Tablón (Nariño) Sistema de referencia: MAGNA-SIRGAS / Origen-Nacional
7	Hoja 411IIID	Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC	1:25000	2007	PDF – GDB – GPKG – SHP	La hoja cartográfica cubre parcial o totalmente el (los) municipio(s) de El Tablón (Nariño), Mocoa (Putumayo), Santa Rosa (Cauca)
8	Hoja 430	Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC	1:100000	2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008	PDF – GDB – GPKG – SHP	La hoja cartográfica cubre parcial o totalmente el (los) municipio(s) de Buesaco (Nariño), Colón (Putumayo), El Tablón (Nariño), Mocoa (Putumayo), Pasto (Nariño), Piamonte (Cauca), San Francisco (Putumayo), Santa Rosa (Cauca), Santiago (Putumayo), Sibundoy (Putumayo), Villagarzón (Putumayo)
9	Hoja 430IA	Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC	1:25000	2007	PDF – GDB – GPKG – SHP	La hoja cartográfica cubre parcial o totalmente el (los) municipio(s) de Buesaco (Nariño), Colón (Putumayo), El Tablón (Nariño)
10	Hoja 430IB	Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC	1:25000	2007	PDF – GDB – GPKG – SHP	La hoja cartográfica cubre parcial o totalmente el (los) municipio(s) de Buesaco (Nariño), Colón (Putumayo), El Tablón (Nariño), Mocoa (Putumayo), San Francisco (Putumayo), Sibundoy (Putumayo)

El acceso a estas planchas cartográficas se logra en formato .pdf y en los formatos nativos (.shp), por lo que es posible hacer una revisión más profunda, dar mayor utilidad a los datos obtenidos, y minimizar la incertidumbre en la georreferenciación de las coberturas.

De esta manera, se accede a las coberturas, y se corrobora la existencia o la falencia de la información en cada una de ellas. La Tabla 1.3 entrega la relación de las capas y la verificación realizada, y discrimina por capa y por plancha la disponibilidad o la ausencia de los datos obtenidos del Igac.

Tabla 1.3 Inventario de las Coberturas Cartográficas Suministradas por el Igac

Layer	Información Incluida en la Capa							
	410-IV		411-III				430-I	
	B	D	A	B	C	D	A	B
Administrativo_P.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Administrativo_P_Anot.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Bosque_Grupo_arboles.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Cerca.shp	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No
Construccion_P.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Construccion_P_Anot.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Construccion_R.shp	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
Curva_Nivel.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Curva_Nivel_Anot.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Drenaje_Sencillo.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Drenaje_Sencillo_Anot.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Drenaje_Doble.shp	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No
Drenaje_Doble_Anot.shp	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No
IndEscala.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Laguna.shp	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Laguna_Anot.shp	No	No	No	Sí	No	Sí	No	No
Limite_Via.shp	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
Limite_Via_R.shp	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No
Mina_P.shp	Sí	No	No	No	No	No	No	No
Mina_P_Anot.shp	Sí	No	No	No	No	No	No	No
Orografia.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Orografia_Anot.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Otros_Textos.shp	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No
Otros_Textos_Anot.shp	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No
Puente_L.shp	Sí	Sí	No	No	No	No	No	No
Puente_L_Anot.shp	Sí	No	No	No	No	No	No	No
Puente_P.shp	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No	No
Puente_P_Anot.shp	No	No	Sí	No	No	No	No	No
Punto_Aerotriangulacion.shp	No	Sí	No	No	No	Sí	No	No
Punto_Aerotriangulacion_Anot.shp	No	Sí	No	No	No	Sí	No	No
Via.shp	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Via_Anot.shp	Sí	No	No	Sí	No	No	No	No

Del análisis de la cartografía básica obtenida del Igac, puede mencionarse que está generada a partir de imágenes satelitales Geosar (2007) y Rapideye (2010), y que las coberturas de bosques, cercas, construcciones, drenaje doble, laguna, vía, mina y puente, se hallan incompletas para cubrir completamente el municipio, por lo que se inicia un nuevo proceso de acercamiento al Instituto, con el ánimo de solicitar la complementación de las capas truncadas.

Ahora bien, es importante destacar que las curvas de nivel que hacen parte de las planchas a escala 1:100.000 están espaciadas verticalmente 100 m, de conformidad con su escala; pero las que hacen parte de los mapas 1:25.000 difieren del detalle esperado, pues están espaciadas cada 50 m, y no cada 25 m, como sería coherente.

Por otra parte, también en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi se realiza la búsqueda de las aerofotografías que pueden resultar útiles para el fin que se pretende, y se identifica la serie de fotografías aéreas que se lista en la Tabla 1.4, de las que se especifica el vuelo, la fotografía, la fecha y el área capturada. A éstas se accede a través de la herramienta dispuesta por el Igac: Colombia en Mapas (colombiaenmapas.gov.co). La Figura 1.1 ilustra la distribución de las aerofotografías en la interfaz de la herramienta de búsqueda y el Anexo B agrupa las aerofotografías obtenidas.

No.	Tipo	Sensor	Fecha	Resolución
1	Fotografía aérea	WILD RC-30	31/01/1995	
2	Fotografía aérea	WILD RC-30	31/01/1995	
3	Fotografía aérea	WILD RC-30	31/01/1995	
4	Fotografía aérea	WILD RC-30	31/01/1995	
5	Fotografía aérea	WILD RC-30	31/01/1995	
6	Fotografía aérea	WILD RC-30	14/02/1995	
7	Fotografía aérea	WILD RC-30	14/02/1995	
8	Fotografía aérea	WILD RC-30	14/02/1995	
9	Fotografía aérea	WILD RC-30	14/02/1995	
10	Fotografía aérea	WILD RC-30	14/02/1995	
11	Fotografía aérea	WILD RC-30	14/02/1995	
12	Fotografía aérea	WILD RC-30	14/02/1995	
13	Fotografía aérea	WILD RC-30	14/02/1995	
14	Fotografía aérea	WILD RC-30	14/02/1995	
15	Fotografía aérea	WILD RC-30	14/02/1995	

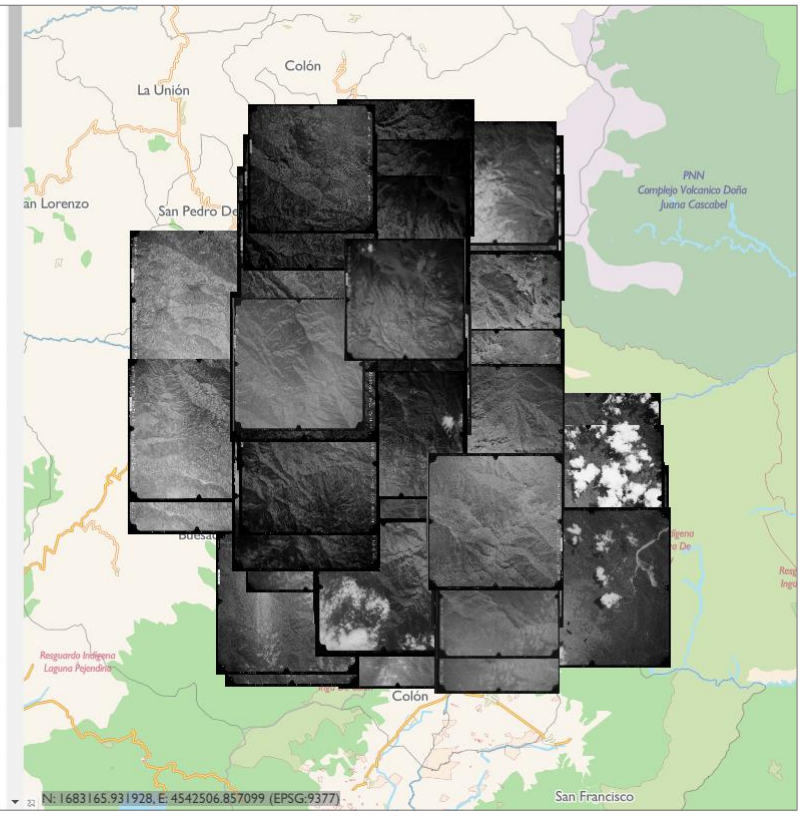


Figura 1.1 Distribución Espacial de las Aerofotografías Disponibles para el Análisis de El Tablón de Gómez

Fuente: Colombia en Mapas (2022)

Tabla 1.4 Lista de Fotografías Aéreas Disponibles para la Zona de Estudio

Id. Registro	Tipo de documento	Disciplina	Título del Documento		Fecha	Información General del Documento (Área m²)
			C-Vuelo	Fotografía		
1	Fotografías aéreas	Fotografía	2568	91	15/01/1995	8209,803
2			2568	92	15/01/1995	8390,925
3			2568	93	15/01/1995	8335,564
4			2568	94	15/01/1995	8888,312
5			2568	95	15/01/1995	8466,416
6			2568	96	15/01/1995	8445,739
7			2568	97	15/01/1995	8309,134
8			2568	98	15/01/1995	10832,470
9			2568	99	15/01/1995	10824,730
10			2568	100	15/01/1995	10010,940
11			2568	101	15/01/1995	11207,380
12			2568	102	15/01/1995	11679,140
13			2568	103	15/01/1995	9263,568
14			2568	104	15/01/1995	10851,650
15			2568	105	15/01/1995	9472,306
16			2568	106	15/01/1995	9563,418
17			2568	107	15/01/1995	9386,864
18			2569	13	09/02/1995	11296,290
19			2569	14	09/02/1995	12190,510
20			2569	15	09/02/1995	9623,531
21			2569	16	09/02/1995	9886,688
22			2569	17	09/02/1995	9773,636
23			2569	18	09/02/1995	8871,894
24			2569	138	09/02/1995	9335,755
25			2569	139	09/02/1995	9512,882
26			2569	140	09/02/1995	9668,898
27			2569	141	09/02/1995	10441,840
28			2569	142	09/02/1995	10536,170
29			2569	143	09/02/1995	10789,570
30			2569	144	09/02/1995	10971,560
31			2569	145	09/02/1995	10941,770
32			2569	146	09/02/1995	10205,200
33			2570	212	31/01/1995	8757,717
34			2570	213	31/01/1995	10253,790
35			2571	228	14/02/1995	8755,060
36			2571	229	14/02/1995	8730,673
37			2571	230	14/02/1995	8474,943
38			2571	231	14/02/1995	9014,150
39			2571	232	14/02/1995	9602,929

1.1.1.2 Satélite Alos

El satélite *Alos* de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) entra en funcionamiento el 16 de mayo de 2006, y en los cinco años en los que estuvo en funcionamiento (que se extendió hasta el 22 de abril de 2011) logró la captura de todo el planeta aproximadamente cada cuarenta y cinco días con su sensor *Palsar*. La obtención de la información satelital se realiza en provecho de la herramienta dispuesta por The Alaska Satellite Facility (ASF) que es ofrecida en línea por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de los Estados Unidos (NASA).

Para los fines que enmarcan este estudio, resulta sumamente útil el modelo digital del terreno (MDT) que el *Alos Palsar* logra a partir de la imagen satelital captada el 27 de octubre de 2010, con resolución espacial de 12.5 m. Dado que el MDT es un subproducto del radar de apertura sintética, no se ve afectado por condiciones ambientales como nubosidades leves, por lo que la información tomada es un fiel reflejo del territorio. Esto lo hace un insumo sin pérdida sustancial de información, que resulta muy valioso para la generación de la cartografía base.

A partir de la información del radar se logra la generación de las curvas de nivel cada 25 m en toda la extensión del municipio, con lo que se consigue una mejora sustancial para el fin que se busca, si se le compara con las curvas de nivel cada 50 m que involucran las planchas obtenidas del Igac.

1.1.1.3 Esquema de Ordenamiento Territorial (2003)

El esquema de ordenamiento territorial suministrado por la Alcaldía Municipal contiene los planos básicos y temáticos a los que se les dará el provecho más adecuado, en consideración de su antigüedad y de la disponibilidad de datos más recientes. De forma concisa, el esquema cuenta con los planos que se listan en la Tabla 1.5, en la que se discriminan las temáticas cubiertas para las cartografías rural y urbana.

Tabla 1.5 Cartografía del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT, 2003)

Nivel	Plano
Cartografía Rural	01 - Mapa Topográfico Base
	02 - Mapa Topográfico Base Simplificado
	03 - Mapa de División de Corregimientos y Resguardo
	04 - Mapa Político Administrativo - División Veredal
	05 - Mapa Geomorfológico
	06 - Mapa Geológico
	07 - Mapa de Pisos Térmicos
	08 - Mapa de Localización Estaciones Climáticas

Nivel	Plano
Cartografía Rural	09 - Mapa Climatológico
	10 - Mapa de suelos
	11 - Mapa Agrológico
	12 - Mapa de Uso Actual Suelo
	13 - Mapa de Red de Drenaje y Ecosistemas Sociales
	14 - Plano de Lagunas
	15 - Mapa de Amenazas y Riesgos
	16 - Mapa de Ecosistemas para la Biodiversidad
	17 - Mapa de Zonas de Vida
	18 - Mapa de Pendientes
	19 - Mapa de Unidades Paisaje
	20 - Mapa de Sitios Culturales
	21 - Mapa de Distribución de Viviendas
	22 - Mapa de Infraestructura Existente y Proyectada
	23 - Mapa de Reglamentación del Uso del Suelo Rural
	24 - Mapa de Propuesta Político-administrativo
	25 - Mapa General de Ecosistemas
Cartografía Urbana	1 - El Tablón de Gómez. Usos Actuales del Suelo
	2 - El Tablón de Gómez. Amenazas
	3 - El Tablón de Gómez. Vías Zonificación
	4 - El Tablón de Gómez. Uso del Suelo Propuesto
	5 – El Tablón de Gómez. Servicios Equipamiento Uso
	6 - Las Mesas. Uso Suelo - Topográfico
	7 - Las Mesas. Riesgos y Amenazas
	8 - Las Mesas. Zonificación Ecológica
	9 - Las Mesas. Usos del Suelo Propuesta
	10 - Las Mesas. Equipamientos y Servicios
	11 – Aponte. Suelos y Vías
	12 – Aponte. Servicios Equipamientos
	13- Aponte. Amenazas
	14 - La cueva
	15 – Pompeya. Urbano General

1.1.1.4 Análisis de la Información Cartográfica

Expuestos los detalles de la cartografía básica obtenida del Igac, y especificadas las particularidades de la información emanada del satélite Alos y de su radar Palsar, es menester realizar el comparativo de los datos, a fe de seleccionar los insumos que resulten más propicios para la elaboración del mapa base a nivel municipal, que se implementará en la estimación del panorama de amenazas para El Tablón de Gómez.

Recopilando alguna de la información que se ha expuesto por separado para cada fuente, es conveniente remembrar:

a) Los datos a partir de los que el Igac genera sus curvas de nivel provienen de las imágenes satelitales Geosar de 2007 y Rapideye de 2010. La imagen satelital obtenida del satélite Alos Palsar es captada el 27 de octubre de 2010.

b) Las curvas de nivel del mapa generado por el Igac a escala 1:25.000 cuenta con curvas de nivel cada 50 m. A partir del MDT del Alos Palsar es posible generar las curvas de nivel cada 25 m, requeridas para atender el nivel de detalle de la escala de trabajo del estudio.

c) Algunas de las coberturas temáticas que suministra el Igac (bosques, cercas, construcciones, drenaje doble, laguna, vía, mina y puente) se encuentran sin información para algunas de las planchas con las que se abarca el municipio completo.

Ahora bien, a fe de efectuar un control de fiabilidad y coincidencia de los datos obtenidos del Alos Palsar -por obtenerse de estos mayor detalle-, frente a los entregados por el Igac -por ser éste la fuente oficial-, se efectúa un paralelo de los modelos digitales de elevación (DEM) construidos a partir de una y otra fuente. La Figura 1.2 y la Figura 1.3 incorporan los perfiles que calcan la morfología en las secciones de comparación (E-W y NW-SE), y que permiten visualizar la diferencia en la referencia altimétrica entre los DEM. Algunas magnitudes que permiten cuantificar las diferencias entre los modelos son los que se reportan en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6 Comparativo Altimétrico entre los Modelos Digitales de Elevación

DEM Alos Palsar	DEM Igac
Minimum value: 1361	Minimum value: 1350
Maximum value: 4189	Maximum value: 4150
Range: 2828	Range: 2800
Sum: 5389918563	Sum: 5323659556.588501
Mean value: 2802.700701881738	Mean value: 2767.517105268808
Standard deviation: 534.3557948876561	Standard deviation: 530.2569719947963
Sum of the squares: 549118786817.512	Sum of the squares: 540869522827.1496

Valores de Elevación en m.s.n.m.

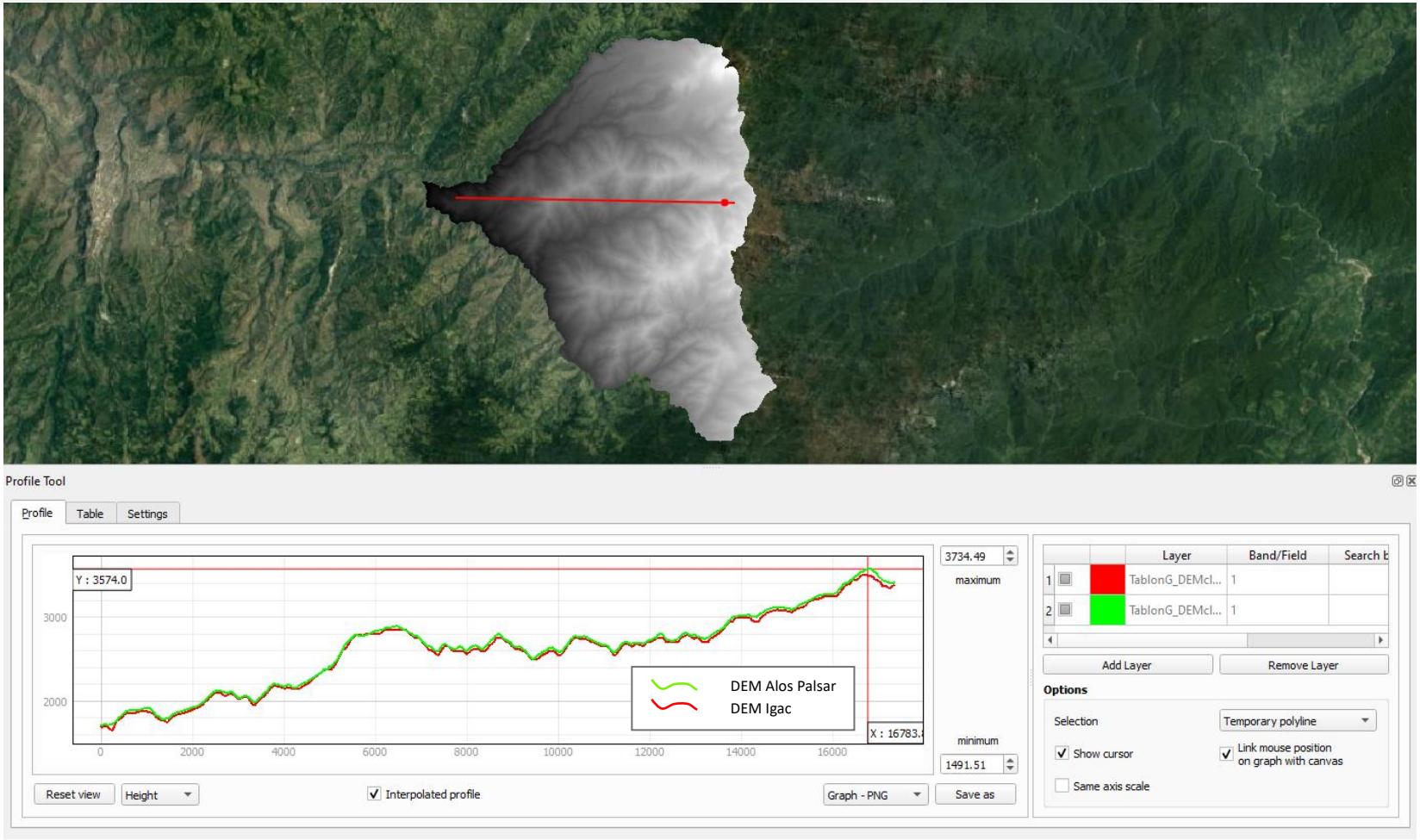


Figura 1.2 Comparativo Entre los Modelos de Elevación Digital de las Fuentes Igac (2013) y Alos Palsar (2010). Dirección de Control E-W

Fuente: Elaboración Propia

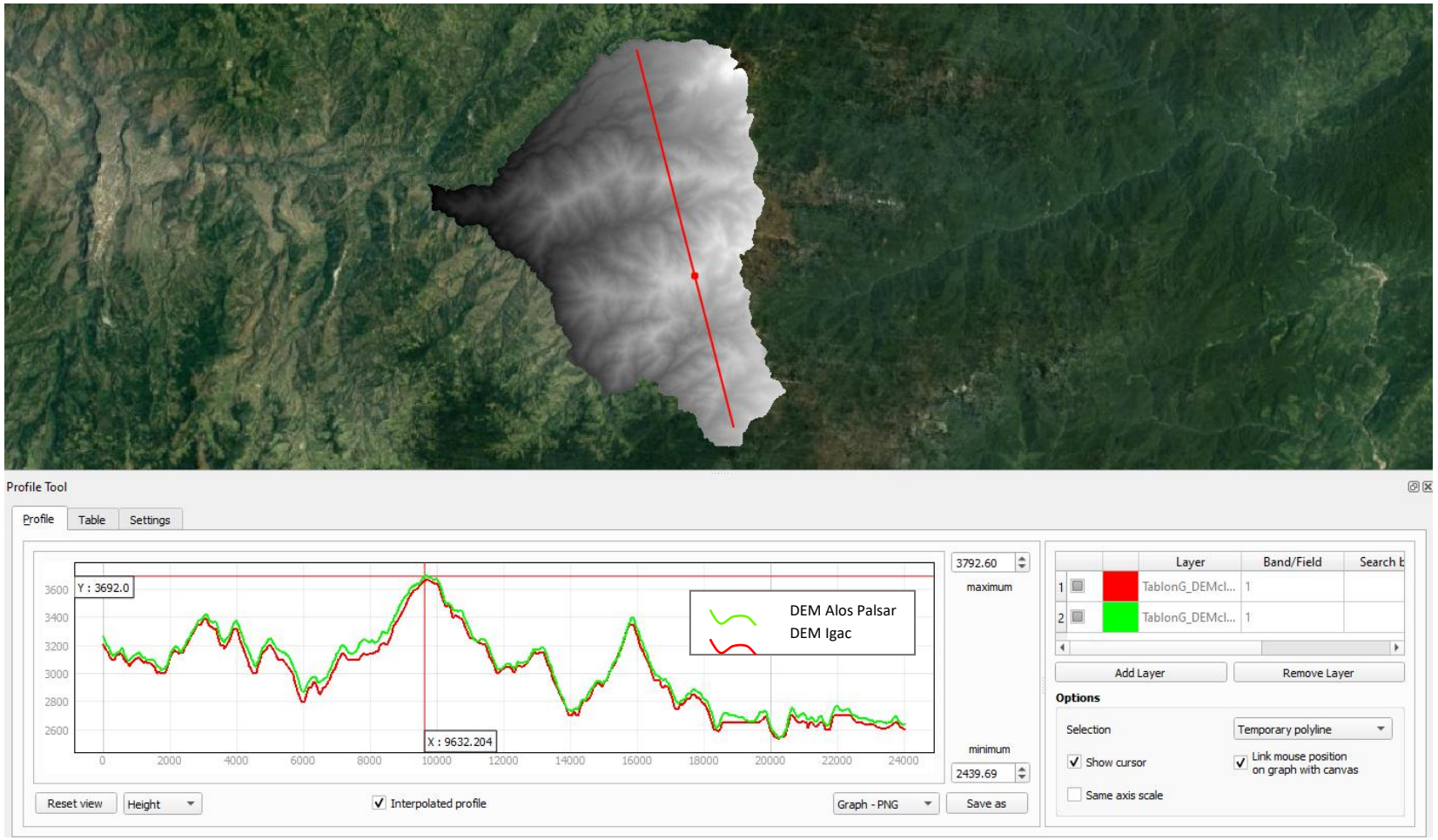


Figura 1.3 Comparativo Entre los Modelos de Elevación Digital de las Fuentes Igac (2013 - 2015) y Alos Palsar (2010). Dirección de Control E-W

1.1.2 Información Geológica, Geomorfológica y de Amenazas

Por ser la principal fuente temática asociada, se solicita de manera formal al Servicio Geológico Colombiano (SGC) la información geológica, geomorfológica y de amenazas del municipio. Información que resulta fundamental para el análisis de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo en el Tablón de Gómez, Nariño. Los datos pedidos al SGC se resumen en:

- Estudios y zonificaciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa
- Informes o estudios Geológicos y Geomorfológicos con sus respectivos mapas o planchas
- Estudios Hidrológicos
- Reporte de atención de emergencias o de visitas técnicas por movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios
- Diagnósticos o reportes de visitas técnicas de atención a movimientos en masa, inundación, torrencialidad o incendios
- Mapas con curvas de nivel, drenajes, redes viales, centros poblados, asentamientos humanos, infraestructura, equipamientos (en formatos .dwg, .shp. mxd, etc., con que pudiera contar la entidad)

Dado que, como se especifica en la Tabla 1.1, la respuesta de la solicitud que se realizó al SGC recontó las herramientas con que cuenta la Entidad para acceder a los datos, conforme a las indicaciones suministradas se efectuó la búsqueda de temáticas como geología, geomorfología e hidrología en sus bases de datos, y se obtuvo la información que se menciona en la Tabla 1.7 y en el numeral 1.1.3.

Tabla 1.7 Listado de información Geológica, Geomorfológica e Hidrológica Disponible para la Zona de Estudio

Id. Registro	Tema de Referencia	Título del Documento	Autor	Escala	Fecha	Formato del Archivo	Información General del Documento
1	Muestreo Geoquímico	Informe Final – Zona 1	Servicio Geológico Colombiano		Enero de 2017	Word	Informe final muestreo geoquímico de sedimentos finos activos o de lecho seco, en zonas de interés del territorio Colombiano. Trae sus anexos como el registro fotográfico

Id. Registro	Tema de Referencia	Título del Documento	Autor	Escala	Fecha	Formato del Archivo	Información General del Documento
2	Muestreo Geoquímico	Hoja 410IVB	Servicio Geológico Colombiano	1:25000	Enero de 2017	PDF – MXD	Mapa de muestreo geoquímico de sedimentos finos activos de corriente y/o lecho seco – Cuenca Alto Patía
3	Muestreo Geoquímico	Hoja 410IVD	Servicio Geológico Colombiano	1:25000	Enero de 2017	PDF – MXD	Mapa de muestreo geoquímico de sedimentos finos activos de corriente y/o lecho seco – Cuenca Alto Patía
4	Muestreo Geoquímico	Hoja 429 IIA	Servicio Geológico Colombiano	1:25000	Enero de 2017	PDF – MXD	Mapa de muestreo geoquímico de sedimentos finos activos de corriente y/o lecho seco – Cuenca Alto Patía
5	Muestreo Geoquímico	Hoja 429 IIB	Servicio Geológico Colombiano	1:25000	Enero de 2017	PDF – MXD	Mapa de muestreo geoquímico de sedimentos finos activos de corriente y/o lecho seco – Cuenca Alto Patía
6	Muestreo Geoquímico	Hoja 429 IID	Servicio Geológico Colombiano	1:25000	Enero de 2017	PDF – MXD	Mapa de muestreo geoquímico de sedimentos finos activos de corriente y/o lecho seco – Cuenca Alto Patía
7	Muestreo Geoquímico	Hoja 430 IA	Servicio Geológico Colombiano	1:25000	Enero de 2017	PDF – MXD	Mapa de muestreo geoquímico de sedimentos finos activos de corriente y/o lecho seco – Cuenca Alto Patía
8	Muestreo Geoquímico	Hoja 430 IB	Servicio Geológico Colombiano	1:25000	Enero de 2017	PDF – MXD	Mapa de muestreo geoquímico de sedimentos finos activos de corriente y/o de lecho seco plancha 430ia cuencas alto Patía y Río Putumayo
9	Muestreo Geoquímico	Hoja 430 IC	Servicio Geológico Colombiano	1:25000	Enero de 2017	PDF – MXD	Mapa de muestreo geoquímico de sedimentos finos activos de corriente y/o lecho seco – Cuenca Alto Patía

Id. Registro	Tema de Referencia	Título del Documento	Autor	Escala	Fecha	Formato del Archivo	Información General del Documento
10	Muestreo Geoquímico	Hoja 430 ID	Servicio Geológico Colombiano	1:25000	Enero de 2017	PDF – MXD	Mapa de muestreo geoquímico de sedimentos finos activos de corriente y/o lecho seco – Cuenca Alto Patía
11	Cuenca Hidrográfica	La Cuenca Hidrográfica del Juanambu	Servicio Geológico Colombiano		30 de Junio de 1941	PDF	Estudio Geológico – Ensayo de geología económica de Nariño y Putumayo
12	Geología	Geología de la plancha 410 La UniónDepartamento de Nariño	Instituto Colombiano de Geología y Minería Ingeominas – Armando Murcia Leal Héctor Cepeda Vanegas	1:100000	Bogotá 1991	PDF	Memoria explicativa de mapa geológico de Colombia
13	Plancha	Geología de la Plancha 41	Instituto Colombiano de Geología y Minería Ingeominas	1:100000	Bogotá 1991	PDF, JPG, MXD	Memoria explicativa de mapa geológico de Colombia
14	Movimientos en masas	Memoria Explicativa Mapa Geomorfológico Aplicado a Movimientos en Masa, Escala 1:100.000, Plancha 411 – La Cruz	Servicio Geológico Colombiano		Abril de 2015	PDF	Informe donde se describen las unidades geomorfológicas de la plancha 411 que comprende los departamentos de Nariño, Cauca y Putumayo; Donde se constituye la zonificación de amenaza por movimientos en masas.
15	Plancha	Mapa Geomorfológico Aplicado a Movimientos en Masa Plancha 411 La Cruz	Servicio Geológico Colombiano	1:100000	Abril de 2015	PDF	Mapa Geomorfológico Aplicado a movimientos en masa Plancha 411

1.1.3 Informe Visita Técnica de Emergencia al Resguardo Indígena Inga Aponte en el Municipio de El Tablón de Gómez – Departamento de Nariño (SGC, 2016)

Una comisión interinstitucional conformada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la Corporación Regional de Nariño (Corponariño) y el Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres (CDGRD) de Nariño, convocada por el Comité de Conocimiento del Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres (CDGRD) del Departamento de Nariño, efectuó el reconocimiento de un movimiento en masa que afecta la cabecera del Resguardo Indígena Inga Aponte, en el municipio de El Tablón de Gómez.

NW: X: 1.005.465 - Y: 646.490 NE: X: 1.005.465– Y: 645.905

SW: X: 1.006.120– Y: 645.905 SE: X: 1.006.1200 – Y: 645.905

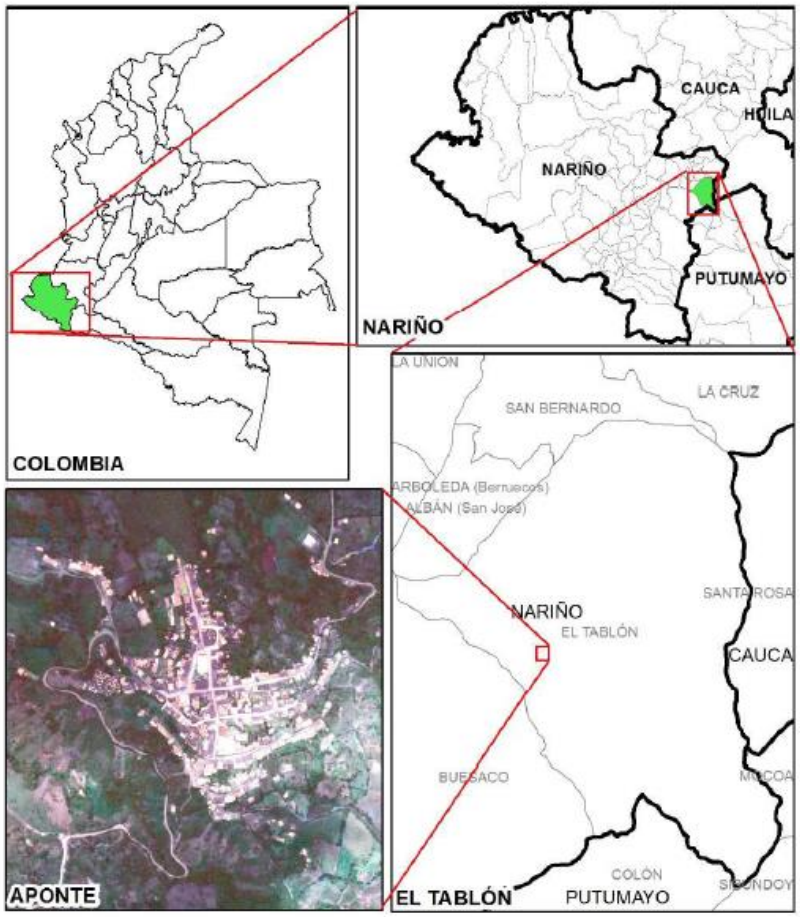


Figura 1.4 Localización de la Zona de Estudio de SGC (2016)

Fuente: SGC (2016)

El proceso inestable abarca cerca de 10 Ha., se ubica en el sector norte de Aponte, y limita "*al occidente por la calle de la iglesia, al norte u oriente por la quebrada San Francisco y al sur por el barrio El Progreso*". Su localización, graficada por la Entidad, es la visible en la Figura 1.4.

En el marco de esta investigación, los autores reportan la presencia de cuatro estaciones pluviométricas en el área de influencia de Aponte: 1) Aponte, instalada en julio de 1972; 2) La Cruz, en funcionamiento desde marzo de 1971; 3) Buesaco, con reportes desde agosto de 1952; y 4) San Bernardo, capturando información desde septiembre de 1972. En análisis de la información pluviométrica consultada por el SGC en la estación Aponte, el autor identifica dos periodos lluviosos anuales: el primero, de enero a marzo, con un promedio de precipitación de 201.7 mm; y el segundo, de septiembre a diciembre, con una media de precipitación de 256.7 mm. Las menores precipitaciones son identificadas entre los meses de junio y agosto, para los que se registran valores medios de 37.3 mm, 33.0 mm y 36.4 mm, en el mismo orden.

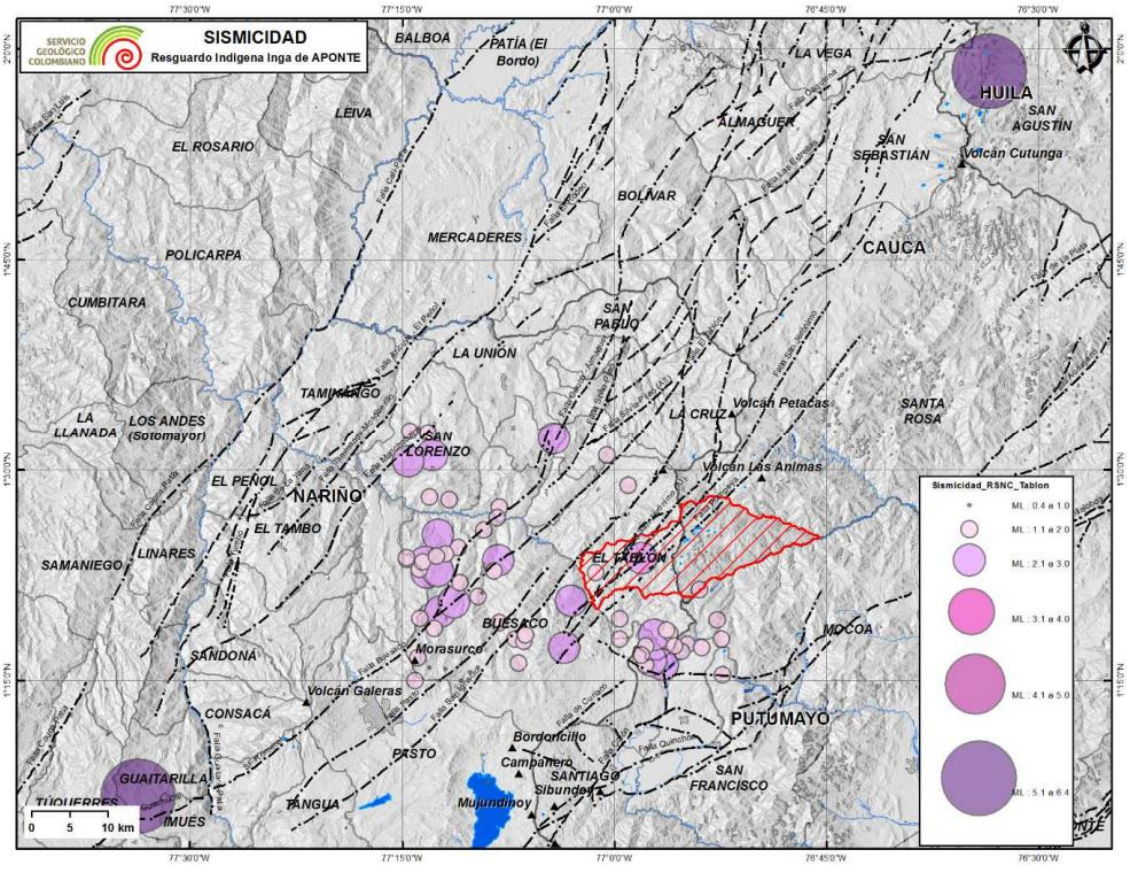


Figura 1.5. Localización Epicentral de la Sismicidad Registrada y Localizada por el SGC – RSNC entre 1993 y 2015

Se resaltan los rasgos principales de fallas que hacen parte del sistema de Romeral y, en rojo, se muestra el Resguardo Indígena Inga Aponte. Fuente: SGC (2016)

Ahora bien, el autor resalta que según lo manifestado por la comunidad: la lluvia no es, al menos directamente, el principal detonante del movimiento en masa, pues éste se detonó en temporada seca.

En lo que a la sismicidad respecta, el SGC apunta que si bien el departamento de Nariño tiene un amplio intervalo de aceleración horizontal máxima en roca esperado (PGA), que varía entre los 200 cm/s^2 y los 700 cm/s^2, El Tablón de Gómez cuenta con valores de PGA de entre 150 cm/s^2 y 250 cm/s^2. También es de considerar que la zona está altamente influenciada por el Sistema de Fallas de Romeral, con dirección predominante SW-NE, sistema representado en Nariño por las fallas Buesaco, San Ignacio, Curiaco, Silvía-Pijao, Cauca-Almaguer, por mencionar algunas.

Dentro de los análisis realizados por los autores, se identificaron los sismos en cercanías al resguardo indígena Inga, registrados por la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) entre 1993 y 2015. En la Figura 1.5 se resalta la sismicidad de la zona, de acuerdo con la información base consultada por el autor.

El autor resalta, sobre la sismicidad de la zona, lo siguiente:

- "(…) El sismo de mayor magnitud registrado en inmediaciones del Municipio de El Tablón de Gómez por la RSNC entre 1993 y 2015, fue de ML: 3,0 y se presentó el 3 de junio de 2011.
- Entre enero de 2014 y mayo de 2015, se registraron 10 sismos, cuya magnitud máxima fue ML: 2,5. De estos sismos, 3 se registraron en el 2014 (enero, junio y octubre) y su magnitud máxima fue ML: 2,5. Los otros 7 eventos se presentaron en el 2015 [febrero (2), abril (4) y mayo (1)] alcanzando una magnitud máxima ML: 2,1.
- De acuerdo con los registros de la RSNC no se han presentado sismos importantes en la zona de influencia del Municipio de El Tablón de Gómez entre noviembre de 2014 y diciembre de 2015 que puedan relacionarse o resaltarse como detonantes del fenómeno de movimiento en masa rotacional que se viene presentando en la cabecera del Resguardo de Aponte. (…)"

Del mismo modo, el autor resalta dos eventos de sismicidad con magnitud mayor a 6, los cuales son:

- Sismo de La Vega, Cauca, con fecha del 30 de septiembre de 2012; magnitud ML=6.4; Profundidad: 172 km
- Sismo de Guaitarilla, Nariño, con fecha del 9 de febrero de 2013; magnitud ML=6.4; Profundidad: 163 km

Al autor resalta la importancia de este tipo de sismos en la región de influencia del Resguardo Indígena Inga Aponte, puesto que, a pesar de ser eventos relativamente profundos, la propagación de su energía es tal que puede generar efectos y afectaciones a distancias variables del epicentro y

que de registrarse un evento de características similares en la actualidad, se podría constituir como un detonador definitivo para que un movimiento en masa y sus afectaciones se aceleren de manera significativa, incrementando el riesgo de los habitantes de esa comunidad.

En lo que a la caracterización geológica regional y local respecta, el SGC manifiesta que el sector estudiado está compuesto principalmente por rocas volcanosedimentarias del Cretácico Inferior y depósitos volcánicos y volcanosedimentarios del plio-pleistoceno y plio-cuaternario. Estas rocas no corresponden a los volcanes activos actuales de la zona, en la que se reconoce la participación de rocas cretácicas del complejo Quebradagrande (K1cqg) y de los Gabros Aponte (Kgbapo); y de rocas Neógenos, representadas por Lavas y Piroclastos (NQlp).

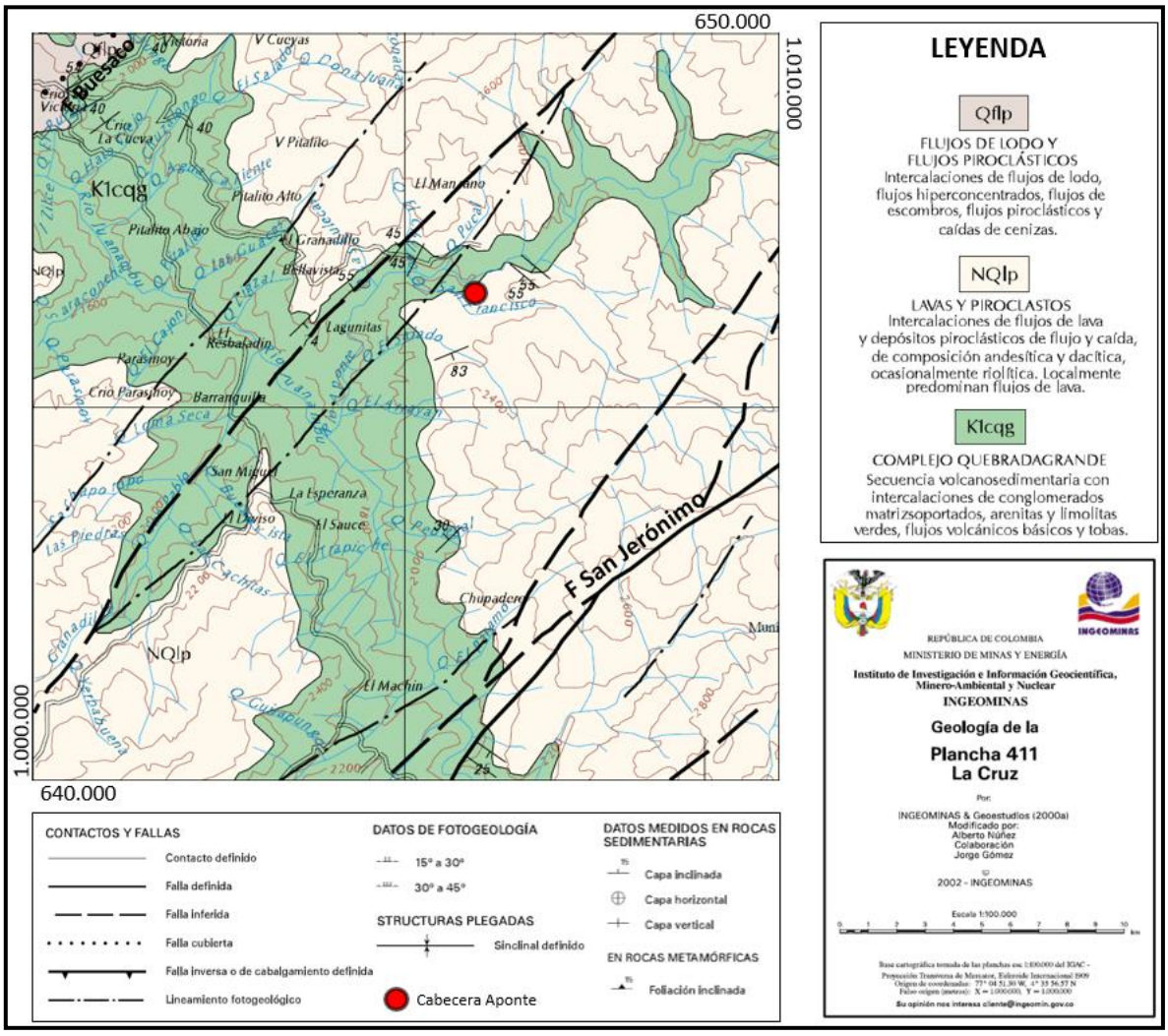


Figura 1.6 Geología de la Plancha 411 La Cruz, escala 1:100.000 (Ingeominas, 2002)

Fuente: SGC (2016)

Concerniente a la tectónica, se resalta que el área está influenciada por la cordillera centro oriental, y está posicionada sobre el bloque occidental de dos que están separados por la falla de cabalgamiento de Afiladores (dirección NE). El documento, además, recoge algunas particularidades de las fallas Buesaco y San Jerónimo, que se grafican en la Figura 1.6.

Para el marco geológico local, si bien el informe de la visita de emergencia no cuenta con un plano en el que se espacialicen las unidades geológicas de superficie, se reporta la presencia de: 1) depósitos coluviales compuestos por limo arcillosos que envuelven cantos y bloques, de color café claro, de humedad media y alta, altamente plásticos y de consistencia media, que son los involucrados en los movimientos en masa identificados; 2) suelos residuales; y 3) suelos de llenos mixtos.

Del componente geomorfológico se puede resumir que el área analizada se extiende de occidente a oriente desde el río Aponte hasta la vereda Tajumbina, y de norte a sur desde la quebrada San Francisco hasta una quebrada donde se disponen las aguas servidas del sector sur del área urbana. La zona es drenada por quebradas y ríos que nacen en el eje de la cordillera, con drenajes tipo subparalelo a paralelo. En el área urbana del centro poblado de Aponte, es una un cono o lóbulo alargado, con deformaciones tipo escalonado y ondulado. Tres escalonamientos bien marcados en el área urbana de Aponte denotan la parte inicial de un proceso antiguo, y son indicativos de que el depósito ha sido afectado en el pasado por movimientos en masa (véanse la Figura 1.7 y la Figura 1.8).



Figura 1.7 Deformación del Depósito Coluvial, Tipo Escalonamiento

Fuente: SGC (2016)

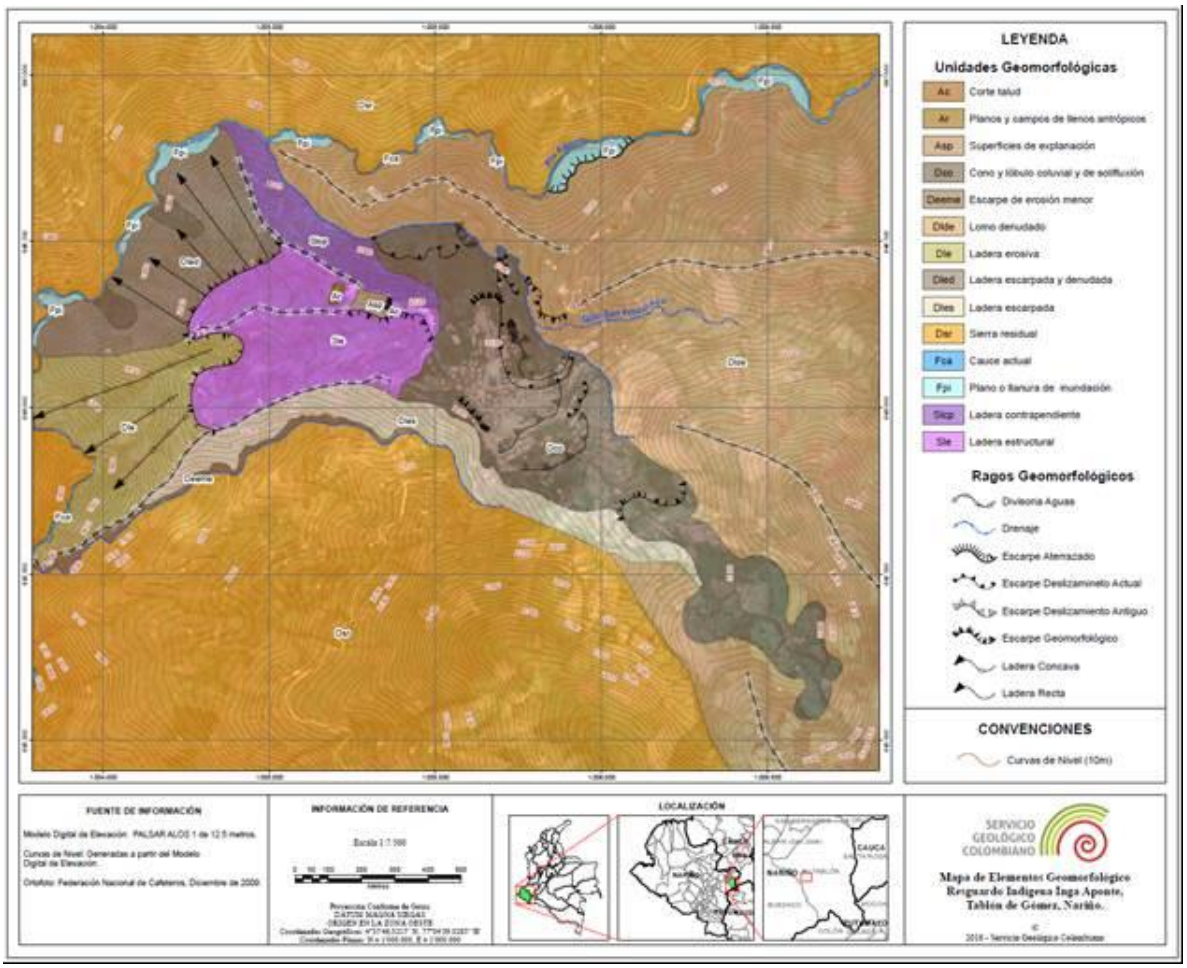


Figura 1.8 Mapa Geomorfológico de Aponte – Visita de Emergencia

Fuente: SGC (2016)

Del análisis del movimiento en masa que afecta a Aponte, se puede mencionar que el SGC ha identificado un movimiento en masa que se detona en una ladera cerca de la quebrada San Francisco. El mecanismo es inferido como rotacional de detritos, con un estado activo y distribución retrogresiva y avanzada, que involucra depósitos coluviales matriz soportados y clasto soportados. Tiene una diferencia de corona a punta de 30 m, una longitud horizontal de 145 m, una pendiente pre falla de 43° y una dirección de movimiento de 40° de azimut. Afecta alrededor de 4.8 hectáreas, y se estima que abarca un volumen de material desplazado de 481 m^3. La Figura 1.9 es una captura fotográfica que registra la apariencia del movimiento en masa en 2016.

Se reporta en el informe, además, la presencia de otros procesos (caídas de detritos y flujos de tierra) de menor magnitud que afectan “viviendas, cultivos y caminos” gestados por las altas pendientes de los coluviones disectados en los flancos de la quebrada San Francisco.

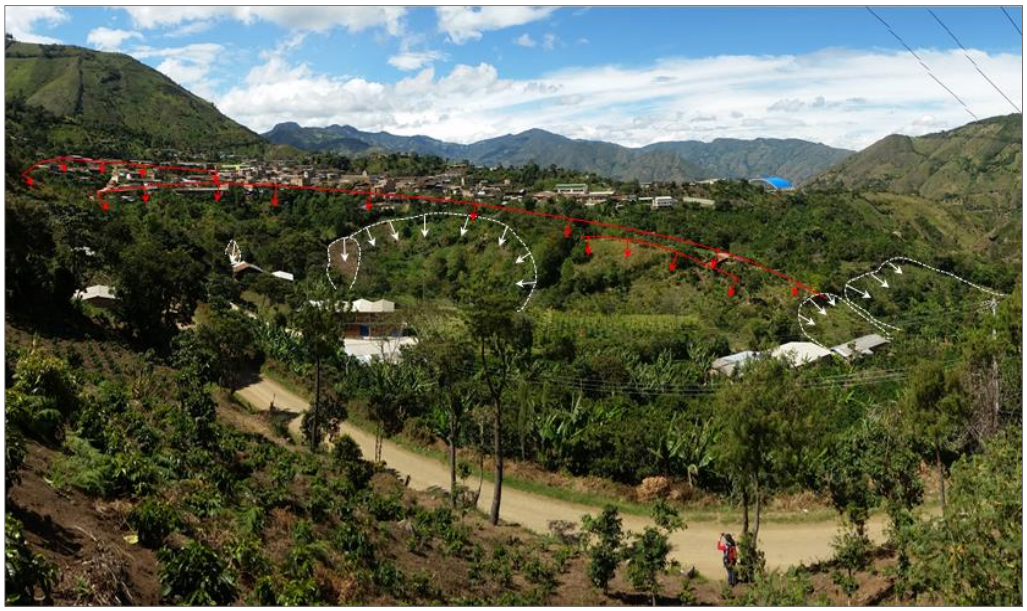


Figura 1.9 Movimiento en Masa Objeto de la Visita de Emergencia del SGC a Aponte en 2016

Fuente: SGC (2016)



Figura 1.10 Capturas Fotográficas de Algunas de las Afectaciones Evidenciadas en la Visita de Emergencia a Aponte

a) colegios; b) viviendas; c) vías; d) servicios públicos (red de alcantarillado)
Fuente: SGC (2016)

El autor realiza, además, un recuento de las afectaciones por los hechos acaecidos desde noviembre de 2014, cuando en el extremo norte del depósito se evidenciaron las primeras grietas. Los daños, a la fecha de la visita, afectaban el 50% del casco urbano: 227 viviendas afectadas, 5 demolidas y 16 en proceso de demolición. La Figura 1.10 entrega una vista al panorama descrito.

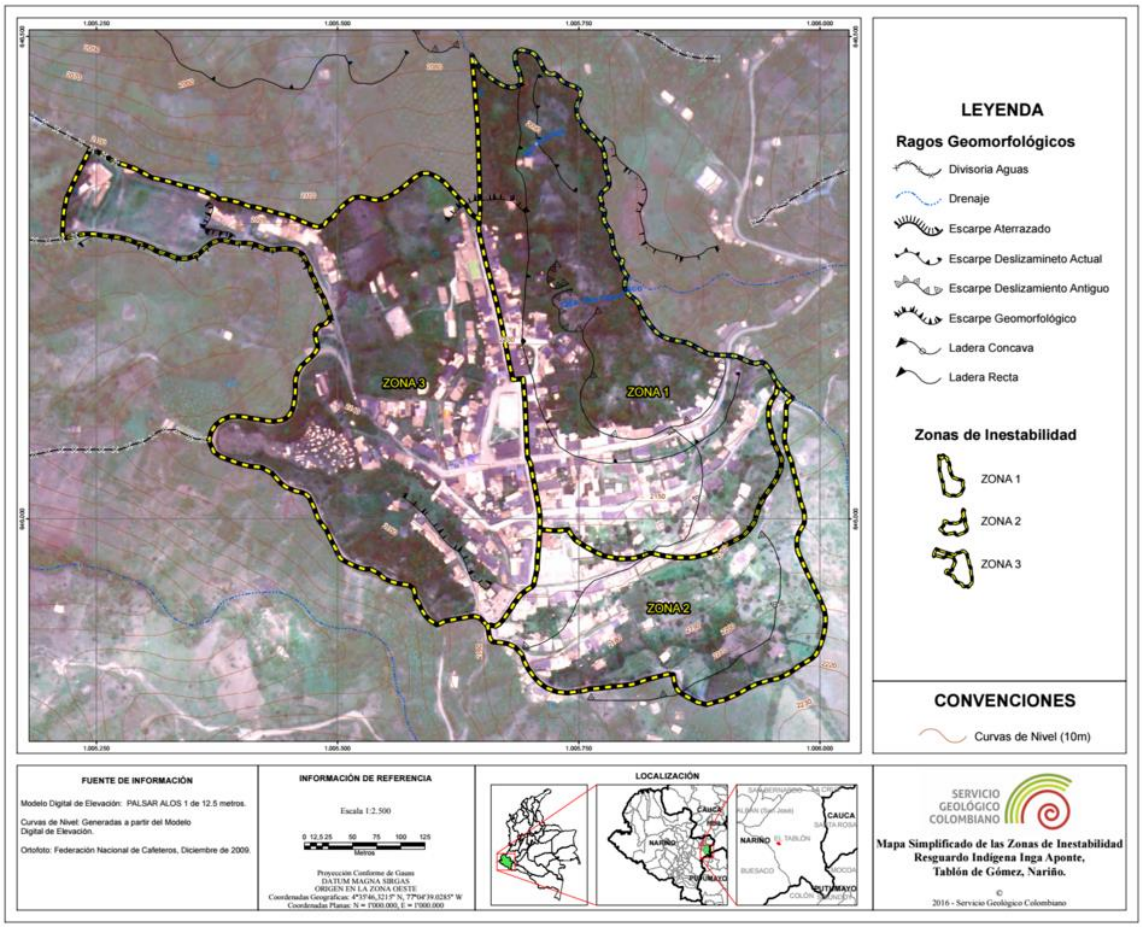


Figura 1.11 Zonas de Inestabilidad Aproximadas por el SGC en Aponte

Fuente: SGC (2016)

Producto del análisis que realiza, el SGC efectúa una zonificación en función de los niveles de inestabilidad que identifica en el centro poblado, para lo que discrimina tres zonas que se describen en lo que sigue, y se ilustran en la Figura 1.11:

- La Zona 1 es altamente susceptible a eventos de deslizamientos rotacionales y flujos de detritos, dadas sus características geomorfológicas y geológicas, encarnadas por depósitos coluviales antiguos con humedad natural alta a media, con pendientes abruptas a escarpadas, y cicatrices de antiguos movimientos en masa. Es la zona en la que se evidencian los daños estructurales y funcionales en las viviendas, en las instituciones educativas, en las

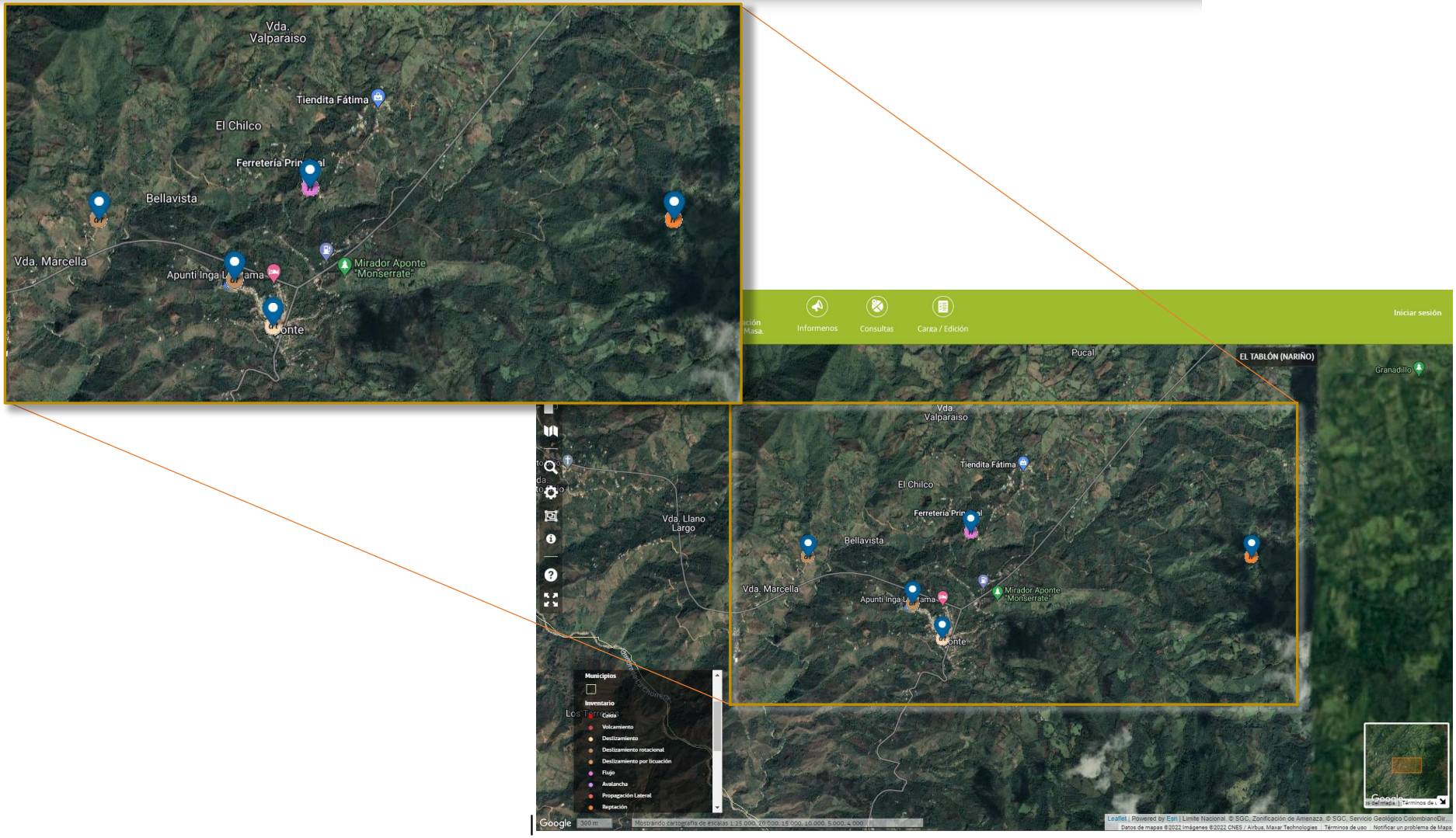


Figura 1.12 Distribución Geográfica de los Movimientos en Masa Registrados en el Sistema de Información de Movimientos en Masa – SIMMA (SGC)

Fuente: SIMMA (2022)

Tabla 1.8 Catálogo de Eventos: Movimientos en Masa Registrados en El Tablón de Gómez (continúa)

CÓDIGO DE REGISTRO	IMPORTANCIA	FECHA			LOCALIZACIÓN								PLANCHAS			ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO				LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA				CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO									MORFOMETRÍA GENERAL	DIMENSION DEL TERRENO	DEFORMACIÓN DEL TERRENO	GEOFORMA	CAUSAS DEL MOVIMIENTO	TIPO DE EROSIÓN	COBERTURA DE SUELO	USO DE SUELO	REFERENCIAS	EFECTOS SECUNDARIOS	DAÑOS	NOTAS	APRECIACIÓN DEL RIESGO	OBSERVACIONES	ANEXO FOTOGRÁFICO
		EVENTO	DILIGENCIAMIENTO	REPORTE	INSTITUCIÓN	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	VEREDA	ALTURA (m)	COORDENADAS			PLANCHA	AÑO	ESCALA	EDAD	ESTADO	ESTILO	DISTRIBUCIÓN	ESTRUCTURA	DIRECCION BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO	DESCRIPCIÓN	TIPO MOVIMIENTO	SUBTIPO MOVIMIENTO	TIPO MATERIAL	HUMEDAD	PLASTICIDAD	ORIGEN DE SUELO	TIPO DEPÓSITO	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN																	
										LATITUD	LONGITUD	SITIO	REFERENTES GEOGRÁFICOS																																				
34147	Alta	25/06/2015	20/05/2016	9/02/2016	Servicio Geológico Colombiano	Nariño	El Tablón	Aponte	2130	1,401365	-77,037342	Corona	Aponte, cabecera del Resguardo Indígena Inga Aponte, que pertenece al Municipio de El Tablón de Gómez, está ubicada a 85 km al NE de la ciudad de Pasto y se localiza en la cordillera centro-oriental	El movimiento no tiene planchas registradas			< 1 Año	Activo	Único	Avanzado	El movimiento no tiene litología asociada					Deslizamiento	Deslizamiento Rotacional	-	-	-	-	-	Cruden y Varnes, 1996	El movimiento no tiene morfometrías asociadas				El movimiento no tiene causas registradas	-	El movimiento no tiene cobertura asociadas	El movimiento no tiene uso de suelo asociado	El movimiento no tiene referencias registradas	-	El movimiento no tiene daños registrados	Ninguna	Ninguna	-	
34337	Alta	6/05/2015	30/12/2016	3/06/2015	Corporación Autónoma	Nariño	El Tablón	El Tablón	2365	1,401365	-77,004009	El Tablón	Nariño	El movimiento no tiene planchas registradas			< 1 Año	Activo	-	-	El movimiento no tiene litología asociada					Reptación	Reptación de Suelos	Tierra	Ligeramente Húmedo	Baja	Residual	-	-	El movimiento no tiene morfometrías asociadas				El movimiento no tiene causas registradas	-	El movimiento no tiene cobertura asociadas	El movimiento no tiene uso de suelo asociado	El movimiento no tiene referencias registradas	-	El movimiento no tiene daños registrados	Ninguna	Ninguna	-	

Tabla 1.9 Catálogo de Eventos: Movimientos en Masa Registrados en El Tablón de Gómez (continuación)

CÓDIGO DE REGISTRO	34335	812	811
IMPORTANCIA	Alta	-	-
FECHA			
EVENTO	24/11/2014	23/08/2002	23/08/2002
DILIGENCIAMIENTO	6/12/2016	23/08/2002	23/08/2002
REPORTE	20/09/2016	23/08/2002	23/08/2002
LOCALIZACIÓN			
INSTITUCIÓN	Corporación Autónoma	Ingeominas	Ingeominas
DEPARTAMENTO	Nariño	Nariño	Nariño
MUNICIPIO	El Tablón	El Tablón	El Tablón
VEREDA	Aponte	El Tablón	El Tablón
ALTURA (m)	2650	2129	2142
COORDENADAS			
LATITUD	1,397861	1,403211	1,395217
LONGITUD	-77,029472	-77,025094	-77,027233
SITIO	Resguardo indígena Inga-Aponte	Centroide deslizamiento	Centroide deslizamiento
REFERENTES GEOGRÁFICOS	Parte norte del departamento de Nariño, al sur de Colombia, sobre la cordillera oriental en límites de Nariño-Cauca y Nariño-Putumayo.	Km 3 Vía Aponte - El Tablón, Vereda Fátima	Casco urbano del SD corregimiento de Aponte
PLANCHAS			
PLANCHA	411	El movimiento no tiene planchas registradas	El movimiento no tiene planchas registradas
AÑO	2002		
ESCALA	100,000		
ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO			
EDAD	[1 - 5] Años	< 1 Año	< 1 Año
ESTADO	Activo	Activo	Suspendido
ESTILO	Múltiple	-	-
DISTRIBUCIÓN	Retrogresivo	-	-
LITOLOGÍA Y ESTRUCTURA			
ESTRUCTURA	El movimiento no tiene litología asociada	El movimiento no tiene litología asociada	El movimiento no tiene litología asociada
DIRECCION BUZAMIENTO			
BUZAMIENTO			
ESPACIAMIENTO			
DESCRIPCIÓN	Deslizamiento rotacional de detritos de generación incipiente, estado activo, estilo único y distribución retrogresiva y avanzada		
CLASIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO			
TIPO MOVIMIENTO	Deslizamiento	Flujo	Deslizamiento
SUBTIPO MOVIMIENTO	Deslizamiento Rotacional	Flujo de Lodo	Deslizamiento Traslacional
TIPO MATERIAL	Detritos	-	-
HUMEDAD	Ligeramente húmedo	Seco	Seco
PLASTICIDAD	Media	-	-
ORIGEN DE SUELO	Coluvial	-	-
TIPO DEPÓSITO	-	-	-
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	Cruden y Varnes, 1996	-	-
MORFOMETRÍA GENERAL	Diferencia de altura corona a punta: 30 (m)	El movimiento no tiene morfometrías asociadas	El movimiento no tiene morfometrías asociadas
DIMENSION DEL TERRENO	El movimiento no tiene morfometrías asociadas	Longitud de superficie de ruptura (Lr) 25 m	-
DEFORMACIÓN DEL TERRENO	-	-	-
GEOFORMA	-	-	-
CAUSAS DEL MOVIMIENTO	El movimiento no tiene causas registradas	-	El movimiento no tiene causas registradas
TIPO DE EROSIÓN	-	Ninguna	-
COBERTURA DE SUELO	Construcciones 90%	El movimiento no tiene cobertura asociadas	El movimiento no tiene cobertura asociadas
USO DE SUELO	Vivienda 90%	El movimiento no tiene uso de suelo asociado	El movimiento no tiene uso de suelo asociado
REFERENCIAS	Informe Visita técnica de emergencia Resguardo indígena Aponte. Servicio Geológico Colombiano (2016). 58 Páginas. Bogotá D.C.	H, A, Bacca Arciniégas, M,H Bastidas Burbano, C,SDPantoja Santander. Inventario de Deslizamientos en las Zonas: Cordillera Occidental, Centroriental, Depresión Cauca-Patía y Piedemonte Andino Oriental del Departamento de Nariño en un SIG. (2002). Universidad de Nariño. San Juan de Pasto (136 pág.)	H, A, Bacca Arciniégas, M,H Bastidas Burbano, C,SDPantoja Santander. Inventario de Deslizamientos en las Zonas: Cordillera Occidental, Centroriental, Depresión Cauca-Patía y Piedemonte Andino Oriental del Departamento de Nariño en un SIG. (2002). Universidad de Nariño. San Juan de Pasto (136 pág.)
EFECTOS SECUNDARIOS	-	-	-
DAÑOS	Daño Severo a 222 Viviendas (US$549.639)	-	El movimiento no tiene daños registrados
NOTAS	Ninguna	La fechas de evento y reporte fueron asignadas	La fechas de evento y reporte fueron asignadas
APRECIACIÓN DEL RIESGO	El resguardo indígena Inga-Aponte necesita de la reubicación total de las viviendas ubicadas en las zonas 1 y 2 (de acuerdo a la zonificación hecha por SGC). Lo cual hace necesario la coordinación de todos los entes territoriales involucrados en esta problemática	Ninguna	Ninguna
OBSERVACIONES	Se puede evidenciar que la grieta a tensión ha tenido un movimiento progresivo en los últimos meses. El primer control realizado por la Dirección Administrativa para la Gestión del Riesgo de Desastres el día 10 de Febrero de 2016 mostraba un desplazamiento en la vertical de 0.05 cm y sobre la horizontal de 4.99 cm; mientras que en la visita realizada por el equipo técnico de la subdirección de Conocimiento y Evaluación Ambiental de Corponariño se pudo establecer un movimiento de 5.74 cm sobre la vertical y 8.45 cm sobre la horizontal, lo cual ha agravado el daño estructural tanto en las viviendas como ubicadas en cercanías de dichas grietas	-	-
ANEXO FOTOGRÁFICO		-	-

vías, en las redes de acueducto y alcantarillado. Abarca un área aproximada a las 8.9 Ha, y agrupa 227 viviendas afectadas.

- La Zona 2 es susceptible a retrogresión, por efecto de las características geomorfológicas relictas, como laderas cóncavas con pendientes de 12° a 19° y de 19° a 30°. Aunque esta zona tiene un área aproximada a las 4.8 Ha, hasta la fecha de la visita no se han reportado afectaciones en viviendas y predios.
- La Zona 3 se caracteriza por ser plana a suavemente inclinada, con pendientes de entre 0° y 12°, que no presenta indicios de inestabilidad. Tiene un área aproximada a las 10.7 Ha y está compuesta principalmente por depósitos coluviales y suelos retrabajados.

Finalmente, la Entidad recomienda implementar medidas preventivas para evitar la afectación a las personas, mantener comunicación constante entre las comunidades y las autoridades, activar protocolos de emergencia, mantener un monitoreo sistemático del deslizamiento, considerar la relocalización de la población y realizar estudios para identificar y caracterizar los posibles sitios de reubicación. Además, sugiere realizar estudios de amenazas geológicas, conforme con la normativa, para ser integrados a los planes de ordenamiento territorial.

1.1.4 Catálogo de Eventos

En el proceso de búsqueda de información histórica de los movimientos en masa que han sido atendidos, identificados o conocidos por las entidades públicas en El Tablón de Gómez, se efectuó la consulta en el Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA), en el que el Servicio Geológico Colombiano permite el acceso a los datos que ha registrado de los procesos inestables de los que tiene reporte.

De este modo, se obtuvo la información de los eventos o movimientos en masa que se agrupa en la Tabla 1.8 y en la Tabla 1.9, en la que se especifican datos como la fecha de detonación, la localización, la actividad del movimiento, su morfología, sus efectos y algunas observaciones y fotografías. La Figura 1.12 ilustra la distribución espacial de los mismos, vista en la plataforma fuente, y el Anexo B recopila cada uno de los reportes.

2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Como parte de los trabajos preliminares realizados desde el punto de vista Geológico, se ha realizado un análisis de información secundaria y se han generados algunos productos visuales de gran escala como los que se muestran en la Figura 2.1 y la Figura 2.2. En estas figuras se presenta la amenaza relativa por movimientos en masa a escala 1:100.000 y la geomorfología aplicada a movimientos en masa escala 1:100.000, para el área urbana de El Tablón y otros centros poblados.

Así mismo, a partir de la geología regional obtenida de las fuentes secundarias (SGC) y del mapa de sombras de la zona de estudio se generó un contexto regional de la geología, que se puede evidencia en la Figura 2.3. Lo aquí reportado es una muestra incipiente de las labores de esta temática que siguen su curso.

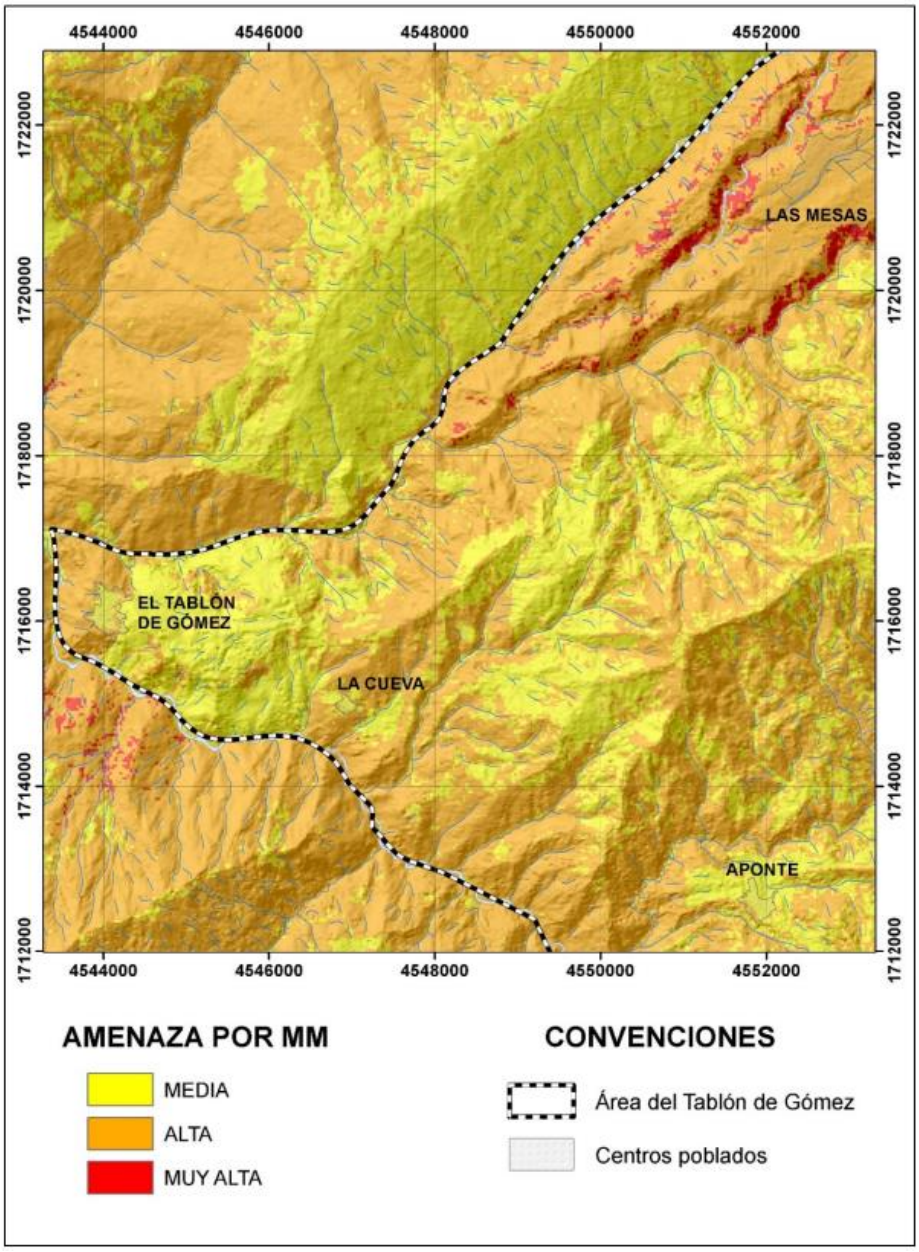


Figura 2.1 Amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 del área urbana del municipio El Tablón y centros poblados de Las Mesas, La Cueva y Aponte (Nariño)

Fuente: tomado y adaptado del mapa de zonificación de amenaza relativa por movimientos en masa de las planchas 410 y 411 de SGC (2015a) y SGC-UN (2015a)

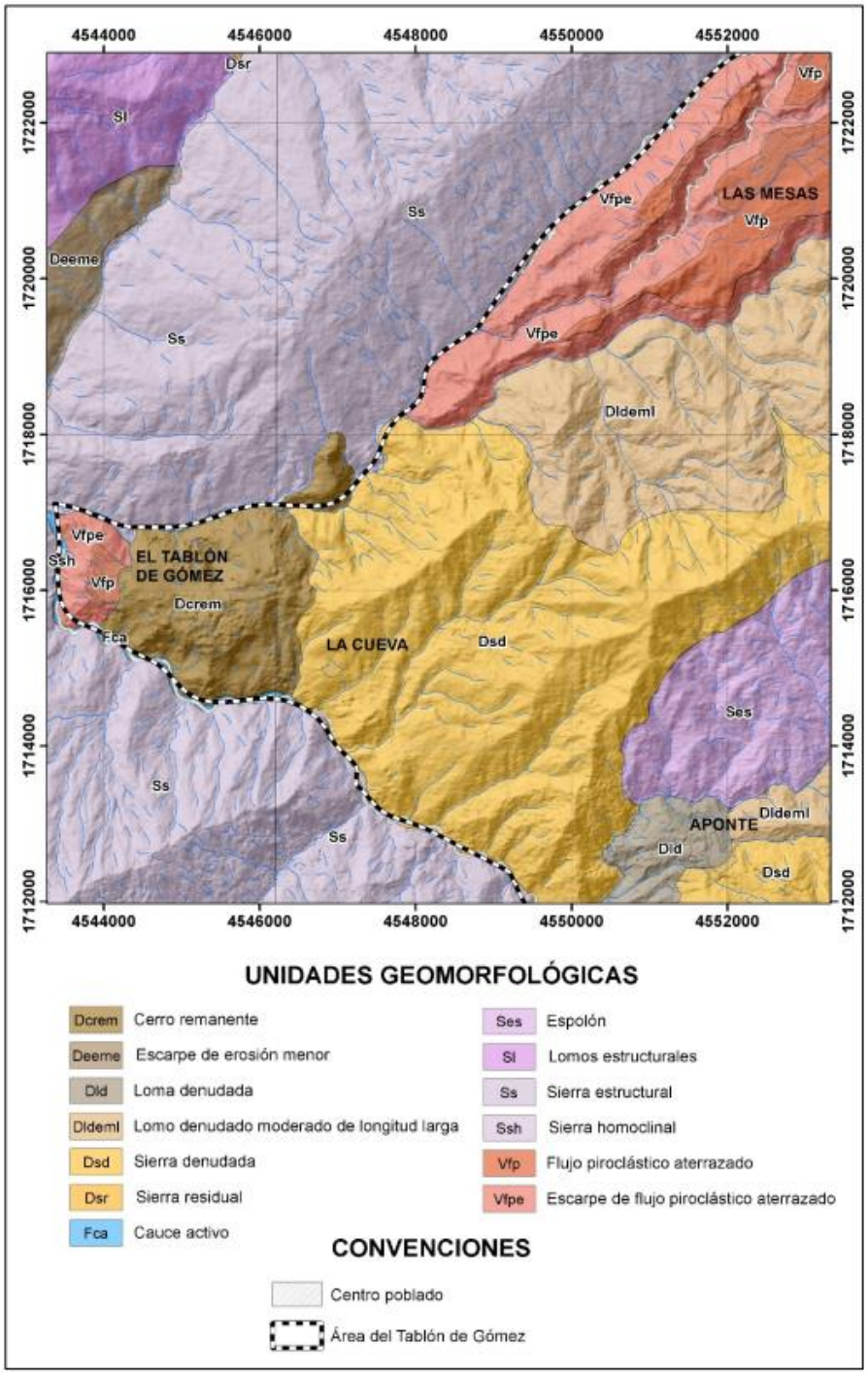


Figura 2.2 Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000 para el área urbana de El Tablón y los Centros Poblados de Las Mesas, La Cueva y Aponte

Fuente: adaptado del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa de las planchas 410 y 411 de SGC (2015b) y SGC-UN (2015b)

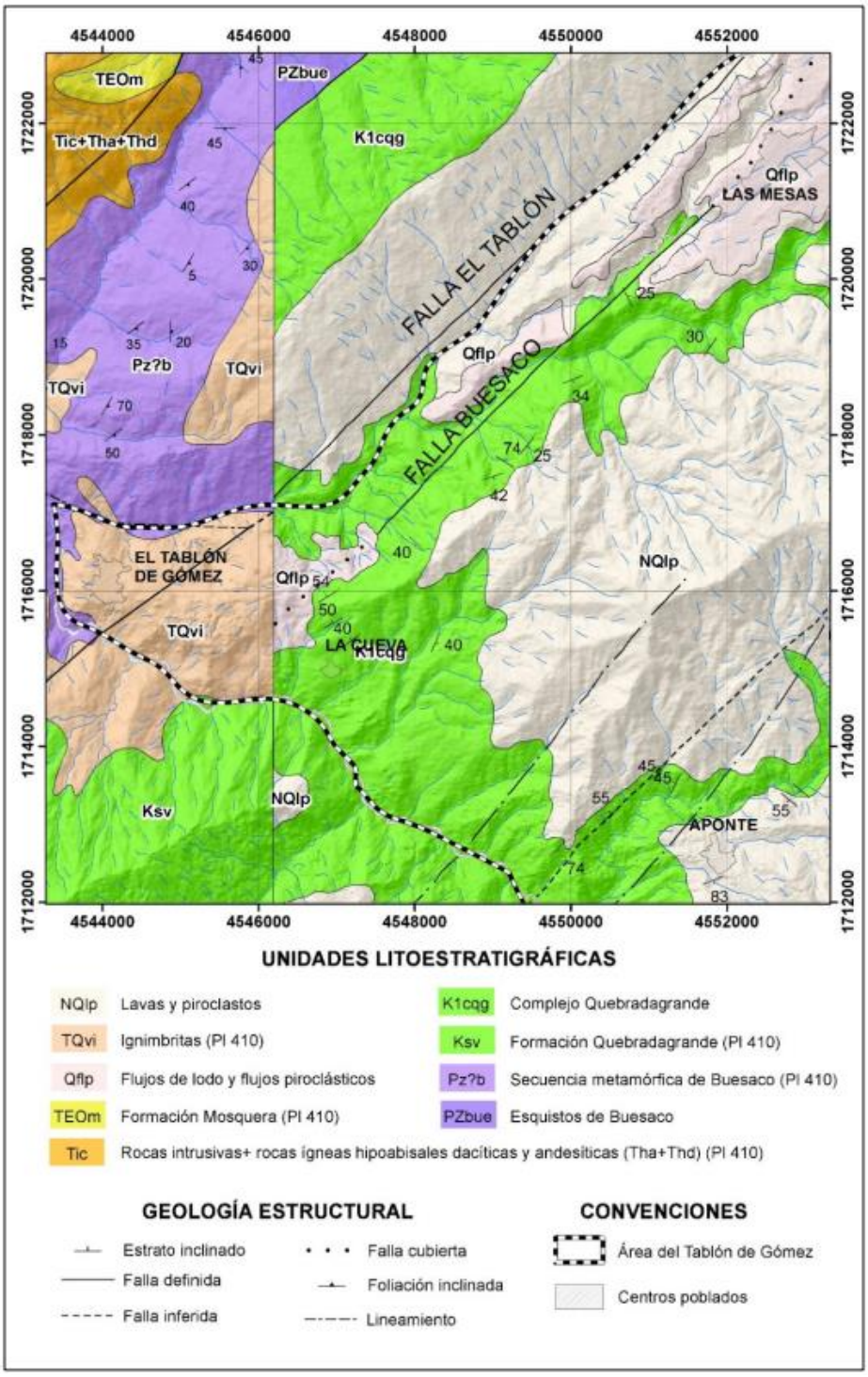


Figura 2.3 Contexto geológico regional del área de estudio

Fuente: adaptado del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa de las planchas 410 y 411 de SGC (2015b) y SGC-UN (2015b)

3 CARTOGRAFÍA BÁSICA

3.1 GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BÁSICA PARA EL ANÁLISIS A NIVEL RURAL – ESCALA 1:25.000

Una vez compilada, analizada y depurada la información cartográfica que se obtiene de las fuentes y en el estado que se ha detallado en el numeral 1.1.1, se procede a generar el mapa base más adecuado para ser incluido en la evaluación de las amenazas a nivel rural en El Tablón de Gómez. Con este propósito, y conforme con la verificación de aptitud hecha, se seleccionan las curvas de nivel provenientes de las imágenes satelitales capturadas por el radar Palsar del satélite Alos, el 27 de octubre de 2010; mientras las capas de drenaje, lagunas, construcciones y puentes (información puntual, no geométrica) se adopta de la información suministrada por el Igac; las vías (primarias, secundarias y terciarias) de World View de Google Earth; y la división política a nivel veredal se acoge de los datos extraídos del EOT municipal, suministrado por la Alcaldía.

Una versión del mapa base del nivel rural, que aún está en construcción, es el que se entrega como Plano 1 (formatos shape). De las labores y de las capas que se han estructurado hasta el momento, se incluyen algunas notas que resultan relevantes.

Límites Municipal, Veredal y Corregimental

El límite municipal se adopta de la información actualizada del IGAC (Mapas Colombia). Los límites veredales y corregimentales son capas construidas partiendo de la información aportada por la alcaldía del municipio y fechada en el año 2005, en las que se incorpora la división político administrativa de El Tablón de Gómez en 34 veredas, 5 núcleos urbanos y el resguardo Indígena de Aponte. La capa consta de 40 elementos: veredas, cabeceras de corregimiento y resguardo indígena Aponte. Representados vectorialmente como polígonos, con los atributos que se listan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Atributos de la Capa Límite Municipal, Veredal y Corregimental – Mapa Base Rural

Id	Name	Alias	Type	Type name	Length
123 0	FID		qlonglong	Integer64	10
123 1	COD_DEPTO		qlonglong	Integer64	10
abc 2	NOM_DEPTO		QString	String	10
abc 3	PROVINCIA		QString	String	10
123 4	COD_MPIO		qlonglong	Integer64	10
abc 5	NOM_MPIO		QString	String	20
abc 6	NOM_CORREG		QString	String	50
abc 7	COD_VEREDA		QString	String	10
abc 8	NOM_VEREDA		QString	String	50
abc 9	FUENTE		QString	String	200

Construcciones

Corresponde al conjunto información de predios, privados o públicos, rescatados de la cartografía base del IGAC (2015). El conjunto de datos está compuesto por 1875 elementos de datos vectoriales tipo punto; sin embargo, cabe mencionar que, dada la antigüedad de la información, el recuento de elementos seguramente se halla distorsionado.

Tabla 3.2 Distribución Espacial de las Construcciones en el Territorio Municipal – Mapa Base Rural

Corregimiento	Construcciones	
	Unidades	Porcentaje
El Tablón	22	1.17%
Fátima	253	13.49%
La cueva	241	12.85%
Las Mesas	970	51.73%
Pompeya	113	6.03%
Resguardo Indígena Aponte	276	14.72%
Total	**1875**	**100.00%**

Tabla 3.3 Atributos de la Cobertura Construcciones – Mapa Base Rural

Id	Name	Alias	Type	Type name	Length
123 0	FID		qlonglong	Integer64	18
123 1	COD_DEPTO		qlonglong	Integer64	18
abc 2	NOM_DEPTO		QString	String	80
abc 3	PROVINCIA		QString	String	80
123 4	COD_MPIO		qlonglong	Integer64	18
abc 5	NOM_MPIO		QString	String	80
abc 6	NOM_CORREG		QString	String	80
abc 7	COD_VEREDA		QString	String	80
abc 8	NOM_VEREDA		QString	String	80
abc 9	CODIGO_USO		QString	String	80
abc 10	FUENTE		QString	String	85

Curva de Nivel

Las curvas de nivel se obtienen como un subproducto del modelo digital del terreno (DEM por sus siglas en inglés) obtenido del insumo aportado por el satélite ALOS-Palsar con una resolución espacial de 12.5m, tomada en octubre de 2010, lo cual implica que cada pixel representa el valor de elevación para áreas aproximas de 12.5 m x 12.5 m. Como se mencionó anteriormente, se seleccionó la

creación de las curvas de nivel partiendo del DEM en virtud de obtener curvas de nivel cada 25 m, lo más apegado posible a la superficie real, en contraposición de las curvas de nivel aportadas por el IGAC, generadas en intervalos de 50 m.

Las curvas de nivel reportan elevaciones que van desde los 1361 m.s.n.m. en el extremo occidental, en terrenos del corregimiento El Tablón, y hasta los 4189 m.s.n.m. en espacio próximo al volcán Doña Juana; esto representa una variación altimétrica de 2828 m.s.n.m. en una sección no superior a los 17 km lineales.

La capa está representada por vectores tipo multilínea, categorizados como "Curvas Índice" para las cotas cada 100 m y "Curvas Secundarias" para las demás. Véase la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Atributos de la Capa Curva de Nivel – Mapa Base Rural

Id	Name	Alias	Type	Type name	Length
123 0	FID		qlonglong	Integer64	10
123 1	COD_DEPTO		qlonglong	Integer64	10
abc 2	NOM_DEPTO		QString	String	10
abc 3	PROVINCIA		QString	String	10
123 4	COD_MPIO		qlonglong	Integer64	10
abc 5	NOM_MPIO		QString	String	50
1.2 6	ELEVACION		double	Real	10
abc 7	CATEGORIA		QString	String	20
abc 8	FUENTE		QString	String	200

Drenaje

La información para la generación de esta cobertura fue rescatada de la cartografía base de Igac, que cuenta con los nombres de los principales drenajes de la zona de estudio. Se ha tomado la decisión de mantener el drenaje de esta fuente, dada la coherencia de los drenajes generados con el DEM, de los que se reconoce una mejor representación de las quebradas y los ríos visualizados en las imágenes satelitales de apoyo World View con 1.24 m de resolución espacial (del año 2018), que se pueden visualizar en el mapa de Google Maps.

Se aclara que los drenajes presentados por el Igac se categorizan como Drenaje Sencillo y Drenaje Doble, representados como un vector tipo multilínea y un vector tipo polígono, respectivamente, pero se recupera exclusivamente el primero debido a la gran ausencia de polígonos representativos de los drenajes en más de la mitad de planos cartográficos base. Adicionalmente se ha reorganizado la información eliminando atributos sin información y renombrando las columnas, el listado de atributos se presenta en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Atributos de la Capa Drenaje – Mapa Base Rural

Id	Name	Alias	Type	Type name	Length	Precision
123 0	FID		qlonglong	Integer64	18	0
123 1	COD_DEPTO		qlonglong	Integer64	18	0
abc 2	NOM_DEPTO		QString	String	80	0
abc 3	PROVINCIA		QString	String	80	0
123 4	COD_MPIO		qlonglong	Integer64	18	0
abc 5	NOM_MPIO		QString	String	80	0
abc 6	NOM_QUEBR		QString	String	80	0
1.2 7	LONG_m		double	Real	23	15
1.2 8	LONG_km		double	Real	23	15

Laguna

Es un conjunto de polígonos que representan los cuerpos de agua existentes, especialmente, en las zonas de páramos cercanos al volcán Doña Juana. La información geográfica fue recuperada de los datos suministrados por el Igac, y fue complementada con la información entregada por la Alcaldía del municipio, que aporta los nombres de los cuerpos de agua. Se reconocen cinco cuerpos de agua que varían de los 1600 m^2 a 5700 m^2 de extensión. La información se presenta en formato vectorial polígono, como se deduce de lo incluido en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Atributos de la Capa Laguna – Mapa Base Rural

Id	Name	Alias	Type	Type name	Length	Precision
123 0	FID		qlonglong	Integer64	18	0
123 1	COD_DEPTO		qlonglong	Integer64	18	0
abc 2	NOM_DEPTO		QString	String	80	0
abc 3	PROVINCIA		QString	String	80	0
123 4	COD_MPIO		qlonglong	Integer64	18	0
abc 5	NOM_MPIO		QString	String	80	0
abc 6	NOM_CORREG		QString	String	80	0
abc 7	COD_VEREDA		QString	String	80	0
abc 8	NOM_VEREDA		QString	String	80	0
abc 9	NOMBRE_GEO		QString	String	80	0
1.2 10	AREA_m2		double	Real	23	15
1.2 11	AREA_Ha		double	Real	23	15
1.2 12	AREA_km2		double	Real	23	15
abc 13	FUENTE		QString	String	85	0

Puente

La capa de puentes, se obtiene de la cartografía base del IGAC, pero es de considerar el tiempo transcurrido desde que se tomó esta información. El inventario cuenta con 37 puentes registrados, en su gran mayoría próximos a las desembocaduras de las quebradas que alimentan los ríos Janacatú y Janambú. Si bien los puentes son elementos estructurales que pueden ser representados vectorialmente en planta, los registros se encuentran reportados en formatos vectorial tipo punto y no cuentan con distinción por nombre. Véase la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Atributos de la Capa Puente – Mapa Base Rural

Id	Name	Alias	Type	Type name	Length
123 0	FID		qlonglong	Integer64	18
123 1	COD_DEPTO		qlonglong	Integer64	18
abc 2	NOM_DEPTO		QString	String	80
abc 3	PROVINCIA		QString	String	80
123 4	COD_MPIO		qlonglong	Integer64	18
abc 5	NOM_MPIO		QString	String	80
abc 6	NOM_CORREG		QString	String	80
abc 7	COD_VEREDA		QString	String	80
abc 8	NOM_VEREDA		QString	String	80
123 9	FUNCION_PU		qlonglong	Integer64	18
abc 10	FUENTE		QString	String	85

Tabla 3.8 Atributos de la Capa Vías – Mapa Base Rural

Id	Name	Alias	Type	Type name	Length
123 0	FID		qlonglong	Integer64	10
123 1	COD_DEPTO		qlonglong	Integer64	10
abc 2	NOM_DEPTO		QString	String	10
abc 3	PROVINCIA		QString	String	10
123 4	COD_MPIO		qlonglong	Integer64	10
abc 5	NOM_MPIO		QString	String	20
abc 6	NOM_VIA		QString	String	50
abc 7	CLASIF		QString	String	20
abc 8	FUENTE		QString	String	200

Vía

La información para las vías existentes se recuperó mediante el repositorio de Open Street Map (OSM), que es un proyecto colaborativo para la creación de información geográfica alimentada de la captura de datos GPS y de la fotointerpretación de ortofotos satelitales. Esta característica ha

propiciado que OSM se convierta en la fuente secundaria de malla vial más actualizada a la época. Esta cobertura fue verificada con la información de la Alcaldía y contrastada sobre las imágenes guía de World View de Google Earth. La Tabla 3.8 incluye los atributos de esta capa.

3.2 GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BÁSICA PARA EL ANÁLISIS A NIVEL URBANO – ESCALA 1:5.000

3.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Una de las actividades principales del proyecto, de la cual se obtiene uno de los insumos base para adelantar los estudios de amenaza, es el levantamiento topográfico. Para tal fin, se llevarán a cabo dos metodologías de forma rigurosa; levantamiento con sistema LIDAR y levantamiento con estación total. El levantamiento topográfico con estación total se realizará para cartografiar adecuadamente los cuerpos de agua mediante la medición de puntos en secciones transversales.

3.4 SISTEMA LIDAR (LIGHT DETECTION AND RANGING)

El sistema LIDAR es un sistema láser que permite medir la distancia exacta entre el punto de emisión del láser y un objeto o superficie. El tiempo que tarda ese láser en llegar a su objetivo y volver del mismo, definirá la posición y distancia entre los dos puntos, dando como resultado un mapa en 3D de alta resolución.

Los componentes del Lidar son:

ALS: Escáner Láser Aerotransportado. Emite pulsos de luz infrarroja que sirven para determinar la distancia entre el sensor y el terreno.

GPS Diferencial: Mediante el uso de un receptor en el avión y uno o varios en estaciones de control terrestres (en puntos de coordenadas conocidas), se obtiene la posición y altura del avión.

INS: Sistema Inercial de Navegación. Reporta los giros y la trayectoria del avión.

Medio Aéreo: Puede ser un avión o un helicóptero. Cuando se quiere primar la productividad y el área es grande se utiliza el avión, y cuando se quiere mayor densidad de puntos se usa el helicóptero, debido a que éste puede volar más lento y bajo.

En topografía, la medición de distancias con láser para aplicaciones de mapas a gran escala, está revolucionando la toma de datos digitales relativos a la elevación de terrenos. Esta técnica es una alternativa a otras fuentes de toma de datos como el Modelo Digital del Terreno (MDT). Se puede usar como una fuente de datos para los procesos de contorno y generación de curvas de nivel para ortofotos digitales.

Los sistemas lídares registran datos de posición (x,y) y de elevación (z) en intervalos predefinidos. Los datos resultantes dan lugar a una red de puntos muy densa, típicamente a intervalos de 1 a 3 metros.

Para el desarrollo del proyecto, se desarrollarán las siguientes actividades basadas en la metodología LiDAR:

- Planificación de los Sobrevuelos

  Se delimitará geográficamente el área de impacto del proyecto y se definirán el polígono de trabajo. A partir de dicho polígono se definirán las líneas de vuelo requeridas para el cubrimiento total del área. Así mismo, se identificará un punto geodésico de la red IGAC para localizar la antena de corrección de vuelo.

  Con las líneas de vuelo definidas y que garanticen el cubrimiento del área, se revisarán las alturas de sobrevuelo para cada vértice del polígono a sobrevolar, garantizando una altura de 100 m sobre el nivel del área volada.

- Sobrevuelo Área de Estudio

  Se localizará la antena doble frecuencia en un punto geodésico IGAC conocido. Se realizará el sobrevuelo según el plan de vuelo definido en el paso anterior.

- Generación de Productos Una vez realizados los sobrevuelos se realizarán las siguientes actividades:
  - Corrección de línea de vuelo con base en la antena terrestre localizada en punto geodésico IGAC
  - Procesamiento de líneas de vuelo
  - Generación de nube de puntos (LAZ)
  - Generación de productos: Nube de Puntos, DSM, DTM, Curvas de Nivel y Ortofoto en los formatos correspondientes (DWG, Shape, Raster).

4 DEFINICIÓN DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

4.1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA A NIVEL RURAL – ESCALA 1:25.000

La mayor parte de los métodos utilizados para evaluar las amenazas por movimientos en masa incluyen como elementos fundamentales, el conocimiento de la ocurrencia histórica de los procesos de inestabilidad en el área estudiada y sus factores cercanamente relacionados. Su confiabilidad depende principalmente de la calidad y cantidad de la información disponible, de la escala de trabajo

y de la apropiada selección del método de análisis, que puede tener enfoques cualitativos y cuantitativos. Actualmente, con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), capaces de soportar una gran cantidad de datos y de extractar otros a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE), es posible analizar grandes regiones de forma ágil y precisa.

Los métodos cualitativos tienen como base la opinión de los expertos. Los tipos más comunes simplemente usan los catálogos históricos y los inventarios de deslizamientos. Sin embargo, algunos enfoques cualitativos, reconocidos generalmente como métodos semicuantitativos o semiempíricos, incorporan técnicas simples de ponderación y calificación de las variables. La principal limitación de este tipo de métodos es la notable subjetividad proveniente de los evaluadores, no obstante, se acompañan de una calibración final de acuerdo con las observaciones geomorfológicas y morfodinámicas logradas en el área objeto del análisis.

Dentro de los métodos cuantitativos más comúnmente utilizados se tienen los métodos determinísticos y los estadísticos. Los primeros tienen como base principios geotécnicos de estabilidad de taludes y se expresan normalmente en términos del factor de seguridad. Son efectivos, por lo general, en espacios relativamente pequeños, debido a que requieren importante cantidad de datos y de parámetros geotécnicos. Los segundos, los de enfoque estadístico, analizan el vínculo histórico entre los factores intrínsecos que controlan la generación de los movimientos en masa y su distribución.

En lo que sigue, se explica de forma general el método seleccionado para efectuar la evaluación y la zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el área rural de El Tablón de Gómez, a escala 1:25.000, con el que se da provecho a la información morfológica extraída de los modelos ráster con tamaño de pixel de 12.5 metros de lado obtenidos por el satélite Alos Palsar (2010); a la información primaria y secundaria recopiladas; y a los resultados temáticos que se logren con el estudio.

4.1.1 Método de Evaluación de Amenaza por MM (1:25.000)

“Los fenómenos de inestabilidad están vinculados con una gran variedad de factores que involucran la interacción física y humana. Por lo tanto, la evaluación de amenaza requiere del conocimiento de diversos factores que van desde la estructura geológica hasta el uso del suelo.”[…] (Soeters y Van Westen, 1996). Se asume como hipótesis de partida, que los futuros movimientos en masa ocurrirán en condiciones similares a aquellas con que se desencadenaron en el pasado. Así mismo, se considera que el conocimiento de los procesos ocurridos, aproxima razonablemente la situación de inestabilidad histórica para el área analizada.

El método de evaluación adopta diferentes variables, unas geométricas y otras temáticas. La selección de las variables introduce un importante elemento subjetivo, en el que la experiencia y el criterio del grupo evaluador marca la pauta. De esta forma se aplica un Método Semicuantitativo,

utilizando la técnica de Mapas Índice (véase la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), q ue consiste en la superposición de capas temáticas (variables), ponderadas con base en la densidad de los procesos de inestabilidad, y como función de su índice de influencia en la estabilidad (menores valores) o inestabilidad (mayores valores). Para el desarrollo de este modelo se evalúan variables geométricas y físicas del territorio en análisis.

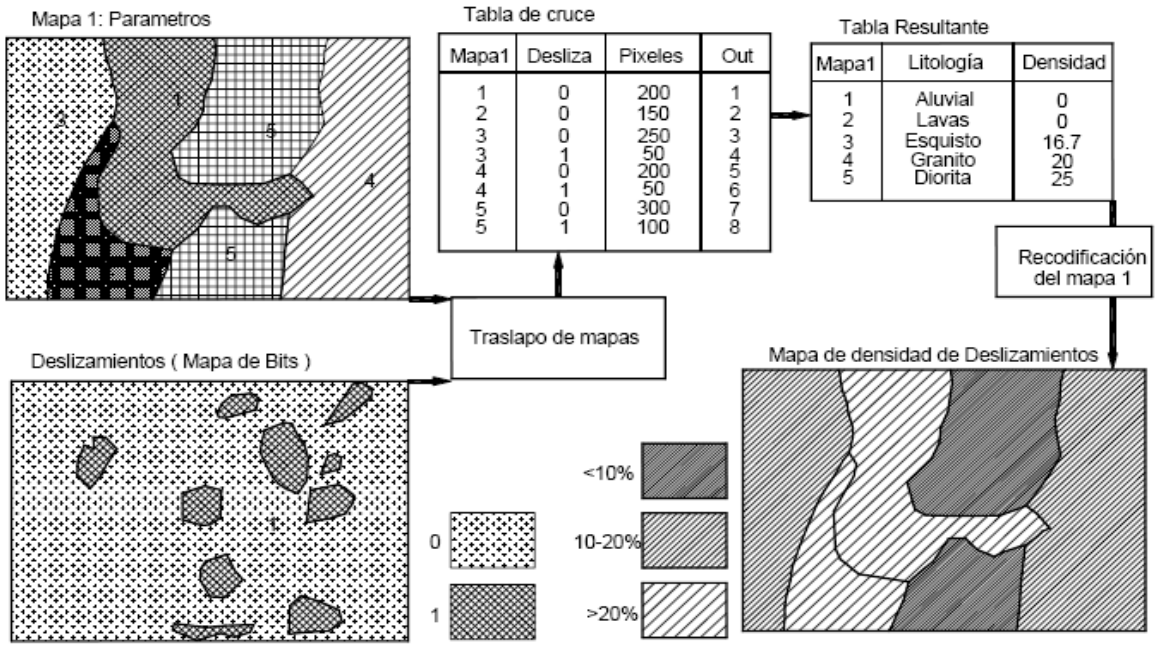


Figura 4.1. Esquematización de la Técnica de Mapas Índice (Tomado de Soeters and Van Westen, 1996).

Variables Geométricas

Las variables geométricas representan, someramente, el aporte de las formas del terreno en la condición de estabilidad en el municipio. En el método al que se pretende dar provecho en el marco de este estudio, se consideran cuatro variables de este tipo, para las que se entregan algunas descripciones y los intervalos que se han anticipado convenientes hasta este punto. Sin embargo, cabe mencionar que los intervalos propuestos pueden ser ajustados en función de los valores que para cada variable se identifiquen en el desarrollo del estudio, y que las magnitudes y el peso que se asigne a cada una se han de determinar por las técnicas que resulten más adecuadas llegado el momento.

- Pendiente (PEN): Inclinometría de las laderas. Derivada de la cartografía base a escala 1:25.000 y el DEM regional. Se utilizan celdas de 12.5 metros de lado, que satisfacen plenamente la escala de trabajo.

- Densidad de Drenaje (DRE): Cantidad de cuerpos de agua presentes en la unidad de terreno. Derivada de la cobertura de drenajes a partir del DEM.

- Curvatura (CURVAR): Hace referencia a la forma de las laderas. Derivada a partir del DEM.

- Aspecto (ASPEC): Dirección de exposición promedio de las laderas. Relacionada con el estilo estructural de la región, la dirección de drenaje preferencial y las condiciones de humedad. Derivada a partir del DEM.

Variables Físicas

Las variables físicas, reportadas en lo que sigue, agrupan las coberturas temáticas que tienen participación en la ponderación para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa. En el método acogido, estas capas representan el peso que se da a los materiales de suelo o roca que se evidencian en la zona, a las coberturas del suelo identificadas, a las geoformas que se reconocen, y a la concentración de los fenómenos en masa y de los procesos erosivos intensos que se establecen a la luz de la investigación que se adelanta.

- Geología (UGS): Esta variable hace énfasis en la identificación de los dominios litológicos, discriminando las unidades de roca y suelo. Las primeras son abstraídas desde el contexto puramente cronoestratigráfico, es decir, según la dominancia de las características litológicas de la roca y la calidad del macizo rocoso; y los segundos, en lo posible, definidos con un mayor detalle producto de la fotointerpretación y del control de campo. Esta variable se extrae del Mapa de Unidades Geológicas Superficiales-UGS elaborado a escala 1:25.000 y elaborado en el marco de desarrollo de este proyecto.

- Geomorfología: (GEOM): Se evalúan las subunidades geomorfológicas con la perspectiva de la morfología y la morfodinámica. Esta variable se estima a partir del Mapa de Subunidades Geomorfológicas (escala 1:25.000), para el que se realizan refinamientos mediante labores de fotointerpretación y control de campo, con énfasis en la identificación de los procesos morfodinámicos.

- Cobertura de la Tierra (COB): Considera el tipo de cobertura de la tierra, estableciendo grupos de cobertura de segundo orden o mayores, según la técnica Corinne Land Cover (IDEAM-IGAC, 2003). Esta variable se determina a partir de la cartografía de Cobertura de la Tierra, elaborada a escala 1:25.000.

- Procesos o Variable Movimiento (MOV): Es una variable independiente, que involucra la identificación y el levantamiento de zonas afectadas por movimientos en masa y por procesos erosivos superficiales intensos (cárcavas). Se captan en los sensores remotos (aerofotografías o imágenes de satélite) que se logran representar cartográficamente. Además, se pretende la compilación de un catálogo histórico de movimientos en masa, con el fin de identificar o verificar los sectores en los que se exhiben con mayor recurrencia.

4.1.1.1 Variables Geométricas

Variable Pendiente (PEN)

Uno de los parámetros de mayor peso en la falla de los taludes es la pendiente. Es claro que a mayor pendiente de la superficie del terreno mayor será el valor de la componente de corte de las fuerzas actuantes sobre una determinada superficie potencial de falla, por lo que se le considera una de las principales variables a considerar en los análisis de susceptibilidad de laderas a movimientos en masa.

Tabla 4.1 Intervalos Propuestos para el Análisis de la Variable "Pendiente" en la Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa a Nivel Rural

Inclinación	Descripción
<5°	Plana o suavemente inclinada
6-10°	Inclinada
11-15°	Muy inclinada
16-20°	Abrupta
21-30°	Muy abrupta
31-45°	Escarpada
>45°	Muy escarpada

Fuente: Carvajal, 2007

Esta variable geométrica cuantitativa de carácter continuo, extraída de la cartografía básica a escala 1:25.000 y del Modelo Digital de Elevación-MDE, influye también en la distribución del agua en la ladera. Se define como el ángulo formado por la superficie del terreno y la horizontal, y se expresa en valores entre los 0° y los 90°. Para los efectos de este estudio, la pendiente del área analizada se agrupa en siete (7) intervalos, que se incorporan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la r eferencia.**, y son una conjunción del enfoque geomorfológico y geotécnico.

Variable Densidad de Drenaje (DRE)

El sistema de drenaje es uno de los factores primordiales dentro de la definición de los procesos morfodinámicos actuantes, pues son responsables del modelado de la superficie del terreno. Los canales naturales constituyen los agentes más importantes del transporte de materiales aguas abajo, y son parte actuante en el ciclo hidrológico.

Esta variable hace referencia a la presencia del sistema de la red de drenaje en la zona de estudio, que se relaciona con el gradiente promedio y con las áreas de drenaje de las corrientes, y con condiciones locales como presencia de manantiales, empozamientos, zonas de infiltración, entre otros. La variable se deriva del MDE, y es de tipo cuantitativa y continua. Para propósitos de este

estudio, esta variable se agrupa en cinco (5) categorías, que se reportan en la Rangos adoptados para el análisis regional de la variable Densidad de Drenaje.

Tabla 4.2 Intervalos Adoptados para la Variable "Densidad de Drenaje" en la Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa a Nivel Rural

Categoría	Densidad de drenaje (m/m2)
1	<0.00128
2	0.00128-0.00152
3	0.00152-0.00200
4	0.00200-0.00248
5	>0.00248

Variable Curvatura (CUR)

La Curvatura es un indicador de la morfología del terreno, que se deriva del grado de convexidad o concavidad del mismo. Se determina mediante el radio de curvatura de la celda según un plano vertical, y se define como la tasa de cambio de la pendiente en función de la derivada de segundo grado de la altitud. La variable se deriva del MDE, es cuantitativa continua, con intervalos de valores variables según la zona, pero que oscila entre -20 y 20 unidades de 1/100 metros. El valor 0 en una celda corresponde a una superficie plana formada entre la celda en cuestión y sus ocho celdas vecinas, valores positivos indican que la superficie es convexa hacia la celda y valores negativos indican concavidad hacia la celda.

La variable se relaciona con los movimientos en masa en la medida en que indica el grado de concentración o dispersión del drenaje superficial. En las zonas cóncavas el flujo se concentra hacia la celda, mientas que se dispersa en las convexas. En las primeras es de esperar un aumento de la presión de agua en los poros, mayor captación de agua lluvia y mayor acumulación de formación superficial, elementos que favorecen la aparición de movimientos en masa. Para propósitos de este estudio la variable se agrupa en cinco (5) categorías que se listan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Intervalos Adoptados para la Variable "Curvatura" en la Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa a Nivel Rural

Índice de Curvatura	Índice de Curvatura (convexidad)
1	Cóncavo
2	Medianamente cóncavo
3	Terreno rectilíneo
4	Medianamente convexo
5	Convexo

Variable Aspecto (ASPEC)

Expresa la dirección de exposición de la ladera en un punto y representa la dirección de la máxima pendiente calculada. Se calcula a partir del ángulo existente entre el norte geográfico y la proyección sobre el plano horizontal del vector normal a la superficie en un punto dado. Es una variable cuantitativa derivada del MDT con un rango de valores de 1 a 360 grados. Indica si una ladera se encuentra húmeda o seca con mayor frecuencia, influyendo en la cantidad de lluvia recibida, según la dirección de avance de los frentes nubosos. También se relaciona con el estilo estructural de la región y la dirección de drenaje preferencial. La Tabla 4.4 entrega los intervalos que para esta variable se adoptan en este estudio.

Tabla 4.4 Categorización para la Variable "Aspecto" Adoptada en la Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa a Nivel Rural

Azimut de la Pendiente	Aspecto de la Pendiente
1°-22.5° y 337.5° a 360°	N
22.5°-67.5°	NE
67.5°-112.5°	E
112.5°-157.5°	SE
157.5°-202.5°	S
202.5°-247.5°	SW
247.5°-292.5°	W
292.5°-337.5°	NW

4.1.1.2 Variables Físicas

Variable Geología (UGS)

Esta variable es la expresión del tipo de material geológico a nivel superficial presente en el área de estudio, siendo función exclusivamente de su origen, edad y composición litológica. La variable y su categorización se derivan de la cartografía de Unidades Geológicas Superficiales levantada en el municipio, y constituye una variable de tipo cualitativa y no continua.

Variable Geomorfología (GEOM)

Contempla la participación de las formas del relieve y el modelado denudacional, estructural o deposicional de la superficie terrestre, en el método de evaluación de la amenaza por movimientos en masa a nivel rural, y se extrae de la cartografía de Subunidades Geomorfológicas levantada en el municipio. Constituye una variable de tipo cualitativa y no continua, agrupada en tantas categorías como unidades geomorfológicas se establecen para el área de estudio.

Variable Cobertura (COB)

Esta variable se refiere a los tipos de cobertura identificados para el municipio, dada su relación directa con las condiciones de humedad e infiltración del agua hacia niveles subsuperficiales, y con el comportamiento geomecánico de los materiales por la acción de las raíces en su estructura y por la imposición de cargas externas al terreno, entre otros aspectos. La variable se deriva de la cartografía de Cobertura del Suelo, obtenida para el municipio, por lo que encarna una variable de tipo cualitativa y no continua.

Variable Movimiento (MOV)

Como se ha mencionado, la técnica a emplear utiliza el conocimiento de los movimientos en masa ocurridos en el pasado reciente, para establecer áreas que en condiciones similares podrían ser propensas a experimentar este tipo de procesos (susceptibilidad). Esta variable de tipo cualitativo y no continua, se utiliza como elemento de ponderación de cada una de las variables temáticas explicadas anteriormente, en función de la densidad de los procesos de inestabilidad (movimientos en masa) presentes en cada una de ellas; en otras palabras, usa las evidencias de movimientos pasados para, de algún modo, predecir la ocurrencia espacial de nuevos procesos inestables.

Es así como a partir de la cartografía geológica y geomorfológica, y de la interpretación de fotos aéreas y satelitales, complementadas con las debidas verificaciones de campo, se obtiene la distribución espacial de esta variable. Con ella se da participación a la historia reciente en la previsión de ocurrencia de movimientos en masa para la zona de estudio.

Es importante anotar que la variable MOV incluye las áreas inestables sin discriminar el tipo de movimiento en masa, de modo que esta evaluación refleja la predisposición de las laderas a presentar procesos de inestabilidad.

4.1.1.3 Proceso de Evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa (1:25.000) a Partir de las Variables Geométricas y Físicas

Descritas las variables que se consideran en la aplicación del método, es prudente aproximar la secuencia que permite llegar de la categorización que se ha descrito a la zonificación de la amenaza por movimientos en masa. Para esto, se efectúa un primer paso que es la superposición y el cruce espacial de cada una de las variables geométricas con la Variable Movimiento (MOV), con lo que se ordenan las categorías de cada una de ellas, en secuencia ascendente, en función del área y de manera concordante con la densidad de procesos presentes en las mismas. En ese mismo orden, se asigna a cada categoría una calificación o índice entre 1 y 10, que refleja el nivel de inestabilidad de forma directamente proporcional.

Un segundo paso implica la superposición y el cruce espacial de cada una de las variables físicas, debidamente categorizadas, con la Variable Movimiento (MOV). Este procedimiento permite ordenar las categorías de cada una de las variables físicas consideradas, en orden ascendente, de acuerdo con la densidad de procesos existentes en ellas. En ese mismo orden, se le asigna a cada categoría una calificación o índice, entre 1 y 10, que refleja el nivel de inestabilidad, de menor a mayor, que caracteriza cada categoría.

El tercer paso implica la suma algebraica de los índices obtenidos para cada una de las variables, con lo que se obtienen los índices totales de inestabilidad del terreno. A partir de éstos se construye el histograma de frecuencias y se determinan los parámetros estadísticos, entre los que se destacan la media, la moda y la desviación estándar. Con esto, es posible representar la distribución espacial de los índices crudos (susceptibilidad).

El cuarto paso pretende la zonificación de la amenaza, a través de la calibración del resultado crudo de susceptibilidad con los movimientos en masa inventariados, para establecer los intervalos de índices de inestabilidad que permiten categorizar y zonificar la amenaza por movimientos en masa, como alta, media y baja. Este proceso contempla, además, la estimación de las distancias de viaje de los procesos previsibles a la luz del método de evaluación y a la escala de trabajo para la zona rural (1:25.000).

Este capítulo tiene por objeto exponer las mayores relevancias en la evaluación de la amenaza en el sector crítico, para lo que se recurrió al análisis probabilístico, basado en el método del talud infinito, y al análisis de estabilidad tridimensional en el software SLIDE 3D. Adicionalmente, los sectores detectados como de amenaza alta o críticos, son sometidos a un análisis en dos dimensiones por diferentes métodos de equilibrio límite y análisis probabilístico ante agentes externos tales como lluvias fuertes y sismos. En lo que sigue se exhiben las bases teóricas de la metodología utilizada, y los respectivos resultados del análisis.

4.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA A NIVEL URBANO – ESCALA 1:5.000

Una vez colectada la información secundaria a niveles regional y local, y reconocidos los componentes geológico, geomorfológico, hidroclimatológico y geotécnico, se procede a efectuar la evaluación de la amenaza por movimientos en masa en los centros poblados. El modelamiento de los mecanismos de falla se realiza aplicando los métodos de equilibrio límite, abordando la respuesta pseudo-estática de los estados probables de movilización (según su geometría, el tipo de material, su disposición estratigráfica y las condiciones del drenaje), involucrando los depósitos de suelos identificados, a través de deslizamientos rotacionales y planares (talud infinito). Los resultados de estos modelos estiman la probabilidad condicional de falla, a partir de la cual se establecen los diferentes niveles de amenaza para cada uno de los escenarios y condiciones consideradas de análisis.

De acuerdo con los alcances del estudio, escala 1:5.000, los resultados de estos modelos estiman el factor de seguridad y las probabilidades de falla a partir de la que se establecen los diferentes niveles de amenaza, correspondientes al escenario de análisis previamente establecido (hipótesis).

4.2.1 Método de Evaluación de Amenaza por MM (1:5.000)

Para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa en los centros poblados de El Tablón de Gómez se implementa un método probabilístico que entrega resultados en función de la probabilidad de falla total de las laderas, para los escenarios considerados. Para esto, es necesario evaluar los aspectos o condiciones que pueden afectar la estabilidad de las mismas (mecanismos de falla), requiriendo la atención previa de los siguientes aspectos:

- Modelo geológico-geotécnico, modelo de elevaciones y mapa de pendientes
- Parámetros de resistencia de los materiales involucrados
- Agentes detonantes
- Método de análisis

Por esto, se procede a analizar el espectro de posibilidades que se pueden obtener variando los parámetros de resistencia de los materiales y el nivel de intensidad de los agentes detonantes considerados (lluvia y sismo). De esta manera, los análisis de estabilidad en términos de probabilidad de falla se tornan más representativos que el reporte de un factor de seguridad, que solo es el simbolismo numérico de uno de los múltiples eventos factibles.

Sin embargo, la deducción de la probabilidad de falla implica conocer la distribución estadística del factor de seguridad (González, 2001), específicamente la de sus dos primeros momentos: µFS y σFS, es decir, la media y la desviación estándar. La solución a la relación predictiva entre estas dos variables (Pf y FS) y la obtención de ellas, se plantea aquí, específicamente mediante el método de Monte Carlo.

En este orden de ideas, la probabilidad de ocurrencia de un evento particular, en este caso los movimientos en masa, se evalúa en términos de sus eventos condicionantes, a través de la ley de probabilidades totales. En este sentido, la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento para eventos detonantes está definida por la Ecuación 4.1.

$$p_f = p(FS \leq 1{,}0) \qquad \textit{Ecuación 4.1}$$

Ahora, considerando los escenarios de los eventos detonantes, en este caso lluvia y sismo, la probabilidad de falla se calcula como la probabilidad de que el factor de seguridad sea inferior a 1,

dados la lluvia y el sismo considerados, multiplicando la probabilidad de que el factor de seguridad sea menor que uno por la probabilidad de que ocurran dichos eventos detonantes, como se exhibe en la Ecuación 4.2.

$$p_f = p(FS \leq 1{,}0 | h_w | k) p(h_w) p(k) \qquad \textit{Ecuación 4.2}$$

Donde h_w y k corresponden a los eventos de lluvia y sismo considerados, respectivamente.

Adicionalmente, se tienen en cuenta los efectos de viaje por caída del material, para así poder considerar el efecto de la depositación de las masas desplazadas en la zonificación de la amenaza.

Uso del método de Monte Carlo para el Análisis de la Falla Planar (Talud Infinito)

Dado que el objetivo es desarrollar un mapa de amenaza en función de las variables, se desarrollan las matrices de los parámetros del suelo, haciendo uso del Método de Monte Carlo, simulándolos bajo una distribución normal (los parámetros geotécnicos se comportan normalmente según varios autores), mientras que para la variable espesor del estrato deslizante se ha tomado una distribución uniforme.

Generación de una matriz (m x n) con m x n valores a partir de una distribución normal:

$$r = (randn(m, n) * sd) + mu$$

Dónde:

Sd = Desviación estándar del parámetro geotécnico (ángulo de fricción, cohesión o peso unitario)

Mu = *Media del parámetro geotécnico (ángulo de fricción, cohesión o peso unitario)*

Randn = *Función que genera valores aleatorios que se comportan acorde a una Distribución Normal Estándar (μ=0 y σ=1).*

Generación de una matriz (m x n) con m x n valores a partir de una distribución uniforme:

$$r = a + rand(m, n) * (b - a)$$

Dónde:

a = Valor mínimo del espesor de estrato deslizante

b = Valor máximo del espesor de estrato deslizante

Rand = *Función que genera valores aleatorios de 0 a 1 distribuidos uniformemente*

Haciendo uso de las anteriores expresiones en el código iterativo, se obtienen las matrices de los parámetros geotécnicos basados en el método de Monte Carlo. Seguidamente, a partir del modelo de elevación digital, se desarrolla una matriz o un ráster de pendientes haciendo uso de las herramientas GIS.

De esta manera, se crea una matriz (m x n) con el fin de evaluar la expresión de F.S. en cada pixel del mapa de pendientes, con lo que se hace necesario que el número de iteraciones esté dentro del rango de 2000 a 10000 (Heuveilin, 1993). Se obtiene así modo un vector para cada celda (o pixel), en este caso de tamaño [10000,1]. Posteriormente, se analizan los datos de cada vector para determinar el comportamiento de los valores del factor de seguridad (FS), y para calcular sus respectivos: valor promedio de factor de seguridad y probabilidad de falla asociada.

4.2.1.1 Modelos Geológico-Geotécnicos

Con el fin de realizar la evaluación de estabilidad considerando la condición de falla traslacional por el método del talud infinito, se establece un modelo geológico-geotécnico de análisis, representativo de la condición actual del terreno en su horizonte más superficial.

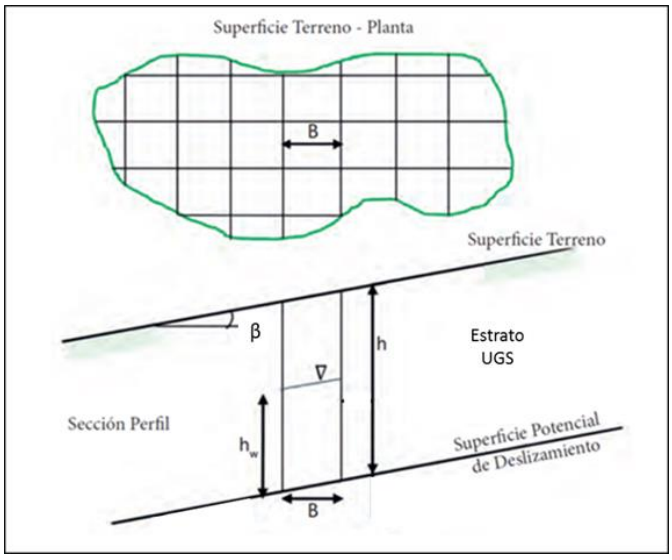


Figura 4.2 Esquema del Mecanismo de Falla por Talud Infinito

Adaptada de: Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC, 2015)

Por lo anterior, se opta por utilizar el método con celdas de tamaño B de 5 m, que pueden representar de manera adecuada fenómenos locales de inestabilidad a la escala de trabajo del presente estudio, en especial, considerando que en algunos de los espacios existen depósitos coluviales que contienen

bloques de tamaños incluso mayores a los 3m de diámetro, que pudieran resultar inconvenientes para la modelación. La *Figura 4.2* muestra el esquema gráfico de la aplicación del método. Para este análisis se evalúa el factor de seguridad de la ladera mediante una rutina implementada en plataforma SIG de acuerdo con la siguiente expresión:

$$FS = \frac{c' + \left(\gamma h \cos^2 \beta - \alpha h \gamma \sin \beta \cos \beta - m \gamma_w h \cos^2 \beta\right) \tan \phi'}{\gamma h \sin \beta \cos \beta + \alpha \gamma h \cos^2 \beta}$$

Dónde:

c'= Cohesión efectiva

Φ' = Ángulo efectivo de fricción

β = Pendiente del terreno

γ = Peso unitario del suelo

γ_w = Peso unitario del agua

h = Espesor de estrato deslizante

h_w = Posición del nivel freático

m= (h_w/h) = Proporción del estrato deslizante que se encuentra saturado

α = Coeficiente de aceleración sísmica horizontal

Por otro lado, con el fin de realizar la evaluación de estabilidad y analizar la potencial ocurrencia de deslizamientos rotacionales, y también traslacionales, se establece la favorabilidad de estructurar un número conveniente de modelos geológico-geotécnicos, representativos de la condición actual del terreno, con los que se pretende evaluar la condición de estabilidad de los centros poblados con su análisis por métodos de equilibrio límite.

Estos modelos geológico – geotécnicos se construyen con el riguroso cruce de lo obtenido con el levantamiento topográfico, con la generación de la cartografía geológica de superficie, con los datos colectados en la exploración directa e indirecta, y con los resultados del plan de ensayos de laboratorio.

Para la ejecución del análisis en dos dimensiones, se adopta la teoría de falla de Morh-Coulomb, y se recurre a los métodos de equilibrio límite Bishop simplificado, GLE-Morgestern-Price, Janbú simplificado y Spencer. Dicho análisis se efectúa en provecho del software Slide en su versión 6.0.

4.2.1.2 Parámetros de Resistencia

Debido a la variabilidad intrínseca de los parámetros de resistencia de los materiales con participación en los centros poblados, se efectúa un análisis estadístico a los resultados de los ensayos laboratorio

para lograr la selección de los valores más representativos, que se validan en el proceso de selección de los parámeros geomecánicos a implementar en los análisis de estabilidad. Sin embargo, en algunos casos se consideran las recomendaciones dadas en el Eurocode, que sugiere algunas magnitudes para los coeficientes de variación, como incertidumbre asociada de los parámetros de resistencia. Los coeficientes de variación (COV) relacionados en la *Tabla 4.5* son de provecho en los casos en que los coeficientes de variación calculados a partir de los resultados de laboratorio son sustancialmente altos, o cuando el valor adoptado responda al valor máximo de la muestra estadística.

Se resalta, sin embargo, que para la selección de los parámetros geomecánicos que se implementarán en los análisis de estabilidad, se efectúan las validaciones más convenientes y rigurosas que los recursos y la información disponible pueden garantizar.

Tabla 4.5 Valoración de la Incertidumbre - Coeficientes de Variación Según Eurocode

Parámetros Geomecánicos de Modelación	Var (%)
Tangente del ángulo de Fricción	10
Cohesión	35
Peso Unitario	10

4.2.1.3 Agentes Detonantes

Entre los agentes detonantes que más pueden afectar la estabilidad de las laderas en el municipio, se consideran la participación del agua subsuperficial, en función de su grado de saturación, y la aceleración sísmica. Para contemplar la participación de una y otra en la condición de amenaza, se contempla la magnitud de una y otra en función de los diferentes periodos de retorno que se consideran en el análisis.

4.2.1.4 Escenarios de Análisis

Para los análisis de estabilidad, y de acuerdo con lo sugerido por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2016), se considera un número de escenarios que se desprende de las combinaciones de las intensidades de lluvia y sismo para los periodos de retorno de cada evento seleccionados, en los que se incluye la variabilidad de los parámetros geotécnicos, y su probabilidad de ocurrencia asociada.

4.2.1.5 Métodos Numéricos de Análisis

Los métodos de análisis utilizados están basados en la teoría de equilibrio límite, aplicando como modelo constitutivo el criterio de resistencia de Mohr – Coulomb para los depósitos de suelo

involucrados. Para los efectos de cálculo, se utiliza el programa Slide® para modelar los movimientos con mecanismo de falla rotacional y traslacional en dos dimensiones, mientras que para los movimientos con mecanismo de falla netamente planar se implementa una rutina en plataforma SIG que soporta el modelo de talud infinito. Bajo los lineamientos anteriores y con el fin de adelantar la tarea de evaluación de estabilidad, se utilizan las secciones o modelos geológicos-geotécnicos y los parámetros de resistencia definidos para el escenario establecido.