

CONTRATO 292 CORPOCALDAS – GEOSUB S.A.S

**IDENTIFICAR Y CARACTERIZAR LA AMENAZA,
VULNERABILIDAD Y RIESGO PARA LA CABECERA MUNICIPAL Y
LAS ÁREAS DE DESARROLLO RURAL RESTRINGIDO**

15. MUNICIPIO DE PENSILVANIA

Manizales, 2013 - 2014

CONTENIDO

15.	MUNICIPIO PENNSILVANIA	4
15.1.	Remoción en Masa	4
15.1.1.	Localización y Drenaje Superficial	4
15.1.2.	Uso y Cobertura	4
15.1.3.	Geología	5
15.1.4.	Pendiente	6
15.1.5.	Curvatura	7
15.1.6.	Aspecto	7
15.1.7.	Relieve Interno	8
15.1.8.	Índice de Humedad	8
15.1.9.	Puntos Críticos	8
15.1.10.	Mapa de Susceptibilidad por Remoción en Masa	9
15.1.11.	Mapa de Persistencia de los Procesos erosivos	12
15.1.12.	Mapa Factor detonante por umbral lluvia	12
15.1.13.	Mapa de Amenaza por remoción en masa	13
15.2.	Amenaza por Inundación Cabecera Municipal de Pensilvania	14
15.3.	Vulnerabilidad para el Municipio de Pensilvania	19
15.4.	Riesgo	21
15.4.1.	Riesgo por Remoción en Masa	21
15.4.2.	Riesgo por Inundaciones	22
15.5.	Centros Poblados de Desarrollo Restringido en el Municipio de Pensilvania ..	24
15.5.1.	Corregimiento de Arboleda	24
15.5.2.	Corregimiento de Bolivia	29
	Mapa de Persistencia de los Procesos erosivos	37
1.1.1.	Mapa de Amenaza por remoción en masa	39
15.5.3.	Corregimiento de Pueblo Nuevo	43
15.5.4.	Corregimiento de San Daniel	52
15.5.5.	Caserío La Linda	58

15.5.6.	Caserío El Higuerón.....	63
15.5.7.	Caserío Soledad Alta	67

15. MUNICIPIO PENNSILVANIA

En el municipio de Pensilvania se tomaron imágenes LIDAR y ortofoto de la cabecera municipal, las cuales sirvieron de base para el análisis geomorfológico de los diferentes factores intrínsecos para la definición de la amenaza y riesgo por remoción en masa y como marco muy detallado para la modelación que permitió el análisis de la amenaza y riesgo por inundación que afecta a esta cabecera municipal en su sector suroriental. En este informe también se presenta la información relacionada con siguientes centros poblados de desarrollo restringido: Corregimientos de Arboleda, Bolivia, Pueblo Nuevo y San Daniel; y los caseríos El Higuierón, La Linda y Soledad Alta. Para el corregimiento de Bolivia también se dispuso de imagen LIDAR y ortofoto, y para los corregimientos de Arboleda y Pueblo Nuevo solo se contó con ortofoto, para el corregimiento de San Daniel y todos los caseríos estudiados no se contó con ningún tipo de cartografía base.

15.1. Remoción en Masa

15.1.1. Localización y Drenaje Superficial

El municipio de Pensilvania se localiza en la parte nor-oriental del departamento de Caldas, en el Anexo 1, Mapa 15.1, se muestra la ortofoto tomada para la cabecera municipal durante este proyecto.

En el Mapa 15.1 del Anexo 1 se muestran los drenajes superficiales tanto dentro del perímetro urbano como en las periferias del casco urbano. Orográficamente la cabecera municipal se localiza principalmente sobre las laderas de la margen izquierda del Río Pensilvania y la mayor parte del perímetro urbano se localiza en un sector delimitado por el Río Pensilvania al suroeste y la quebrada del Centro en el noreste. De forma aislada se localizan otros dos sectores, uno al oriente sobre la margen izquierda de la quebrada del Centro donde se ubican el polideportivo y el CINOC (Colegio Integrado Nacional Oriente de Caldas), y el otro sector sobre la margen derecha del Río Pensilvania al Sur del centro urbano donde se localizan paralelos a la carretera de entrada a Pensilvania el Coliseo de Ferias, la cárcel municipal y el Barrio San Francisco, y este último el cual limita al sureste con la quebrada Chimborazo. Los drenajes intra-urbanos tributarios del río Pensilvania se localizan sobre todo al occidente de la cabecera municipal, pero en general solo son notados cuando se acercan al Río Pensilvania en la parte sur y oriental del centro urbano.

15.1.2. Uso y Cobertura

En el Anexo 1, Mapa 15.2 se muestra el uso y cobertura para el casco urbano del municipio de Pensilvania, el cual fue elaborado con base en los atributos de la imagen LiDAR, la ortofoto del casco urbano y corroboración directamente en campo.

El sector consolidado del centro del perímetro urbano, urbanos 1 y 2 en el mapa 15.2 del Anexo 1 con un porcentaje del 20% y 70% respectivamente, se localiza sobre la margen izquierda del Río Pensilvania en una ladera en dirección NE-SW. Rodeado primero de un sector sin consolidación, urbano 3 y este a su vez rodeado de zonas dedicadas a pastos y bosques. Los sectores aislados del centro de la cabecera municipal al sur y oriente, muestran baja consolidación con menos del 20% del área construido, urbano 3 en el mapa 15.2 del Anexo 1. Llama la atención un pequeño sector al Nor-noroeste dentro del perímetro urbano sin consolidación, dedicado principalmente a pastos cuando se tomó la ortofoto para este proyecto en mayo de 2013, pero cuyo uso está cambiado a bosques de pinos, como se observó en octubre de 2013 cuando se realizó la comprobación de campo. En la cabecera municipal las márgenes de los drenajes principales, río Pensilvania y Quebradas del Centro y Chimborazo están dedicadas a pastos y bosques. Esta cabecera municipal es uno de los pocos ejemplos en el departamento de Caldas, donde se mantiene el desarrollo y la consolidación dentro del perímetro urbano indicando una buena planeación en el uso y desarrollo del suelo urbano.

15.1.3. Geología

En el casco urbano de Pensilvania se presenta en la mayor parte de la extensión de su perímetro urbano un recubrimiento de una secuencia de depósitos de flujos piroclásticos (Qto), que suprayacen un conjunto de depósitos coluviales (Qco) en el sector central de la cabecera municipal localizado sobre las laderas de la margen izquierda del Río Pensilvania, en los sectores sur y occidental los depósitos coluviales que son muy recientes han removido estos depósitos piroclásticos, y los coluviones suprayacen directamente el basamento metamórfico.

Los depósitos de flujos piroclásticos están constituidos principalmente por hasta 5 capas que se diferencian por sus colores, grises, cafés y amarillos con un espesor total de hasta 5 m, y siempre están recubiertas por un horizonte húmico de hasta 1,5 m de espesor. Todos los depósitos tienen tamaño de grano entre ceniza fina y muy fina compuesto principalmente de cristales, líticos y vidrio muy alterado. Estos depósitos pertenecen a la misma secuencia piroclástica descrita en casi todos los centros poblados y cabeceras municipales del oriente de Caldas y también en la cabecera municipal de Aguadas.

Los coluviones se pueden separar en paquetes métricos de conglomerados matriz a clasto-soportados, con tamaños de bloques de hasta 3 m de diámetro (mega-bloques) en una matriz de arena gruesa y gujarros de color negro, tanto los bloques de la armazón como los gujarros de la matriz tienen área fuente el basamento metamórfico. Solo en los sectores sur y occidental los coluviones tienen en su matriz mayor cantidad de componentes volcánicos. Estos depósitos coluviales están relacionados a mega-eventos de deslizamientos que rellenaron una cuenca de media montaña donde actualmente se localiza el casco urbano de Pensilvania, luego por actividad tectónica fueron disectados por el drenaje actual del Río Pensilvania llevando a su disposición actual. El espesor de los depósitos coluviales en el sector sur central de la cabecera municipal se calculó con el DEM de la imagen LIDAR, alcanzando hasta los 30 m de espesor.

El basamento del casco urbano es principalmente metamórfico, definido por los esquistos cuarzo grafitosos del Complejo Cajamarca (Pz), que afloran en el sector oriental en el puente de la salida hacia San Daniel y sobre la quebrada del Centro. Y sólo en la margen derecha del Río Pensilvania en el sector sur de la cabecera municipal donde se localiza el cerro Viacrucis, los depósitos coluviales están suprayaciendo un domo volcánico de composición riolítica (Tdr), que es el basamento de esta zona, pero no se muestra en el Mapa 15.3 del Anexo 1 por no estar dentro del perímetro urbano. Los depósitos aluviales (Qal) se localizan exclusivamente sobre las márgenes del Río Pensilvania y drenajes subsidiarios y suprayacen en sectores los depósitos coluviales. Ver Anexo 1, Mapa 15.3.

15.1.4. Pendiente

En la realización del mapa de pendientes se usó como base el modelo digital de elevación de terreno (DEM) obtenido a partir de la imagen LIDAR, se reclasificaron las pendientes en los siguientes rangos: 0°-12°, 12°-24°, 24°-36°, 36°-56° y 56°-76°.

En el Anexo 1, Mapa 15.4, se observan las pendientes bajas, entre 0° a 24° en los sectores que tienen alguna consolidación dentro del perímetro urbano, clases urbanas 1, 2 y 3 del Mapa 15.2 del Anexo 1. La periferia del perímetro urbano, sectores norte, nor-oriental y sur del casco urbano se muestra el cambio drástico a pendientes altas entre 24° a 56°. En la parte central norte del casco urbano se observan pendientes altas que dividen en dos sectores la parte central del cascourbano, la más norte probablemente por un menor espesor de los coluviones coincide con la zona más pendiente.

Las zonas con mayor pendiente entre 56° a 76° se localizan en muy pequeños sectores principalmente en las márgenes del Río Pensilvania y en el límite norte del perímetro urbano.

15.1.5. Curvatura

En la realización del mapa de curvatura se usó como base el modelo digital de elevación de terreno obtenido a partir de la imagen LIDAR, ver Anexo 1, Mapa 15.5.

El mapa de curvatura muestra una distribución relativamente homogénea de valores intermedios convexos mezclados con zonas planas de muy poca extensión dentro de toda la extensión del perímetro del casco urbano de Pensilvania. En este mapa también se resaltan bien los drenajes en la parte occidental de la cabecera municipal por la localización de sectores con algún grado de concavidad.

15.1.6. Aspecto

En este mapa realizado a partir del modelo digital de elevación de terreno obtenido a partir de la imagen LIDAR, se muestra el Aspecto, orientación de las pendientes en la cabecera municipal, ver Anexo 1, Mapa 15.6.

Este mapa muestra el sector central del casco urbano y los sectores aislados del nor-noroeste y oriental que se sitúan sobre una ladera de gran longitud sobre la margen izquierda del río Pensilvania, presentando igual orientación de los taludes hacia el sureste, sur y suroeste; en la parte norte y nor-oriental, las más alta topográficamente de la cabecera municipal se mezclan estas orientaciones con taludes cortos que tienen orientaciones hacia el norte y el este. En esta ladera, las zonas planas muestran las partes más consolidadas de la cabecera municipal, las cuales han tenido una extensiva intervención antrópica.

El sector sur del perímetro urbano localizado sobre la ladera de la margen derecha del Río Pensilvania muestra un fuerte contraste con el resto de la cabecera municipal ya que la orientación de los taludes es principalmente hacia el norte, las zonas planas amplias muestran las zonas consolidadas de este sector del perímetro urbano, y las zonas planas muy delgadas con líneas delgadas de taludes orientadas al norte muestran el sobrepastoreo en esta área.

15.1.7. Relieve Interno

En el mapa de relieve interno, ver Anexo 1, Mapa 15.7, se observa la consolidación de la parte central del perímetro urbano de la cabecera municipal definida por los valores bajos de relieve interno mostrados. Los valores intermedios a altos de relieve interno se presentan al sur en las márgenes del río Pensilvania y sus drenajes tributarios principales y en el sector norte del perímetro urbano. Valores bajos mezclados con valores intermedios a altos se muestran en la parte occidental del casco urbano, esta combinación de valores coincide con el área donde se observaron los tamaños más grandes de los bloques que forman el armazón de los coluviones. La zona nor-noroccidental que está desconectada del perímetro urbano también presenta valores bajos a intermedios de relieve interno a pesar de no tener ningún grado de consolidación.

15.1.8. Índice de Humedad

En este mapa se muestra el resultado de la aplicación de la fórmula del índice de humedad:

$$W = \ln(A_s / \tan \beta)$$

Donde W corresponde a índice de humedad, mientras A_s es el área aferente, y β es la pendiente calculada (ver Anexo 1, Mapa 15.8.). En general este mapa muestra una amplia homogeneidad con combinación de zonas muy estrechas con saturaciones bajas con zonas con saturaciones altas, las zonas con saturaciones muy altas se ubican en sectores muy localizados de las zonas oriental, sur y la más occidental del perímetro urbano. Esta homogeneidad es debida a la gran escorrentía superficial que afecta a esta cabecera por el uso del suelo de toda la periferia del casco urbano, pastos y cultivos de pinos (llamados bosques en el mapa 15.2 del Anexo 1), usos que hacen que la retención de humedad sea muy reducida.

15.1.9. Puntos Críticos

Los puntos críticos presentes dentro de la cabecera municipal del Municipio de Pensilvania, ver Anexo 2_Pensilvania hacen referencia principalmente a sitios críticos máximos y medios por remoción en masa, los cuales fueron identificados directamente en campo, y por inundaciones determinados por la modelación hidrológica, ver ANEXO 4_Pensilvania y con comprobación de los resultados en campo.

Los puntos críticos por remoción en masa, ver Anexo 1, Mapa 15.9, se localizan en el sector nor-oriental, en ambas márgenes de la quebrada del Centro y en el talud oriental del sector del Coliseo Herrera, en la parte sur del Barrio san Vicente y en sectores de la zona norte y occidental en el límite del perímetro urbano. Las zonas críticas medias por remoción en masa se concentran en el talud sur de la cabecera municipal y en la parte oriental en los alrededores del CINOC, al occidente en el talud norte del cementerio y en la parte urbana sin consolidación localizada al nor-noroeste del casco urbano.

Los puntos críticos por inundaciones se identificaron en las márgenes del Río Pensilvania, sobre todo en la periferia occidental y sur de parte central de la cabecera municipal, y sobre la quebrada Chimborazo afluente del río Pensilvania en la parte sur del perímetro urbano. En la parte occidental también hay puntos críticos por inundación en los drenajes tributarios del río Pensilvania localizados al suroeste y noreste del cementerio y en la parte suroriental de la parte central de la cabecera también reportan los habitantes este drenaje como punto crítico. En el oriente, la quebrada del Centro, y el drenaje tributario del río Pensilvania localizado al noreste del CINOC también se evidenciaron inundaciones recientes.

15.1.10. Mapa de Susceptibilidad por Remoción en Masa

Para elaborar el mapa de susceptibilidad por remoción en masa en la cabecera municipal del municipio de Pensilvania se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros intrínsecos:

- Uso y Cobertura
- Geología
- Pendiente
- Curvatura
- Relieve Interno
- Índice de Humedad

Para establecer la valoración de estos parámetros se usó una matriz AHP como se muestra en la Figura 1.1.

Matriz		Uso y Cobertura	Geología	Pendiente	Curvatura	Relieve Interno	Índice de Humedad	Vector Eigen principal normalizado
		1	2	3	4	5	6	
Uso y Cobertura	1	0	1 4/9	1/3	2 5/8	2	1 4/5	19,36%
Geología	2	2/3	0	5/9	3 5/9	3	1 4/5	20,68%
Pendiente	3	2 8/9	1 4/5	0	2 8/9	3 1/9	1 3/5	31,12%
Curvatura	4	3/8	2/7	1/3	0	1 1/4	1 1/7	9,00%
Relieve Interno	5	1/2	1/3	1/3	4/5	0	1 3/5	9,41%
Índice de Humedad	6	5/9	5/9	5/8	7/8	5/8	0	10,44%

Figura 1.1. Matriz AHP de pesos para los factores tenidos en cuenta para la evaluación de la susceptibilidad por remoción en masa.

El ranking de los factores lo determinó usando el macro de Excel para el cálculo de la proporción de consistencia (CR) definido por Goepel (2013), ver Figura 1.2.

Criterio	Comentario	Pesos	Rk
1	Uso y Cobertura	19,4%	3
2	Geología	20,7%	2
3	Pendiente	31,1%	1
4	Curvatura	9,0%	6
5	Relieve Interno	9,4%	5
6	Índice de Humedad	10,4%	4

Eigenvalue	lambda:	6,308
Proporción de Consistencia (CR)	0,37 GCI:	0,18
	CR:	4,9%

Figura 1.2. Matriz AHP de pesos, rankings (Rk) y proporción de consistencia en el resumen de los factores tenidos en cuenta para la evaluación de la susceptibilidad por remoción en masa en la cabecera municipal de Pensilvania.

El Mapa de susceptibilidad por remoción en masa para la cabecera municipal del municipio de Pensilvania se hizo directamente en el ArcGIS con los factores y la ponderación mostrada en cada clase mostrada en la tabla 1.1. El ranking de los

factores fue tomado de los resultados de la matriz AHP de la Figura 1.2 y luego clasificados de 1 a 9 teniendo en cuenta los pesos obtenidos.

Tabla 1.1. Valoración de factores y clases para la elaboración del mapa de susceptibilidad, en color rojo el peso del mapa y en color negro el peso de cada clase.

Pendiente	9	Geología	5
0°-12°	1	Pz	4
12°-24°	3	Qal	1
24°-36°	5	Qto/Qco y Qto/Pz	5
36°-56°	7	Qco/Pz	8
56°-76°	9	Qco/Tdr	7
		Curvatura radianes/100 m	3
		Cóncavo Valores Máximos	3
Uso Cobertura	5	Cóncavo Valores Intermedios	1
Urbano 1	3	Plano	3
Urbano 2	5	Convexo Valores Intermedios	7
Urbano 3	8	Convexo Valores Máximos	9
Vía Destapada	5		
Vía Pavimentada	3	Relieve Interno (m/12,5 m ²)	4
Bosque	1	Clase 1: 0- 0,757	3
Pastos	5	Clase 2: 0,757- 1,544	3
Cultivo Limpio	1	Clase 3: 1,544 – 2,47	7
Cultivo semi-limpio	1	Clase 4: 2,47 – 3,826	7
Escaleras	3	Clase 5: 3,826 – 10,162	7
Deportivo	1	Índice de Humedad	4
Cementerio	5	Zona saturación muy baja	6
Río	3	Zona de saturación baja	4
		Zona de saturación intermedia	3
		Zona de saturación alta	2
		Zona de saturación muy alta	1

En el Anexo 1, Mapa 15.10 se muestra el mapa de susceptibilidad por remoción en masa para la cabecera municipal del municipio de Pensilvania, el mapa de susceptibilidad se reclasificó manualmente observando los cambios drásticos en el histograma generado en el SIG, las zonas con susceptibilidad alta se localizan en los siguientes sectores: sur en la margen izquierda del río Pensilvania, en el

occidente y norte del perímetro urbano pero muy combinadas con zonas de susceptibilidad media. Las zonas de susceptibilidad media se presentan principalmente en el occidente del perímetro urbano y en la parte sur sobre la margen derecha del río Pensilvania. Las zonas con susceptibilidad baja corresponden a la parte central del casco urbano, la cual tiene mayor consolidación, en sectores muy planos en las vegas actuales del río Pensilvania y de algunos de sus tributarios, y en el extremo oriental del perímetro urbano.

15.1.11. Mapa de Persistencia de los Procesos erosivos

En el Anexo 1, Mapa 15.11 se muestra la localización de las principales áreas afectadas por procesos erosivos en la cabecera municipal del municipio de Pensilvania, y que fueron clasificados de acuerdo con su persistencia, ver valoración en el apartado de introducción y metodología del informe de avance No. 3. En el Mapa se muestran que los principales eventos de deslizamientos que aún son observables en las imágenes LiDAR y verificados en la etapa de campo, y se localizan en la periferia principalmente al norte y sur de la parte central de la cabecera municipal, los más abundantes fueron clasificados como E4, eventos activos con moderado avance, y en mínima proporción procesos E5, eventos activos con fuerte avance. Dentro de la cabecera municipal se localizan eventos principalmente del tipo E2, eventos estabilizados los cuales afectaron áreas muy pequeñas.

15.1.12. Mapa Factor detonante por umbral lluvia

En el Anexo 1, Mapa 15.12 se muestra el mapa de factor detonante por umbral lluvia, el cual se construyó reclasificando los factores y asignándolos nuevos pesos de acuerdo con la susceptibilidad de cada factor con respecto a los umbrales de lluvias, estos factores y pesos se muestran en la tabla 1.2. El mapa muestra mayor incidencia por el disparador de umbral de lluvias en el sector sur, pequeñas zonas del sector oriental y del sector más nor-occidental. Las zonas de incidencia media son los taludes en las márgenes derecha e izquierda del río Pensilvania con cobertera de pastos principalmente, y la parte más oriental de la cabecera municipal (ver Mapa 15.2 del anexo 1). La incidencia baja domina en toda la parte central y la zona consolidada de la parte sur de la cabecera municipal, combinada con muy pequeñas zonas con incidencia media.

Tabla 1.2. Pesos para los mapas de factores del mapa factor detonante por umbral de lluvias para el casco urbano de Pensilvania

		Peso		
	Uso Cobertura	5		
Impermeables		1		Peso
	Urbano 1		Pendientes en grados	5
	Urbano 2		0 - 10	9
	Urbano 3		10 - 25	4
	Parque		> 25	1
	Deportivo			
	Escaleras		Geología	8
	Cementerio		Pz	2
			Qal	7
Permeables	Bosque	6	Qco/Pz	4
	Pasto		Qco/Tdr	4
	Cultivo semi-limpio y limpio		Qto/Pz	3
	Vía Destapada		Qto/Qco	3
	Río			
			LLUVIAS tr-15	6
			142 mm	7
	Suelo desnudo		8	

15.1.13. Mapa de Amenaza por remoción en masa

En el Anexo 1, Mapa 15.13 se muestra el mapa de amenaza por remoción en masa para la cabecera municipal de Pensilvania, el cual se obtuvo cruzando los mapas de susceptibilidad (Anexo 1, Mapa 15.10) y el mapa de persistencia de los procesos erosivos (Anexo 1, Mapa 15.11) y el mapa de factor detonante por umbral de lluvias (Anexo 1, Mapa 15.12), el cruce de mapas fue teniendo en cuenta la valoración de pesos propuesta en la Tabla 1.3. En el mapa se muestran las zonas de amenaza alta las cuales engloban pequeñas áreas en la parte sur del casco urbano en el límite entre la zona consolidación central de la cabecera y la zona con uso de pastos en la margen izquierda del río Pensilvania, y en la parte norte y

nor-oriental en el límite del perímetro urbano con la zona rural, esta última también dedicada a pastos. Estas zonas de amenaza alta están dentro de la faja más amplia de amenaza media que se extiende en toda la periferia de las partes sur, occidental, norte y oriental que están limitando la parte consolidada central del casco urbano. La amenaza baja se localiza en la parte más central de la cabecera municipal y muy pequeñas zonas de la parte oriental y occidental del perímetro urbano. Hay que tener en cuenta que este mapa de amenaza se establece con los eventos reconocidos en campo a junio de 2013, pero un evento extremo de lluvia que suceda en un futuro puede aumentar las zonas altas de amenaza en los sectores actuales de amenaza media.

Tabla 1.3. Pesos de los Mapas que definen el mapa de Amenazas por remoción en masa en la cabecera urbana del municipio de Pensilvania

Mapa	Peso
Persistencia	7
Susceptibilidad	4
Factor Lluvias	2

15.2. Amenaza por Inundación Cabecera Municipal de Pensilvania

La cabecera municipal de Pensilvania posee varias corrientes principales, el río Pensilvania que la rodea al occidente y sur y seis de sus afluentes también cruzan tramos de la cabecera municipal en sentido NW-SE principalmente (ver Mapa 15.2 del Anexo 1), la mayoría de estos cauces en las zonas donde cruza el centro de la cabecera municipal han sido intervenidos de diferentes formas, en su mayoría con tramos discontinuos de box culvert de secciones y características físicas diferentes, para esta modelación no fue posible realizar el modelamiento de las obras sobre las superficies debido a que se desconocían las dimensiones, localización y características de estas intervenciones, por estar debajo de las construcciones y sin acceso.

Para determinar la zonificación de la amenaza por inundación fue necesario realizar estudios hidrológicos e hidráulicos, sobre las corrientes que cruzan el municipio, además fue necesario complementar el Modelo Digital de Terreno (MDT) con las curvas de nivel disponibles para la zona en CORPOCALDAS debido a que un tramo importante del Río Pensilvania se encontraba por fuera de la zona tomada en la imagen LIDAR, dando como resultado un MDT ajustado con información base de diferentes características, para este municipio el MDT obtenido por medio de la imagen LIDAR presenta algún tipo de alteración en la

representación de la superficie con una textura con definición regular en forma de polígonos, debido al filtro realizado en el post-procesamiento de la imagen.

Los estudios hidrológicos requieren la caracterización fisiográfica y morfométrica de las cuencas, la estimación de las lluvias de diseño para los diferentes periodos de retorno y el cálculo final de los caudales asociados.

El caso particular de la cabecera municipal de Pensilvania, se dividieron las corrientes en siete sub-cuencas, debido a que las 7 corrientes presentan una jerarquía importante (ver Figura 1.3). Se estimaron los caudales aplicando metodologías empíricas dado el tamaño de las sub-cuencas estudiadas.

En archivo digital adjunto se encuentra las memorias de cálculo con todos los métodos aplicados, ver Anexo 4_Pensilvania. La tabla 1.4 muestra los resultados obtenidos para las sub-cuencas de la cabecera municipal de Pensilvania.

Tabla 1.4. Caudales estimados para las sub-cuencas de la cabecera municipal de Pensilvania.

Nombre	Área (Km ²)	PPT 15 (mm)	PPT 100 (mm)	Coef. Escorrentía Tr 15	Coef. Escorrentía Tr 100	Q (m ³ /s) Tr=15 años	Q (m ³ /s) Tr=100 años	Q (m ³ /s) Tr=100 años + 40%
Sub-cuenca 1	15.94	137.31	296.63	0.60	0.65	109.88	198.13	277.38
Sub-cuenca 2	0.22	141.57	327.61	0.60	0.65	3.26	5.27	7.38
Sub-cuenca 3	2.34	142.07	344.11	0.60	0.65	16.03	25.09	35.13
Sub-cuenca 4	0.38	141.11	322.79	0.60	0.65	4.53	6.81	9.53
Sub-cuenca 5	2.62	139.19	300.98	0.60	0.65	23.37	41.65	58.31
Sub-cuenca 6	0.59	142.20	332.64	0.60	0.65	6.44	9.87	13.81
Sub-cuenca 7	2.16	141.05	316.15	0.60	0.65	19.92	35.81	50.13

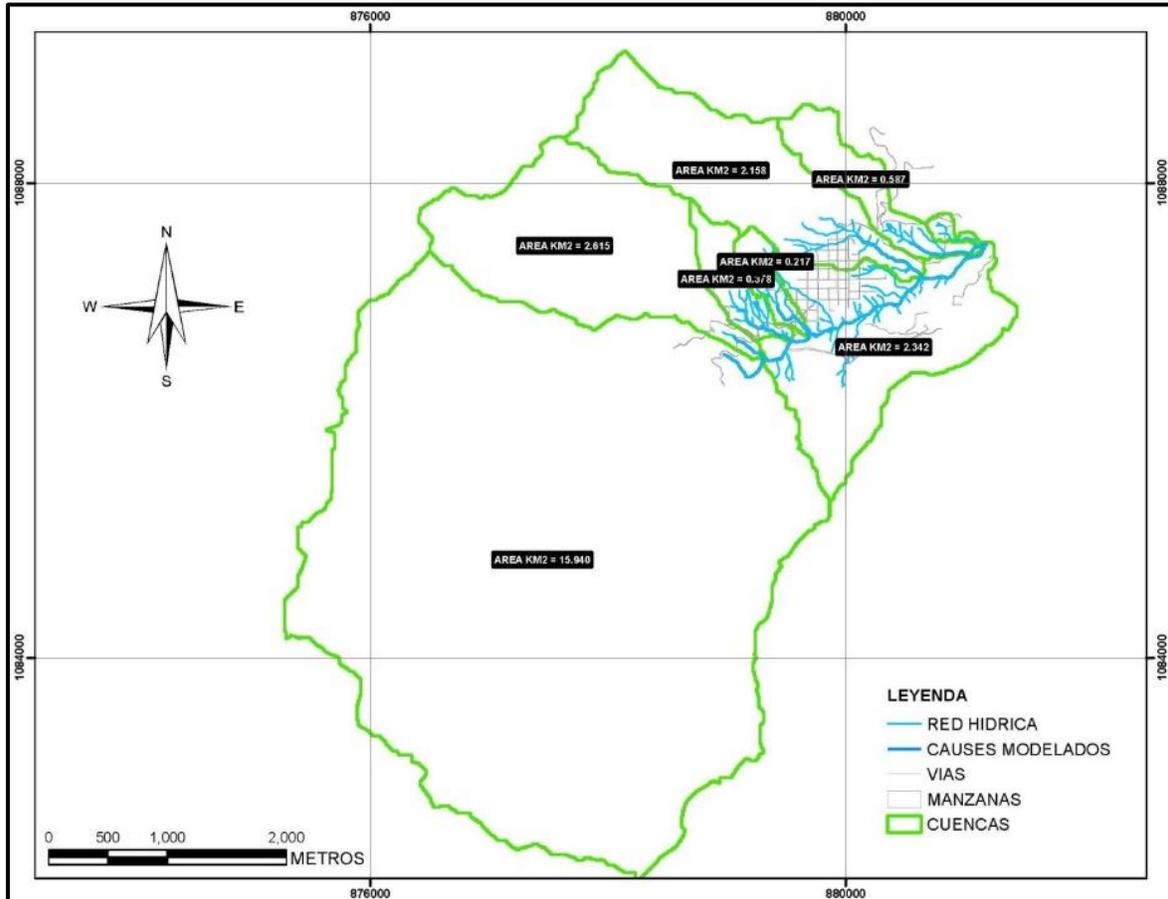


Figura 1.3. Sub-cuencas hidrográficas en el área de la cabecera municipal de Pensilvania.

Las imágenes LIDAR y los resultados del estudio hidrológico son el insumo fundamental de los estudios hidráulicos, los cuales se desarrollan modelando las corrientes principales presentes en la cabecera municipal de Pensilvania en el software HEC- RAS, el cual requiere que se definan secciones trasversales del cauce, el eje del río y las bancas del mismo.

Para esta cabecera municipal sólo se apreciaron afectaciones en la parte alta de la corriente debido al cauce principal del Río Pensilvania y algunos de los afluentes, teniendo en cuenta que en la zona aledaña al coliseo hay algunas canalizaciones, pero éstas responden a la dinámica de corrientes de órdenes inferiores.

En la modelación se integró la dinámica de la corriente principal con sus respectivos afluentes para generar un escenario adecuado con la mejor resolución posible, así como también se tuvieron en cuenta todos los elementos que

interactúan o influyen con la dinámica del cauce, como son las fronteras naturales y obstrucciones de cualquier tipo.

La modelación hidráulica permite zonificar la amenaza por inundación del municipio de Pensilvania combinando los mapas de velocidad y calado resultado de los modelos hidráulicos. La Figura 1.4 muestra el modelo hidráulico del municipio de Pensilvania.

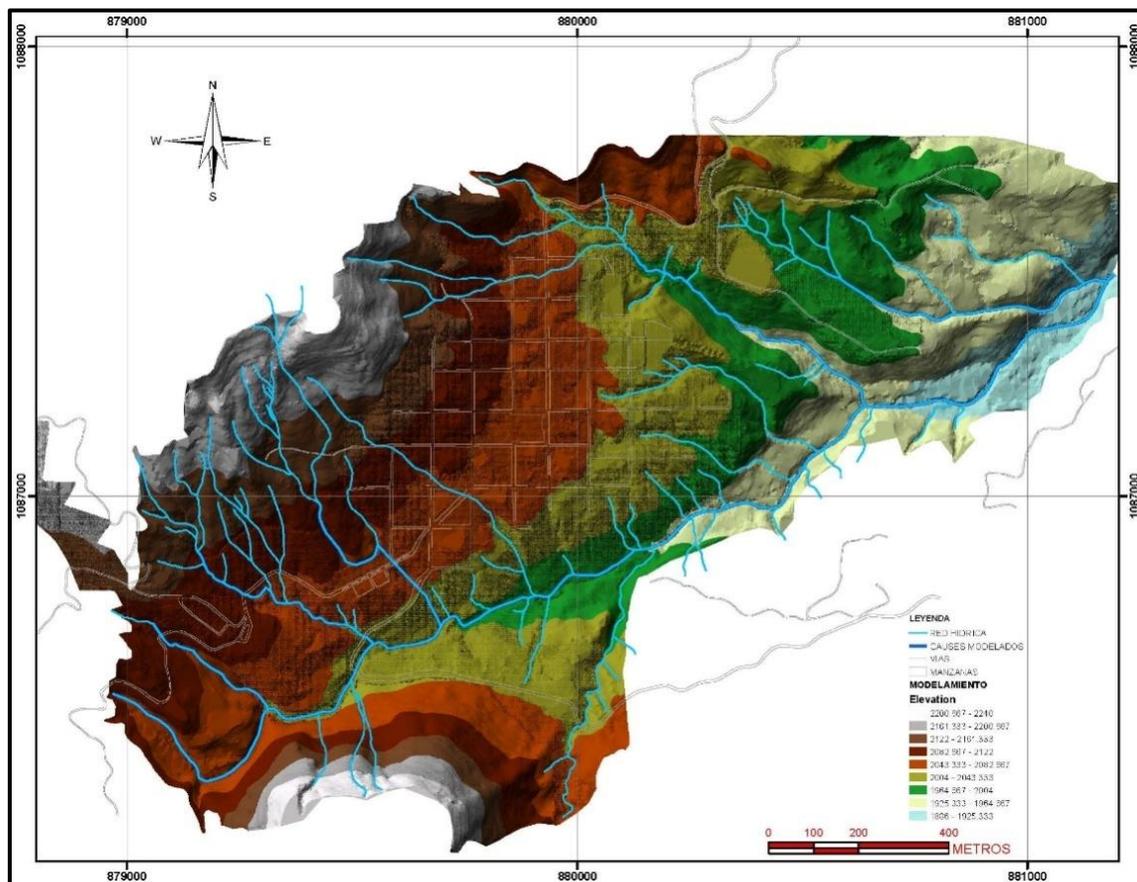


Figura 1.4. Modelo hidráulico de la cabecera municipal de Pensilvania, el drenaje principal corresponde al Río Pensilvania.

La zonificación de amenaza por inundación, ver Figura 1.5 y Anexo 1, Mapa 15.14, se realizó combinando y reclasificando los mapas de velocidad y calado, donde se muestra un predominio de amenaza alta a lo largo de los diferentes cauces en la cabecera municipal de Pensilvania, para mayor detalle ver las tablas y mapas en el Anexo 4_Pensilvania.

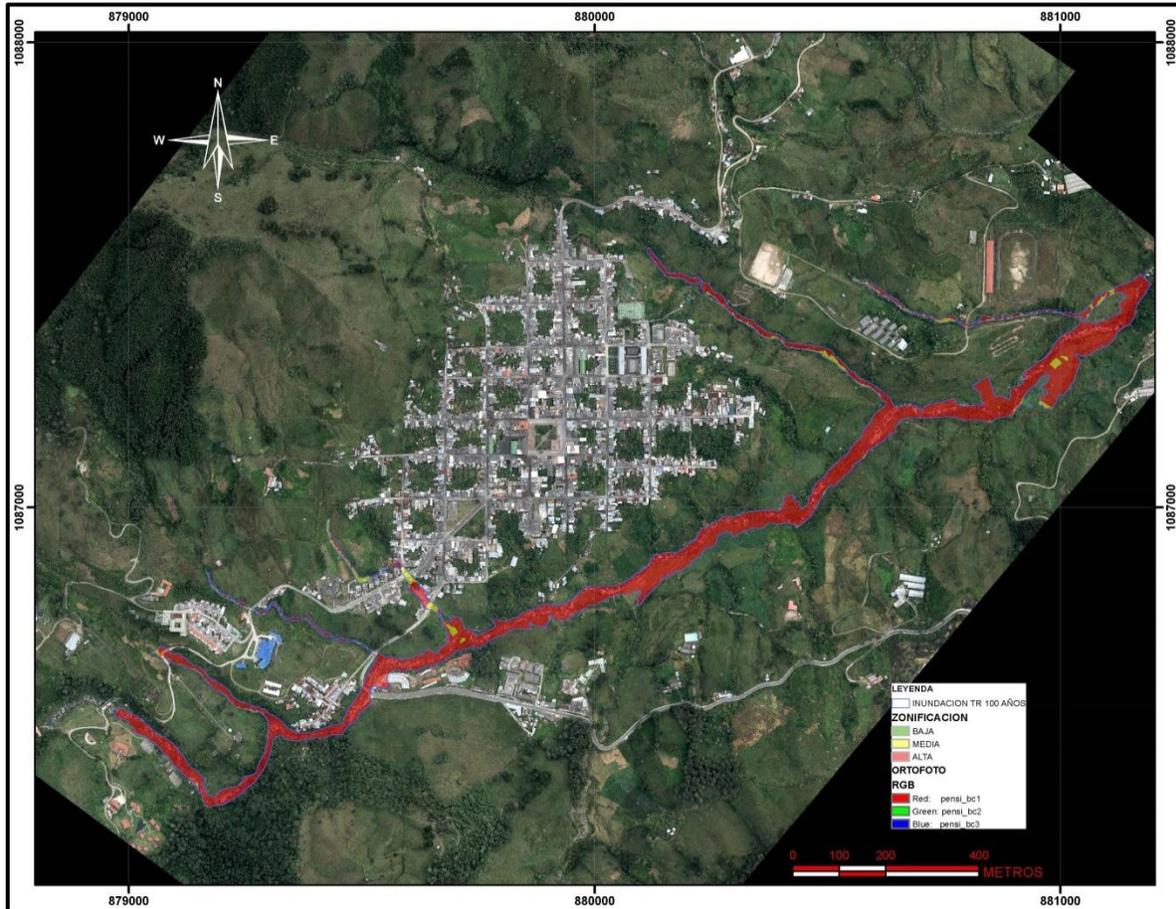


Figura 1.5. Zonificación de la amenaza por inundación en la cabecera municipal de Pensilvania.

Las zonas de amenaza alta se localizan en las márgenes del Río Pensilvania afectando al Coliseo de Ferias en el suroeste del casco urbano, en el afluente localizado en la parte sur del Cementerio, en otro afluente localizado en el suroeste donde termina la parte central del casco urbano y en el oriente en la quebrada del Centro y pequeños sectores del afluente localizado al noreste del CINOC. La amenaza media por inundación resultado de la modelación se circunscribe a los afluentes occidentales y orientales y muy pequeños sectores en las márgenes del Río Pensilvania.

Las modelaciones de las sub-cuencas occidentales que tienen los afluentes que cruzan este sector de la cabecera municipal no mostraron zonas de amenazas por el alto grado de intervención de estos drenajes que dificulta su modelación, pero en la parte alta existe un sistema de canales y rápidas que recogen las aguas lluvias y de escorrentía generadas en el límite urbano-rural.

Para la cabecera municipal de Pensilvania, la planeación del desarrollo urbano no ha permitido que se construya sobre las márgenes del Río Pensilvania a excepción del Coliseo de Ferias, esta política de respetar las vegas de los ríos y sus afluentes se debe mantener en un futuro.

15.3. Vulnerabilidad para el Municipio de Pensilvania

Para localizar los datos de las encuestas del Sisben de la cabecera municipal se elaboró un mapa de barrios de acuerdo con la nomenclatura manejada del Sisben, este mapa se muestra en el Anexo 1, Mapa 15.15, todos los datos de la encuesta se ubicaron en este mapa.

La evaluación de la vulnerabilidad del municipio de Pensilvania se dividió en dos temas, la física y la Socio-económica, de acuerdo con la metodología se establecieron los factores a evaluar en cada tema y luego se reclasificaron sus pesos, y se procesaron los factores sociales y físicos en ILWIS ver 3.0 y como resultado se definieron los mapas de vulnerabilidad social y física, los cuales con un peso de 0,4 y 0,6 respectivamente se sumaron para obtener un mapa final de vulnerabilidad del municipio.

En la Tabla 1.5 se muestran los valores promedio en porcentaje en cada una de las categorías de vulnerabilidad para los diferentes factores y sus clases tenidas en cuenta en la evaluación de este ítem.

En el **mapa de vulnerabilidad** de la cabecera municipal de Pensilvania, ver Anexo 1, Mapa 16.16 se observa que la vulnerabilidad baja se concentra en toda la periferia sur y norte de la parte central del perímetro urbano cubriendo toda la extensión de las márgenes izquierda y derecha del río Pensilvania, y también en una zona en el oriente de la cabecera municipal en la salida hacia San Daniel, estas zonas de vulnerabilidad baja también se corresponden a las áreas donde no hay información del Sisben, por eso en la Tabla 1.5 no se muestra ni ningún valor para la categoría de vulnerabilidad baja

Tabla 1.5. Porcentaje promedio de los valores de los factores en las diferentes categorías de Vulnerabilidad en la cabecera municipal de Pensilvania

Factores	Vulnerabilidad	
	Media	Alta
SALUD		
Pagada	66	33
Subsidiada	29	56
Ninguna	5	11
INGRESOS		
< 1 SMLV	79	95
1 - 2 SMLV	11	4
> 2 SMLV	10	1
TENENCIA		
Arriendo	47	42
Propia	48	46
Otra	5	12
EDUCACIÓN		
Ninguna	12	19
Primaria	28	39
Secundaria	42	36
Superior	18	5
GRUPOS ETÁREOS		
Niños	16	19
Adultos	67	65
Mayores	17	16
DENS. POBLAC.		
Personas /m2	0,004	0,019
TIPOLOGÍA		
Mampostería	59	42
Bahareque	1	1
Mixto	40	57
ALTURAS		
VALOR en m	0-3 m	0-3 m

La vulnerabilidad media se definió en la parte norte del centro de la cabecera municipal y en pequeñas zonas en el oriente del mismo centro, y al occidente en pequeñas zonas aledañas al acceso principal al centro de la cabecera. La vulnerabilidad alta se definió en tres sectores, uno en la periferia de la parte central de Pensilvania, otro en la parte más norte y oriental del perímetro urbano y el último en el sector sur aledaño a la variante de acceso a Pensilvania.

La vulnerabilidad media de acuerdo con los valores obtenidos en el mapa de vulnerabilidad generado en ILWIS, identifica sectores donde en promedio la salud corresponde principalmente a afiliados a EPS, con ingresos bajos en un 95%, tenencia variando entre casa propia y en arriendo, con educación secundaria domina sobre la secundaria pero con 12% sin educación, y los grupos etéreos corresponden principalmente al grupo de personas adultas, el índice de densidad de población es de un valor de 0,004 personas/m², la tipología de vivienda es mayoritariamente de mampostería y en menor proporción mixta y las alturas de las viviendas están principalmente entre 0 y 3 m, ver Tabla 1.5.

La vulnerabilidad alta identifica sectores donde en promedio la salud es mayoritariamente subsidiada y menor proporción pagada, con ingresos bajos en un 95%, tenencia de casa variando entre propia y arrendada, con educación primaria predominantemente y con un 19% sin ninguna educación, y los grupos etéreos corresponden principalmente al grupo de personas adultas entre 14 y 65 años, el índice de densidad de población es de un valor de 0,019 personas/m², la tipología de vivienda es mayoritariamente de mampostería y las alturas de las viviendas entre 0 y 3 m y una baja proporción entre 3 y 6 m.

15.4. Riesgo

15.4.1. Riesgo por Remoción en Masa

Para la evaluación del riesgo por remoción en masa, se evaluó la exposición de los elementos de la infraestructura de la cabecera municipal seleccionando las zonas urbanas categorizadas como Urbano 1, 2 y 3 en el mapa de uso del suelo (ver Anexo 1, Mapa 15.2). Estas áreas se cruzan con el mapa de amenazas por remoción en masa, Anexo 1., Mapa 15.13 y el mapa de vulnerabilidad, Anexo 1, Mapa 15.16 para obtener el mapa de Riesgo que se presenta en el Anexo 1, Mapa 15.17. Las zonas de riesgo alto por remoción en masa se localizan principalmente en pequeñas áreas que se pueden asociar en dos cinturones al sur y al norte de la parte central consolidada de la cabecera municipal. En la parte sur, las zonas de riesgo alto forman un cinturón sobre la margen izquierda del río Pensilvania en el límite del área urbana consolidada y en la margen derecha del río Pensilvania en

el barrio San Francisco, el otro cinturón se localiza al norte en la zona más pendiente de la cabecera municipal cerca del área rural dedicada a pastos principalmente. Las zonas con riesgo muy alto se localizan en muy pequeñas áreas del sector suroriental en el barrio San Vicente y una pequeña área en el norte.

La cuantificación de la exposición se hace mediante el conteo y medición de infraestructura afectada a partir de la ortofoto, ver Anexo 5_Pensilvania, en riesgo alto se ubican 4 viviendas y en riesgo muy alto 18 viviendas. Las viviendas en riesgo alto y muy alto por estar también localizadas en zonas de vulnerabilidad alta, hace a las comunidades menos resilientes al riesgo por remoción en masa.

En cuanto a la vulnerabilidad socioeconómica se debe tener muy en cuenta para contextualizar los impactos de las áreas en riesgo, y tomar en cuenta la sensibilidad y las capacidades adaptativas con base en los factores definidos en el mapa de vulnerabilidad de la cabecera municipal y tomada de la información suministrada por el Sisben.

15.4.2. Riesgo por Inundaciones

El mapa de riesgo por inundaciones se hizo mediante el cruce del mapa de amenazas por inundaciones, Anexo 1, Mapa 15.14 con el mapa de vulnerabilidad Anexo 1, Mapa 15.16, y este cruce se superpuso sobre el mapa reclasificado del uso del suelo y la ortofoto, donde se establecen las zonas de riesgo en los diferentes drenajes, ver Anexo 1, Mapa 15.18. En la Tabla 1.6 se muestran los cruces y las clases de riesgo resultante. Las zonas de Riesgo Medio por inundaciones se localizan en el Río Pensilvania en un sector localizado entre la zona donde se ubica el Hospital San Juan de Dios hasta donde desemboca la quebrada Chimborazo, y también en amenaza media, un drenaje en el occidente de la cabecera municipal localizado entre el Cementerio y el Hospital San Juan de Dios.

Las zonas de Riesgo alto se localizan sobre el Río Pensilvania en su margen derecha en el sector del Coliseo de Ferias, y sobre la margen izquierda del Río Pensilvania aguas arriba del puente que cruza la variante de entrada a Pensilvania. También en riesgo alto por inundaciones muy pequeños sectores de la quebrada que cruza al oriente del Cementerio y afectaría el sector suroccidental de la parte central del casco urbano. En Riesgo muy alto una pequeña sección de la misma quebrada que cruza al oriente del Cementerio antes de desembocar en la margen izquierda del Río Pensilvania.

Tabla 1.6. Riesgo resultante del Cruce de las clases de Amenaza por Inundaciones y Vulnerabilidad.

		AMENAZA POR INUNDACIÓN												
		Baja	Media	Alta										
VULNERABILIDAD	Baja													
	Media													
	Alta													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">RIESGO POR INUNDACION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BAJO</td> <td style="background-color: #00FF00;"></td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td style="background-color: #FFFF00;"></td> </tr> <tr> <td>ALTO</td> <td style="background-color: #FF0000;"></td> </tr> <tr> <td>MUY ALTO</td> <td style="background-color: #800080;"></td> </tr> </tbody> </table>		RIESGO POR INUNDACION		BAJO		MEDIO		ALTO		MUY ALTO		
RIESGO POR INUNDACION														
BAJO														
MEDIO														
ALTO														
MUY ALTO														

La cuantificación de la exposición se hace mediante el conteo y medición de infraestructura afectada a partir de la ortofoto, ver Anexo 5_Pensilvania, en riesgo medio 1 vivienda, en riesgo alto se ubican 3 viviendas incluyendo la parte norte del Coliseo de Ferias y en riesgo muy alto, 10 viviendas. El riesgo se presenta en esta cabecera municipal por la ocupación de las zonas de llanura aluvial de los drenajes nortes del río Pensilvania.

15.5. Centros Poblados de Desarrollo Restringido en el Municipio de Pensilvania

Los centros poblados de desarrollo restringido del municipio de Pensilvania estudiados en este proyecto corresponden a los corregimientos de Arboleda, Bolivia, Pueblo Nuevo y San Daniel; y a los caseríos El Higuerón, La Linda y Soledad Alta.

15.5.1. Corregimiento de Arboleda

El corregimiento de Arboleda se localiza en el sector más septentrional del municipio de Pensilvania sobre una cuchilla que sirve de parteaguas a drenajes de tercer orden en este sector de la Cordillera Central, en la Figura 1.6 se muestra la disposición general del corregimiento sobre una delgada cuchilla con pendientes fuertes tanto al Noroeste como al sureste de la misma. En el Mapa 15.19 del Anexo 1 se muestra el mapa de usos y cobertura para este corregimiento, y en el mapa 15.20 del Anexo 1 se muestra el mapa geológico



Figura 1.6. Corregimiento de Arboleda, Ortografía tomada en septiembre de 2013, se muestra el perímetro del centro poblado y las estaciones de campo localizadas con GPS.

El basamento aflorante son las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, con los niveles I y II de meteorización, como se observa en la Figura 1.7 y en el mapa 15.20 del Anexo 1. La cobertera piroclástica se observa mejor a la entrada sur-occidental del corregimiento en el sector del Cementerio y en la carretera que desde este punto va hacia el barrio donde se construye el nuevo Acueducto, en el límite occidental del perímetro del centro poblado.

En este sector de la Cordillera Central, el Complejo Cajamarca está formado por esquistos cuarzo-micáceos grafitosos con venas de cuarzo lechoso paralelas a la foliación, ver Figura 1.7. En el Nivel I está muy alterado y se observa ligeramente la textura original de la roca, el nivel II muestra la textura original y en este sector se presenta bastante oxidado.

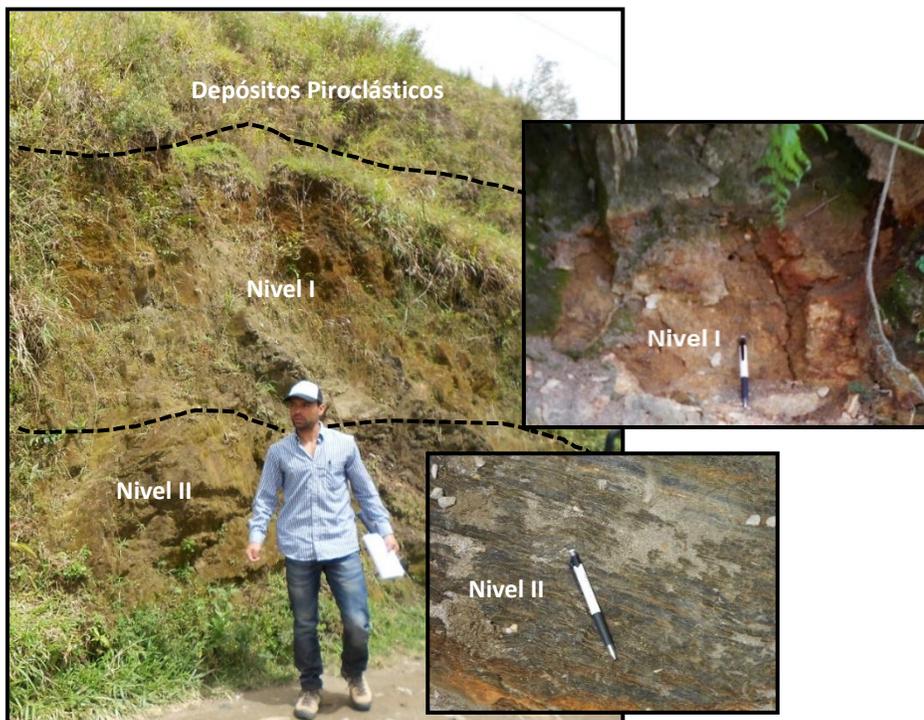


Figura 1.7. Izquierda Perfil Geológico del basamento metamórfico observado en el Corregimiento de Arboleda suprayacido por depósitos piroclásticos, se muestran los Niveles I y II de meteorización del Complejo Cajamarca en el sector del Cementerio. **Derecha**, detalles de los niveles I (**arriba**) y II (**abajo**) de meteorización del basamento.

Los depósitos de flujos piroclásticos alcanzan hasta 4 m de espesor en este centro poblado, son formados por dos niveles, el superior de color café y el inferior de color amarillo, en la Figura 1.8, se muestra el afloramiento de estos depósitos en la entrada sur del corregimiento. El nivel superior alcanza un espesor de hasta 2

m, presenta tamaño de grano entre ceniza fina y muy fina compuesto principalmente de cristales, líticos y vidrio muy alterado, el inferior de color amarillo presenta un mayor grado de alteración del vidrio volcánico y solo se diferencian esporádicos fragmentos pumáceos, la alteración del vidrio a arcilla hace que se rellenen los poros y hacen de este un nivel con permeabilidad alta.



Figura 1.8. Depósitos de Flujos piroclásticos, con dos niveles, el superior de color café y el inferior de color amarillo, a la derecha se observa un detalle del nivel inferior.

Remoción en Masa

El análisis de la persistencia de eventos de remoción en masa para el corregimiento de Arboleda se hizo mediante la elaboración de un censo de los eventos, ver Mapa 15.21 del Anexo 1 donde se muestran los puntos críticos por remoción en masa, y su clasificación de acuerdo con el grado de persistencia como se hizo para las cabeceras municipales, en la Figura 1.9 y en el Mapa 15.22 del Anexo 1 se muestran los eventos delimitados directamente en campo y sobre la ortofoto. Los eventos activos con fuerte avance, E5 son los mayoritarios y se localizan en casi todos en el límite del perímetro del centro poblado con excepción del talud nor-occidental. El desencadenante de estos es el uso del suelo actual, ya que el límite con la zona rural no tiene ninguna amortiguación. Los eventos activos con moderado avance, E4 también se presentan en los límites del perímetro urbano pero en áreas y volúmenes más pequeños que los eventos E5 que tienen avance fuerte.

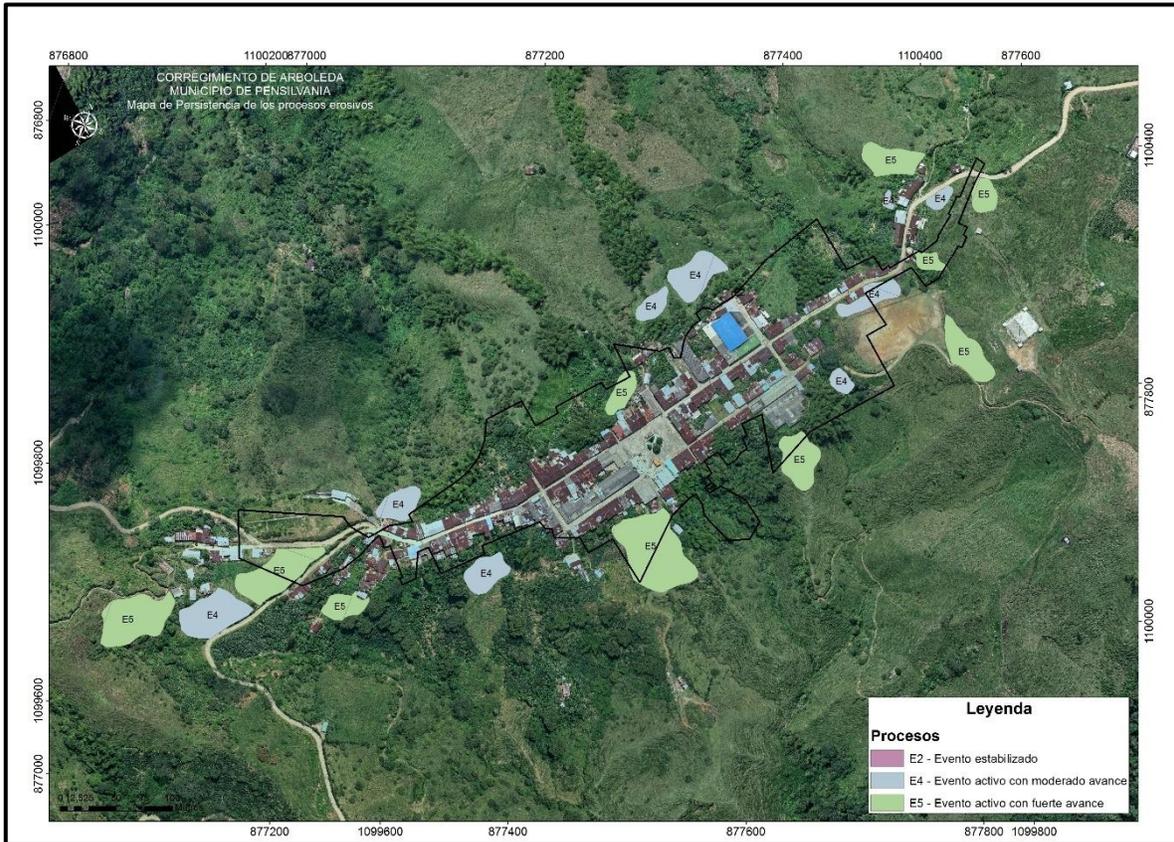


Figura 1.9. Mapa de Eventos de remoción en masa del Corregimiento de Arboleda

Según datos del Sisben febrero de 2013, en la Figura 1.10 para el corregimiento de Arboleda se muestran los porcentajes de las diferentes clases de las variables socio-económicas y físicas extractadas de las encuestas del Sisben. Las viviendas son básicamente unifamiliares principalmente casas o apartamentos, la tenencia de las viviendas es muy variable dominando las casas propias pagadas o que se están pagando, las paredes de las viviendas son en su gran mayoría de guadua, caña u otros materiales y bahareque, y los pisos son principalmente en baldosa, vinilo, tableta o ladrillo; las viviendas tienen entre 2 y 4 cuartos y en el 98% de las viviendas habitan entre 1 y 5 personas, el 75% de los habitantes cuenta con seguro social por ser empleado o beneficiario, pero un 18% no tiene afiliación; el nivel educativo es principalmente primaria, pero un 23% no tiene educación. Los ingresos son bajos en general con un 92% dominando los menores de \$300.000.00, las edades varían pero predominan los grupos entre 6 y 18 años y entre 30 y 50 años. Cuenta el corregimiento con los servicios sociales básicos, centro de salud, centros educativos, Policía y Junta de Acción Comunal.

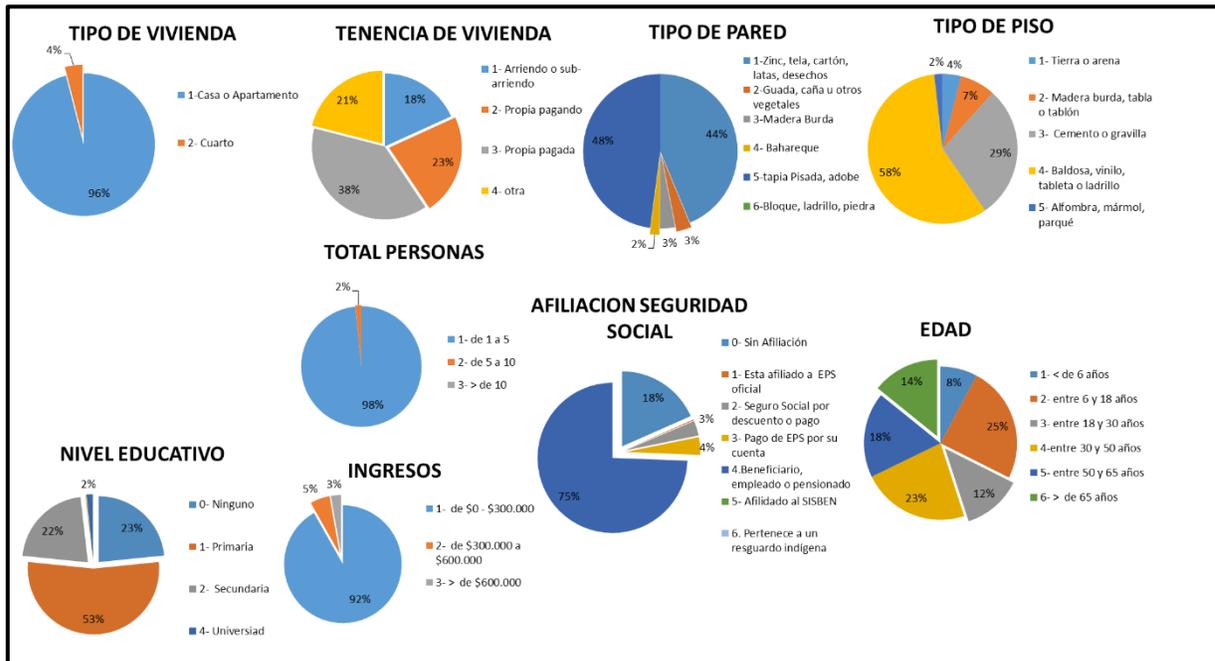


Figura 1.10. Porcentajes de clases de las variables socio-económicas y físicas del Corregimiento de Arboleda.

La evaluación de campo permitió determinar que se debe tener vigilancia sobre la terminación de las obras del nuevo acueducto en el sector occidental del corregimiento y que se terminen las obras complementarias para no incrementar la susceptibilidad de este sector a eventos de remoción en masa. El manejo de los límites urbano-rural debe también tener mayor vigilancia para la disposición de basuras desechos y escombros, ya que pretender cambiar el de uso de suelo rural es un tema de difícil abordaje en esta región. Se debe establecer la posibilidad de obras de mitigación de las zonas afectadas por los eventos tipo E4 y E5 en la zona rural pero muy cerca del perímetro del corregimiento, no hay propuestas en este informe por estar los eventos localizados en la zona rural, y está por fuera del alcance de este proyecto sobre todo por no disponerse de un modelo digital de terreno adecuado e información climatológica local.

Igualmente se deben adelantar acciones estructurales que mejoran las condiciones de su habitantes como la educación y la seguridad social, ya que mejorando estos aspectos junto con las otras condiciones sociales y económicas precarias mostradas en la Figura 1.10 como tenencia de vivienda, tipo de paredes, hacinamiento e ingresos, la percepción del riesgo aumentaría en la población, y por lo tanto la resiliencia para eventos de remoción en masa. Y también debe hacer una campaña para cambiar la cultura de disposición de escombros y basuras en los patios de las casas y los potreros aledaños.

15.5.2. Corregimiento de Bolivia

El corregimiento de Bolivia se localiza en el sector suroriental del municipio de Pensilvania sobre una cuchilla que sirve de parteaguas a drenajes de tercer orden en este sector de la Cordillera Central, en la Figura 1.11 y Mapa 15.23 del Anexo 1. Se muestra la disposición general del corregimiento sobre una delgada cuchilla con pendientes fuertes tanto al Oeste como al Este de la misma.

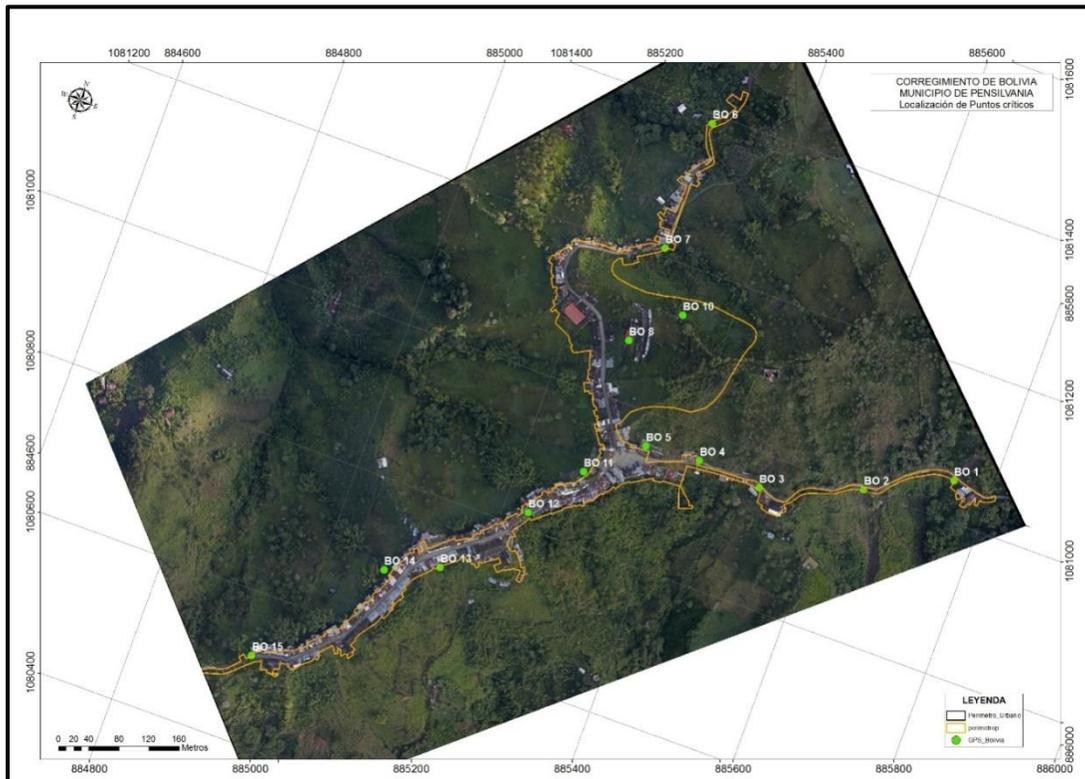


Figura 1.11. Corregimiento de Bolivia, Ortofoto tomada en septiembre de 2013, se muestra el perímetro del centro poblado y las estaciones de campo localizadas con GPS.

El basamento aflorante son las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, con los niveles I, II y III de meteorización, como se observa en la Figura 1.12., Este basamento es suprayacido por una cobertera piroclástica muy delgada y de difícil observación por la ocurrencia de depósitos coluviales asociados a eventos de remoción en masa reciente que recubren casi todo el sector norte y noreste del corregimiento.

En este sector de la Cordillera Central, el Complejo Cajamarca está formado por intercalaciones de meta-areniscas y meta-lodolitas, ver Figura 2, donde se observan las texturas relicto clásticas, en la salida hacia El Higuerón se observaron diques pegmatíticos con espesores métricos que atraviesan esta unidad.



Figura 1.12. Perfil Geológico del basamento metamórfico observado en el Corregimiento de Bolivia, a la **izquierda** Niveles I y II de meteorización del Complejo Cajamarca en el sector del Barrio La Esperanza. A la **derecha**, el nivel III de meteorización de las rocas metamórficas, meta-areniscas y meta-lodolitas en la salida hacia El Higuerón.

Los depósitos coluviales se observaron en los deslizamientos activos entre el centro del corregimiento y la salida a El Higuerón por el oriente, y en la parte alta de los Barrios La Esperanza y Las Camelias al noroccidente, son coluviones con bloques sub-angulares a angulares de tamaños métricos, ver Figura 1.13, originados por desprendimiento a partir de los diferentes niveles de meteorización del Complejo Cajamarca. La matriz es de tamaño arena gruesa hasta guijarrosa y con gran cantidad de fragmentos de suelo orgánico y de material de los depósitos piroclásticos suprayacentes.



Figura 1.13. Depósitos Coluviales en el sector oriental del corregimiento sobre el talud Norte de la carretera hacia El Higuerón, en ambas fotografías obsérvese el tamaño de los bloques y la masividad de los depósitos.

15.5.2.1. Amenaza por Remoción en Masa

El análisis de la Amenaza para el corregimiento de Bolivia se hizo con la misma metodología usada en las cabeceras municipales en este proyecto, se elaboraron los mapas para establecer la susceptibilidad por remoción en masa, y este mapa de susceptibilidad se sumó con el mapa de persistencia de los procesos erosivos y el mapa por incidencia de factor lluvia.

En el Anexo 1, Mapa 15.24 se muestra el uso y cobertura para el corregimiento de Bolivia obtenido a partir de la ortofoto con verificación de campo, la consolidación general del corregimiento se clasificó como urbano 3 y en todo el perímetro norte y oriental con uso agrícola principalmente de pastos y en menor proporción de bosques y de cultivos limpios y semi-limpios.

En el Anexo 1, Mapa 15.25 se muestra el mapa geológico del corregimiento, ver en 1.5.2, la descripción de las unidades geológicas. En el parteaguas que forma la topografía de la parte sur del corregimiento de Bolivia se localizan los depósitos de flujos piroclásticos sobre el basamento metamórfico (Qto/Pz). En el sector norte a partir de la plaza principal en dirección tanto hacia el oriente como hacia el noroccidente se localizan una serie de coluviones recientes que han borrado la cubierta piroclástico y los depósitos coluviales descansan directamente sobre el basamento metamórfico y se agruparon bajo la leyenda Qco/Pz.

En el Anexo 1, Mapa 15.26, se muestra el mapa de pendientes obtenido a partir del modelo digital de terreno generado a partir de la imagen LIDAR del

corregimiento, se reclasificaron las pendientes en los siguientes rangos: 0°-16°, 16°-28°, 28°-38°, 38°-49° y 49°-88°. El sector consolidado como urbano 3, que define el parteaguas central sur del corregimiento y los sectores orientales y noroccidentales tienen pendientes planas, y dentro del límite urbano en todos los alrededores de este parteaguas central sur y de los sectores orientales y noroccidentales se aumentan a pendientes altas a medias. Solo en la parte alta del sector noroccidental las zonas con valores de pendientes altas a medias se mezclan con pendientes planas relacionadas probablemente a remanentes de cuerpos de deslizamientos antiguos.

El mapa de curvatura se realizó con base en el modelo digital de elevación de terreno obtenido a partir de la imagen LIDAR, ver Anexo 1, Mapa 15.27. El mapa muestra en general valores de convexidad intermedios combinado con valores que indican áreas planas en el sector consolidado del corregimiento en el sur, oriente y noroccidente; en el límite del perímetro con el sector rural aparecen valores medios a altos de concavidad delineando los drenajes aledaños al corregimiento. En este mapa en toda la periferia del corregimiento se delimitan de manera muy precisa todos los eventos de deslizamiento que la están afectando, sobre todo en el oriente y en el noroccidente del corregimiento, esta visualización de los deslizamientos nos permitió mejorar el mapa de puntos críticos de una manera nunca antes alcanzada, por tener casi siempre las áreas cubiertas por vegetación, esta definición de las verdaderas áreas cubiertas por deslizamientos es uno de los logros de este proyecto con el procesamiento de las imágenes LIDAR tomadas, y este mapa está solamente basado en el procesamiento del modelo digital de terreno obtenido con estas imágenes.

El mapa de Aspecto, muestra la orientación de las pendientes en el corregimiento de Bolivia, ver Anexo 1, Mapa 15.28. El mapa muestra un parteaguas con dirección SW-NE donde en su parte sur se consolida el corregimiento y se muestra cómo los sectores orientales y noroccidentales del corregimiento se localizan a media ladera de este parteaguas. La parte sur de este parteaguas tiene direcciones de pendiente principalmente hacia el este, noreste, sur y suroeste. La parte norte de este parteaguas tiene direcciones de pendiente hacia el norte, noroeste, oeste y suroeste y solo algunas pendientes con dirección hacia el este.

El mapa de relieve interno, ver Anexo 1, Mapa 15.29, muestra valores bajos a medios en la parte semi-consolidada del corregimiento, urbano 3 en el mapa de uso y cobertura y en las vías que van hacia el oriente y el noroccidente. Estos valores de relieve interno bajos siempre están limitados en todas las direcciones de la periferia del corregimiento por valores intermedios a altos de relieve interno.

El mapa de índice de humedad, ver Anexo 1, Mapa 15.30, muestra que las zonas con saturación alta se localizan en el sector sur del parteaguas y en la media

ladera noroccidental y oriental donde se continúa el corregimiento, siguiendo las direcciones de las vías principales que salen de este corregimiento en estas direcciones. En la periferia de las zonas anteriores existe una homogeneidad de todo el mapa con zonas mezcladas con valores de saturación medias a bajas.

Los puntos críticos en la Figura 1.14 y Mapa 15.31 del Anexo 1 se delimitaron en campo y se mapearon en la ortofoto y se precisaron con el mapa de curvatura (ver Anexo 1, Mapa 15.27). Debido a la intervención del parteaguas en la parte sur del corregimiento y el desarrollo urbanístico caótico sobre los sectores noroccidental y oriental del corregimiento, se presentan sitios con criticidad alta por remoción en masa en estos sectores, puntos de criticidad media en el occidente en la ladera suroccidental y en la parte más occidental del corregimiento. El panorama por la cantidad de eventos en todos los sectores del corregimiento muestra la no viabilidad para el crecimiento del corregimiento porque no hay ninguna área de expansión y los eventos van a continua remontándose, sobretodo en la parte sur del parteaguas lo que es factible para que en algunos sitios se produzca una captura de drenaje que puede conducir no solo a problemas graves de estabilidad de las construcciones existentes actualmente en el corregimiento, sino que afectaría este corredor vial que comunica a Bolivia con los centros poblados del suroriente del municipio de Pensilvania.

Mapa de Susceptibilidad por Remoción en Masa

El mapa de susceptibilidad obtenido por la suma algebraica con los pesos definidos de los mapas de pendientes, usos y cobertura, curvatura, geología, índice de humedad y relieve interno, Para establecer la valoración de estos parámetros se usó una matriz AHP como se muestra en la Figura 1.15.

El Mapa de susceptibilidad por remoción en masa para el corregimiento de Bolivia se hizo directamente en el ArcGIS con los factores y la ponderación mostrada en cada clase mostrada en la tabla 1.6. El ranking de los factores fue tomado de los resultados de la matriz AHP de la Figura 1.16 y luego clasificados de 1 a 9 teniendo en cuenta los pesos obtenidos.

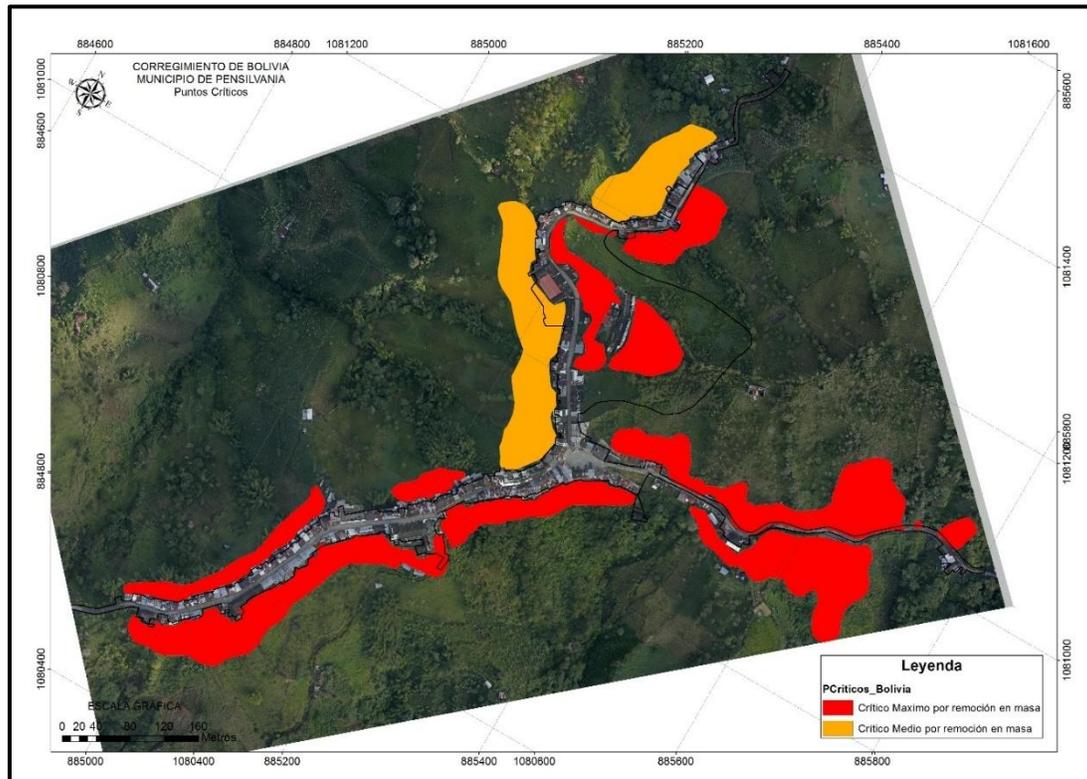


Figura 1.14. Mapa de Puntos críticos del Corregimiento de Bolivia.

Matriz	Factores						Vector Eigen Principal Normalizado	
	Uso y Cobertura	Geología	Pendiente	Curvatura	Relieve Interno	Índice de Humedad		
	1	2	3	4	5	6		
Uso y Cobertura	1	0	2/3	2/7	2 2/7	1 4/5	1 3/5	14,52%
Geología	2	1 4/9	0	1/3	3 5/9	2 5/8	1 4/5	20,04%
Pendiente	3	3 5/8	3 1/3	0	3 1/3	3 1/9	1 4/5	36,46%
Curvatura	4	3/7	2/7	1/3	0	2	1	9,54%
Relieve Interno	5	5/9	3/8	1/3	1/2	0	1 4/5	9,32%
Índice de Humedad	6	5/8	5/9	5/9	1	5/9	0	10,12%

Figura 1.15. Matriz AHP de pesos para los factores tenidos en cuenta para la evaluación de la susceptibilidad por remoción en masa.

El ranking de los factores lo determinó se determinó usando el macro de Excel para el cálculo de la proporción de consistencia (CR) definido por Goepel (2013), ver Figura 1.8.

Criterio	Comentario	Pesos	Rk
1	Uso y Cobertura	14,5%	3
2	Geología	20,0%	2
3	Pendiente	36,5%	1
4	Curvatura	9,5%	5
5	Relieve Interno	9,3%	6
6	Índice de Humedad	10,1%	4

Eigenvalue	lambda:	6,425
Proporción de Consistencia (CR)	0,37 GCI: 0,25	CR: 6,8%

Figura 1.16. Matriz AHP de pesos, rankings (Rk) y proporción de consistencia en el resumen de los factores tenidos en cuenta para la evaluación de la susceptibilidad por remoción en masa en el corregimiento de Bolivia.

En la Figura 1.17 y Mapa 15.32 del Anexo 1, se muestra la susceptibilidad media a alta por remoción en masa en la parte en la periferia del parteaguas en la parte sur y en los sectores noroccidentales y occidentales del corregimiento. La susceptibilidad baja solo se presenta en una banda estrecha a lo largo de las vías principales del corregimiento.

Tabla 1.6. Valoración de factores y clases para la elaboración del mapa de susceptibilidad, en color rojo el peso del mapa y en color negro el peso de cada clase.

Pendiente	9	Geología	7
0°-16°	1	Qto/Pz	5
16°-28°	3	Qco/Pz	8
28°-38°	5		
38°-49°	7		
49°-88°	9		
		Curvatura radianes/100 m	3
		Cóncavo Valores Máximos	3
Uso Cobertura	4	Cóncavo Valores Intermedios	3

Urbano 3	8	Plano	5
Vía Destapada	5	Convexo Valores Intermedios	7
Vía Pavimentada	3	Convexo Valores Máximos	9
Bosque	1		
Pastos	5	Relieve Interno (m/12,5 m ²)	3
Cultivo Limpio	1	Clase 1: 0- 1,96	3
Cultivo semi-limpio	1	Clase 2: 1,96- 3,40	3
Pantalla	1	Clase 3: 3,40 – 6,08	7
		Clase 4: 6,08 – 19,15	7
		Clase 5: 19,15 – 45,64	7
		Índice de Humedad	3
		Zona saturación muy baja	6
		Zona de saturación baja	4
		Zona de saturación intermedia	3
		Zona de saturación alta	2
		Zona de saturación muy alta	1

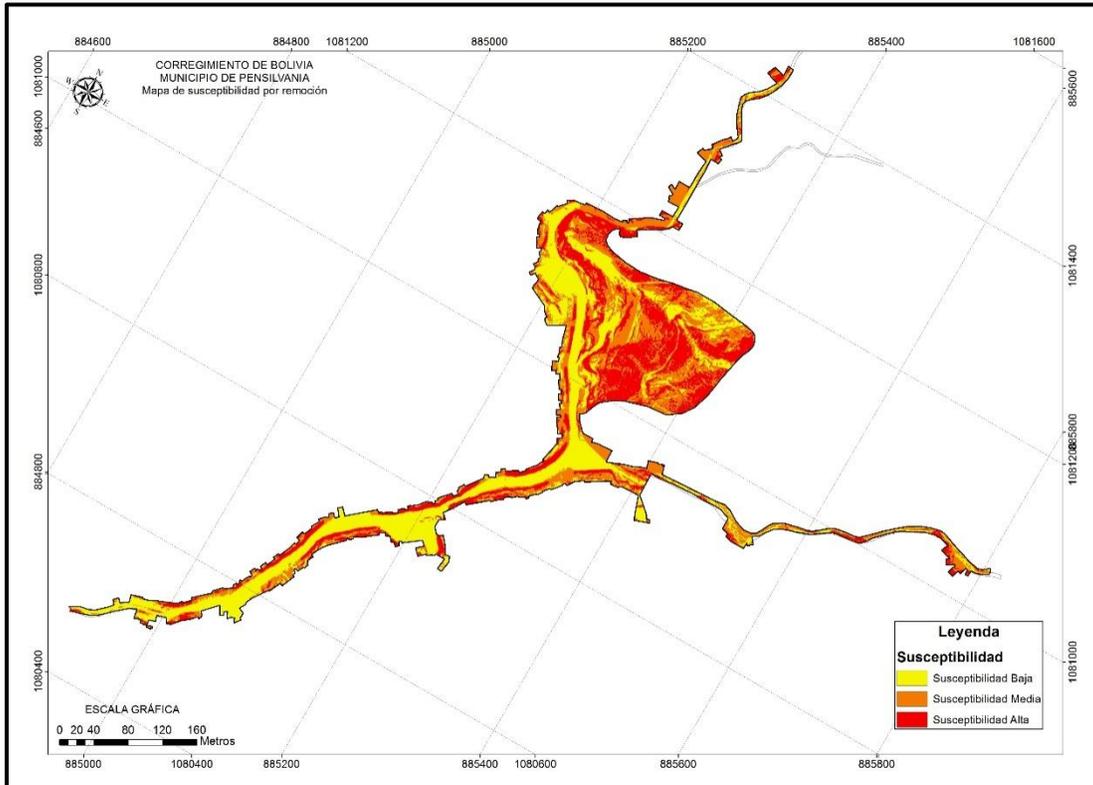


Figura 1.17. Mapa Resultante de susceptibilidad por remoción en masa para el Corregimiento de Bolivia.

Mapa de Persistencia de los Procesos erosivos

En el Anexo 1, Mapa 15.33 se muestra la localización de las principales áreas afectadas por procesos erosivos en el corregimiento de Bolivia. En el Mapa se muestran que los principales eventos de deslizamientos que aún son observables en las imágenes LiDAR y verificados en la etapa de campo y su extensión se extrapolaron del mapa de curvatura ver Anexo 1, Mapa 15.27. Los eventos activos con moderado avance, E4 se localizan en la parte noroccidental y nororiental del corregimiento y en ambas vertientes del parteaguas en el sector sur del corregimiento. En el sector oriental, el mega-evento E4 se está reactivado con una cárcava en el talud sur de la vía que conduce hacia El Higuerón, y corresponde a un evento E5, evento activo con fuerte avance. Y otro evento E5 se localiza en la parte central del corregimiento en la ladera oriental cerca al viaducto, que afectó cuatro viviendas que ya fueron evacuadas.

En el Anexo 1, Mapa 15.34 se muestra el mapa de factor detonante por umbral lluvia, el cual se construyó reclasificando los factores y asignándolos nuevos pesos de acuerdo con la susceptibilidad de cada factor con respecto a los

umbrales de lluvias, estos factores y pesos se muestran en la tabla 1.7. El mapa muestra mayor incidencia alta por el disparador de umbral de lluvias en el sector sur del parte aguas y en los sectores aledaños a las vías en el noroccidente y oriente del corregimiento. Incidencia baja y media por el factor lluvia en el sector nor-occidental en una zona con ningún tipo de construcción dedicado a actividades agrícolas, cultivos limpios principalmente.

Tabla 1.7. Pesos para los factores del mapa factor detonante por umbral de lluvias para el corregimiento de Bolivia.

		Peso		
	Uso Cobertura	5		
Impermeables	Urbano 3	1		Peso
	Deportivo		Pendientes en grados	5
	Escaleras		0 - 10	9
	Parque		10 - 25	4
	Institucional		> 25	1
			Geología	8
			Qto/Pz	3
			Qco/Pz	4
Permeables	Bosque	6		
	Pasto			
	Cultivo semi-limpio y limpio			
	Vía Destapada			
			LLUVIAS tr-15	6
			148 mm	7
	Suelo desnudo	8		

1.1.1. Mapa de Amenaza por remoción en masa

En el Anexo 1, Mapa 15.35 se muestra el mapa de amenaza por remoción en masa para el corregimiento de Bolivia y se obtuvo cruzando los mapas de susceptibilidad (Anexo 1, Mapa 15.32) y el mapa de persistencia de los procesos erosivos (Anexo 1, Mapa 15.33) y el mapa de factor detonante por umbral de lluvias (Anexo 1, Mapa 15.34), el cruce de mapas se hizo teniendo en cuenta la valoración de pesos propuesta en la Tabla 1.8. El mapa se suscribe al perímetro del corregimiento, y muestra en general una amenaza alta mezclada con pequeños sectores de amenaza media en todo el límite del perímetro urbano, estas zonas bordean la zona de amenaza baja que consiste en una banda estrecha en el parteaguas sur del corregimiento y en la vía del noroccidente por el sector de La Esperanza. En el sector oriental en la vía a El Higuerón, por lo estrecho del perímetro en el sector no se aprecia bien, pero la amenaza dominante es alta. En el extremo nororiental también se ve la mezcla de diferentes zonas de amenaza resaltando todo el corredor de amenaza sobre la parte alta del barrio Las Camelias.

Tabla 1.8. Pesos de los Mapas que definen el mapa de Amenazas por remoción en masa en el corregimiento de Bolivia.

Mapa	Peso
Persistencia	7
Susceptibilidad	4
Factor Lluvias	2

15.5.2.2. Vulnerabilidad

La Vulnerabilidad del corregimiento de Bolivia se expone en este proyecto de manera general para todo el área del corregimiento, ya que los datos del Sisben de febrero de 2013 están unidos en todo el corregimiento con un único barrio, ver Mapa 15.36 del Anexo 1, y se muestra, la vulnerabilidad en el Mapa 15.37 del Anexo 1, y en la Figura 1.18 donde representamos de manera gráfica para el corregimiento de Bolivia las diferentes clases de las variables socio-económicas y físicas extractadas de las encuestas del Sisben con sus respectivos porcentajes. Las viviendas son básicamente unifamiliares principalmente casas o apartamentos, la tenencia de las viviendas es muy variable dominando las casas propias pagadas y las que están en arriendo, las paredes de las viviendas son en su gran mayoría de tapia pisada o adobe, y los pisos son principalmente en baldosa, vinilo, tableta o ladrillo; las viviendas tienen entre 2 y 4 cuartos y en el

100% de las viviendas habitan entre 1 y 5 personas, el 65% de los habitantes cuenta con seguro social por ser empleado o beneficiario y/o pensionado, pero un 18% no tiene afiliación; el nivel educativo es principalmente primaria con un 48%, y 29% con educación secundaria. Los ingresos son bajos en general con un 91% dominando los menores a \$300.000.00, las edades varían pero predominan los grupos entre 6 y 18 años y entre 30 y 50 años. Cuenta el corregimiento con los servicios sociales básicos, centro de salud, centros educativos, Policía y Junta de Acción Comunal.

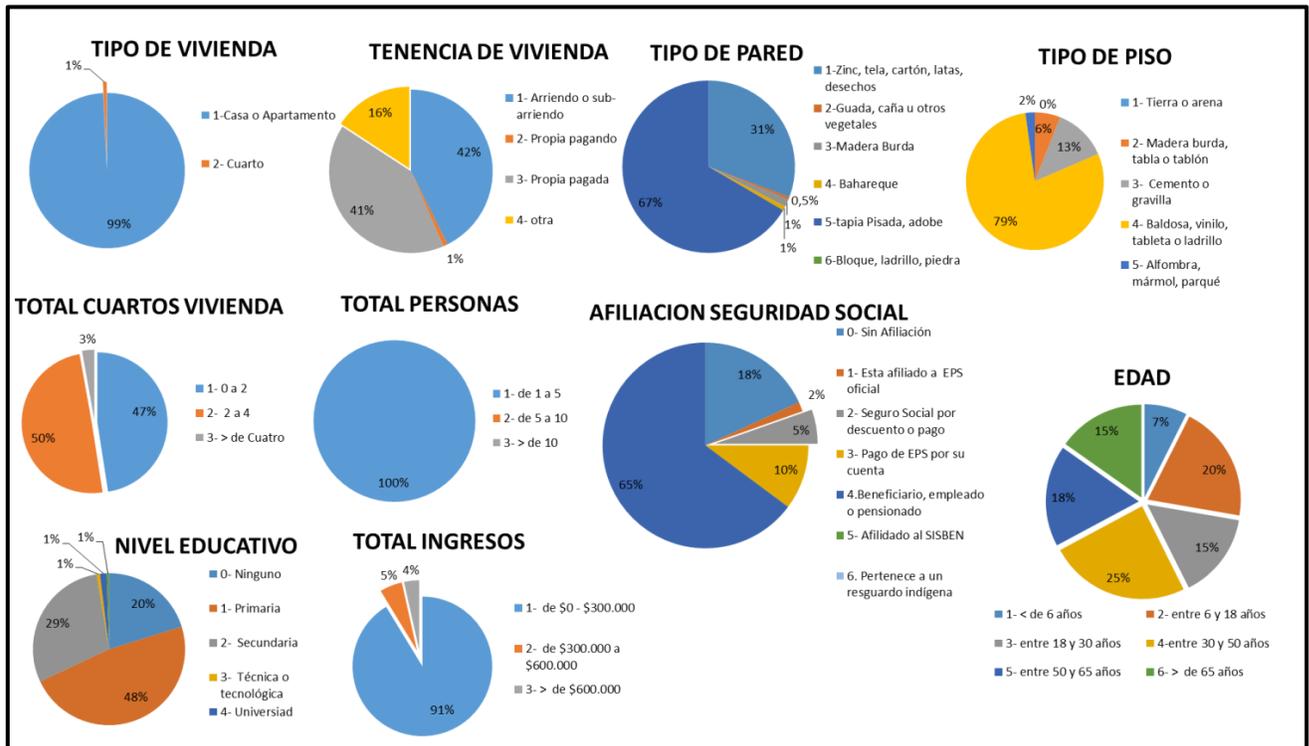


Figura 1.18. Porcentajes de clases de las variables socio-económicas y físicas del Corregimiento de Bolivia.

Sin embargo, con la idea de presentarla vulnerabilidad como en las cabeceras municipales, hicimos para el Corregimiento de Bolivia un mapa de vulnerabilidad evaluando los mismos factores que se tuvieron en cuenta en las cabeceras municipales, ver Tabla 1.9, el Mapa resultante de vulnerabilidad, ver Mapa 15.37 del Anexo 1 muestra vulnerabilidad alta para todos los sectores del perímetro urbano.

Tabla 1.9. Porcentaje promedio de los valores de los factores en las diferentes categorías de Vulnerabilidad en la cabecera municipal de Pensilvania

	Vulnerabilidad
Factores	Alta
SALUD	
Pagada	65
Subsidiada	17
Ninguna	18
INGRESOS	
< 1 SMLV	91
1 - 2 SMLV	4
> 2 SMLV	5
TENENCIA	
Arriendo	42
Propia	41
Otra	17
EDUCACIÓN	
Ninguna	20
Primaria	48
Secundaria	29
Superior	3
GRUPOS ETÁREOS	
Niños	7
Adultos	68
Mayores	15
DENS. POBLAC.	
Personas /m2	0,022
TIPOLOGÍA	
Mampostería	34
Bahareque	1
Mixto	65
ALTURAS	
VALOR en m	0-3 m

15.5.2.3. Riesgo

El mapa de riesgo por remoción en masa, ver Mapa 15.38 del Anexo 1, para el corregimiento se elaboró en ArcGIS con el cruce directo del mapa de amenazas por remoción en masa, Mapa 15.35 del Anexo 1 y el Mapa de Vulnerabilidad, ver Mapa 15.37 del Anexo 1. Las zonas de riesgo alto se localizan en la cuchilla principal orientada SW-NE en las vertientes noroeste y sureste, y en los ramales de los sectores nororientales y orientales del corregimiento agrupados en sectores por la localización de las viviendas. El riesgo muy alto se presenta en la parte central de la cuchilla de entrada al corregimiento cerca de la Iglesia, en un sector que ya fue desalojado, y en la vertiente oriental en la vía que conduce al Higuérón en los sectores donde se localizan las viviendas después de la salida del parque central por esta vía. Y en la parte norte, el riesgo alto se concentra en la parte más baja de esta vía después del antiguo matadero hasta donde se termina el perímetro urbano en esta zona.

La cuantificación de la exposición se hace mediante el conteo y medición de infraestructura afectada a partir de la ortofoto, ver Anexo 5_Bolivia, en riesgo alto alcanzan se ubican 120 viviendas y en riesgo muy alto, 46 viviendas.

La estabilidad de los taludes del sector oriental está completamente degradada y por lo tanto el riesgo muy alto en este sector es no mitigable y se debe planear la re-ubicación de las viviendas, ver Figura 1.19. En el sector nor-occidental en la zona desde el antiguo matadero hasta terminar el perímetro urbano también se presenta una zona de riesgo alto no mitigable. Ver Anexo 6_Bolivia. En la parte sur sobre el parteaguas las zonas de riesgo alto son zonas de riesgo mitigables mediante acciones que permiten que no se desestabilicen aún más los taludes noroccidental y suroriental de la cuchilla a la entrada occidental del corregimiento, pero el problema es la no cultura de manejo de aguas lluvia, los descoles del alcantarillado y el uso del suelo en los límites de la periferia urbana sobre todo con cultivos limpios.

Igualmente se deben adelantar acciones estructurales que mejoran las condiciones de su habitantes como la educación y la seguridad social, ya que mejorando este aspecto junto con las otras condiciones sociales y económicas precarias mostradas en la Figura 1.18, ver: tenencia de vivienda, tipo de paredes, hacinamiento e ingresos, la percepción del riesgo aumentaría en la población, y por lo tanto la resiliencia para eventos de remoción en masa.

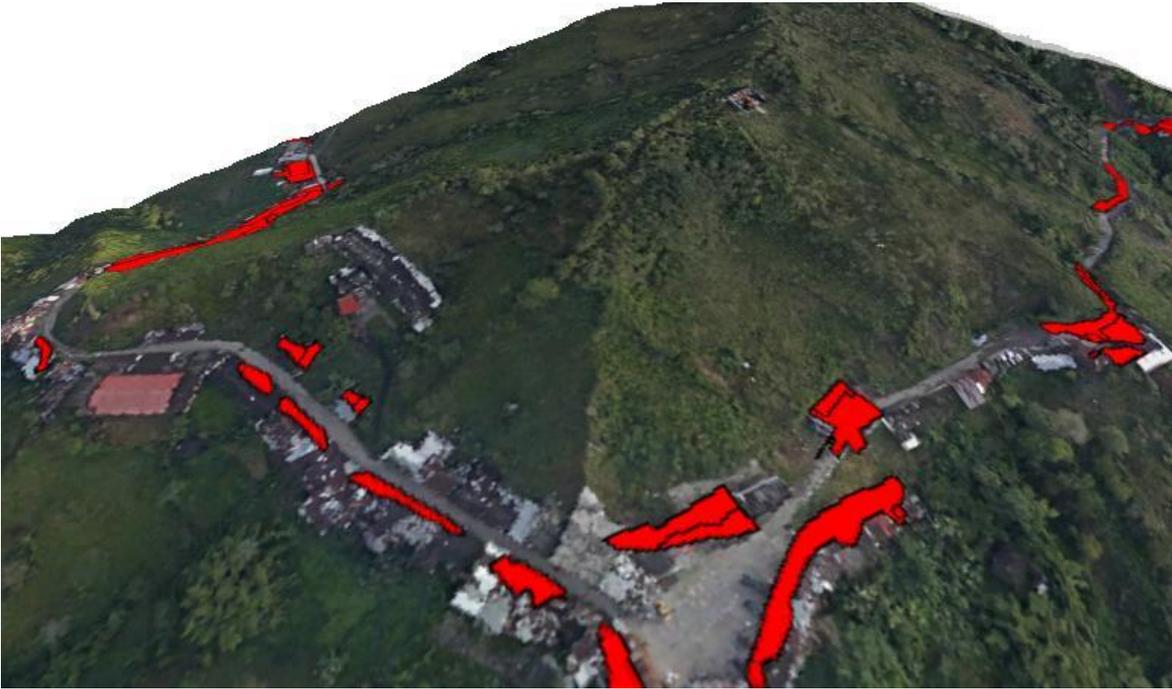


Figura 1.19. Zonas de riesgo alto no mitigable por remoción en masa en el sector Noroccidental (a la izquierda del diagrama 3D) y oriental (A la derecha del diagrama 3D) del corregimiento de Bolivia. Ver Mapa de Curvatura para delimitación más precisa en este sector de los eventos de remoción en masa en el Anexo 1, Mapa 15. 27.

15.5.3. Corregimiento de Pueblo Nuevo

El corregimiento de Pueblo Nuevo se localiza en el sector más septentrional del municipio de Pensilvania sobre la llanura aluvial de la margen derecha del Río Samaná, se localiza a 49 km de la cabecera municipal de Pensilvania por una vía en pésimo estado. En la Figura 1.20, la ortofoto del corregimiento muestra el relieve plano del perímetro y ligeramente ondulado en su parte norte, solo hacia la parte oriental por fuera del perímetro se localiza un área montañosa con pendientes moderadas a altas, el límite occidental del corregimiento es muy variable por la divagación del río Samaná en su muy amplia llanura aluvial debido a la sobrecarga a la que está siendo sometida el cauce del río en este sector.

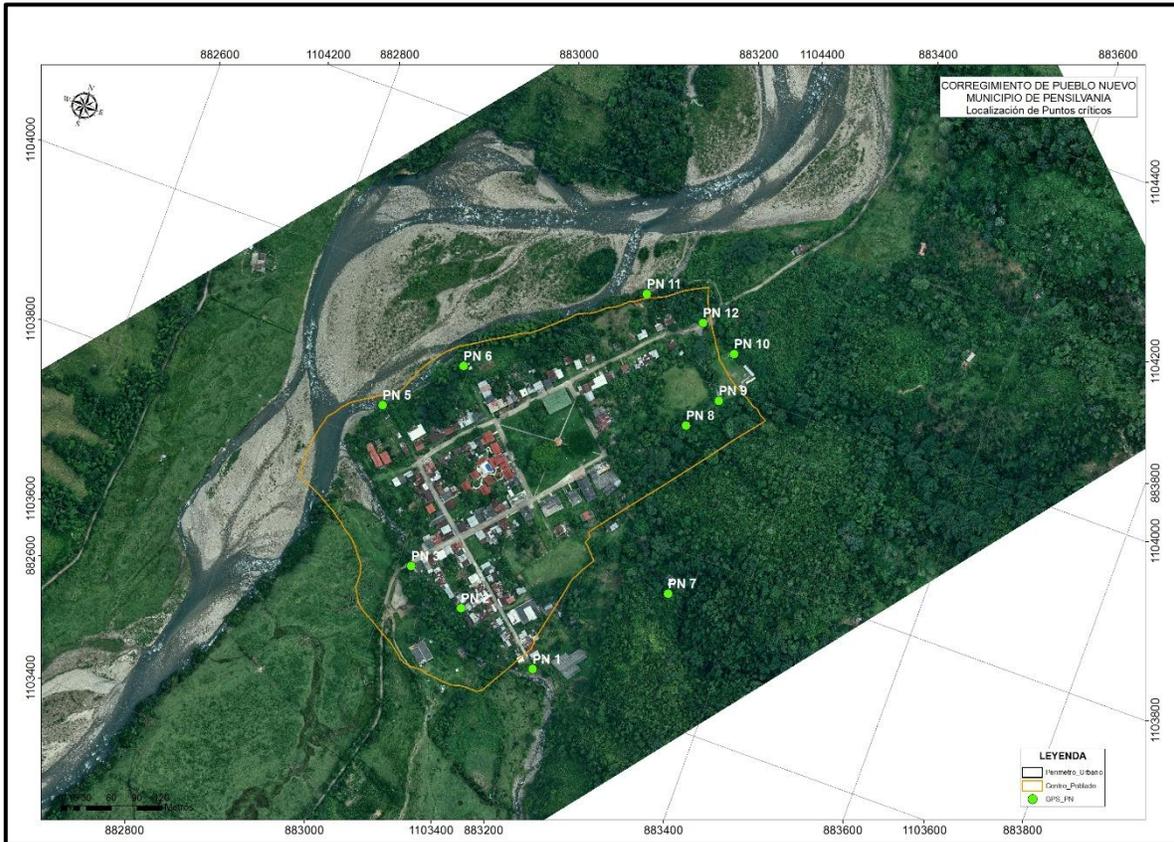


Figura 1.20. Corregimiento de Pueblo Nuevo, Ortofoto tomada en septiembre de 2013, se muestra el perímetro del centro poblado y las estaciones de campo localizadas con GPS.

El basamento aflorante en este sector de la Cordillera Central son las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, con los niveles II y III de meteorización, se observaron estos niveles en la quebrada El Acueducto, por fuera del perímetro, estación PN-7 en la Figura 1.20, y aflora también en una colina en la parte Norte de corregimiento, ver Figura 1.21 mapa geológico y, Mapa 15.39 del Anexo 1, donde se observa que el corregimiento se ubica directamente sobre la secuencia los depósitos de flujos de escombros que han rellanado la cubeta de la llanura aluvial antigua del Río Samaná (Qflea) y está rodeado en las parte occidental y sur por los depósitos aluviales (Qal) del Río Samaná y la quebrada La Rica, y en el extremo norte se localizan una serie de flujos de escombros recientes (Qfer) relacionados a avenidas torrenciales de las quebradas El Acueducto y El Cementerio.

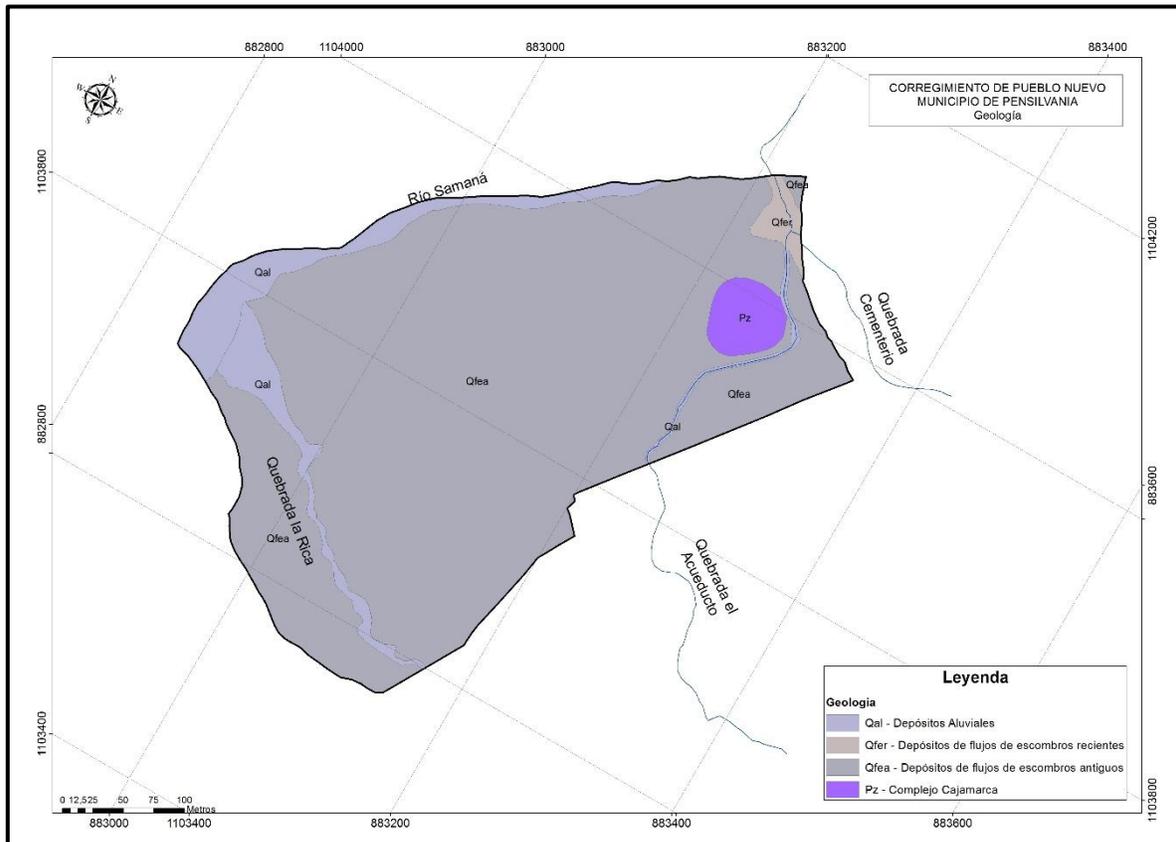


Figura 1.21. Mapa Geológico del Corregimiento de Pueblo Nuevo

En el área del corregimiento, el Complejo Cajamarca está formado por esquistos cuarzo-micáceos grafitosos con venas de cuarzo lechoso paralelas a la foliación, ver Figura 1.22. En el Nivel II muestra la textura original y en este sector se presenta bastante oxidado. En la parte norte del poblado hay una colina que forma un remante del basamento rodeado por los depósitos de flujos de escombros, ver Figura 1.21.

Los depósitos de flujos de escombros antiguos (Qflea) que cubren casi toda la extensión del corregimiento, ver Figura 1.23, son capas lenticulares con espesores métricos de depósitos de flujos de escombros intercaladas con capas gruesas a muy gruesas y lenticulares de depósitos hiperconcentrados, que rellenaron la cubeta de depósito por la actividad del Río Samaná, en la Figura 1.23 se muestra el tamaño métrico de los bloques sub-angulares derivados del basamento ígneo-metamórfico donde fueron arrastrados.



Figura 1.22. Perfil Geológico del basamento metamórfico observado en el Corregimiento de Pueblo Nuevo en la quebrada El Acueducto, estación PN-7 en la Figura 1.18, se observan remanentes de avenidas torrenciales que afectan al drenaje



Figura 1.23. **Izquierda:** Tres pulsos de depósitos de flujos de escombros antiguos (Qflea) sobre la margen derecha del Río Samaná, escala: cerca de alambre a una altura de 1,25 m. **Derecha:** Mega-bloques del nivel superior del flujo de escombros en el centro de Pueblo Nuevo (estación PN-6 en Figura 1.20), estos bloques son frecuentes sobresaliendo en las vías o debajo de las construcciones del corregimiento.

Los depósitos aluviales corresponden a las barras del sistema trenzado actual del Río Samaná, ver Figura 1.24, izquierda, y los depósitos de avenidas recientes localizados en el lecho de la quebrada La Rica, ver Figura 1.24 derecha. En estos depósitos dominan los bloques sub-redondeados a sub-angulares con tamaños con diámetros de hasta 2 m, la diferencia con los depósitos de flujos de escombros antiguos, es que los depósitos aluviales prácticamente no tienen matriz.



Figura 1.24. Izquierda: Barras conglomeráticas del sistema trenzado actual del Río Samaná, estación PN-6, fotografía desde la margen derecha. **Derecha:** Remanentes de depósitos de flujos de escombros relacionados a avenidas torrenciales que forman los depósitos aluviales de la quebrada La Rica, Estación PN-1, fotografía hacia aguas abajo.

Los depósitos de flujos de escombros recientes se localizan en el extremo norte del corregimiento y están relacionados con las avenidas torrenciales de las quebradas El Acueducto y El Cementerio, ver Figura 1.21. En los últimos doce años ha habido tres eventos que afectaron las viviendas del sector, de las cuales cuatro fueron reubicadas, pero una está siendo rehabilitada, ver Figura 1.25, derecha, y se localiza en la unión de las dos quebradas, en el sitio más vulnerable.



Figura 1.25. Depósitos de Flujos de escombros recientes (Qfer). **Izquierda:** lengua deflujo de escombros no canalizado sobre la parte nor-occidental del Cementerio, estación PN-10, escala: cerca de alambre a una altura de 1,05 m. **Derecha:** Vivienda afectada por varios eventos de flujos de escombros que bajaron por la quebrada El Cementerio, estación PN-12. Localización de estaciones en la Figura 1.20.

Amenazas

En el corregimiento de Pueblo Nuevo solo disponemos de la ortofoto tomada para este proyecto, por lo tanto las amenazas son indicativas basadas en la experticia de los geólogos para evidenciar los puntos amenazados en el área de trabajo.

Remoción en Masa

Las amenazas por remoción en masa clasificadas como amenaza media, solo se presentan en el extremo sur-oriental donde se localizó un evento de remoción activo con moderado avance, ver Figura 1.26 y Mapa 15.40 del Anexo 1, donde se muestran los puntos críticos, y el Mapa 15.41 del Anexo 1 donde se muestran los procesos erosivos y la socavación de la parte alta de la quebrada La Rica donde se construyó un muro de contención en concreto armado.

Inundaciones

Las amenazas por inundaciones están relacionadas por la actividad fluvial del Río Samaná y la quebrada La Rica, ver Figura 1.26, y Mapa 15.42 del Anexo 1 donde se muestran las amenazas indicativas para este corregimiento, aunque la amenaza por inundación se considera alta para un período de retorno de 15 años, las viviendas y las personas del corregimiento están localizadas por fuera de esta zona de amenaza alta.

Avenidas Torrenciales

Las avenidas torrenciales se presentan en el extremo norte del corregimiento, y la amenaza es alta para este sector por la alta recurrencia de eventos de este tipo, ver Figura 1.26, sin embargo aunque en los eventos anteriores, las viviendas fueron re-ubicadas, existe una en re-construcción por la baja percepción del riesgo por parte de algunos habitantes del corregimiento, ver Figura 1.25, derecha.

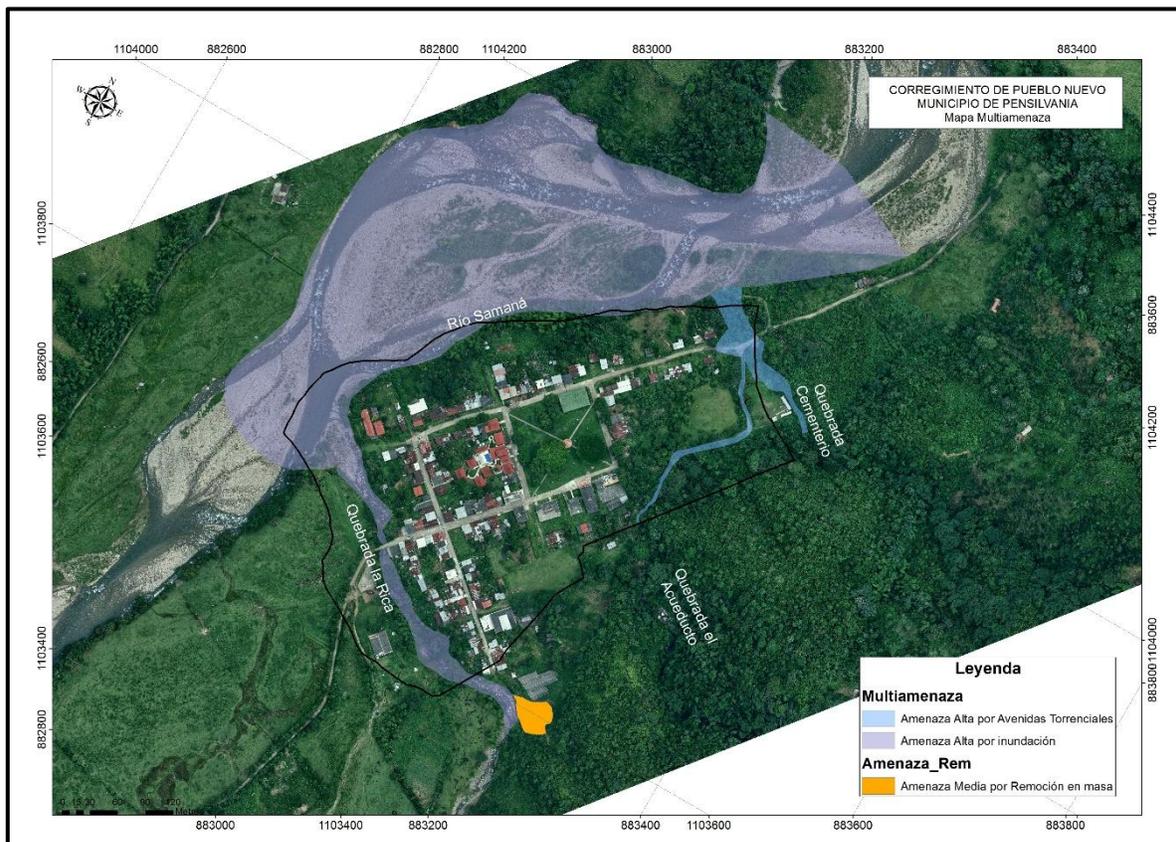


Figura 1.26. Mapa Multi-Amenazas para el Corregimiento de Pueblo Nuevo

Según datos del Sisben febrero de 2013, en la Figura 1.27 para el corregimiento de Pueblo Nuevo se muestran los porcentajes de las diferentes clases de las variables socio-económicas y físicas extractadas de las encuestas del Sisben en 120 viviendas. Las viviendas son básicamente unifamiliares principalmente casas o apartamentos, la tenencia de las viviendas es muy variable dominando las casas propias pagadas y en menor proporción otras tenencias y en arriendo, las paredes de las viviendas son en su gran mayoría, 91%, de tapia pisada o adobe, y los pisos son principalmente en cemento o gravilla; las viviendas tienen entre 2 y 4 cuartos

y en el 100% de las viviendas habitan entre 1 y 5 personas, el 65% de los habitantes cuenta con seguro social por ser empleado o beneficiario o pensionado, pero un 21% no tiene afiliación; el nivel educativo es principalmente primaria, pero un 21% no tiene educación. Los ingresos son bajos en general con un 91% con menos de \$300.000.00, las edades varían pero predominan los grupos entre 6 y 18 años y entre 30 y 50 años. Cuenta el corregimiento con los servicios sociales básicos, centro de salud, centros educativos y Junta de Acción Comunal.

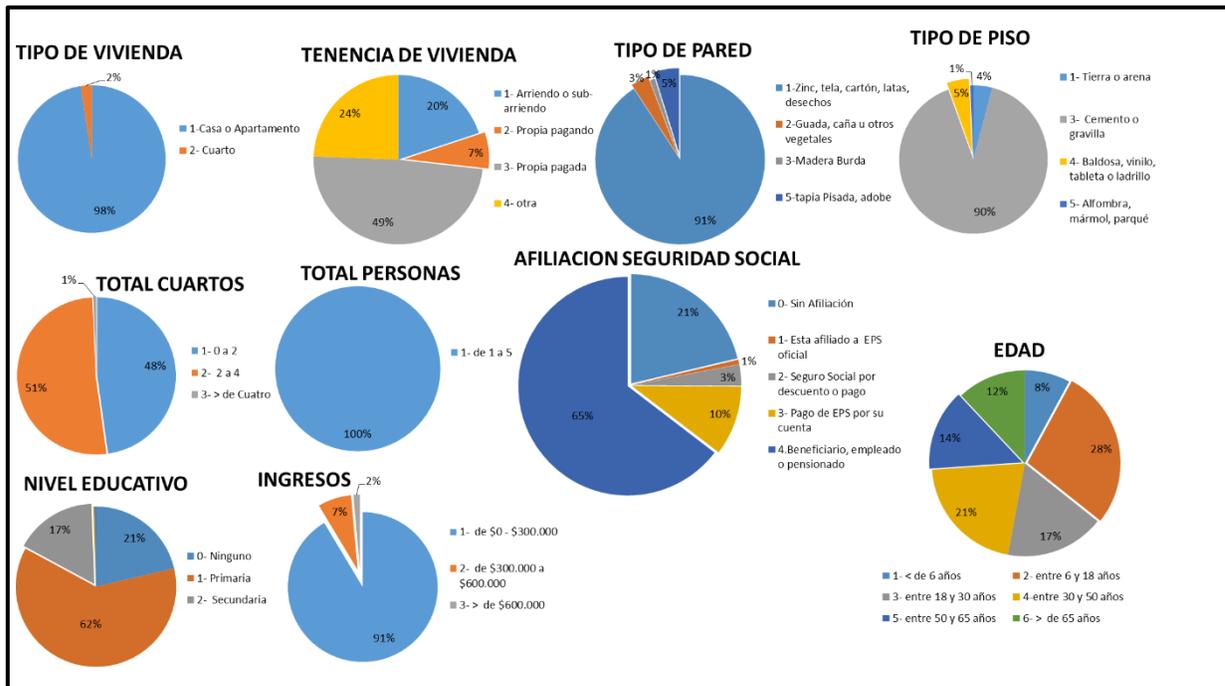


Figura 1.27. Porcentajes de clases de las variables socio-económicas y físicas del Corregimiento de Pueblo Nuevo.

Observaciones

Un problema adicional es la carretera de acceso a Pueblo Nuevo, que presenta deslizamientos de gran tamaño aledaños a las carreteras, algunos están interviniendo drenajes, ver Figura 1.28, izquierda. Y también se presenta socavación de la margen derecha del Río Samaná en sitios muy cercanos a la carretera de acceso sur al corregimiento, ver Figura 1.28 derecha.



Figura 1.28. Izquierda. Deslizamiento activo sobre drenaje que atraviesa la carretera 5 km antes del corregimiento de Pueblo Nuevo, que genera con frecuencia eventos gigantes de flujos de escombros, orientación de la fotografía N80°. **Derecha:** Socavación de la margen derecha del Río Samaná, que afecta la carreteras 3 km antes de Pueblo Nuevo.

Si se presentaran en un futuro varios eventos de flujos de escombros como los de la Figura 1.28, izquierda, podría existir la probabilidad que se represará el Río Samaná teniendo consecuencias sobre las viviendas y construcciones del corregimiento, pero para establecer las dimensiones de los eventos es necesario modelar la cuenca del río Samaná al menos en la parte del departamento de Caldas.

La evaluación de campo permitió determinar que la combinación de amenaza alta por inundación aunque con exposición y vulnerabilidad baja de sus habitantes hace de este corregimiento un sitio de riesgo bajo por inundaciones, pero es necesario investigar cómo se producen las avenidas en la parte alta de las cuencas de las quebradas El Cementerio y El Acueducto, y sobre todo establecer la distancia de las zonas fuentes de estas avalanchas para así poder plantear la posibilidad de mitigación de esta amenaza alta por este tipo de eventos y evitar la re-construcción de las viviendas que fueron afectadas por anteriores eventos.

También se debe estudiar el sitio con amenaza media por remoción en masa localizado cerca de la esquina suroriental del perímetro del corregimiento, para tomar medidas que mitiguen el riesgo para que no se conviertan en nuevos sitios de amenaza alta por este tipo de eventos. Pero lo ideal sería estudiar las amenazas en la cuenca del Río Samaná en su sector del departamento de Caldas para ver la factibilidad de mejoramiento de la vía actual que conduce a este corregimiento desde Pensilvania y prever los posibles volúmenes de las

avalanchas en el cauce principal que podrían afectar en un futuro el emplazamiento mismo de todo el corregimiento.

Igualmente se deben adelantar acciones estructurales que mejoran las condiciones de su habitantes como la educación y la seguridad social, ya que mejorando estos aspectos junto con las otras condiciones sociales y económicas precarias mostradas en la Figura 1.11, ver: tenencia de vivienda, tipo de paredes, hacinamiento e ingresos, la percepción del riesgo aumentaría en la población, y por lo tanto la resiliencia para eventos de inundación y de avenidas torrenciales.

15.5.4. Corregimiento de San Daniel

El corregimiento de San Daniel se localiza en el sector suroriental del municipio de Pensilvania sobre una cuchilla que sirve de parteaguas a drenajes de tercer orden en este sector de la Cordillera Central, en la Figura 1.29 se muestra la disposición general del corregimiento sobre una delgada cuchilla con pendientes fuertes tanto al sur como al norte de la misma.



Figura 1.29. Corregimiento de San Daniel, dirección de la fotografía N80° Fecha de la fotografía: noviembre 2 de 2013.

En cuanto a geología, el basamento aflorante son las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, principalmente con los niveles II y III de meteorización,

como se observa en la Figura 1.30. El basamento es suprayacido por una cobertera piroclástica, que corresponde a depósitos de flujos piroclásticos de color amarillo hacia la base y café oscuro al techo, similares a los descritos en los corregimientos de los municipios de Samaná y Marquetalia.



Figura 1.30. Perfil Geológico del corregimiento San Daniel, **Izquierda** Nivel III de meteorización del Complejo Cajamarca suprayacido por una cobertera de depósitos piroclásticos (fotografía en el lavadero de carros a la entrada del corregimiento). **Derecha**, el nivel II de meteorización de las rocas metamórficas suprayacidas por una delgada cobertera de depósitos piroclásticos (fotografía a la salida del corregimiento al oriente del Alto de La Cruz).

La amenaza por remoción en masa es alta en sectores centrales de las vertientes norte y suroccidentales donde se localiza el corregimiento de San Daniel. En la Figura 1.31 se observa un proceso activo en la parte central del corregimiento muy cerca de la Escuela Policarpa Salavarrieta, a pesar de la pantalla construida por en el año 2011, la continuidad del proceso se debe al mal manejo de las aguas y la disposición de basuras y escombros en este sector del corregimiento, aunado a la fuerte pendiente de esta vertiente Norte del corregimiento. Y otro factor que influirá en la aparición de un nuevo proceso erosivo en el límite occidental de la pantalla construida es la desprotección de la antigua corona del deslizamiento.



Figura 1.31. **Izquierda** Proceso de remoción en masa en la parte central del corregimiento de San Daniel en la vertiente Norte. Dirección de la fotografía N100°. **Derecha:** Fotografía detalle de la corona del deslizamiento activo a la izquierda de la pantalla y notándose la afectación sobre las viviendas de este sector. Fecha: Abril 28 de 2013.

En la vertiente sur hay varios procesos que han sido intervenidos mediante la construcción de pantallas dentro del perímetro del corregimiento, sin embargo, en la Figura 1.32, se muestra un proceso activo hacia el suroccidente del corregimiento que está remontando hacia el perímetro del mismo, por lo cual también se propone este sector suroccidental como de alta susceptibilidad a procesos de remoción en masa. El resto de la vertiente sur hacia el oriente, la susceptibilidad es baja a pesar de las fuertes pendientes de esta vertiente sur.



Figura 1.32. Proceso de remoción en masa al sureste sobre la vertiente sur de la cuchilla donde se ubica el corregimiento de San Daniel. Dirección de la fotografía N285°.

Según datos del Sisben febrero de 2013, en la Figura 1.33 para el corregimiento de San Daniel se muestran los porcentajes de las diferentes clases de las variables socio-económicas y físicas extractadas de las encuestas del Sisben. Las viviendas son básicamente unifamiliares principalmente casas o apartamentos, la tenencia de las viviendas es muy variable dominando las casas propias pagadas, 45% y en menor proporción viviendas en arriendo, 33%, las paredes de las viviendas son en su gran mayoría, 63,7%, de tapia pisada o adobe, y los pisos son principalmente en tableta, ladrillo, baldosa o vinilo; las viviendas tienen entre 2 y 4 cuartos y en el 100% de las viviendas habitan entre 1 y 5 personas, el 73% de los habitantes cuenta con seguro social por ser empleado o beneficiario y/o pensionado, pero un 17% no tiene afiliación; el nivel educativo es principalmente primaria, pero un 20% no tiene educación. Los ingresos son bajos en general con un 96% con menos de \$300.000.00, las edades varían pero predominan los grupos entre 6 y 18 años y entre 30 y 50 años y un 21% entre 50 y 65 años. Cuenta el corregimiento con los servicios sociales básicos, centro de salud, centros educativos, Policía y Junta de Acción Comunal.

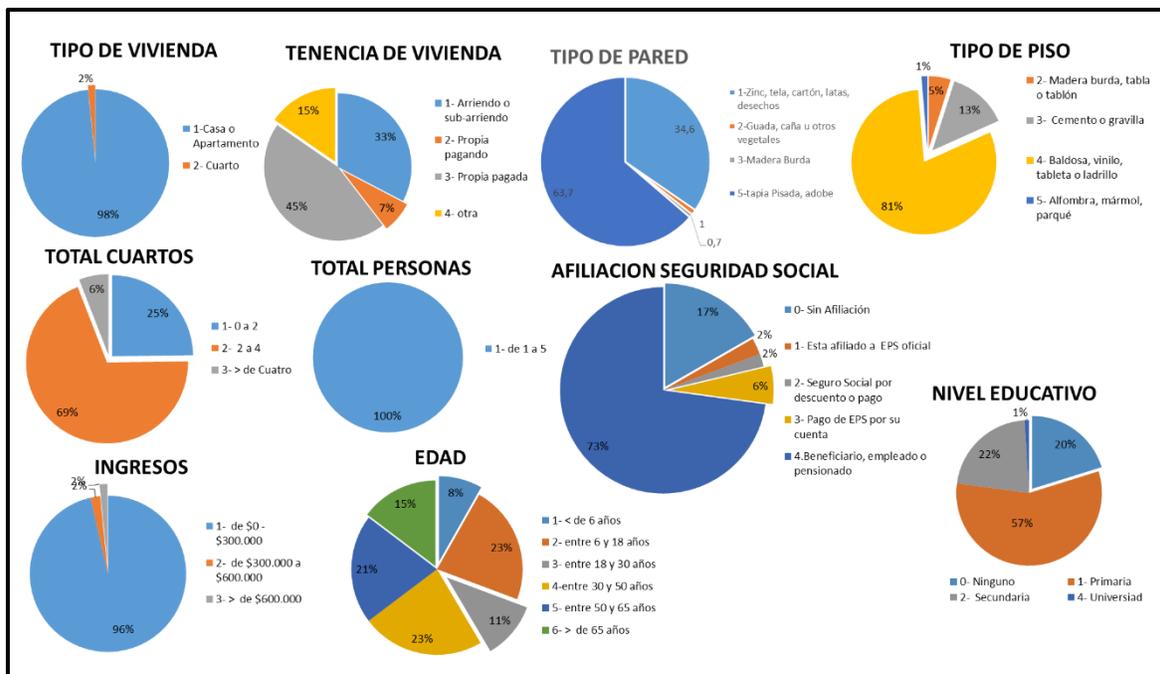


Figura 1.33. Porcentajes de clases de las variables socio-económicas y físicas del Corregimiento de Pueblo Nuevo.

OBSERVACIONES

Las amenazas por inundación, aunque indicativamente bajas en las salidas del corregimiento de San Daniel, son debidas a las condiciones de manejo de aguas

superficiales y de drenaje urbano en su parte central y occidental difieren mucho de la parte oriental, como se observa en la Figura 1.34.

También existe una queja generalizada de la población de las pésimas condiciones del alcantarillado, lo cual puede ser un factor contribuyente para acelerar procesos de remoción en masa en este corregimiento.



Figura 1.34. **Arriba:** Sector central del corregimiento con manejo adecuado de las aguas de escorrentía con sumideros. **Abajo:** sector oriental en la salida hacia Samaná, varían drásticamente las condiciones de manejo de aguas en los accesos a las viviendas y en las viviendas mismas.

Para estabilizar el deslizamiento actual en la vertiente norte, ver Anexo 6_San Daniel, es necesario desalojar las casas cuyas coordenadas se enlistan en la Tabla 1.10, para adelantar una serie de obras para evitar que la corona del deslizamiento siga remontando ya que muy cerca se localiza la Escuela Policarpa Salavarrieta, ver en la Figura 1.35 la ubicación de las casas a desalojar en frente de la escuela.

La zona de Riesgo alto mitigable en el talud norte cerca a la Escuela Policarpa Salavarrieta debe ser rápidamente controlado con las obras que se exponen en el Anexo 6_Pensilvania_Arboleda, pero también se deben adelantar acciones estructurales que mejoren las condiciones de su habitantes como la educación, ya que mejorando este aspecto junto con las otras condiciones sociales y económicas precarias mostradas en la Figura 1.33, como el tipo de paredes, hacinamiento e ingresos, la percepción del riesgo aumentaría en la población, y por lo tanto la resiliencia para eventos de remoción en masa.

Tabla 1.10. Casas a desalojar en la corona del deslizamiento de la vertiente norte (ver Figura 1.29)

CASA	COORDENAS WGS84
SD3	N5 22.685 W75 05.115
SD4	N5 22.715 W75 05.111
SD5	N5 22.695 W75 05.094
SD6	N5 22.701 W75 05.100
SD7	N5 22.688 W75 05.095
SD8	N5 22.688 W75 05.095



Figura 1.35. Casas a desalojar en la corona del deslizamiento de la vertiente norte del corregimiento San Daniel. La Escuela Policarpa Salavarrieta se localiza a en la parte izquierda de la fotografía.

15.5.5. Caserío La Linda

El caserío La Linda se localiza en el centro oriente del municipio de Pensilvania por la vía que conduce desde el casco urbano del municipio hacia el corregimiento de San Daniel. El caserío se localiza en un sector de media ladera de alta pendiente, ver Figura 1.36, y la mayoría de las viviendas se localizan en los sectores aledaños sur y norte (siendo este último la parte más alta de la ladera).



Figura 1.36. Caserío La Linda del municipio de Pensilvania, fotografía tomada desde el sitio donde se localiza la antena de comunicaciones en la parte superior de la vía que conduce hacia San Daniel (parte más izquierda) **Arriba:** Panorama en dirección N120° y **Abajo:** Panorama en dirección N250°.

Las unidades geológicas aflorantes en este caserío corresponden a rocas del basamento constituidas por esquistos cuarzo-micáceos del Complejo Cajamarca, los cuales siempre se muestran sanos (Figura 1.37), suprayacidos por espesos coluviones, que se observan tanto en los taludes de la parte alta como en la ladera sur de la vía que cruza el caserío. Estos coluviones recientes, ya que no tienen depósitos piroclásticos suprayacientes, y están constituidos por bloques y megabloques sub-redondeados a angulares de fragmentos de rocas metamórficas en una matriz de guijos y guijarros metamórficos donde también se distinguen fragmentos de los depósitos piroclásticos muy abundantes en la zona, se

estableció un espesor hasta de 6 m para estos coluviones, siguiendo la dirección de la ladera donde se localiza el caserío.



Figura 1.37. Unidades geológicas aflorantes en el caserío La Linda, en la **fotografía superior** coluviones reciente sobre la parte alta de la vía, en la **fotografía inferior**, esquistos cuarzo-micáceos (N-S/80°W-90°) del Complejo Cajamarca (nivel III de meteorización) aflorantes sobre la vía de acceso al caserío en dirección de Pensilvania.

Con base en los datos del Sisben a febrero de 2013 para el caserío La Linda, se elaboraron gráficos, ver Figura 1.38, donde se muestran los porcentajes de las diferentes clases de las variables socio-económicas y físicas extractadas de las encuestas del Sisben. Las viviendas son básicamente unifamiliares principalmente casas, la tenencia de las viviendas es muy variable dominando las casas propias

pagadas en un 87%, las paredes de las viviendas son en su gran mayoría con un 62%, de tapia pisada o adobe, y los pisos son principalmente en cemento o gravilla, el número de cuartos es principalmente entre 2 y 4, en las viviendas habitan entre 1 y 5 personas en un 100%, el 100% de los habitantes cuenta con seguro social por ser empleado, beneficiario o pensionado; el nivel educativo es primaria en un 100%. Los ingresos son bajos con un 100% con menos de \$300.000.00, las edades varían pero predominan los grupos entre 6 y 18 años y entre 30 y 50 años y un 25% de la población es mayor de 65 años. Cuenta el corregimiento con los servicios sociales básicos, centro de salud y Junta de Acción Comunal.

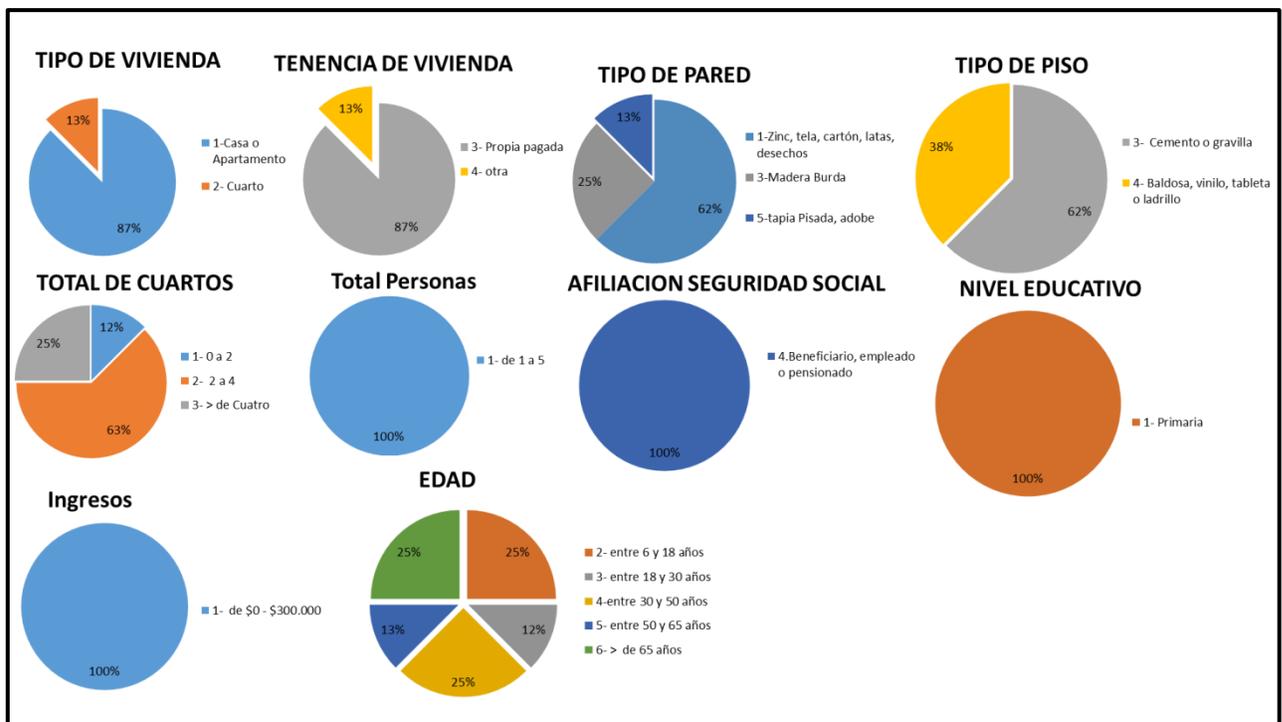


Figura 1.38. Porcentajes de clases de las variables socio-económicas y físicas del caserío La Linda.

Observaciones

La amenaza por remoción en masa en este caserío aunque se pronostica como baja, se presenta en los puntos de entrada y salida del caserío relacionada a la fuerte pendiente donde se localiza y al uso del suelo en ganadería que produce sobrepastoreo, que se observó en el talud norte de la vía desde la primera hasta la última casa del caserío, y a la erosión laminar intensiva provocada por el mal estado de la vía que cruza el caserío de occidente a oriente.

También en la parte inferior de la vía aunque las pendientes no son tan fuertes y están protegidas las laderas por vegetación, la instalación de establos debajo de las viviendas, ver Figura 1.39, puede ser un nuevo factor contributivo para generar fenómenos de remoción en masa, por la disposición de aguas residuales, basuras y escombros.

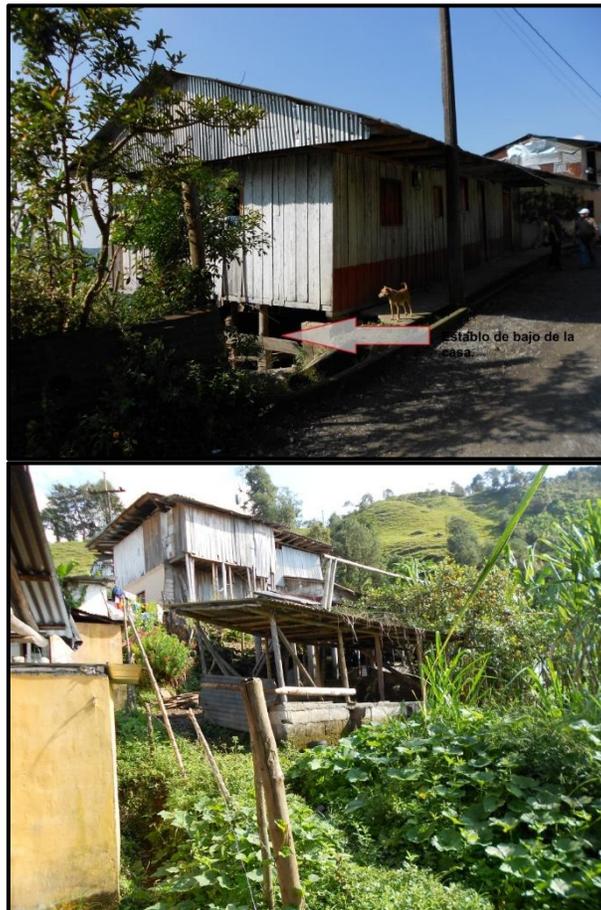


Figura 1.39.Arriba: Establos en las partes bajas de las viviendas, sin ningún manejo de aguas servidas del caserío. Abajo: Fotografía en la parte central del caserío de La Linda mostrando viviendas en la parte inferior de la vía, dirección de la fotografía N45°.

La evaluación de campo permitió determinar que la combinación de amenaza baja con alta exposición y vulnerabilidad de sus habitantes hace de este corregimiento un sitio de bajo riesgo por remoción en masa, pero se deben adelantar acciones estructurales que mejoran las condiciones de su habitantes como la educación, ya que mejorando este aspecto junto con las otras condiciones sociales y económicas precarias mostradas en la Figura 1.38, como el tipo de paredes y techos, hacinamiento e ingresos, la percepción del riesgo aumentaría en la población, y por lo tanto la resiliencia para eventos de remoción en masa.

15.5.6. Caserío El Higuerón

El Caserío El Higuerón se localiza al Oriente del municipio de Pensilvania en la vía que comunica el corregimiento de Bolivia con el municipio de Samaná y está al Sur del Corregimiento de San Daniel, se localiza a media ladera en un corte de la cuchilla, como se observa en la parte media superior de la Figura 1.40.

El basamento aflorante en esta zona donde se localiza el caserío son las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, principalmente con los niveles I y II de meteorización que infrayace la cobertera piroclástica compuesta por depósitos de flujos piroclásticos con capas de diferentes colores: café y crema al techo y amarillo hacia la base, hacia el techo el depósito de flujo piroclástico de color café es suprayacido por un horizonte húmico muy desarrollado, como se observa en la Figura 1.41, depósitos similares a los descritos en otros centros poblados del municipio de Pensilvania. El espesor de los depósitos flujos piroclásticos puede alcanzar hasta 8 m. en el perímetro del caserío.



Figura 1.40. Caserío El Higuero, la foto **superior** corresponde a una vista general tomada desde el corregimiento de San Daniel, dirección de la fotografía N180°. En la parte **inferior** panorámica del caserío en una dirección: N65° Fecha de la fotografía: abril 28 de 2013. Se observa su localización a media ladera, pero la mayor cantidad de viviendas se localizan en una zona plana con baja pendiente.

La amenaza alta por remoción en masa en el perímetro del caserío solo se ubica en el sector noroccidental del caserío en la ladera norte de la escuela (ver Figura 1.40 para localización, ver pantalla en el sitio en la Figura 1.42), donde ocurrió un deslizamiento en el año 2010 debido a la alta pendiente pero la obra no se terminó y faltan algunas obras complementarios, también el sobrepastoreo y las lluvias intensas de la época invernal pueden reactivar eventos antiguos en esta zona.

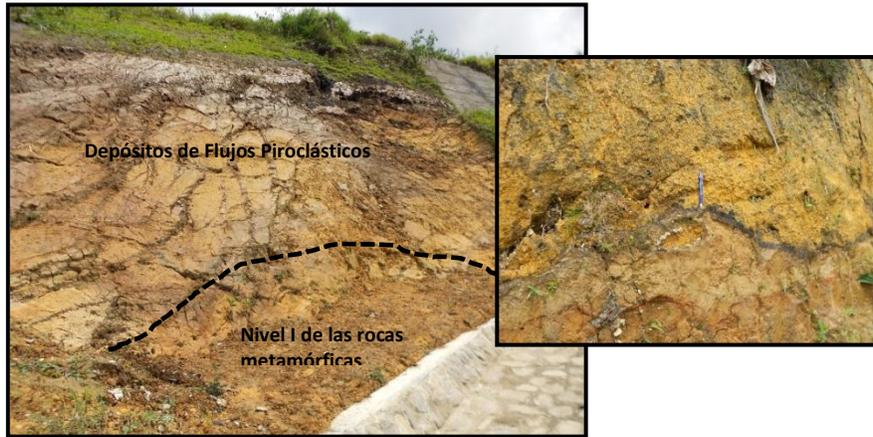


Figura 1.41. Perfil Geológico del caserío El Higuero, se observa hacia la base el Nivel I de meteorización del Complejo Cajamarca suprayacido por una cobertera de depósitos piroclásticos, en la fotografía de la derecha se muestra un detalle del depósito de flujo piroclástico de color amarillo, Dirección de la fotografía N110°.



Figura 1.42. Pantalla de protección en construcción (abandonada sin acabar según información de la población) del talud norte por un proceso de remoción en masa relacionado con el invierno de 2010 en la parte norte del caserío El Higuero. Dirección de la fotografía N345°. Para su ubicación ver Figura 1.40. En la parte superior derecha de la fotografía se observa un nuevo proceso de remoción que afecta al talud de la escuela.

En la parte media norte del caserío, la amenaza por remoción en masa es baja, ya que no se observaron deslizamientos activos aunque por limitar con la zona rural

también existe sobrepastoreo. La parte sur del caserío, contra la ladera sembrada de café como se observa en la Figura 1.40, no se refirió ningún evento de remoción en masa, debido al cuidado por el cultivo del café y a las pendientes más bajas.

Los datos de las diferentes clases de las variables socio-económicas y físicas extractadas de las encuestas del Sisben a febrero de 2013 del caserío El Higuierón, fueron graficadas, ver Figura 1.43 y se muestran los porcentajes de cada una de ellas. Las viviendas son básicamente unifamiliares principalmente casas, la tenencia de las viviendas es dominada por las casas propias pagadas en un 72%, las paredes de las viviendas son en 100%, en adobe o tapia pisada, y los pisos son en baldosa, vinilo, tableta o ladrillo, el número de cuartos es 100% con más de 4 cuartos, el 61% de los habitantes cuenta con seguro social por ser empleado, beneficiario o pensionado pero el 28% no tiene afiliación; el nivel educativo es primaria en un 39% y un 33% sin educación. Los ingresos son bajos con un 100% con menos de \$300.000.00, las edades varían pero predominan los grupos entre 6 y 18 años y entre 18y 30 años, y un 25% entre 50 y 65 años. Cuenta el corregimiento con los servicios sociales básicos, centro de salud y Junta de Acción Comunal.

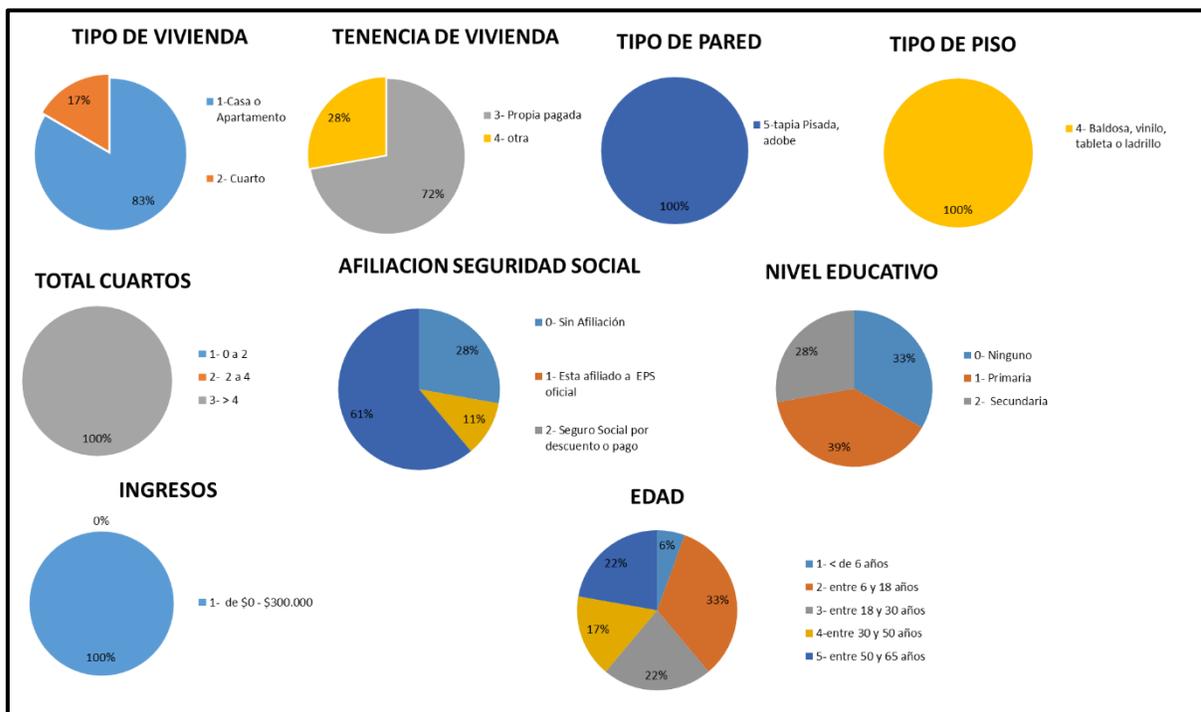


Figura 1.43. Porcentajes de clases de las variables socio-económicas y físicas del caserío El Higuierón.

OBSERVACIONES

La evaluación de campo permitió determinar que la combinación de amenaza baja con alta exposición y vulnerabilidad de sus habitantes hace de este corregimiento un sitio de bajo riesgo mitigable por remoción en masa para casi todo el caserío, con excepción del sector de la escuela, ver Figura 1.42, donde se deben terminar las obras complementarias de la pantalla no terminada en este sector, y adecuar el talud de la escuela en prevención de nuevos eventos erosivos. Por ser plana el área donde se asienta la mayor parte de las viviendas del caserío, no se evidencian amenazas por inundaciones, ya que una pendiente suave hacia el oriente permite el desagüe natural de las aguas de escorrentía durante eventos de lluvia intensa.

Pero, es necesario adelantar acciones estructurales que mejoran las condiciones de su habitantes como la educación, ya que mejorando este aspecto junto con las otras condiciones sociales y económicas precarias mostradas en la Figura 1.43, como el tipo de paredes, hacinamiento e ingresos, la percepción del riesgo aumentaría en la población, y por lo tanto la resiliencia para eventos de remoción en masa. Todos los problemas relacionados a eventos de remoción en masa en estos centros poblados también conllevan problemas de comunicación en todo el suroriente del municipio de Pensilvania, ya que los centros poblados se localizan directamente sobre la vía principal de comunicación de este sector.

15.5.7. Caserío Soledad Alta

El Caserío Soledad Alta se localiza al Oriente del municipio de Pensilvania en la vía que comunica el corregimiento de Bolivia con el caserío El Higuero, está situado a media ladera, como se observa en la Figura 1.44.



Figura 1.44. Caserío Soledad Alta, dirección de las fotografías N200°. Fecha de la fotografía: abril 28 de 2013. En la parte más norte, ángulo inferior derecho de la fotografía se observa las obras de explanación en una zona afectada por un deslizamiento. Desde el sitio donde se tomó la fotografía se localiza una pequeña iglesia y dos viviendas sobre la parte plana de esta cuchilla.

El basamento aflorante en este sector son las rocas metamórficas del Complejo Cajamarca, principalmente con los niveles I y II de meteorización que infrayace la cobertera piroclástica compuesta por depósitos de flujos piroclásticos de colores crema y gris con tamaño de grano ceniza fina a media, y un flujo de color amarillo hacia al techo, como se observa en la Figura 1.45, similares a los depósitos descritos en los corregimientos de los municipios de Samaná y Marquetalia. El espesor de los depósitos de flujos piroclásticos puede alcanzar hasta 10 m. en el perímetro del caserío.

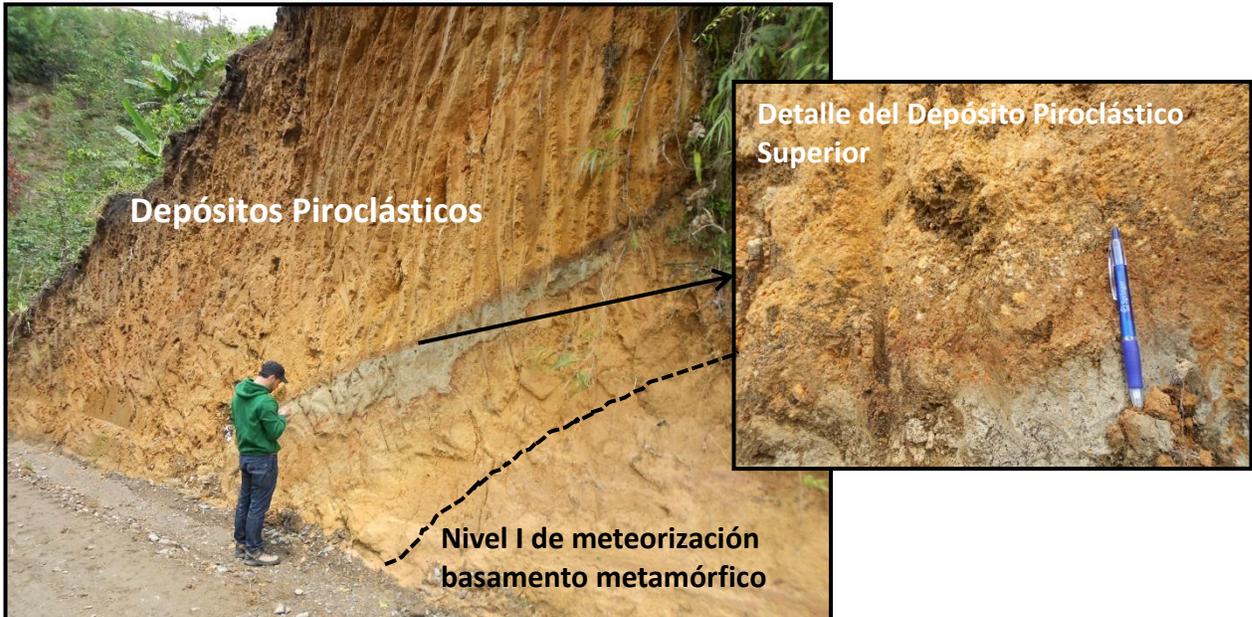


Figura 1.45. Perfil Geológico del caserío Soledad Alta, se observa hacia la base el Nivel I de meteorización del Complejo Cajamarca suprayacido por una cobertera de depósitos piroclásticos. Dirección de la fotografía N205°. Obsérvese la inclinación de los depósitos hacia el Oriente. En la fotografía de la derecha se muestra un detalle del depósito de flujo piroclástico de color amarillo con fragmentos de pómez tamaño lapilli.

Existen dos sectores afectados por deslizamientos, el principal está en la zona del norte del caserío y que en la actualidad está en tratamiento, como se observa en la Figura 1.46, para la localización ver Figura 1.47. Y en la parte media sur del caserío se observó otro deslizamiento por el corte muy empinado de un talud, aunque se presenta activo, no hay afectaciones ya que no se localizan viviendas en las inmediaciones, por su tamaño reducido tampoco alcanza a afectar la vía que cruza al caserío, ver Figura 1.47.



Figura 1.46. Proceso de perfilado de la zona de afectación por un proceso de remoción en masa en la parte norte del caserío Soledad Alta. Dirección de las fotografías N180°.



Figura 1.47. Localización de los sectores afectados por deslizamientos en el caserío Soledad Alta.

Los datos del Sisben febrero de 2013 para el caserío Soledad Alta solo mostraban tres datos de personas en la encuesta del Sisben, entonces no se hicieron los gráficos de las variables socio-económicas y físicas por no tener datos suficientes.

OBSERVACIONES

La evaluación de campo permitió determinar que la combinación de amenaza alta por remoción en masa con alta exposición y vulnerabilidad de sus habitantes hace de este caserío un sitio de riesgo Alto mitigable, como lo muestran las obras que se adelantan en la parte baja del caserío para mitigar el riesgo de un deslizamiento que afecta este sector. Por ser plana el área donde se asienta la mayor parte de las viviendas, no se evidencian amenazas por inundaciones, sin embargo la erosión laminar sobre la vida puede ser importante cuando ocurran lluvias intensas.

Aunque no se tiene datos de Sisben para este caserío, de acuerdo con lo observado durante el trabajo de campo es necesario adelantar acciones estructurales que mejoran las condiciones de su habitantes como la educación, ya que mejorando este aspecto junto con las otras condiciones sociales y económicas precarias observadas, la percepción del riesgo aumentaría en la población, y por lo tanto la resiliencia para eventos de remoción en masa.