

ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ, DEPARTAMENTO DE SANTANDER

ANEXO XI CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL

ELABORADO POR:



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

GEOMÁTICA

Gestión y optimización de sistemas

PRESENTADO A:



Municipio de Vélez

AGOSTO DE 2015

BUCARAMANGA

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO:**No. 9677-04-1127-2013**

OBJETO: Aunar esfuerzos administrativos, financieros y técnicos para contratar y desarrollar el estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Municipio de Vélez, Departamento de Santander

INFORME: Anexo XI - Caracterización de la infraestructura vial

ELABORADO POR: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



Grupo de investigación:

GEOMÁTICA, Gestión y optimización de sistemas



Coordinación técnica Hebenly Celis Leguízamo
Ingeniera Civil
Especialista en Asfaltos y Pavimentos
Magíster en ingeniería Civil

Wilfredo Del Toro Rodríguez
Ingeniero Civil
Magíster en ingeniería Civil-Área Geotecnia
Especialista en preservación de recursos hídricos y de suelos

Director general Hernán Porras Díaz
Ingeniero Civil
Magíster en Informática
Magíster en Gestión Tecnológica
Doctor Ingeniero en Telecomunicaciones

Bucaramanga, Agosto de 2015

Equipo técnico

Darío Villamizar Torres
Ingeniero Forestal
Magíster en Geografía física
Especialista políticas ambientales en la conducción de proyectos

German Alfonso Reyes Mendoza
Geólogo
Especialista en Riesgos Geológicos y Prevención de Desastres
Especialista en Derecho Ambiental
Magíster en Geología
Estudiante de Doctorado

Gustavo Chio Cho
Ingeniero Civil
Especialista en Docencia Universitaria
Doctor en Ingeniería de caminos, Canales y puertos

Wilfredo Del Toro Rodríguez
Ingeniero Civil
Magíster en ingeniería Civil-Área Geotecnia
Especialista en preservación de recursos hídricos y de suelos

Luis Eduardo Moreno Torres
Ingeniero civil
Especialista en Ingeniería Ambiental
Especialista en Alta Gerencia
Especialista en Docencia Universitaria

Héctor Torres Ortiz
Ingeniero civil
Estudiante de Maestría en Geotecnia

Silvia Ruggeri
Bióloga
Especialista en Monitoreo Biológico

Equipo de apoyo técnico

Johanna Lucia Pimiento Ardila
Ingeniera civil

Andrea Marcela Vera Guarín
Ingeniera civil

Yuseth Sebastián Gómez Neira
Ingeniero civil

Andrés Julián Ulloa Moreno
Ingeniero civil

John Jairo Báez Lizarazo
Ingeniero civil

Sandy Jair Yanes Sánchez
Ingeniero Civil
Especialista en Sistemas de información Geográfica

Jesús Orlando Escalante Torrado
Ingeniero civil
Estudiante de Maestría En Ingeniería Civil

Dewin Aguilera Lizarazo
Geólogo
Estudiante de Maestría en Geotecnia

Duván Yahir Sanabria Echeverry
MSc. Ing. Sistemas e Informática

Elver Omar Gallo Lancheros
MSc. Ing. Sistemas e Informática

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. OBJETIVOS Y ALCANCE	9
2.1. OBJETIVOS	9
2.1. ALCANCE	9
3. CARACTERIZACIÓN DE LA RED VIAL	10
3.1. Red vial urbana	10
3.1.1. Vía Nacional	14
3.1.2. Vía Departamental.....	15
3.1.3. Vías Locales principales	18
3.1.4. Vías Locales	19
3.2. Red vial del centro poblado de Alto Jordán.....	21
4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA RED VIAL	25
4.1. Metodología.....	25
4.1.1. Vulnerabilidad.....	25
4.1.2. Intensidad de deslizamiento	26
4.1.3. Fragilidad de los elementos expuestos	26
4.1.4. Clasificación de la vulnerabilidad	26
4.1. Resultados	27
4.1.1. Casco Urbano de Vélez.....	27
4.1.2. centro poblado Alto Jordán.....	31
5. RECOMENDACIONES DE MANEJO PARA LA RED VIAL.....	33
5.1. Red vial del casco urbano de Vélez.....	33
5.2. Red vial del centro poblado de Alto Jordán.....	34
6. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Red vial urbana existente.....	12
Figura 2.	Caracterización de la malla vial urbana por tipología.....	13
Figura 3.	Vista de la vía Nacional, acceso desde Barbosa.....	14
Figura 4.	Ausencia de bermas y cunetas en la vía Nacional, acceso desde Barbosa.....	14
Figura 5.	Andenes y cunetas de la vía Nacional, dentro del casco urbano.....	15
Figura 6.	Estructuras hidráulicas en la vía Nacional, salida del casco urbano hacia Landázuri.....	15
Figura 7.	Vista de tramos en pavimento rígido de la vía Departamental.....	16
Figura 8.	Vista de tramos en pavimento flexible de la vía Departamental (parte 1). ...	16
Figura 9.	Vista de tramos en pavimento flexible de la vía Departamental (parte 2). ...	17
Figura 10.	Vista del estado de deterioro de la Carrera 3, vía Departamental.....	17
Figura 11.	Vista de tramo en adoquín de roca de la vía Departamental.....	18
Figura 12.	Vista de tramos en pavimento rígido de la carrera 3, vía local principal.....	18
Figura 13.	Vista de tramos en pavimento flexible de la carrera 3, vía local principal. ...	19
Figura 14.	Vista de la calle 9, vía Local Principal.....	19
Figura 15.	Vía local en pavimento rígido.....	20
Figura 16.	Vía Local en pavimento flexible.....	20
Figura 17.	Vía Local en pavimento de adoquín en roca.....	21
Figura 18.	Vista de la vía Nacional tras ser reparada a comienzos del 2014.....	21
Figura 19.	Red vial existente en Alto Jordán.....	23
Figura 20.	Red vial existente en Alto Jordán por tipología.....	24
Figura 21.	Vulnerabilidad en función de la intensidad de deslizamiento y la fragilidad de la vía.....	25
Figura 22.	Vulnerabilidad de la red vial urbana.....	28
Figura 23.	Caso crítico: Vulnerabilidad vial alta en la salida a las veredas El Amarillo y Tubavita.....	30
Figura 24.	Vulnerabilidad de la red vial de Alto jordán.....	32
Figura 25.	Detalle de las obras propuestas en la vía nacional.....	34
Figura 26.	Esquema del Proyecto 3 del Subprograma de Mitigación de la Amenaza en donde se contempla el mejoramiento de la red vial local. Subproyecto 1. ...	35
Figura 27.	Esquema del Proyecto 3 del Subprograma de Mitigación de la Amenaza. Subproyecto 2.....	36



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de la red vial del casco urbano de Vélez por importancia. 10

Tabla 2. Distribución de la red vial del casco urbano de Vélez por tipo de pavimento. . 11

Tabla 3. Distribución de la red vial del centro poblado Alto Jordán. 22

Tabla 4. Intensidad de deformación 26

Tabla 5. Rangos de vulnerabilidad para la estimación del nivel de daño..... 27

Tabla 6. Niveles de daño en la malla vial urbana según su importancia..... 29

Tabla 7. Niveles de daño en la malla vial urbana según el tipo de pavimento. 29

Tabla 8. Niveles de daño en la malla vial urbana según su importancia..... 31



1. INTRODUCCIÓN

La Universidad Industrial de Santander (UIS), en calidad de entidad ejecutora del Convenio Interadministrativo No. 9677-04-1127-2013, cuyo objeto es “Aunar esfuerzos administrativos, financieros y técnicos para contratar y desarrollar el ESTUDIO DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ, DEPARTAMENTO DE SANTANDER”, presenta a consideración del Municipio de Vélez, el Departamento de Santander y la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, los resultados correspondientes a la caracterización y evaluación de la vulnerabilidad de la infraestructura vial del municipio de Vélez.

El presente documento se compone de una breve descripción de las características de la malla vial del casco urbano de Vélez y del centro poblado Alto Jordán, incluyendo los tipos de pavimento vehicular, la categorización y el estado actual de las vías además de algunas observaciones en relación a las zonas peatonales y las estructuras hidráulicas existentes.

Con base en esta caracterización, se realiza la evaluación de la vulnerabilidad de la malla vial urbana mediante métodos cuantitativos y se dan algunas recomendaciones elaboradas en base a los resultados obtenidos.



2. OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1. OBJETIVOS

El presente estudio tiene como objetivo analizar el estado de vulnerabilidad de la malla vial del Municipio de Vélez, mediante la caracterización de la condición actual de los elementos que la componen.

2.1. ALCANCE

En este documento se analiza la vulnerabilidad cuantitativa de la malla vial desde el aspecto de transitabilidad tomando como base la metodología adoptada por el Sistema Geológico Colombiano (SGS, 2015) para el análisis de vulnerabilidad de vías terrestres, la cual permite identificar los tramos más vulnerables de la red mediante la aplicación de un método cuantitativo.

Además, se presenta una caracterización cualitativa mediante datos estadísticos generales, con el fin de identificar las debilidades de la red vial y formular recomendaciones técnicas que le permitan al municipio solucionar dichas flaquezas.

3. CARACTERIZACIÓN DE LA RED VIAL

Con el fin de obtener una caracterización de la red vial incluida en el territorio del municipio de Vélez, se realizó un análisis de la infraestructura existente a nivel del casco urbano de Vélez y del centro poblado de Alto Jordán, clasificándola según su orden jerárquico y tipología.

Este análisis constituyó el insumo principal para la evaluación de vulnerabilidad de infraestructura vial existente frente a la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa.

3.1. RED VIAL URBANA

El casco urbano de Vélez se localiza en una montañosa caracterizada por escalones y cuestas que condicionan la pendiente longitudinal de las vías y determinan la presencia de calles con altas pendientes y carreras con marcadas curvas verticales, así como vías periféricas generalmente angostas.

De los 25.04 km de malla vial urbana, el 10.76% son de orden nacional, el 8.43% departamental, 6.88% son vías locales principales y el 73.93% son vías locales (ver tabla 1 y figura 1).

Tabla 1. Distribución de la red vial del casco urbano de Vélez por importancia.

RED VIAL	LONGITUD [Km]	LONGITUD [%]
NACIONAL	2.69	10.76
DEPARTAMENTAL	2.11	8.43
LOCAL PRINCIPAL	1.72	6.88
LOCAL	18.51	73.93
TOTAL	25.04	100

Fuente: Equipo Técnico – UIS.

En relación al tipo de pavimento, de los 25.04 km de vías urbanas, el 42.30% están construidas en pavimento rígido, 23.94% en pavimento flexible, sólo el 5.14% en adoquín o roca y un 28.62% corresponde a vías destapadas (ver tabla 2 y figura 2).

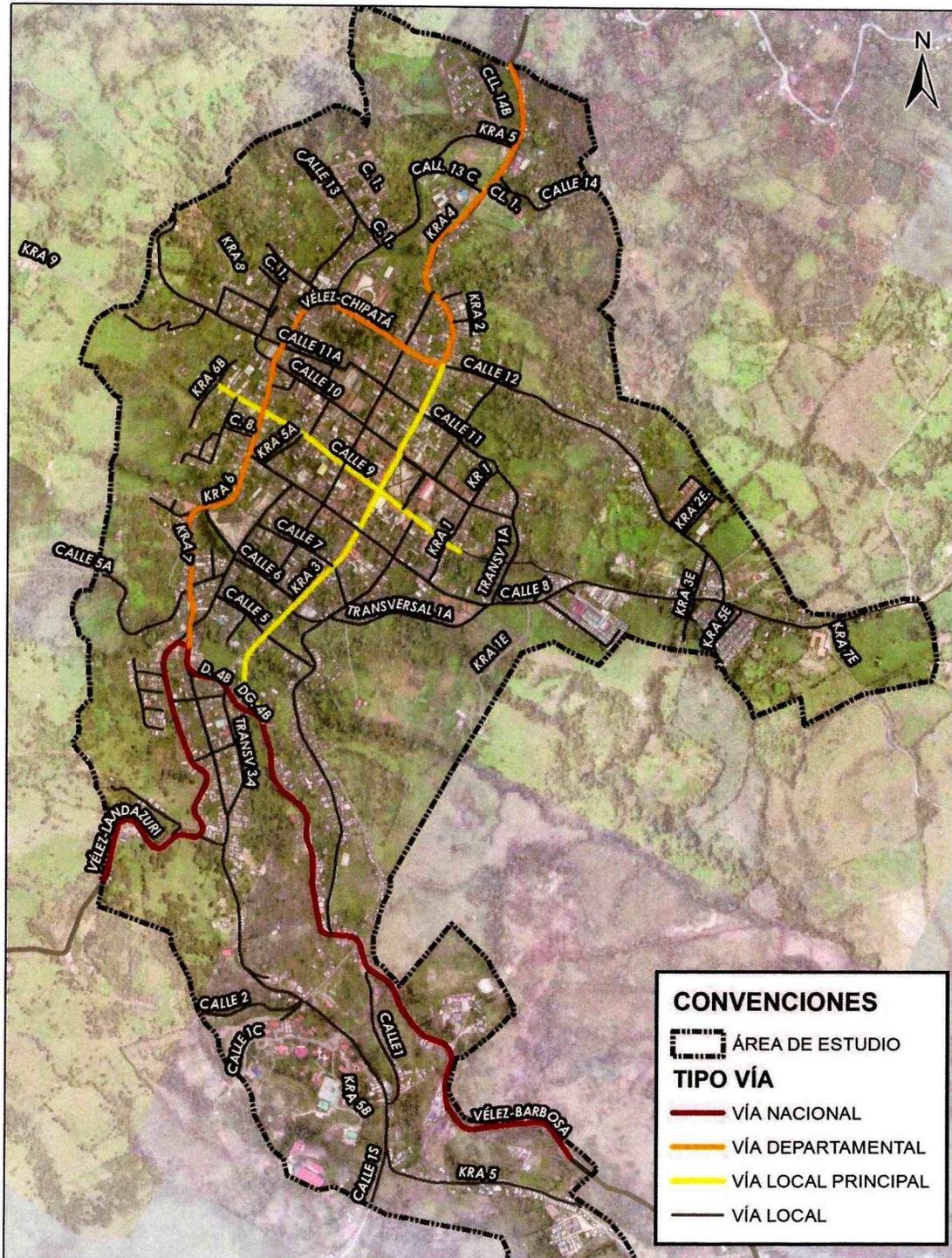


Tabla 2. Distribución de la red vial del casco urbano de Vélez por tipo de pavimento.

TIPO DE PAVIMENTO	LONGITUD [Km]	LONGITUD [%]
PAVIMENTO RÍGIDO	10,59	42,30
PAVIMENTO FLEXIBLE	5,99	23,94
VÍA EN ADOQUÍN O ROCA	1,29	5,14
VÍA DESTAPADA	7,17	28,62
TOTAL	25,04	100

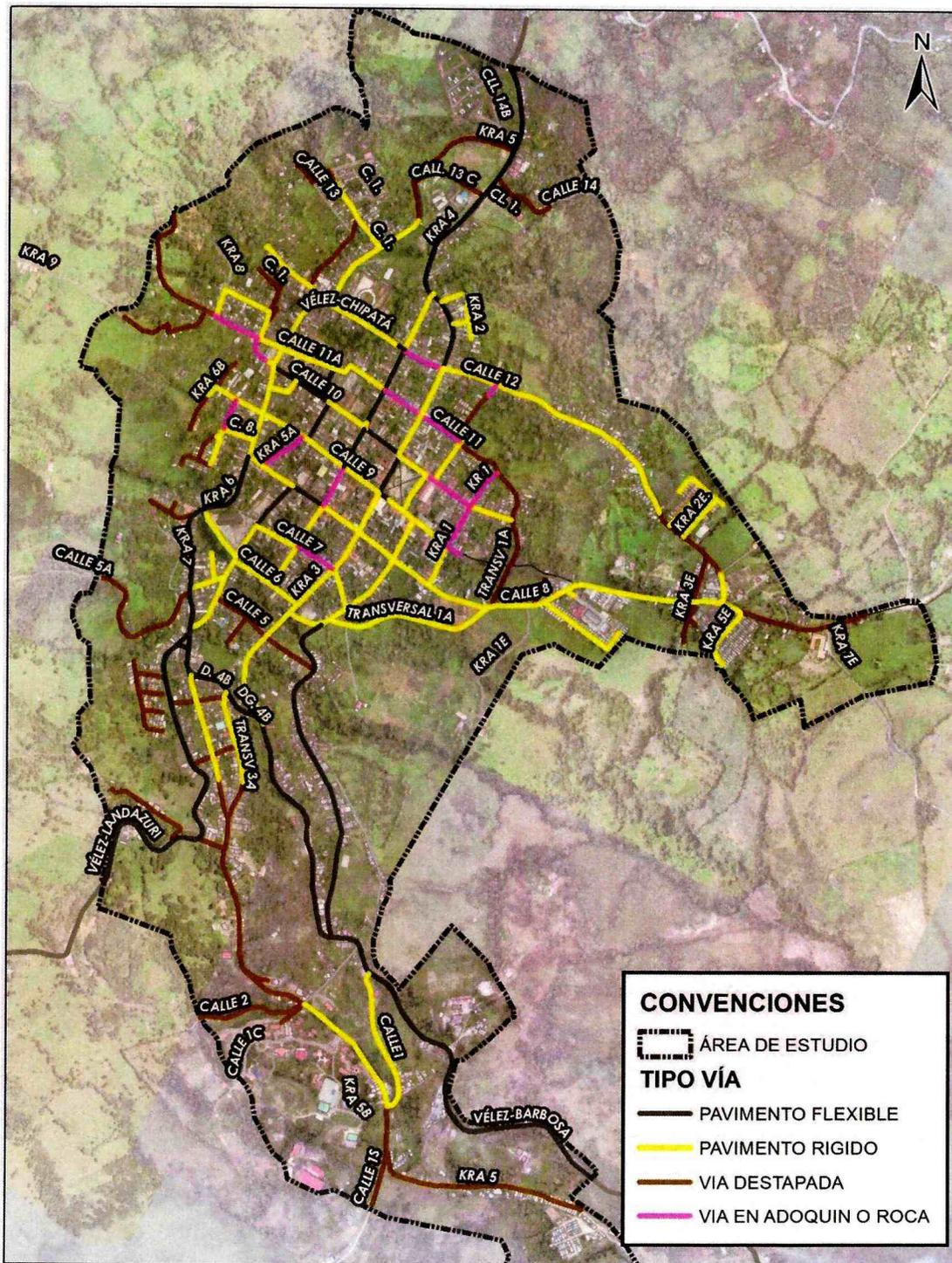
Fuente: Equipo Técnico – UIS.

Figura 1. Red vial urbana existente.



Fuente: Equipo Técnico – UIS

Figura 2. Caracterización de la malla vial urbana por tipología.



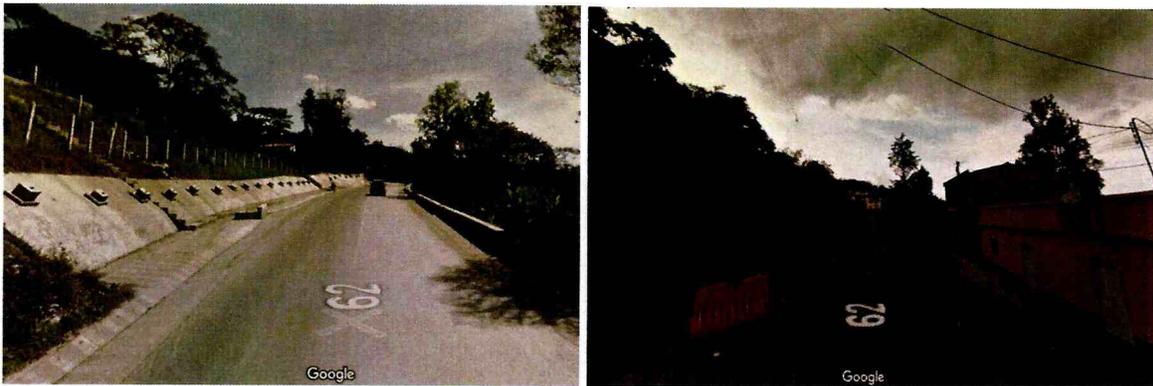
Fuente: Equipo Técnico – UIS

3.1.1. VÍA NACIONAL

Los 2.7 Km de vía nacional que pasan por el casco urbano (figura 3) están construidos con pavimento flexible en una sola calzada de dos carriles, con un ancho promedio de 4 m por carril.

Aunque el tramo de la vía nacional correspondiente al acceso desde Barbosa suele presentar problemas de inestabilidad, estos son atendidos por el INVIAS y la vía está en constante mantenimiento, se han realizado obras de contención en los taludes y la banca del corredor y otras están por construirse. Su estado actual es bueno (ver figura 4).

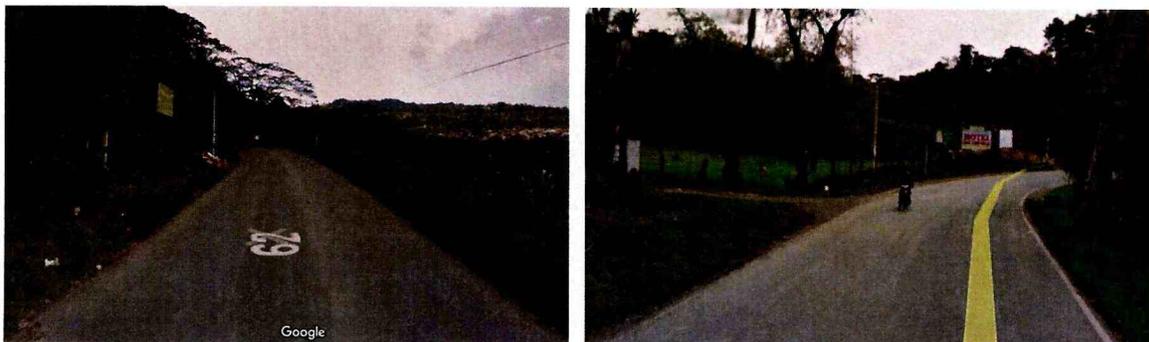
Figura 3. Vista de la vía Nacional, acceso desde Barbosa.



Fuente: Modificado de Google Maps

Antes de entrar a la zona urbana, viniendo desde Barbosa, la vía no cuenta con bermas o cunetas, ver figura 4; ya dentro del casco urbano, se encuentran berma-cunetas y andenes intermitentes en diferentes sectores, ver figura 5; saliendo del casco urbano hacia Landáuzuri se aprecia la existencia de cunetas a ambos o a un lado de la calzada, figura 6.

Figura 4. Ausencia de bermas y cunetas en la vía Nacional, acceso desde Barbosa.



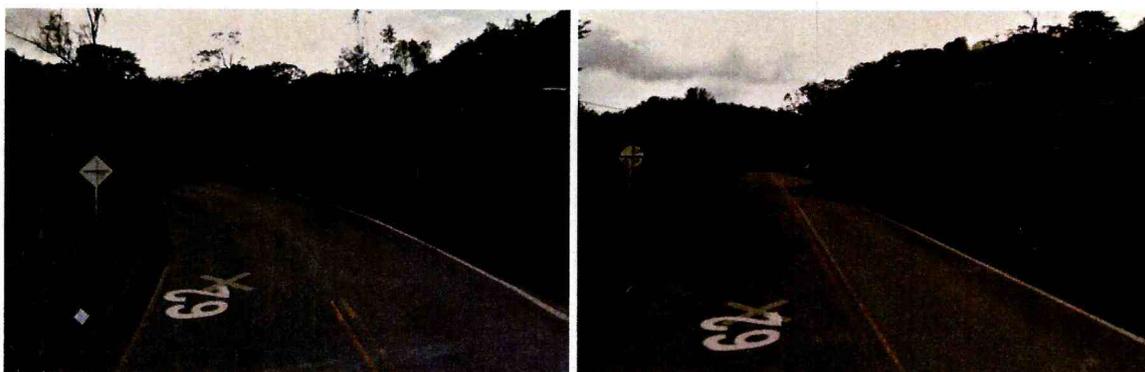
Fuente: Modificado de Google Maps

Figura 5. Andenes y cunetas de la vía Nacional, dentro del casco urbano.



Fuente: Modificado de Google Maps

Figura 6. Estructuras hidráulicas en la vía Nacional, salida del casco urbano hacia Landázuri.



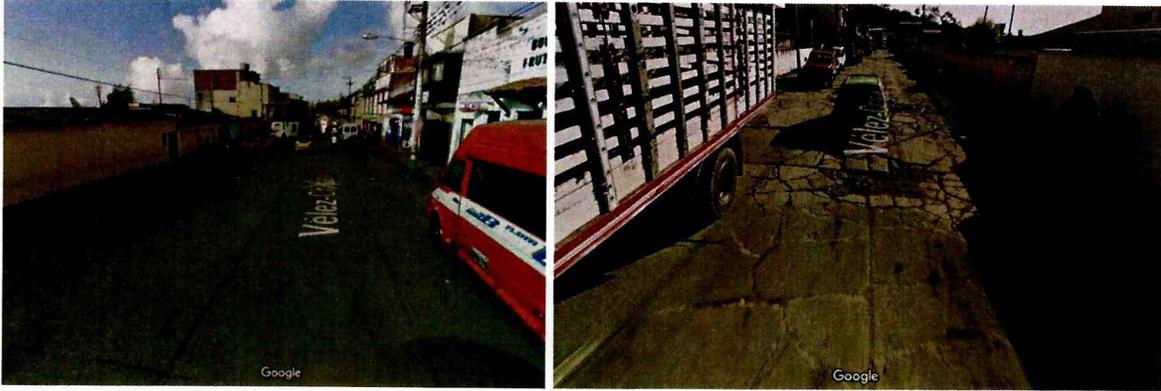
Fuente: Modificado de Google Maps

3.1.2. VÍA DEPARTAMENTAL

De los 2.11 km de vía departamental (ver figura 1) que pasan por el pueblo, el 30.62% están construidos en pavimento rígido, el 64.68% en pavimento flexible y un 4.69% corresponde a pavimento en adoquín o roca. Esta vía consta de una calzada con 2 carriles y un ancho promedio del corredor de 7m.

En el tramo en pavimento rígido, el estado general de la ruta es regular y a pesar de ser antiguas, la mayoría de las losas aún funcionan, pero en algunos sectores localizados se encuentran algunas falladas probablemente por sobrecarga. El sector en peor estado corresponde a la carrera 6 entre calles 11A y 12 donde todas las losas se encuentran completamente falladas probablemente debido a que están constantemente sometidas a cargas superiores a las de diseño.

Figura 7. Vista de tramos en pavimento rígido de la vía Departamental.



Fuente: Modificado de Google Maps

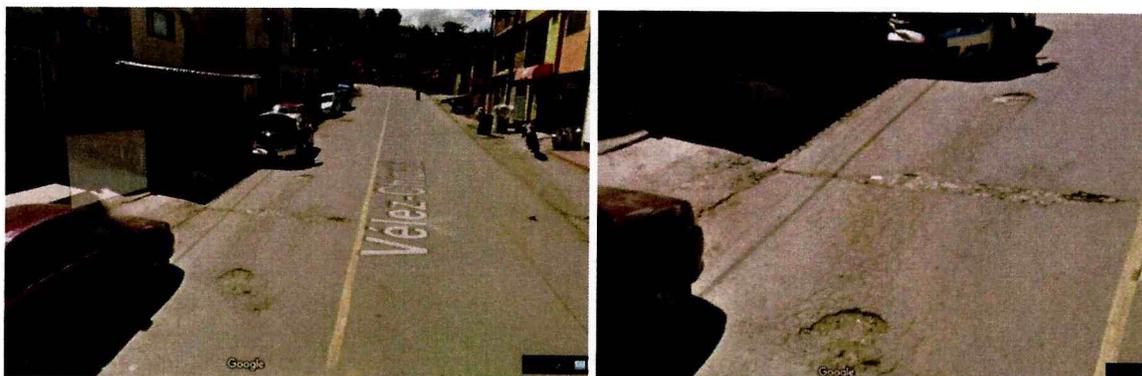
Los tramos de la Cr 6 en pavimento flexible (ver figura 8) presentan múltiples sectores con piel de cocodrilo; este tipo de daño se presenta por fatiga del material debido a que las cargas que está soportando son mayores a las de diseño y no está relacionado con problemas de remoción en masa. Debido a que no se han hecho los mantenimientos necesarios muchos de los sectores con piel de cocodrilo han evolucionado a baches y descascaramiento.

Figura 8. Vista de tramos en pavimento flexible de la vía Departamental (parte 1).



Fuente: Modificado de Google Maps

Figura 9. Vista de tramos en pavimento flexible de la vía Departamental (parte 2).



Fuente: Modificado de Google Maps

Los tramos de las carreras 3 y 4 en pavimento flexible se encuentran en pésimo estado, con tramos completamente desechos y baches de grandes dimensiones que hacen peligroso el tránsito de ciclas y motocicletas por el sector; es notorio que el estado actual de la vía obedece a falta de mantenimiento que permitió que los daños tipo piel de cocodrilo avanzaran hasta el estado actual, además, es muy probable que las cargas que soporta la estructura actualmente son mayores a los de diseño.

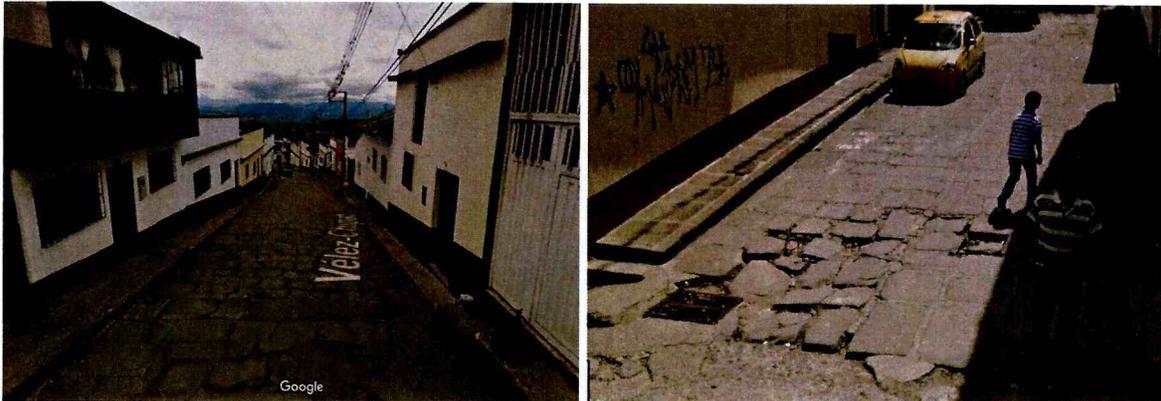
Figura 10. Vista del estado de deterioro de la Carrera 3, vía Departamental.



Fuente: Modificado de Google Maps

El sector en pavimento de adoquín de roca se encuentra en estado regular, presenta porciones falladas cerca de estructuras hidráulicas, es probable que estos daños se hayan presentado por asentamientos diferenciales debidos a la construcción de las mismas o a falla de las mismas por fatiga debido al paso de cargas muy pesadas sobre el pavimento.

Figura 11. Vista de tramo en adoquín de roca de la vía Departamental



Fuente: Modificado de Google Maps

3.1.3. VÍAS LOCALES PRINCIPALES

Las vías categorizadas como locales principales corresponden a la carrera 3 y la calle 9, que juntas suman una longitud de 1.7 km, de los cuales el 90.55% está construido en pavimento rígido, el 7.31% en pavimento flexible y un 2.14% en roca. Estas vías son de una sola calzada con dos sentidos y un ancho promedio de 5.5 m.

El estado actual de la carrera 3 es regular, gran parte de las losas están falladas como se puede apreciar en la figura 12, los tramos en pavimento flexible también muestran un grado de deterioro medio. La calle 9 se encuentra en estado bueno, pocas de sus losas están falladas.

Figura 12. Vista de tramos en pavimento rígido de la carrera 3, vía local principal.



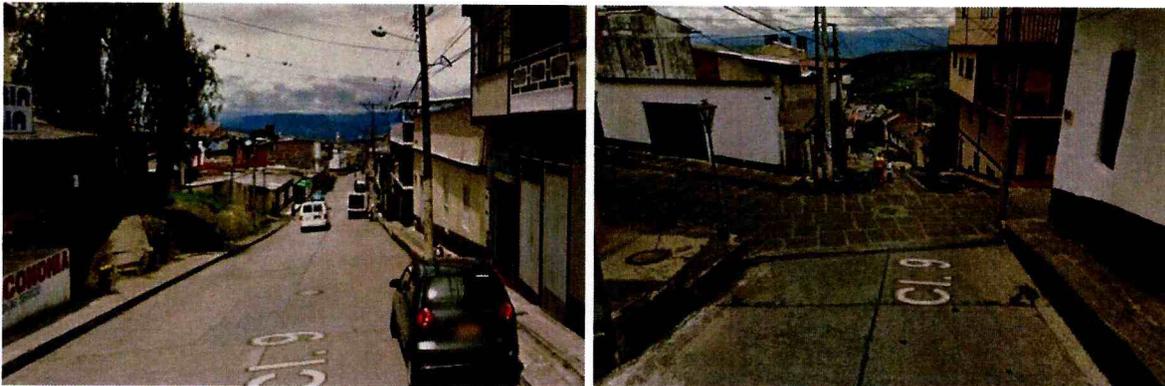
Fuente: Modificado de Google Maps

Figura 13. Vista de tramos en pavimento flexible de la carrera 3, vía local principal.



Fuente: Modificado de Google Maps

Figura 14. Vista de la calle 9, vía Local Principal.



Fuente: Modificado de Google Maps

En cuanto al espacio peatonal, la calle 9 posee andenes angostos característicos de muchos pueblos antiguos del departamento de Santander; su estado es aceptable, aunque en general no son aptos para el tránsito de personas discapacitadas. En la carrera 3 hay muchos tramos sin andén, y los existentes se encuentran en estado regular a aceptable.

3.1.4. VÍAS LOCALES

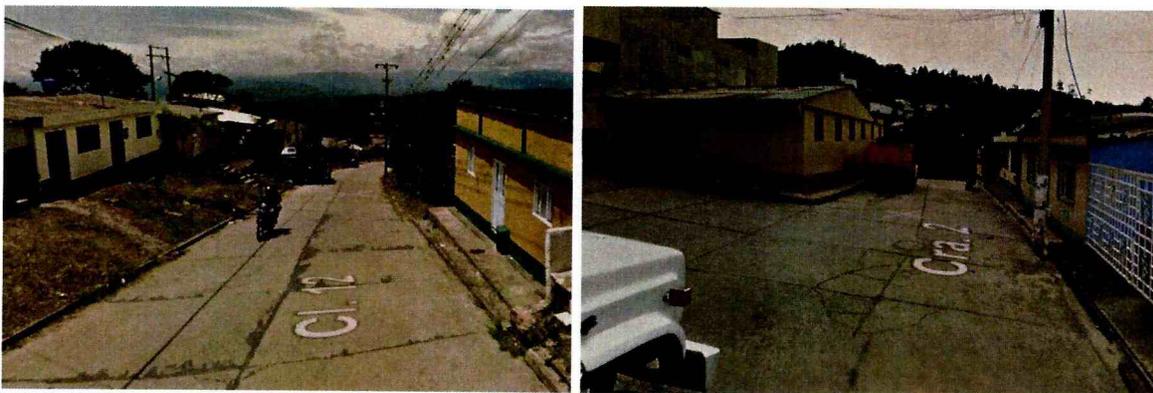
Las vías locales constituyen un 73.93% de la malla vial urbana y suman una extensión total de 18.51 km, la mayoría está en pavimento rígido con un 45.29%, en segundo lugar las vías destapadas constituyen un 38.71% de los corredores urbanos, el 9.78% son tramos en pavimento flexible y el 6.22% corresponden a vías en adoquín o roca.

El estado general de las vías locales es regular a malo, algunos sectores evidencian avanzados estados de deterioro que afectan el confort y la calidad de vida del sector más que la transitabilidad. No obstante, se encuentran sectores muy bien conservados donde el pavimento se encuentra en buenas condiciones.

El ancho de la red local varía bastante dependiendo el sector y la tipología del pavimento, va desde los 1.8 m en vías destapadas hasta los 11.3 m en algunas vías con pavimento rígido, el ancho promedio de las vías locales es de 5 m.

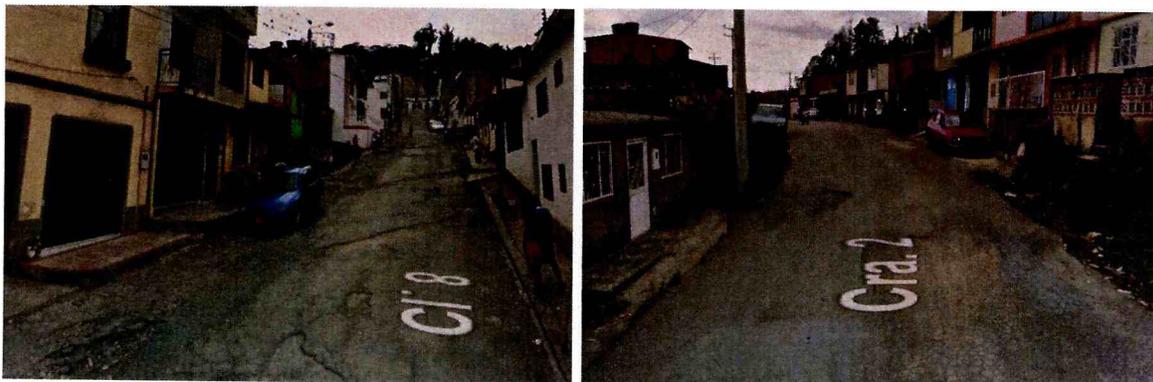
Al igual que en las vías locales principales, en los tramos viales donde existen espacios peatonales éstos se caracterizan por ser angostos y en su mayoría no aptos para el tránsito de personas discapacitadas, su estado de conservación en general es regular, pero varía mucho en todo el casco urbano.

Figura 15. Vía local en pavimento rígido.

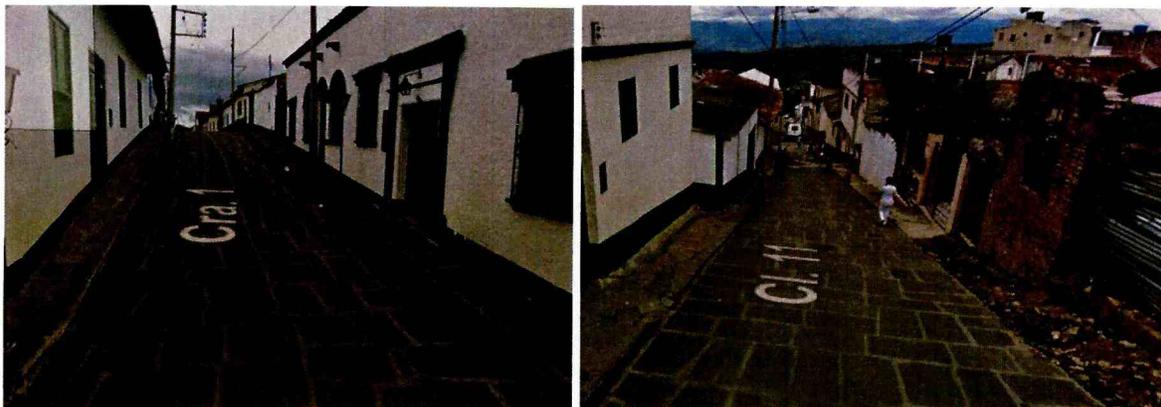


Fuente: Modificado de Google Maps

Figura 16. Vía Local en pavimento flexible.



Fuente: Modificado de Google Maps

Figura 17. Vía Local en pavimento de adoquín en roca.

Fuente: Modificado de Google Maps

3.2. RED VIAL DEL CENTRO POBLADO DE ALTO JORDÁN

El centro poblado Alto Jordán se ubica en la microcuenca de la quebrada El Carmen a 20 minutos de Landázuri, y se ha desarrollado en torno a la vía Nacional Transversal del Carare, que atraviesa la cuenca formando una curva para adaptarse al relieve. El corredor está conformado por una sola calzada con dos carriles, con un ancho total promedio es de 7m; presenta recurrentes problemas de inestabilidad, debido a su paso por la microcuenca El Carmen atraviesa la falla geológica del mismo nombre y una zona de coluvión, que obstaculizan su recuperación definitiva, no obstante las numerosas y frecuentes intervenciones realizadas.

Figura 18. Vista de la vía Nacional tras ser reparada a comienzos del 2014.

Fuente: Equipo Técnico – UIS

De los 2.56 km de malla vial de Alto Jordán, el 47.29% son de orden nacional, el 52.71% restante corresponde a las vías locales (ver tabla 3 y figura 19). La única vía pavimentada en el centro poblado es la nacional, las de orden local se encuentran todas sin pavimentar (ver figura 20).

Tabla 3. Distribución de la red vial del centro poblado Alto Jordán.

RED VIAL	TIPO DE PAVIMENTO	LONGITUD [Km]	LONGITUD [%]
NACIONAL	PAVIMENTO FLEXIBLE	1,212	47,29
LOCAL	VÍA DESTAPADA	1,350	52,71
TOTAL		2,562	100

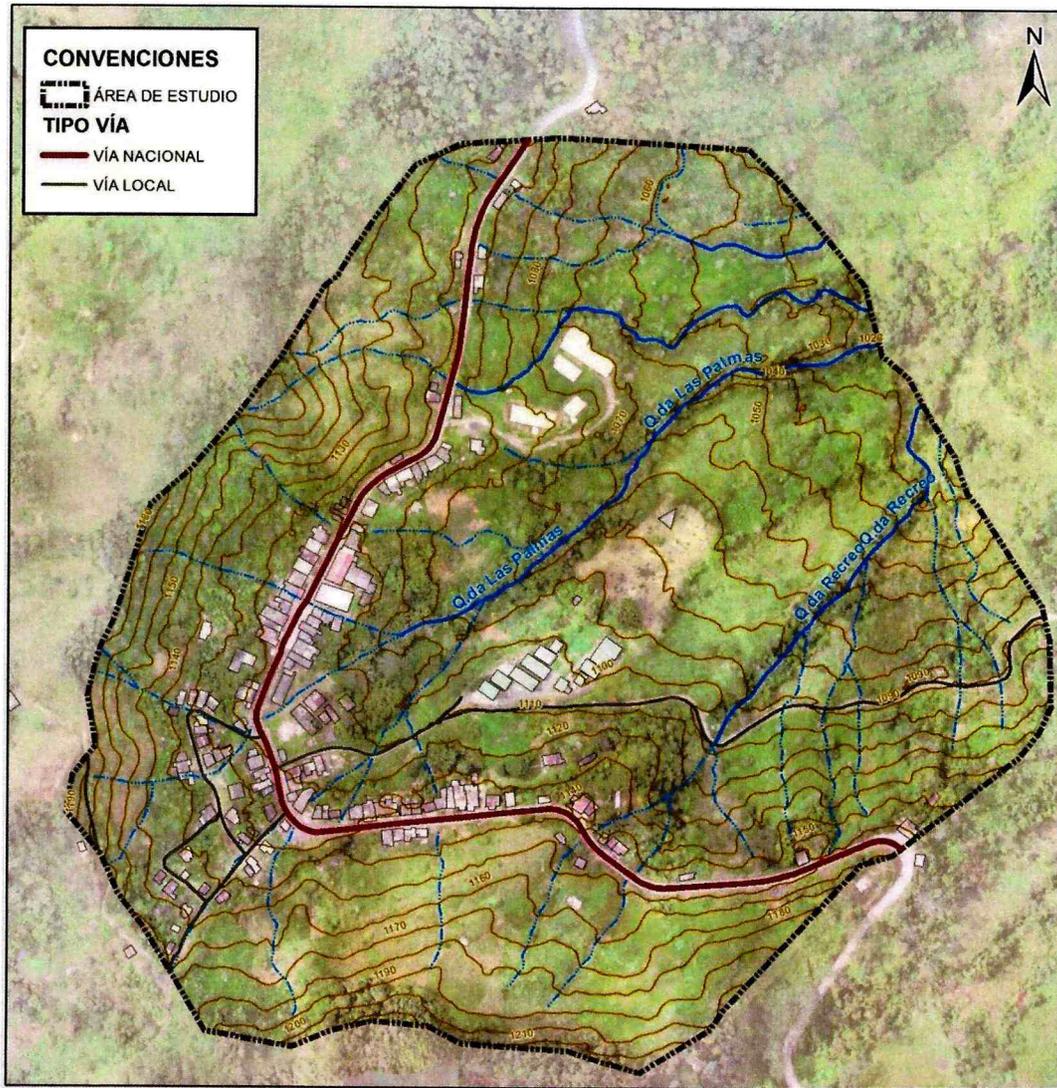
Fuente: Equipo Técnico – UIS.

En términos generales, la malla vial local se encuentra en mal estado, con un ancho promedio de 3.5 m. Los tramos que están en cotas superiores a la de la vía nacional se encuentra completamente deteriorados debido a los problemas de inestabilidad propios del material coluvial y a la presencia de la falla geológica; a pesar de su estado, los lugareños consiguen transitar con automóviles (en tiempo seco) por la vía que conduce al filo de la montaña. El corredor local cotas debajo de la vía nacional, que conduce hacia el nuevo colegio, se encuentra en estado aceptable aunque no esté pavimentado, debido a que está directamente ubicado sobre la roca de las formaciones presentes en la zona; los vehículos pueden transitarlo sin problemas.

En cuanto a las estructuras hidráulicas para manejo de aguas lluvias, las pertenecientes a la vía nacional están completamente destruidas en la curva central del caserío debido a los frecuentes colapsos de la vía causados por el arrastre del coluvión. En los accesos al centro poblado se encuentran cunetas a ambos lados de la calzada. En la red local, no existen cunetas ni estructura alguna para el manejo de aguas lluvias.

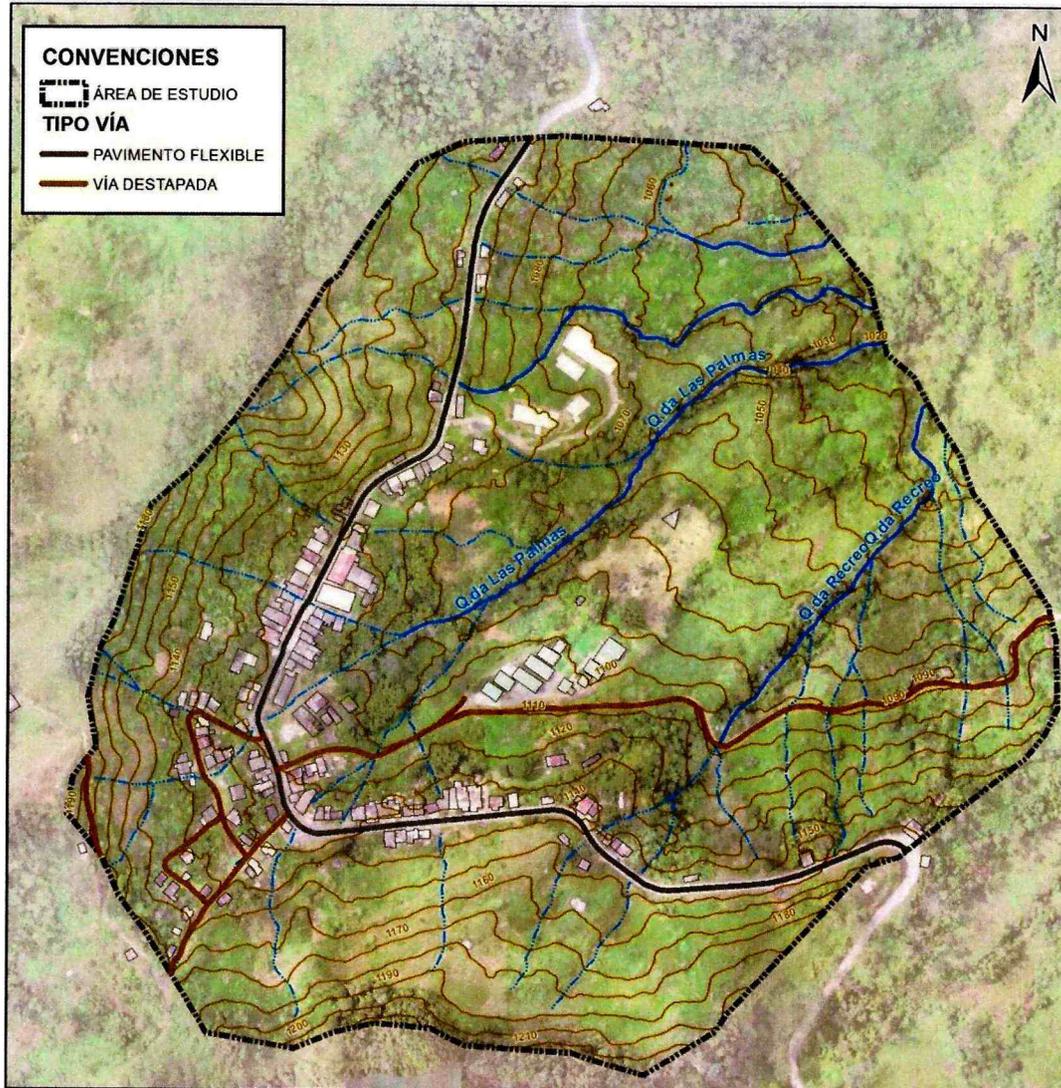
En relación a los espacios peatonales sobre la vía nacional, estos se pueden encontrar en ciertos tramos, pero en la mayor parte del trayecto no hay andenes por lo que los peatones se desplazan directamente sobre la zona vehicular, exponiendo sus vidas. La red local tampoco cuenta con espacios peatonales.

Figura 19. Red vial existente en Alto Jordán.



Fuente: Equipo Técnico – UIS

Figura 20. Red vial existente en Alto Jordán por tipología.



Fuente: Equipo Técnico – UIS

4. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA RED VIAL

4.1. METODOLOGÍA

La evaluación de la vulnerabilidad de la malla vial urbana se realizó tomando como base la metodología de *Du et al. (2013)*, según la cual la vulnerabilidad se define como una función de la intensidad y la fragilidad de los elementos expuestos. Los parámetros se establecen en base al mecanismo de impacto del deslizamiento y la categoría de los elementos vulnerables.

4.1.1. VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad propuesta por el modelo se define por la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Para } I \leq 1 - S & \quad V = \frac{1}{2} [I/(1 - S)]^2 \\ \text{Para } I > 1 - S & \quad V = 1 - \frac{1}{2} [(1 - I)/S]^2 \end{aligned}$$

Donde

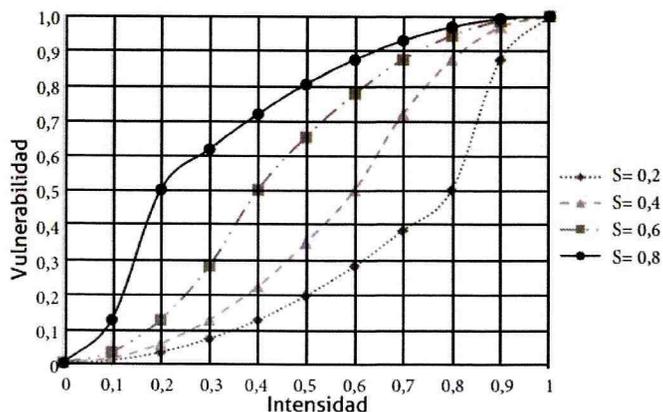
V es la vulnerabilidad de los elementos expuestos a la amenaza.

I es la intensidad del evento.

S es la fragilidad del elemento expuesto.

De esta manera, la vulnerabilidad se expresaría con un número entre 0 y 1, donde 1 indica que la estructura está completamente destruida o, en términos de transitabilidad, que el tráfico se ve obstruido por completo. Una intensidad de 1 significa que el deslizamiento tiene el potencial de destruir todos los elementos a su paso. La relación entre vulnerabilidad, intensidad y fragilidad se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 21. Vulnerabilidad en función de la intensidad de deslizamiento y la fragilidad de la vía.



Fuente: Du et al. (2013)

4.1.2. INTENSIDAD DE DESLIZAMIENTO

La intensidad se estima a partir de la relación de la deformación calculada del terreno con respecto a los umbrales tolerables, como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 4. Intensidad de deformación

RELACIÓN: DEFORMACIÓN/ UMBRAL DEFORMABLE	INTENSIDAD DE DEFORMACIÓN
>0,2	0,1
0,2-0,4	0,2
0,4-0,6	0,4
0,6-0,8	0,6
0,8-1,0	0,8
1,0-1,2	0,9
≥ 1,2	1,0

Fuente: Du et al. (2013)

Entre las deformaciones se incluyen hundimientos, desplazamientos horizontales e inclinaciones. De acuerdo con los niveles de daño definidos para los pavimentos flexibles y rígidos en las guías de inspección visual del *Inviás (2006 a y b)*, el umbral tolerable de deformación es 40 mm.

4.1.3. FRAGILIDAD DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS

La fragilidad se entiende como la respuesta de los elementos expuestos frente a las sollicitaciones generadas por la interacción de los movimientos en masa con dichos elementos. Este parámetro para las vías se establece en función de su ancho, de acuerdo con la ecuación

$$S_{ancho} = 3/W_{vía}$$

Donde

$W_{vía}$ es el ancho de la vía en metros

3,0 es el ancho de carril mínimo para que un vehículo pueda transitar en condiciones normales.

4.1.4. CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Los rangos de vulnerabilidad para mostrar de manera cualitativa los niveles de daño esperados en la malla vial ante un evento de remoción en masa con la máxima deformación del suelo esperada se definieron a partir de la clasificación propuesta por Du et al. (2013), según se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Rangos de vulnerabilidad para la estimación del nivel de daño

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE LA VULNERABILIDAD	NIVEL DE DAÑO
ALTA	0,50-1,00	Colapso-Total
MEDIA	0,10-0,50	Grave
BAJA	0,02-0,10	Moderado
	0,00-0,02	Leve

Fuente: Adaptado de Du et al. (2013)

Para los niveles de daño leve y moderado, que se clasificaron como de vulnerabilidad baja (0.00 - 0.1), se estiman dos escenarios:

- Existe posibilidad de que el terreno se deslice sobre la vía: se espera que no haya material de remoción en masa sobre la vía obstaculizando el paso o que el material que alcanzó la vía sea fácilmente evadible por los vehículos y por tanto el ancho de la vía es suficiente para garantizar la transitabilidad por el corredor.
- No existe posibilidad de que el terreno se deslice sobre la vía: se espera que la deformación producida en el pavimento impacte el confort pero no comprometa la transitabilidad del corredor.

Para el nivel de daño grave, que corresponde a una vulnerabilidad media (entre 0.1 y 0.5), se estima que, según la deformación del terreno esperada, parte del volumen deslizado reposará sobre la vía, que por su ancho permitirá el paso de vehículos con dificultad. Si no existe posibilidad de que el terreno se deslice sobre la vía, se espera que aunque la deformación del pavimento sea considerable para causar dificultad en el tránsito de los vehículos, éste aún sea posible.

El nivel de daño "Colapso total", que correspondería a las zonas con vulnerabilidad alta (entre 0.5 y 1.0), indica que ante un evento de remoción en masa se espera el bloqueo total de la vía, afectando por completo el tránsito de vehículos, lo que implica la dificultad del transporte de personas afectadas por el evento o la imposibilidad de paso de vehículos de ayuda al sector.

4.1. RESULTADOS

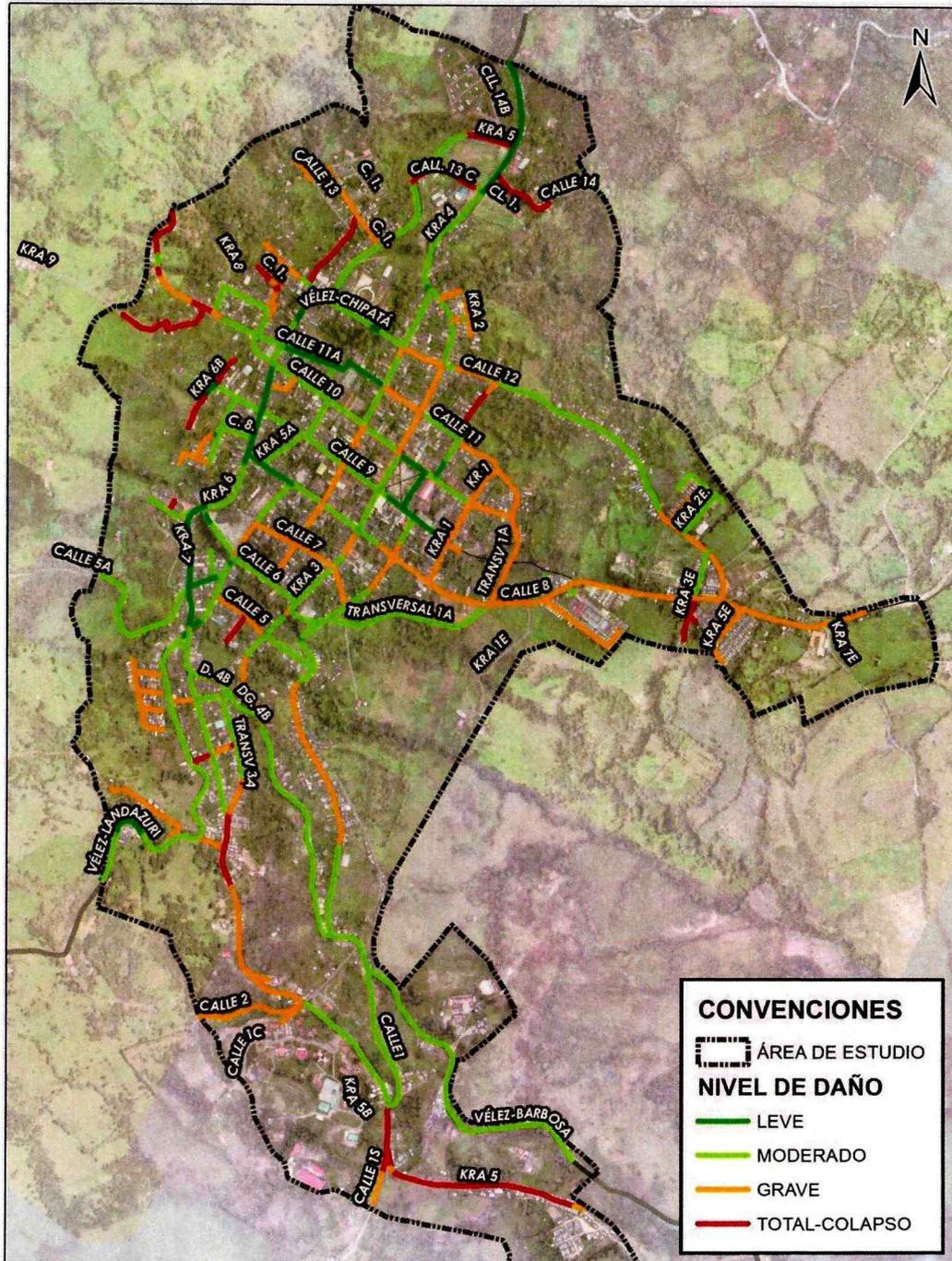
4.1.1. CASCO URBANO DE VÉLEZ

Para aplicar la metodología descrita, se consignó en un sistema de información geográfica la caracterización de las vías realizada para el presente estudio, incluyendo el dato del ancho de los corredores y la deformación obtenida a partir del estudio geotécnico.

Posteriormente, se calculó la vulnerabilidad de la malla vial, la cual indica la probabilidad que se interrumpa el tránsito por una vía debido a la magnitud de la deformación del suelo

esperada, dejando incomunicados a los sectores que conecta. En la figura 22 se muestra el resultado de la evaluación realizada.

Figura 22. Vulnerabilidad de la red vial urbana



Fuente: Equipo Técnico – UIS.

En la siguiente tabla se muestran las longitudes y porcentajes de vía que se encuentran en cada nivel de daño según la importancia de la vía. Los porcentajes están dados respecto a la longitud total de la red vial urbana:

Tabla 6. Niveles de daño en la malla vial urbana según su importancia.

RED VIAL	DAÑO LEVE		DAÑO MODERADO		DAÑO GRAVE		TOTAL-COLAPSO	
	LONGITUD [Km]	LONGITUD [%]	LONGITUD [Km]	LONGITUD [%]	LONGITUD [Km]	LONGITUD [%]	LONGITUD [Km]	LONGITUD [%]
NACIONAL	0,098	0,39	2,594	10,36	0,000	0,00	0,000	0,00
DEPARTAMENTAL	0,992	3,96	1,020	4,08	0,099	0,40	0,000	0,00
LOCAL PRINCIPAL	0,172	0,69	1,050	4,19	0,501	2,00	0,000	0,00
LOCAL	0,829	3,31	7,702	30,76	7,404	29,57	2,575	10,28
TOTAL	2,091	8,353	12,366	49,394	8,004	31,970	2,575	10,283

Fuente: Equipo Técnico – UIS.

De la composición porcentual según la importancia de la vía se puede observar que la red vial local es la única que presenta tramos en vulnerabilidad alta o de colapso total, es decir en los que se podría dar la interrupción total del tránsito.

Para la vía nacional se esperan daños moderados pero no graves. Tanto en la vía departamental como en las vías locales principales se esperan daños graves, es decir, se podrían dar movimientos de suelo capaces de entorpecer el tráfico, con una reducción del número de carriles disponibles, pero sin llegar a interrumpir el flujo por completo.

La distribución de daños de acuerdo al tipo de pavimento de la vía se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 7. Niveles de daño en la malla vial urbana según el tipo de pavimento.

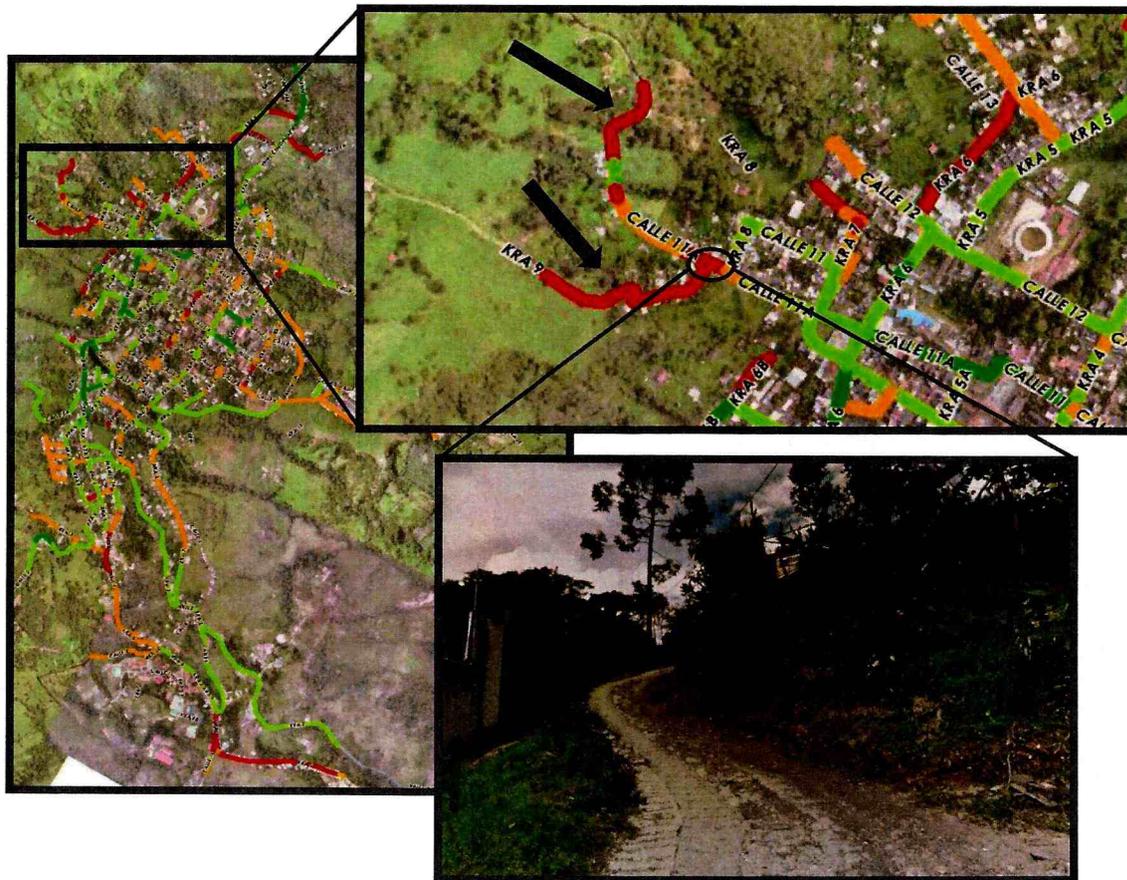
RED VIAL	DAÑO LEVE		DAÑO MODERADO		DAÑO GRAVE		COLAPSO-TOTAL	
	LONGITUD [Km]	LONGITUD [%]	LONGITUD [Km]	LONGITUD [%]	LONGITUD [Km]	LONGITUD [%]	LONGITUD [Km]	LONGITUD [%]
PAVIMENTO RÍGIDO	1,252	5,00	5,886	23,51	3,451	13,78	0,000	0,00
PAVIMENTO FLEXIBLE	0,839	3,35	4,628	18,48	0,527	2,11	0,000	0,00
VÍA EN ADOQUÍN O ROCA	0,000	0,00	0,576	2,30	0,711	2,84	0,000	0,00
VÍA DESTAPADA	0,000	0,00	1,276	5,10	3,315	13,24	2,575	10,28
TOTAL	2,091	8,353	12,366	49,394	8,004	31,970	2,575	10,283

Fuente: Equipo Técnico – UIS.

En la tabla 7 se puede apreciar que el total del porcentaje de elementos en vulnerabilidad alta (colapso-total) corresponde a las vías destapadas, lo que es entendible ya que éstas suelen ser más angostas, y al no tener pavimento están más expuestas a los factores climáticos que pueden desencadenar movimientos en masa. La cantidad de vías en vulnerabilidad alta suman el 10.28% del total de la malla vial urbana.

Si bien de los 7.17 km de vías destapadas, 2.58 km están categorizados en vulnerabilidad alta, los casos críticos son aquellos en los que por su condición de vulnerabilidad y la ausencia de vías alternativas para salir o ingresar al sector representen un verdadero peligro para la comunidad al limitarse el paso de vehículos de emergencia para atender a posibles víctimas en un evento de remoción en masa. Estos casos se presentan en la periferia urbana donde las calles no están pavimentadas y terminan en puntos muertos o *culs-de-sac*, sin embargo, la única zona que representaría un problema considerable al dejar incomunicadas las veredas a las que conduce es el correspondiente a la carrera 9 en la salida hacia las El Amarillo y la calle 11A hacia Tubavita, ver figura 23.

Figura 23. Caso crítico: Vulnerabilidad vial alta en la salida a las veredas El Amarillo y Tubavita.



Fuente: Equipo Técnico – UIS

4.1.2. CENTRO POBLADO ALTO JORDÁN

De acuerdo a los resultados obtenidos tras la evaluación cuantitativa de vulnerabilidad, para la vía nacional se espera la ocurrencia de daños moderados en casi la totalidad de su recorrido a través del centro poblado, excepto por los 0,19 km en correspondencia de la curva sobre coluvión, que se califican en vulnerabilidad media. De lo anterior se deduce que la vulnerabilidad de la vía nacional está condicionada más por la deformación del suelo que por el ancho del carril.

Respecto a los corredores locales, 0.7 de los 1.35 km de malla vial se categorizan como de vulnerabilidad alta, y coinciden con los ubicados en la zona más inestable del centro poblado, esto es la zona central, ver figura 24. Los 0.05 km en vulnerabilidad media se sitúan también en la zona central del caserío. Los 0.6 km en la categoría baja son los que corresponden al tramo de vía que está directamente sobre la roca, ver figura 24.

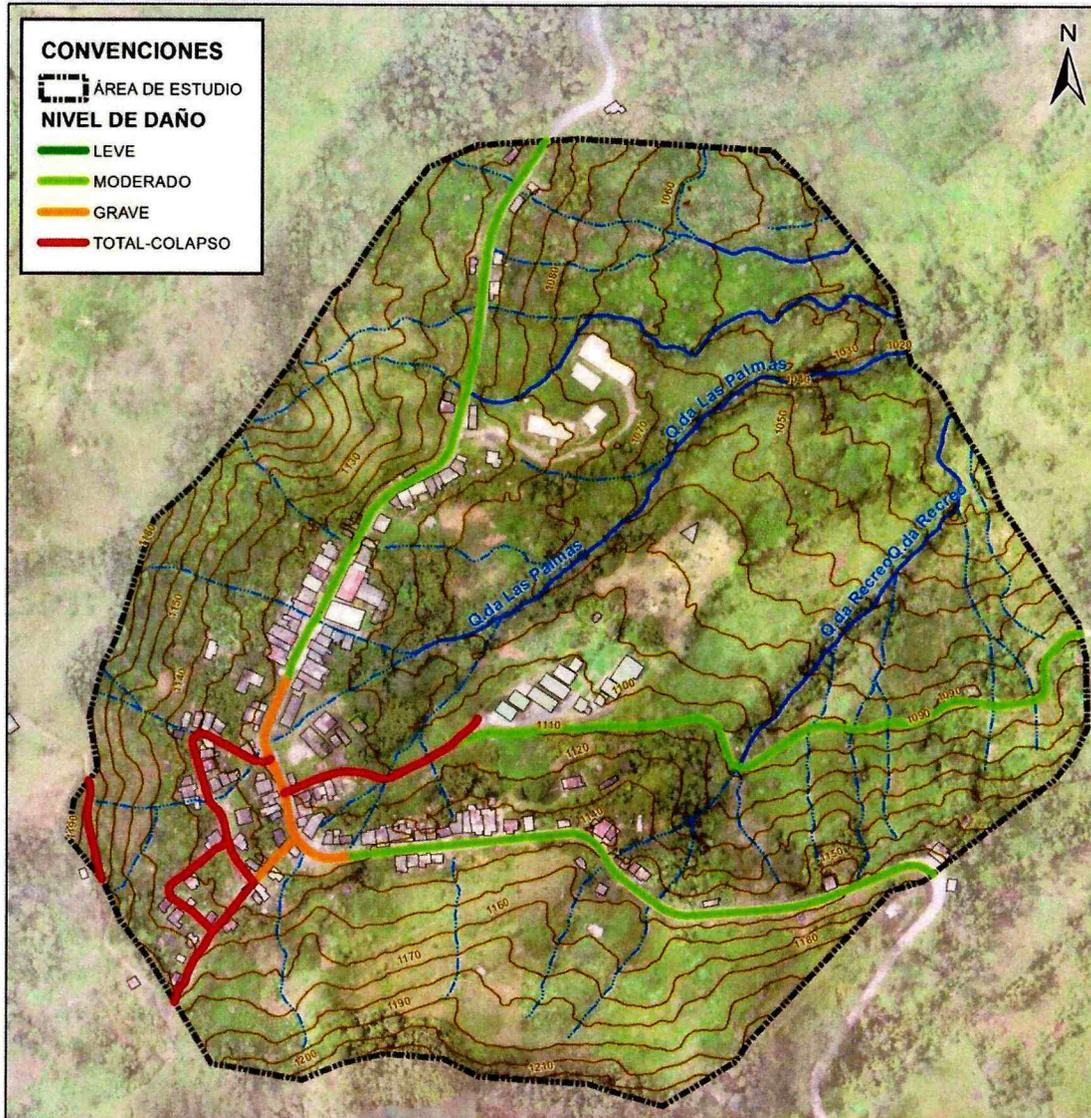
En la siguiente tabla se muestran las longitudes y porcentajes de vía que se encuentran en cada nivel de daño según la importancia de la vía. Los porcentajes están dados respecto a la longitud total de la red vial urbana:

Tabla 8. Niveles de daño en la malla vial urbana según su importancia

RED VIAL	DAÑO LEVE		DAÑO MODERADO		DAÑO GRAVE		TOTAL-COLAPSO	
	LONGITUD [Km]	LONGITUD [%]						
NACIONAL	0,00	0	1,02	39,70	0,19	7,59	0,00	0,00
LOCAL	0,00	0	0,60	23,26	0,05	2,00	0,70	27,44
TOTAL	0,00	0,00	1,61	62,96	0,25	9,59	0,70	27,44

Fuente: Equipo Técnico – UIS.

Figura 24. Vulnerabilidad de la red vial de Alto Jordán



Fuente: Equipo Técnico – UIS



5. RECOMENDACIONES DE MANEJO PARA LA RED VIAL

5.1. RED VIAL DEL CASCO URBANO DE VÉLEZ

Para los tramos con alta vulnerabilidad de la malla vial urbana se recomienda gestionar la pavimentación de los trayectos de vía destapados, ya que la mayoría se encuentra en zonas periféricas donde los deslizamientos son más frecuentes y la ausencia de pavimento y de estructuras para el manejo de aguas lluvias incrementa la inestabilidad superficial del suelo.

Una posible solución a corto plazo para las vías destapadas que se dirigen a veredas o fincas consistiría en ampliar la calzada existente, cuando el terreno lo permita, para garantizar la transitabilidad en situaciones de emergencia.

Dado que en los subproyectos propuestos dentro del Plan para la Prevención y Mitigación de los Fenómenos de Remoción en Masa (Proyecto 2, Subprograma de mitigación de la amenaza) se incluyó el diseño y la construcción de drenes para abatir el nivel freático y con ello evitar o disminuir la deformación en el suelo, no se espera que se presenten nuevos daños en el pavimento debidos a procesos de remoción en masa, por lo que la recomendación general para la malla vial urbana es la de mejorar la red existente, dando prioridad a las calles con mayor vulnerabilidad y las más deterioradas.

La vía departamental requiere especial atención debido al flujo de vehículos que debe soportar, por lo tanto se recomienda realizar mantenimientos preventivos y correctivos periódicos, para evitar que los estados de daño empeoren y lleguen a estancias como las actuales.

En la vía nacional se aconseja construir estructuras para el control de aguas lluvias en donde se requieran, para garantizar la protección de los taludes y por ende disminuir las probabilidades de que sucedan deslizamientos. Así mismo, por ser una vía nacional, por cuestiones de seguridad se recomienda construir bermas, donde el relieve lo permita, para el tránsito temporal de personas, animales y estacionamiento transitorio de vehículos.

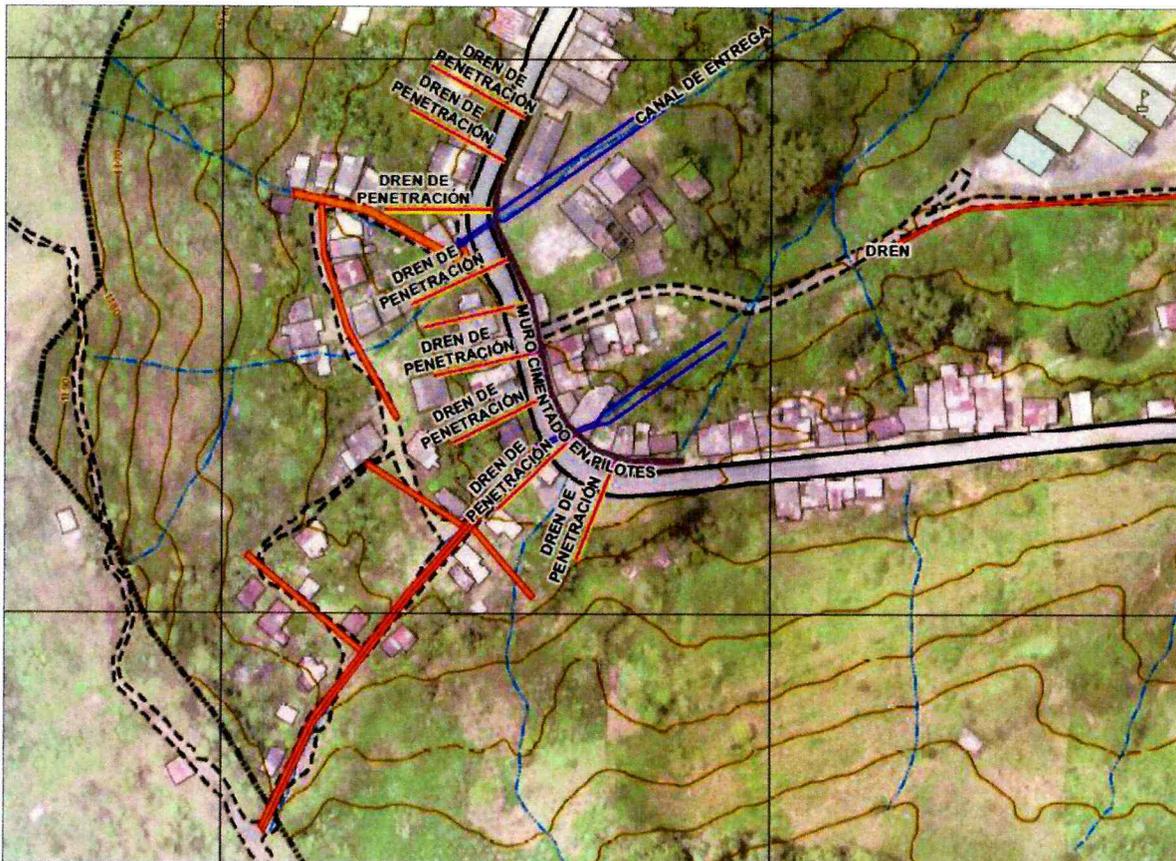
En relación a los espacios peatonales se recomienda la generación de un plan de recuperación, para construir andenes en las partes donde actualmente no existen, reparar los dañados y optimizar los existentes para que, en la medida que la topografía lo permita, sean más adecuados para el uso de personas con discapacidad o con movilidad limitada, especialmente en las vías principales donde el flujo vehicular es fuerte y los peatones se ven expuestos al tener que caminar sobre la zona vehicular.

Respecto a los puentes se recomienda realizar una revisión general de su estado ya que la mayoría presenta carpetas de pavimento altamente deteriorado. Así mismo se exhorta a un mayor control de los puentes peatonales improvisados ya que por sus carencias en seguridad representan un peligro para la seguridad de quienes los usan.

5.2. RED VIAL DEL CENTRO POBLADO DE ALTO JORDÁN

Teniendo en cuenta los múltiples factores que condicionan la estabilidad del centro poblado y por ende su malla vial, se propusieron obras de mitigación de la amenaza que tendrán un impacto en la vulnerabilidad vial. Para el sector de la vía nacional en vulnerabilidad media se propusieron drenes de penetración para abatir el nivel freático y disminuir la probabilidad de deformación del suelo que afecta la vía (Proyecto 2, Subprograma de Mitigación de la Amenaza), además de un muro cimentado en pilotes que garantizará la estabilidad y en consecuencia la continuidad del tránsito (Proyecto 1, Subprograma de Mitigación de la Amenaza; ver figura 25).

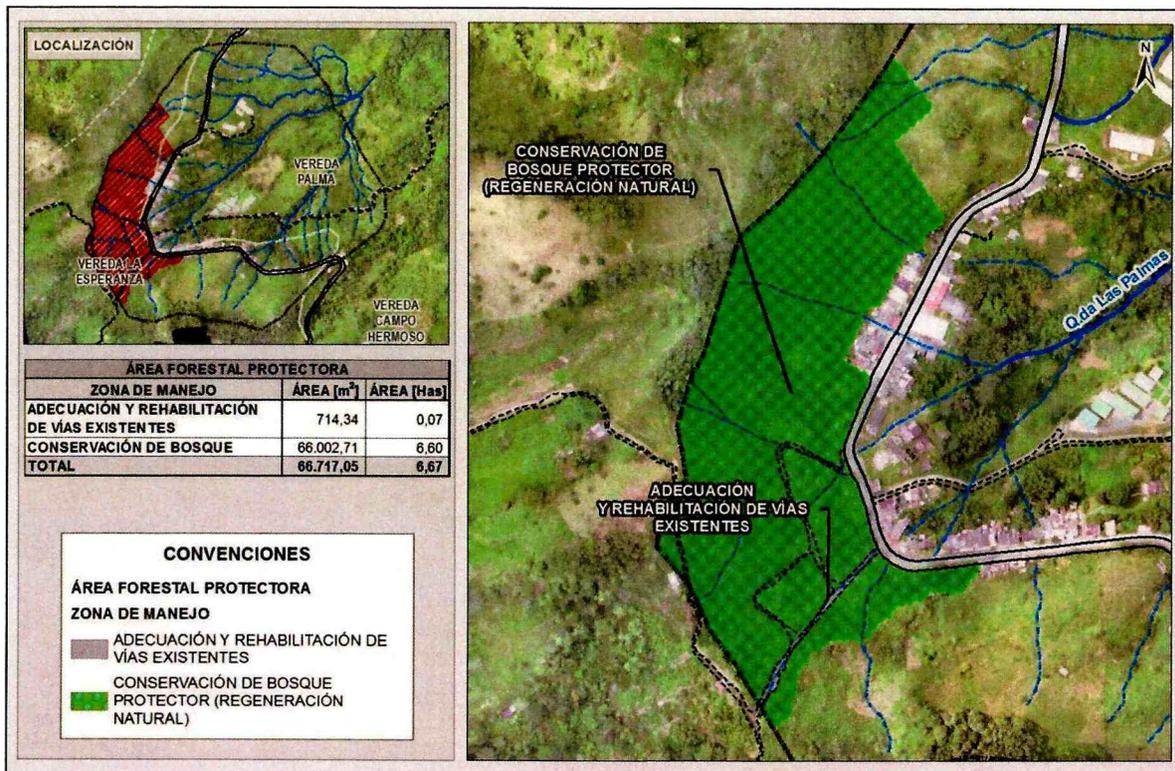
Figura 25. Detalle de las obras propuestas en la vía nacional.



Fuente: Equipo Técnico – UIS

En relación a la malla vial al occidente de la vía nacional, en el Plan la Prevención y Mitigación de los Fenómenos de Remoción en Masa se contempla la reubicación de las edificaciones de la zona inestable y la creación de una zona de conservación de bosque protector en su lugar, lo cual implica la realización de obras de mejoramiento de la vía que conduce al filo de la montaña que comunica al centro poblado con otros asentamientos y con sectores de producción agrícola, como pavimentación y construcción de estructuras para el manejo de aguas lluvias (ver figura 26).

Figura 26. Esquema del Proyecto 3 del Subprograma de Mitigación de la Amenaza en donde se contempla el mejoramiento de la red vial local. Subproyecto 1.

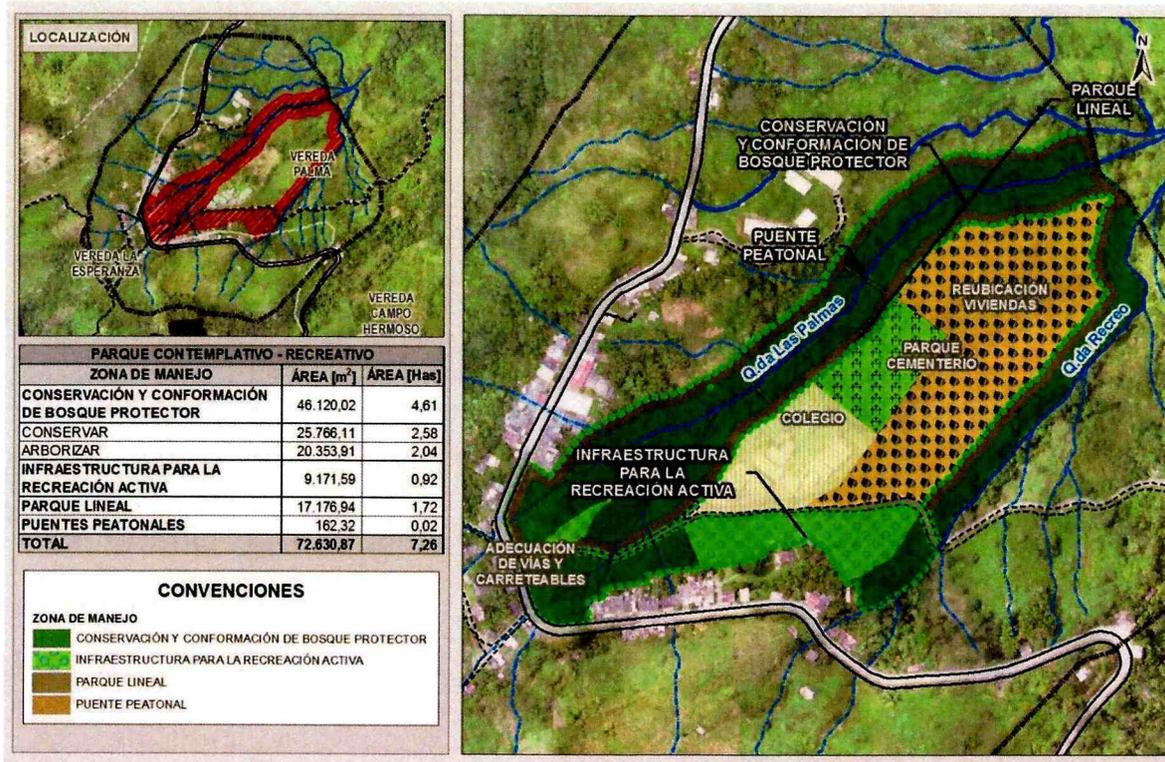


Fuente: Equipo Técnico – UIS

El corredor cotas debajo de la vía nacional y que conduce hacia el nuevo colegio se verá afectado por la reubicación de las viviendas en zona de riesgo alto no mitigable, que implicará su mejoramiento y la construcción de una estructura de pavimento adecuada que cumpla con la normatividad vigente y garantice el tránsito de vehículos y peatones a la zona de reubicación.

Por otra parte, el Proyecto 3 (Subproyecto 2 – Conformación de un Parque Contemplativo Recreativo) contempla la construcción de puentes peatonales sobre la quebrada El Carmen que conectarán el barrio de viviendas reubicadas con los sectores del centro poblado que se conservarán y que son parte importante de la dinámica social del sector como la iglesia y la cancha deportiva (ver figura 27).

Figura 27. Esquema del Proyecto 3 del Subprograma de Mitigación de la Amenaza. Subproyecto 2.



Fuente: Equipo Técnico – UIS

6. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Argyroudis, S., Ptilakis, K. & Anastasiadis, A. (mayo de 2005). Roadway network seismic risk analysis in urban areas: the case of Thessaloniki-Greece. Ponencia presentada en Proceedings of International Symposium of Geoline.

Du, J., Yin, K., Lacasse, S. & Nadim, F. (2013). Quantitative vulnerability estimation for individual landslides. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. París.

Du, J., Yin, K., Lacasse, S. & Nadim, F. (2013). Quantitative vulnerability estimation of structures for individual landslide: application to the metropolitan area of San Salvador. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 19, 1251-1264.

Instituto Nacional de Vías (Invías) (octubre de 2006a). Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587- 03. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá: Invías-UNAL.

Instituto Nacional de Vías (Invías) (octubre de 2006b). Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587- 03. Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos. Invías-UNAL.

Kaynia, A. M., Papathoma-Köhle, M., Neuhäuser, B., Ratzinger, K., Wenzel, H. & Medina-Cetina, Z. (2008). Probabilistic assessment of vulnerability to landslide: application to the village of Lichtenstein, Baden-Württemberg, Germany. Engineering Geology, 101

Uzielli, M., Nadim, F., Lacasse, S. & Kaynia, A. M. (2008). A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. Engineering Geology, 102

Yamín, L. E., Ghesquiere, F., Cardona, O. D. & Ordaz, M. G. (2013). Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastres: el caso de Bogotá, Colombia. Banco Mundial, Universidad de los Andes.

Servicio Geológico Colombiano (2015). Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Escala detallada. Bogotá, D.C.