Estudio de Impacto Ambiental

Capítulo 10

Planes y Programas

Anexo. 10.4

Avenidas Torrenciales

Julio de 2021

Calle 33 A # 71 - 83, Medellín • Tel: (57) (4) 448 47 50
Info@praming.com.co • www.praming.com.co

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO i
LISTADO DE FIGURAS ii
LISTADO DE TABLAS iv
ANEXO 10.4 AVENIDAS TORRENCIALES AFLUENTES MARGEN DERECHA, TRAMO CON CAUDAL REDUCIDO RÍO COCORNÁ 5
1 CARACTERISTICAS hidrológicas generales 5
2 Riesgo por avenida torrencial afluentes margen derecha río cocorná 7
2.1 Susceptibilidad por Avenidas Torrenciales 10
2.1.1 Clasificación morfométrica 10
2.1.1.1 Pendiente media 11
2.1.1.2 Densidad de drenaje 16
2.1.1.3 Coeficiente de compacidad 21
2.1.1.4 Clasificación morfométrica resultado 25
2.1.2 Precipitación 29
2.1.3 Cobertura superficial 33
2.1.4 Material superficial 38
2.1.5 Geomorfología 42
2.1.6 Resultados Susceptibilidad por Avenida Torrencial 47
2.2 Amenaza por avenida torrencial 51
2.3 Vulnerabilidad por avenida torrencial 57
2.3.1 Vulnerabilidad biótica 57
2.3.2 Vulnerabilidad socioeconómica 58
2.3.3 Vulnerabilidad física 61
2.3.4 Vulnerabilidad 67
2.4 Riesgo por avenida torrencial 68
BIBLIOGRAFÍA 73

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1-1. Principales afluentes margen derecha del tramo con caudal reducido 6
Figura 2-1. Esquema Metodológico determinación riesgo por avenida torrencial 9
Figura 2-2. Esquema Metodológico determinación susceptibilidad por avenida torrencial 10
Figura 2-3. Esquema determinación clasificación morfométrica 11
Figura 2-4 Pendiente media Q. La Dolores 13
Figura 2-5 Pendiente media Q. La Pisquina 14
Figura 2-6 Pendiente media Q. La Rumbona 15
Figura 2-7 Densidad de drenaje Q. La Dolores 18
Figura 2-8 Densidad de drenaje Q. La Pisquina 19
Figura 2-9 Densidad de drenaje Q. La Rumbona 20
Figura 2-10 Coeficiente de compacidad Q. La Rumbona 22
Figura 2-11 Coeficiente de compacidad Q. La Pisquina 23
Figura 2-12 Coeficiente de compacidad Q. La Dolores 24
Figura 2-13 Clasificación morfométrica Q. La Dolores.....26
Figura 2-14 Clasificación morfométrica Q. La Pisquina 27
Figura 2-15 Clasificación morfométrica Q. La Rumbona 28
Figura 2-16 Precipitación Q. La Rumbona.....30
Figura 2-17 Precipitación Q. La Pisquina 31
Figura 2-18 Precipitación Q. La Dolores.....32
Figura 2-19 Coberturas Q. La Pisquina 35
Figura 2-20 Coberturas Q. La Dolores.....36
Figura 2-21 Coberturas Q. La Rumbona 37
Figura 2-22 Material superficial Q. La Pisquina 39
Figura 2-23 Material superficial Q. La Dolores.....40
Figura 2-24 Material superficial Q. La Rumbona. 41
Figura 2-25 Geomorfología Q. La Pisquina 44
Figura 2-26 Geomorfología Q. La Dolores.....45
Figura 2-27. Geomorfología Q. La Rumbona.....46
Figura 2-28. Susceptibilidad por eventos de avenida torrencial Q. La Pisquina. 48
Figura 2-29. Susceptibilidad por eventos de avenida torrencial Q. La Dolores 49
Figura 2-30. Susceptibilidad por eventos de avenida torrencial Q. La Rumbona 50
Figura 2-31. Esquema Metodológico determinación amenaza por avenida torrencial 51
Figura 2-33 Amenaza por avenida torrencial Q. La Pisquina.....53
Figura 2-34 Amenaza por avenida torrencial Q. La Dolores 54
Figura 2-35 Amenaza por avenida torrencial Q. La Rumbona. 55
Figura 2-36. Mapa de amenaza por avenida torrencial para Cocorná 56
Figura 2-37. Esquema Metodológico Vulnerabilidad.....57
Figura 2-38. Esquema Metodológico Vulnerabilidad física 63
Figura 2-39 Vulnerabilidad avenidas torrenciales Q. La Dolores 64
Figura 2-40 Vulnerabilidad avenidas torrenciales Q. La Pisquina.....65
Figura 2-41. Vulnerabilidad avenidas torrenciales Q. La Rumbona 66
Figura 2-42. Esquema metodológico riesgos.....68

Figura 2-43 Riesgo por avenida torrencial Q. La Pisquina.....70
Figura 2-44 Riesgo por avenida torrencial Q. La Dolores.....71
Figura 2-45 Riesgo por avenida torrencial Q. La Rumbona.....72

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1-1. Principales características red de drenaje de la margen derecha del río Cocorná en el tramo de estudio.....7
Tabla 2-1 Normalización de valores de pendiente para amenaza por movimiento en masa.....11
Tabla 2-2. Pendiente media por categoría, área y porcentaje.....12
Tabla 2-3 Normalización de valores de densidad de drenaje para avenidas torrenciales.....16
Tabla 2-4. Densidad de drenaje normalizada por categorías.....17
Tabla 2-5. Valores de normalización para índice de compacidad.....21
Tabla 2-6. Índice de compacidad por categoría.....21
Tabla 2-7. Clasificación morfométrica.....25
Tabla 2-8. Normalización de valores de precipitación en mm/año.....29
Tabla 2-9. Normalización de las coberturas en el área de estudio.....33
Tabla 2-10. Distribución porcentual por categorías de las coberturas normalizadas.....34
Tabla 2-11. Normalización de las categorías de material superficial.....38
Tabla 2-12. Distribución porcentual por categorías del material superficial.....38
Tabla 2-13. Normalización de unidades geomorfológicas.....42
Tabla 2-14. Distribución porcentual por categorías de la variable geomorfológica.....43
Tabla 2-15. Susceptibilidad Avenida torrencial por categoría.....47
Tabla 2-16. Amenaza avenida torrencial por categoría.....52
Tabla 2-17. Calificación de la vulnerabilidad.....58
Tabla 2-18. Vulnerabilidad Biótica.....58
Tabla 2-19 Variables y fuentes de información para el análisis de la vulnerabilidad socioeconómica.....59
Tabla 2-20. Vulnerabilidad Socioeconómica.....60
Tabla 2-21. Variables y fuentes de información vulnerabilidad física.....61
Tabla 2-22. Vulnerabilidad Física.....62
Tabla 2-23. Vulnerabilidad de las veredas del área de influencia.....63
Tabla 2-24. Vulnerabilidad.....67
Tabla 2-25. Riesgo avenida torrencial por categoría.....68

ANEXO 10.4 AVENIDAS TORRENCIALES AFLUENTES MARGEN DERECHA, TRAMO CON CAUDAL REDUCIDO RÍO COCORNÁ

1 CARACTERISTICAS HIDROLÓGICAS GENERALES

El proyecto hidroeléctrico Cocorná III está localizado en el municipio de Cocorná en el departamento de Antioquia, sobre el río Cocorná, entre las cotas 1.345 msnm y 1.122 msnm aproximadamente, en el área hidrográfica del Magdalena – Cauca, zona hidrográfica del Medio Magdalena y subzona hidrográfica del Río Nare (código de la zonificación hidrográfica del Ideam 2308-03).

La Cuenca del Río Cocorná, delimitada hasta la desembocadura al río Calderas, está localizada en territorio de los municipios de El Carmen de Viboral, Santuario, Granada y Cocorná, sobre la cordillera Central y desemboca al río Calderas aproximadamente en la cota 746 msnm, en las coordenadas 888.429 Este y 1.157.590 Norte (sistema de coordenadas Magna Sirgas origen Bogotá).

La Cuenca del Río Cocorná hace parte de la cuenca hidrográfica del río Samaná Norte (clasificada por el Ideam con el código 2308-03), la cual tiene un área cercana a las 2.008,3 km^2, una altura máxima de 3.177 msnm y su punto más bajo a los 150 msnm, descargando sus aguas a la Cuenca del río Nare y este a la cuenca del Río Magdalena a una altura aproximada de 137 msnm en el municipio de Puerto Nare.

Este ecosistema hídrico tiene un área cercana a los 373,7 km^2, nace a una altura aproximada de 2.843 msnm y se extiende en su totalidad en jurisdicción de Cornare. Entre principales afluentes en la margen derecha del tramo con caudal reducido se encuentran las quebradas La Pisquina, La Rumbona y La Dolores (Figura 1-1).

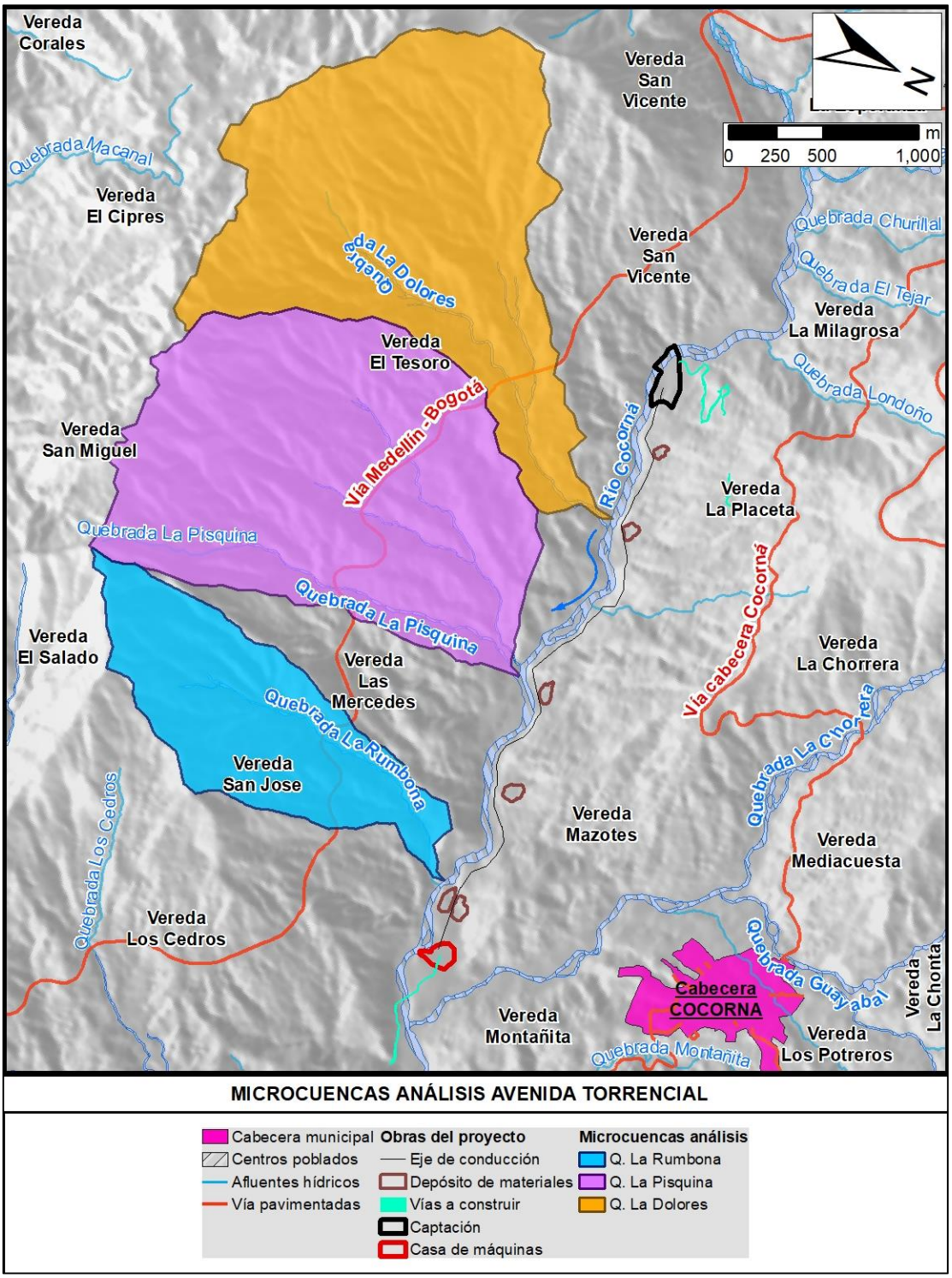

Figura 1-1. Principales afluentes margen derecha del tramo con caudal reducido

En la Tabla 1-1 se presentan las características de la red de drenaje de la margen derecha del río Cocorná en el tramo de estudio.

Tabla 1-1. Principales características red de drenaje de la margen derecha del río Cocorná en el tramo de estudio.

Variable	Subcuencas		
	Q. La Rumbona	Q. La Pisquina	Q. La Dolores
Área (km^2)	1,2	3,0	2,78
Perímetro (km)	5,9	7,4	9,09
Cota inferior de la cuenca (msnm)	1169	1234	1.278
Cota superior de la cuenca (msnm)	2.172	2.248	2.332
Altura promedio de la cuenca (msnm)	1.562	1.656	1.799
Pendiente máxima de la cuenca (%)	326,2	272,1	172,2
Pendiente media de la cuenca (%)	48,8	55,9	59
Longitud del cauce principal (km)	1,6	1,5	2,5
Cota superior del canal principal (msnm)	1.508	1.514	1.963
Cota inferior del canal principal (msnm)	1.169	1.233	1.278
Pendiente media del cauce (%)	20,6	19,3	16,4
Número de orden	2	3	3
Caudal (m3/s)	0,32	0,14	0,28

Q: quebrada

2 RIESGO POR AVENIDA TORRENCIAL AFLUENTES MARGEN DERECHA RÍO COCORNÁ

Las avenidas torrenciales son un tipo de movimiento en masa que se desplaza generalmente por los cauces de las quebradas, llegando a transportar volúmenes importantes de sedimentos y escombros, con velocidades peligrosas para los

habitantes e infraestructura ubicados en las zonas de acumulación de cuencas de montaña susceptibles de presentar este tipo de fenómenos (Acosta, 2012).

Las cuencas susceptibles ante eventos de avenida torrencial presentan algunas o la totalidad de las características listadas a continuación según Cornare & Gobernación de Antioquia (2012):

- Cuencas jóvenes y pequeñas menores a 200 km^2
- Cuencas en regiones montañosas y escarpadas
- Alta pendiente del canal central y de la pendiente media de la cuenca
- Gran capacidad de socavación e incisión del cauce
- Abundante material detrítico a ser arrastrado
- Capacidad de transporte de materiales heterométricos
- Cuencas con valles o cañones estrechos en V
- Gran variabilidad del caudal máximo y mínimo en la cuenca
- Geoforma alargada de la cuenca
- Variaciones extremas en los valores pico de precipitación
- Alta susceptibilidad ante procesos de remoción en masa

Para la determinación de la torrencialidad de una cuenca se deben revisar las condiciones geomorfológicas y morfométricas en las subcuencas presentes, en combinación con las características de la precipitación, coberturas y material superficial en la zona analizada.

En ese sentido el riesgo por eventos de avenida torrencial queda determinado por el producto entre la vulnerabilidad y la amenaza, como se muestra en el esquema de la Figura 2-1.

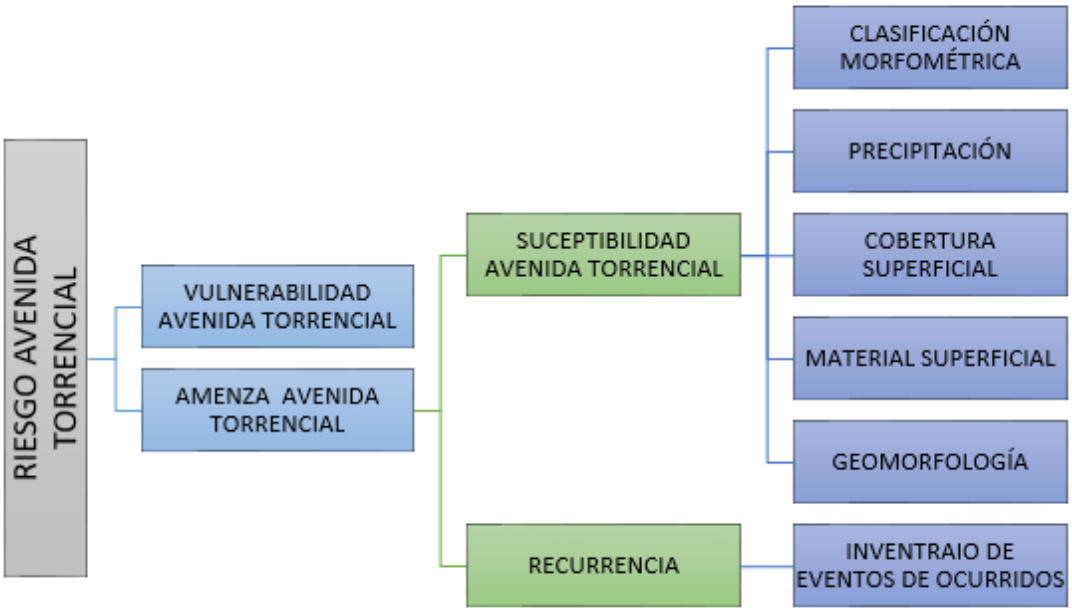

Figura 2-1. Esquema Metodológico determinación riesgo por avenida torrencial

Fuente: Adaptado de Cornare & Gobernación de Antioquia (2012)

2.1 Susceptibilidad por Avenidas Torrenciales

La susceptibilidad por eventos de avenida torrencial queda determinada por la combinación de las temáticas clasificación morfométrica, geomorfología, precipitación, cobertura superficial y material superficial como se muestra en el esquema de la Figura 2-2.

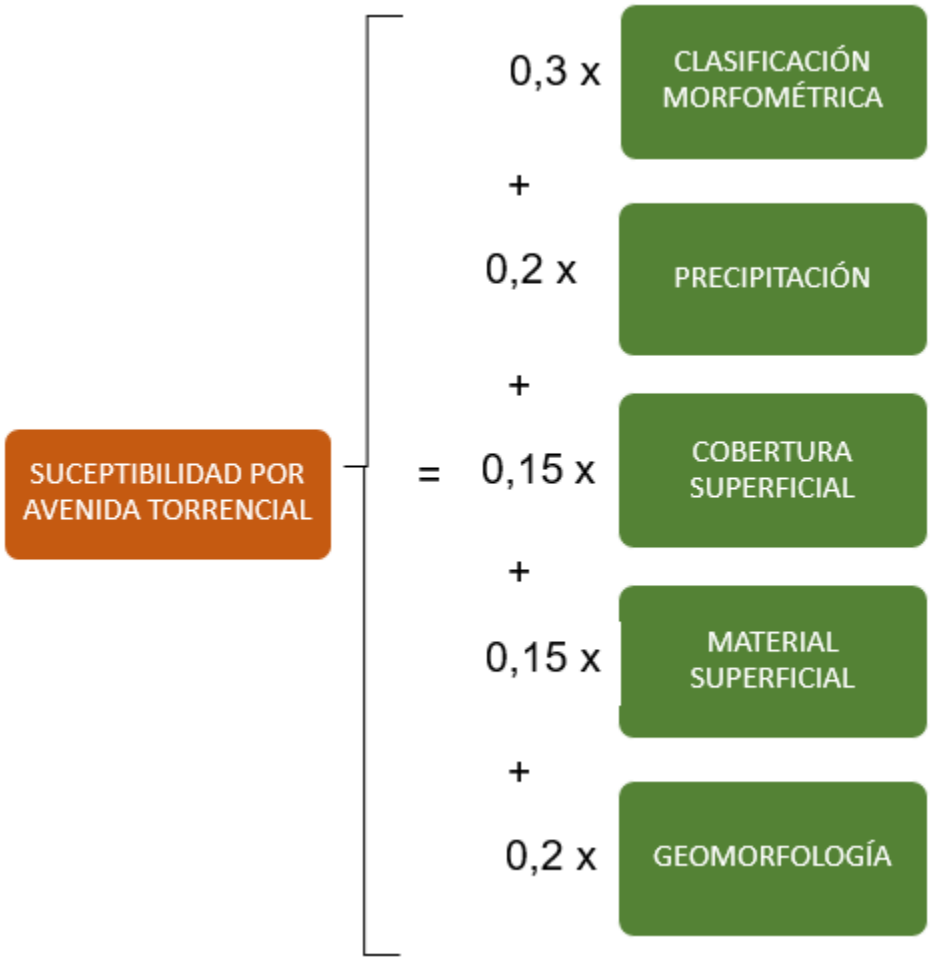

Figura 2-2. Esquema Metodológico determinación susceptibilidad por avenida torrencial

2.1.1 Clasificación morfométrica

La estimación de la clasificación morfométrica se realiza a través de la suma ponderada de los parámetros de pendiente media, coeficiente de compacidad y

densidad de drenaje para las subcuencas de las quebradas La Pisquina, La Rumbona y la Dolores (Figura 2-3).

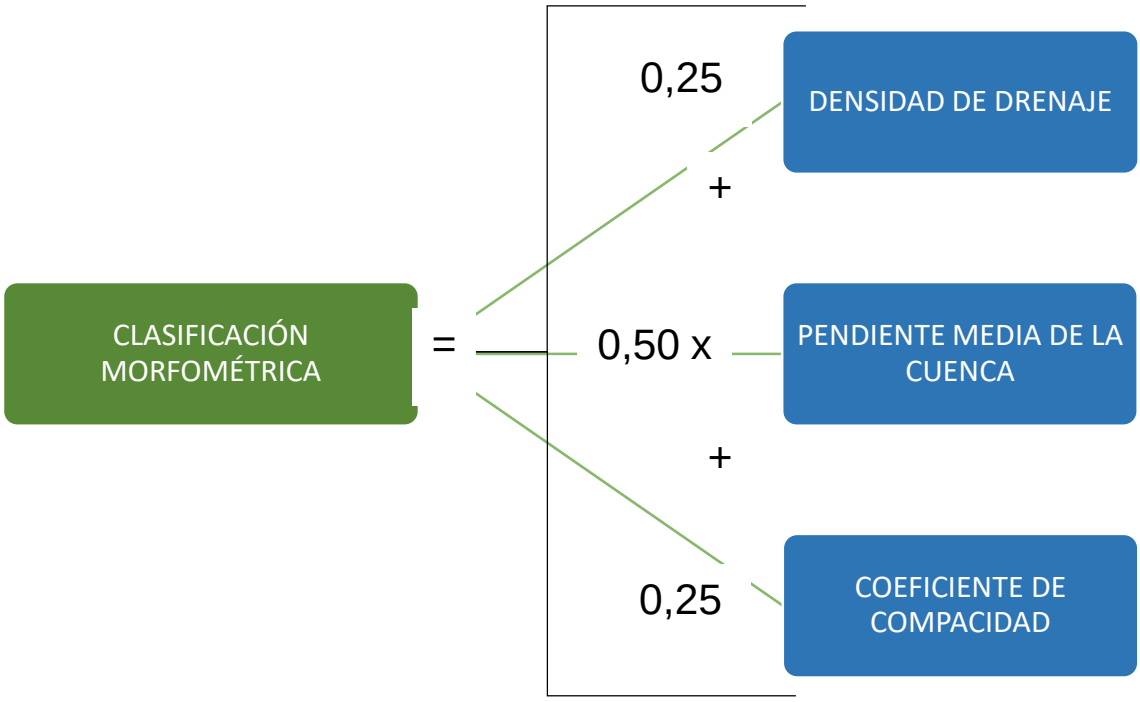

Figura 2-3. Esquema determinación clasificación morfométrica

Fuente: Adaptado de Cornare & Gobernación de Antioquia (2012)

2.1.1.1 Pendiente media

Para las subcuencas de las quebradas La Dolores, La Pisquina y La Rumbona, la pendiente media normalizada en rangos de valores Muy Alta (7-9), Alta (5-7), Media (3-5), Baja (1-3) y Muy Baja (0-1), que le permitan combinarse en operaciones aritméticas para la determinación de la susceptibilidad. Para el análisis de los eventos de avenida torrencial la normalización de las variables se considera en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1 Normalización de valores de pendiente para amenaza por movimiento en masa

Valor Pendiente (%)	Valor Normalizado	Categoría
<5	1	Muy bajo
5 - 12	3	Bajo
12 - 35	5	Medio
35 - 75	7	Alto

Valor Pendiente (%)	Valor Normalizado	Categoría
> 75	9	Muy alto

Fuente: Adaptado de Cornare & Gobernación de Antioquia (2012)

En el caso de la pendiente esta fue determinada por medio del modelo de elevación digital, elaborado a partir de curvas de nivel de la cartografía oficial del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y normalizada por medio de proceso de reclasificación.

De acuerdo con los rangos utilizados en la Tabla 2-1 para las subcuencas de las quebradas La Pisquina, La Rumbona y la Dolores, los resultados se presentan en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Pendiente media por categoría, área y porcentaje

Cuenca	Categoría	Área [ha]	Porcentaje
Q. La Dolores	Alta	277,3	100%
Q. La Pisquina	Alta	300,6	100%
Q. La Rumbona	Alta	124,4	100%

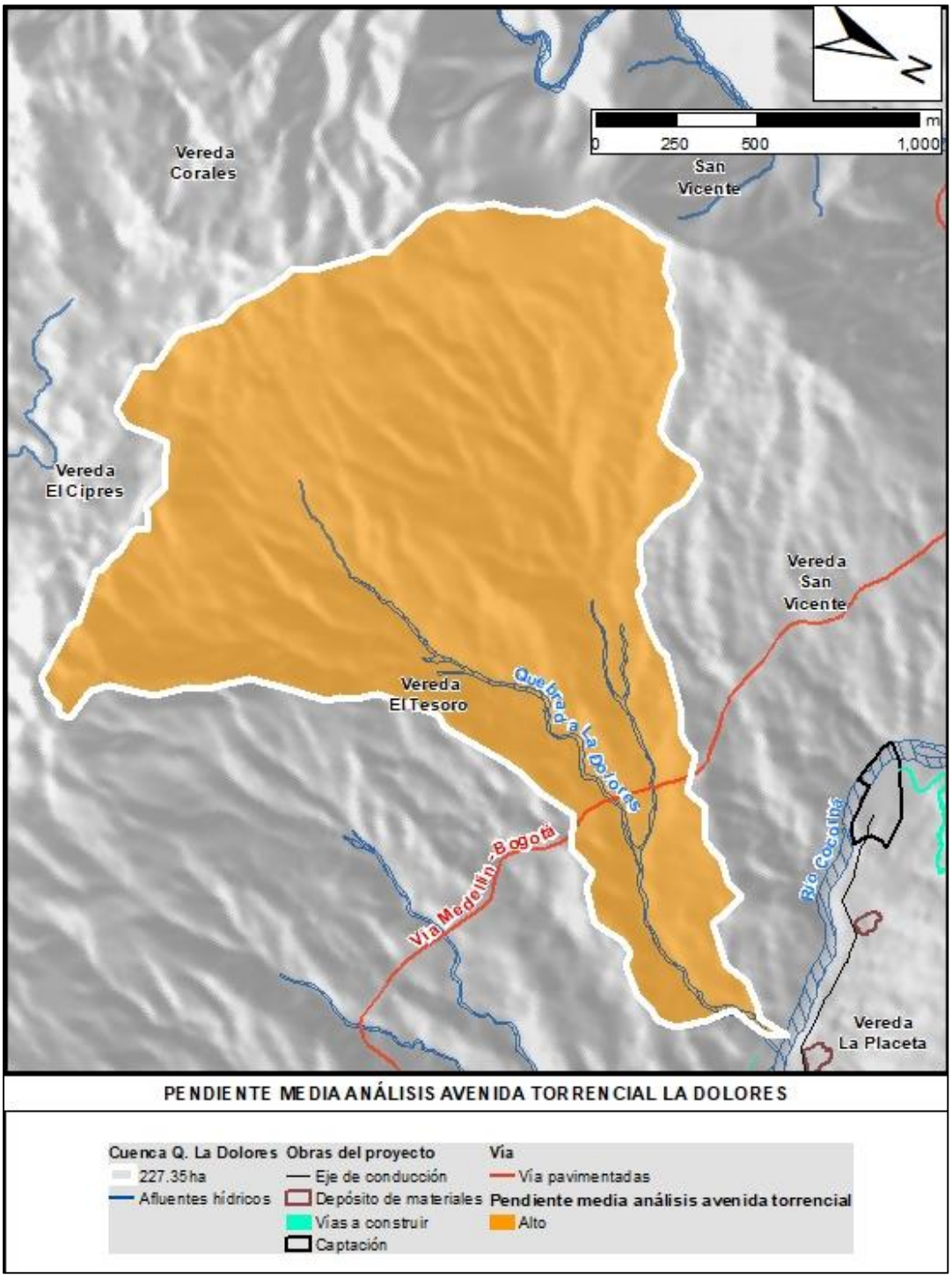

Figura 2-4 Pendiente media Q. La Dolores

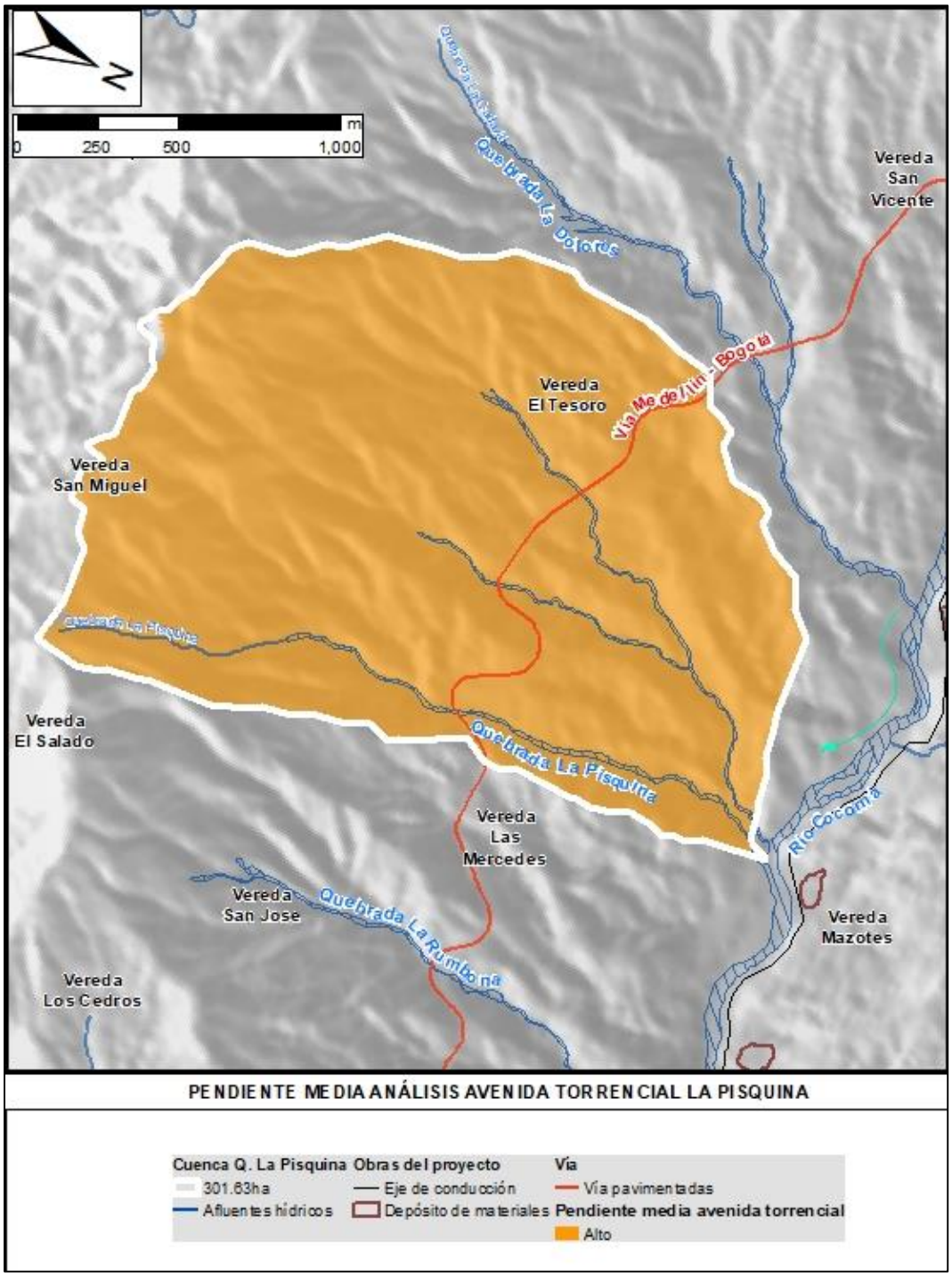

Figura 2-5 Pendiente media Q. La Pisquina

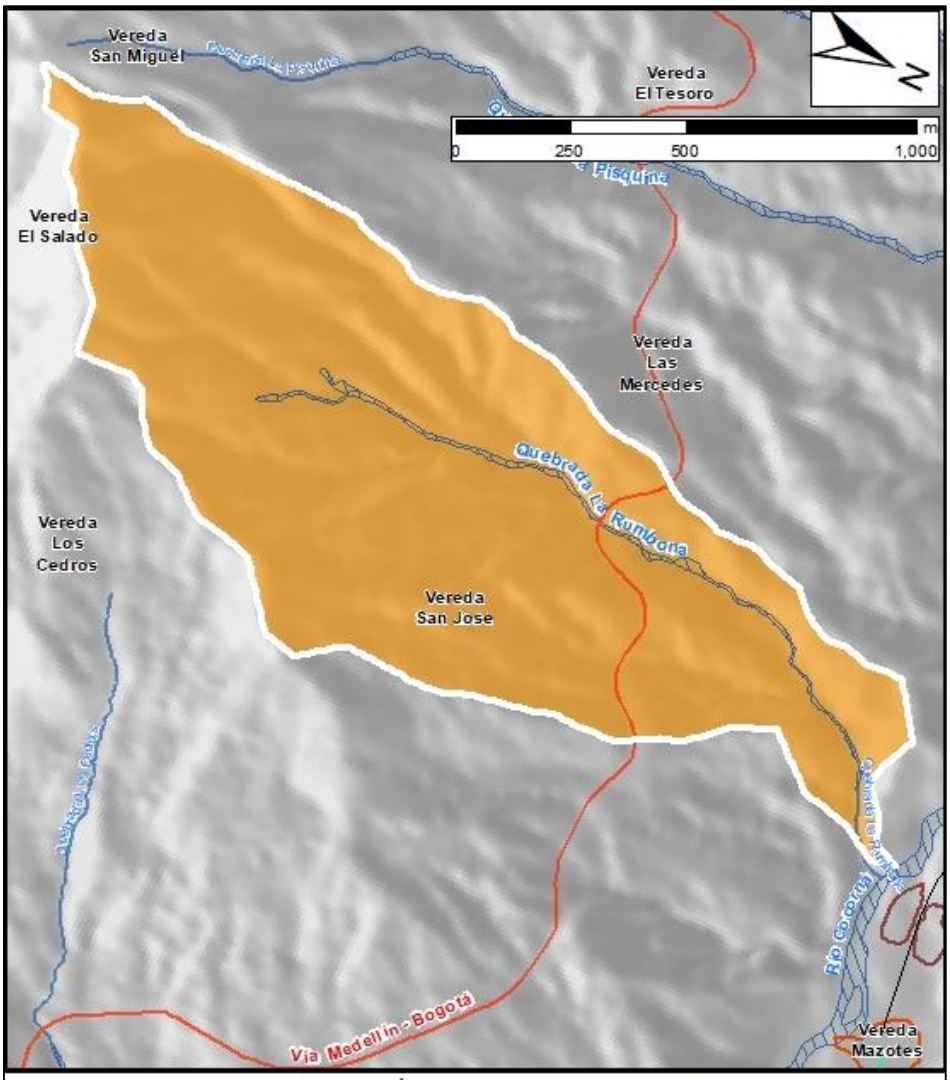

Figura 2-6 Pendiente media Q. La Rumbona

2.1.1.2 Densidad de drenaje

El parámetro de densidad de drenaje se determina teniendo en cuenta la relación entre el área de las subcuencas resaltadas y la extensión de afluentes o red de drenaje correspondiente. Una vez normalizados los valores resultantes del proceso se muestran tanto la distribución espacial, como la proporcionalidad para los parámetros en el área de las cuencas de las quebradas La Pisquina, La Dolores y la Rumbona (Ver Figura 2-7, Figura 2-8, Figura 2-9 y Tabla 2-4).

Para las subcuencas de las quebradas La Dolores, La Pisquina y La Rumbona, la densidad de drenaje es normalizada en rangos de valores Muy Alta (9), Alta (7), Media (5), Baja (3) y Muy Baja (1), que le permitan combinarse en operaciones aritméticas para la determinación de la susceptibilidad. Para el análisis de los eventos de avenida torrencial la normalización de las variables se considera en la Tabla 2-3:

Tabla 2-3 Normalización de valores de densidad de drenaje para avenidas torrenciales

Rango densidad de drenaje	Valor Normalizado	Categoría
<1,3	1	Muy bajo
1,3-1,5	3	Bajo
1,5– 2,1	5	Medio
2,1-2,4	7	Alto
> 2,4	9	Muy alto

Fuente: Adaptado de Cornare & Gobernación de Antioquia (2012)

Tabla 2-4. Densidad de drenaje normalizada por categorías

Cuenca	Categoría	Rango densidad de drenaje	Área [ha]	Porcentaje
Q. La Dolores	Muy alto	> 2,44	275,5	99,4%
	Alto	2,10-2,44	1,8	0,6%
	Total		277.3	100%
Q. La Pisquina	Muy alto	> 2,44	300,6	100%
Q. La Rumbona	Alto	2,10-2,44	124,4	100%

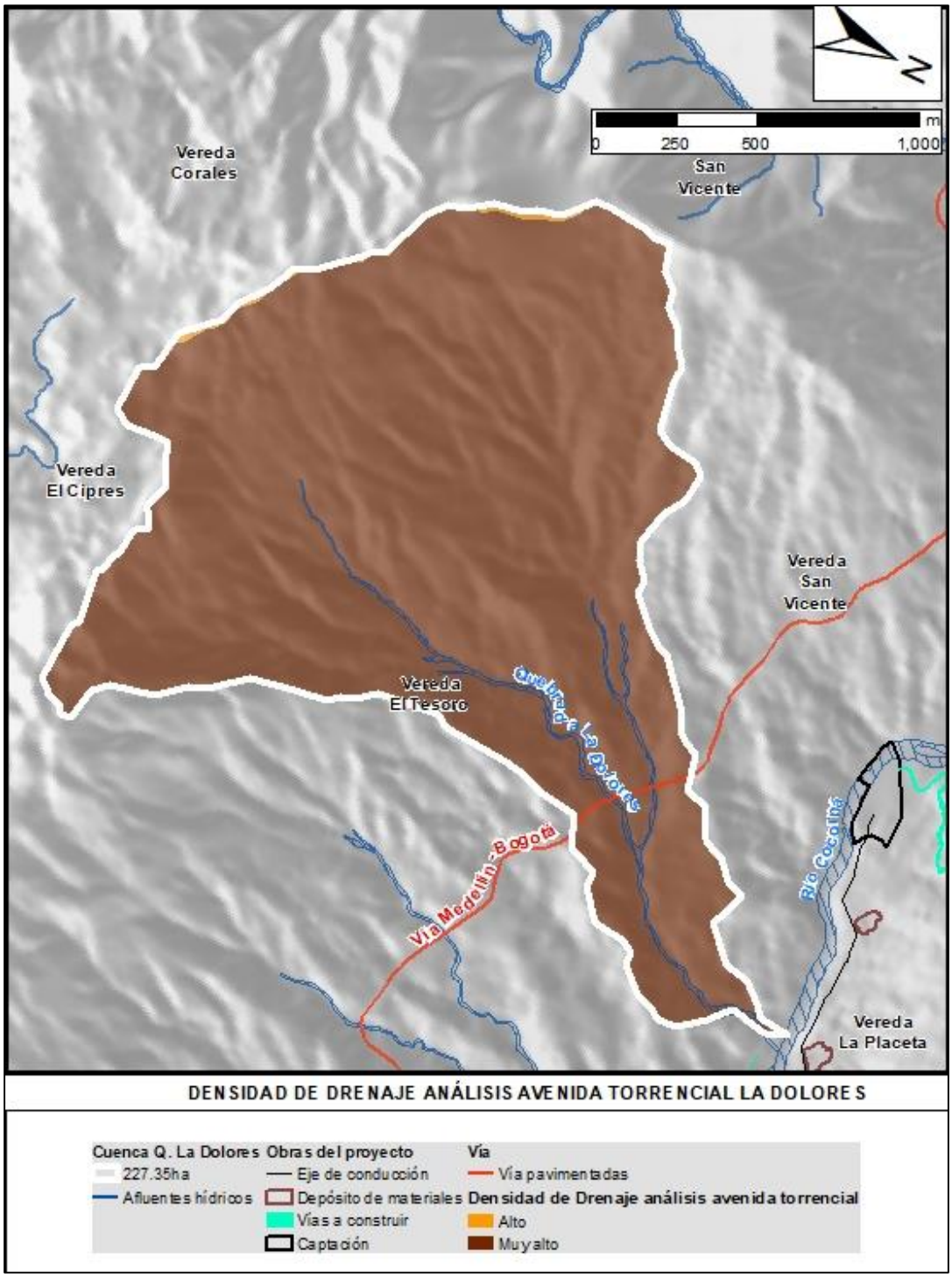

Figura 2-7 Densidad de drenaje Q. La Dolores

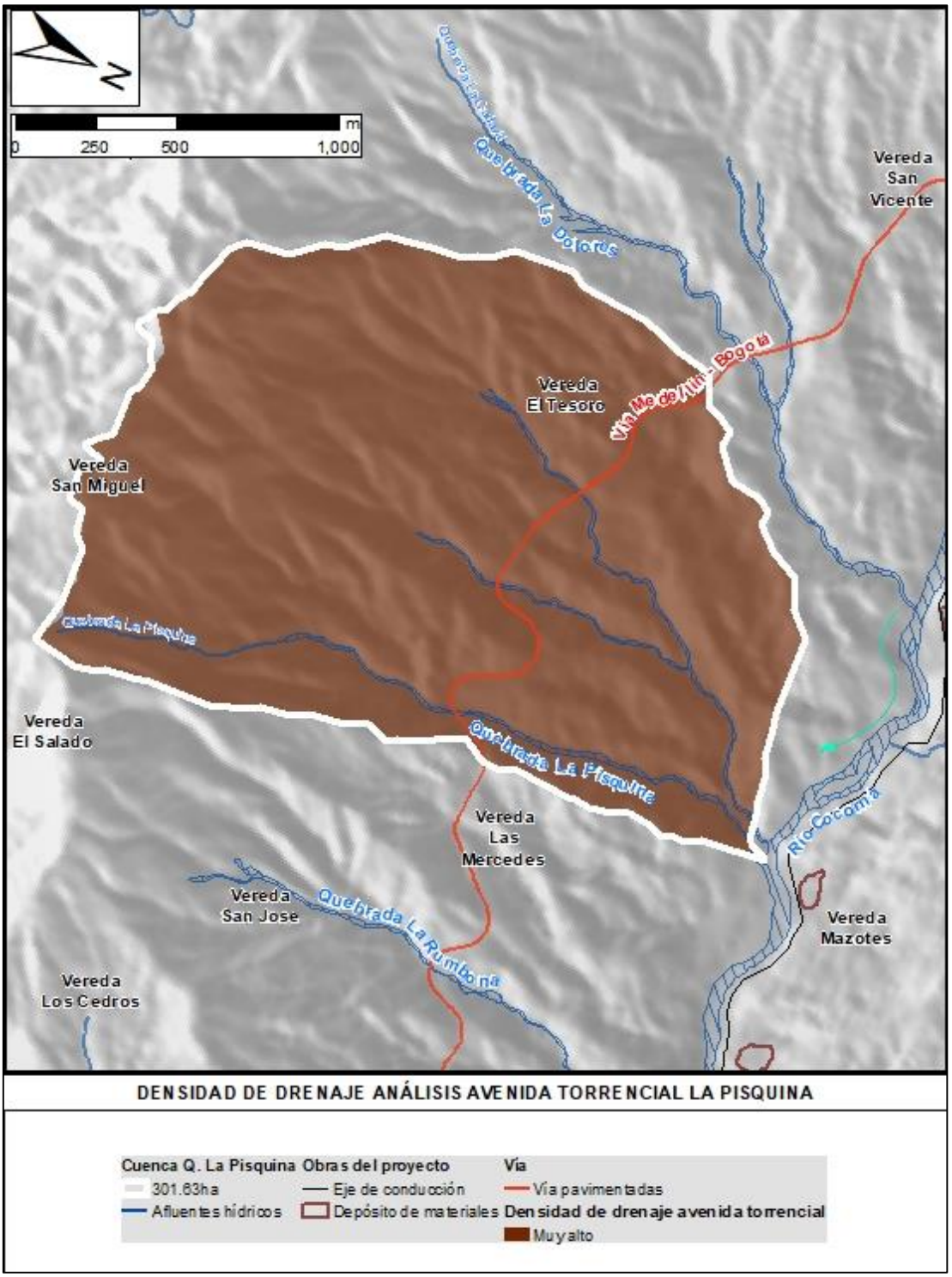

Figura 2-8 Densidad de drenaje Q. La Pisquina

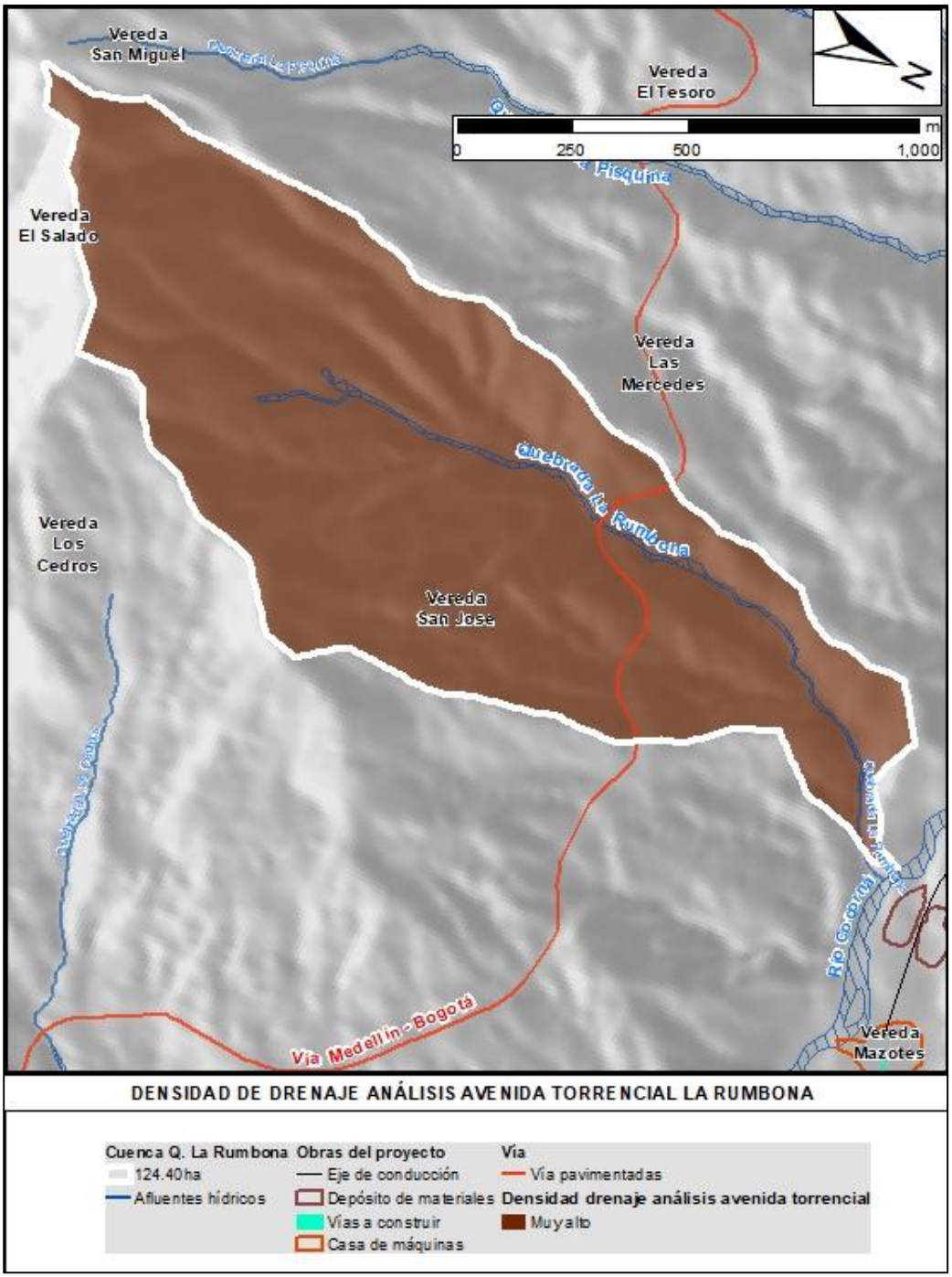

Figura 2-9 Densidad de drenaje Q. La Rumbona

2.1.1.3 Coeficiente de compacidad

El parámetro de coeficiente de compacidad se calculó con base en la Ecuación 1 teniendo en cuenta los atributos de área y perímetro de cada una de las subcuencas de las quebradas La Rumbona, La Pisquina y La Dolores.

$$KC\ (Coeficiente\ de\ compacidad) = 0{,}28\frac{P(Perimetro)}{\sqrt{A(área)}}$$

Ecuación 1 Formula para el coeficiente de compacidad

Los valores obtenidos para las subcuencas son normalizados de acuerdo con la Tabla 2-5 y luego se representaron dentro del área de las cuencas de las quebradas La Rumbona, La Pisquina y La Dolores en su dimensión espacial (Figura 2-10, Figura 2-11 y Figura 2-12 respectivamente) y el porcentaje para las categorías se encuentra plasmado en la Tabla 2-6.

Tabla 2-5. Valores de normalización para índice de compacidad

Valor Índice Compacidad	Valor Normalizado
1,148 - 1,360	3
1,361 - 1,467	5
1,468 - 1,846	7
1,847 - 2,270	9

Tabla 2-6. Índice de compacidad por categoría

Cuenca	Categoría	Área [ha]	Porcentaje
Q. La Rumbona	Muy bajo	123	98,9%
	Alto	1,4	1,1%
	Total	**124,4**	**100%**
Q. La Dolores	Medio	1,8	0,6%
	Muy bajo	275,5	99,4%
	Total	**277,3**	**100%**
Q. La Pisquina	Alto	0,04	0,001%
	Muy bajo	300,5	99,9%
	Total	**300,6**	**100%**

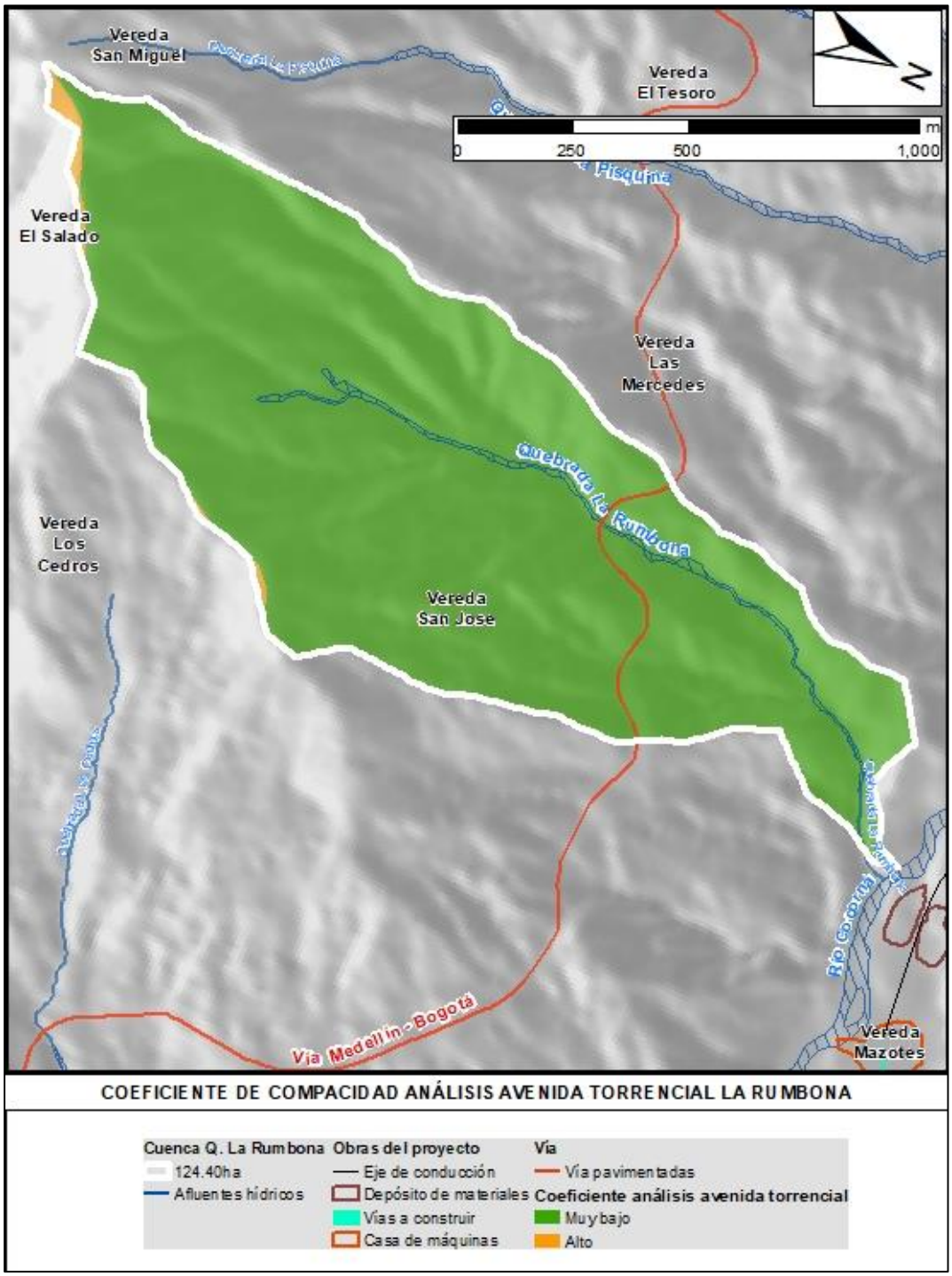

Figura 2-10 Coeficiente de compacidad Q. La Rumbona

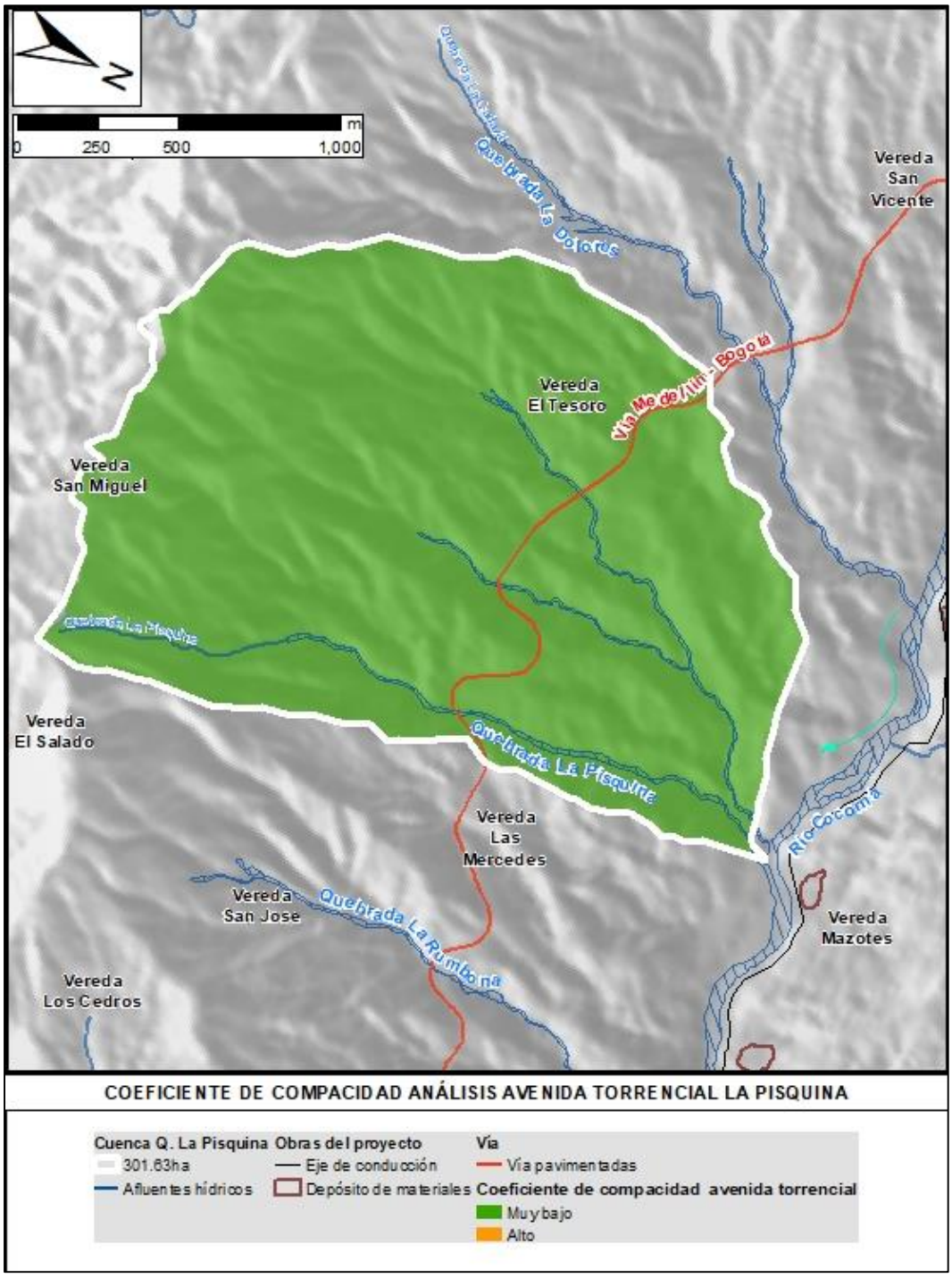

Figura 2-11 Coeficiente de compacidad Q. La Pisquina

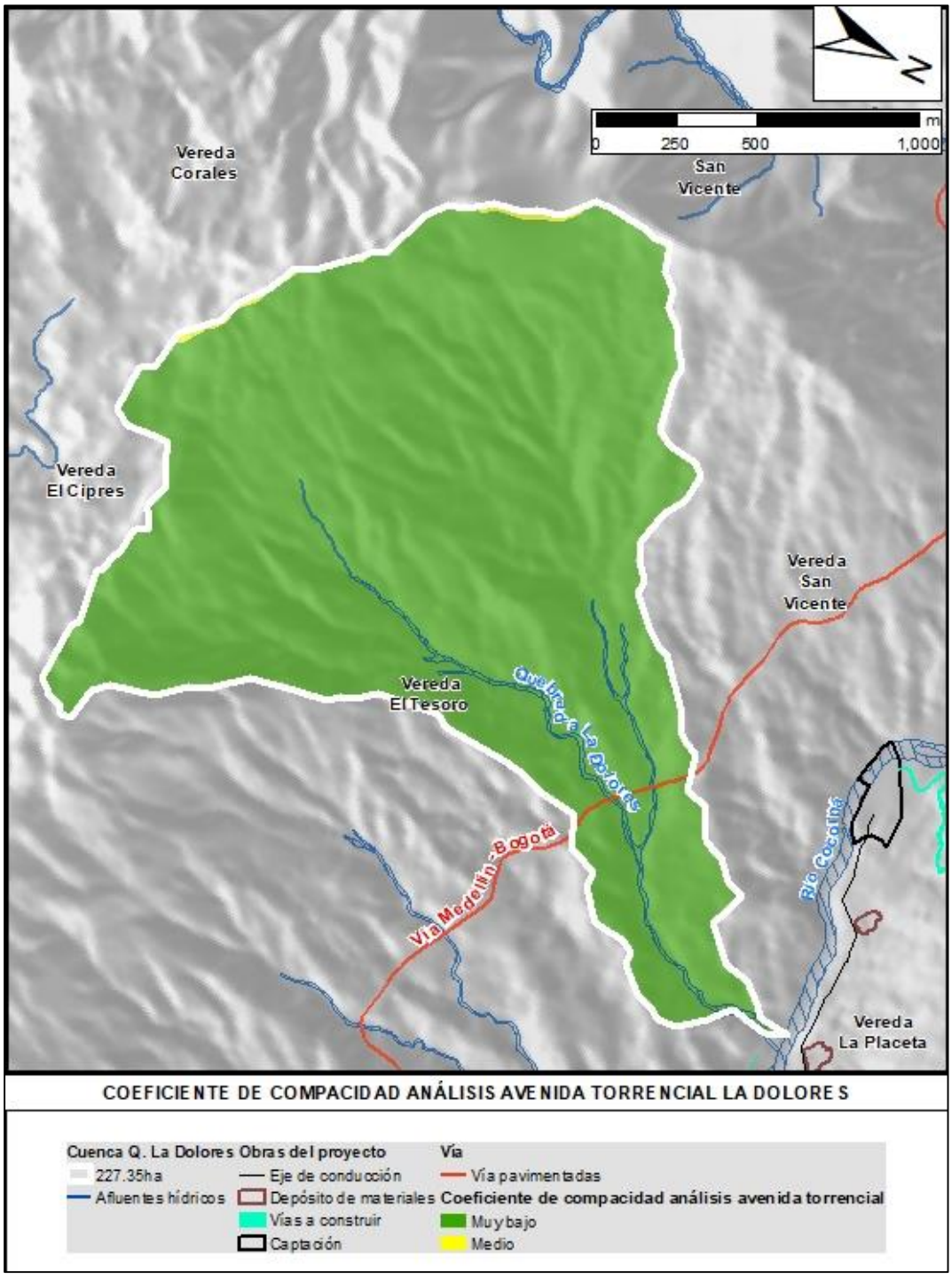

Figura 2-12 Coeficiente de compacidad Q. La Dolores

2.1.1.4 Clasificación morfométrica resultado

La combinación de los parámetros hasta ahora determinados mediante sumas ponderadas da como resultado la superficie de clasificación morfométrica para de cada una de las subcuencas de las quebradas La Rumbona, La Pisquina y La Dolores, se pueden apreciar los resultados en la Figura 2-13, Figura 2-14 y la Figura 2-15. Las extensiones por categoría se muestran en la Tabla 2-7.

Tabla 2-7. Clasificación morfométrica

Cuenca	Categoría	Área [ha]	Porcentaje
Q. La Dolores	Alto	227,2	100%
Q. La Pisquina	Muy alto	114,5	17,1%
	Alto	300,49	99,99%
	Muy alto	0,04	0,01%
	Total	**300,5**	**100%**
Q. La Rumbona	Alto	123	98,9%
	Muy alto	1,4	1,1%
	Total	**124,4**	**100%**

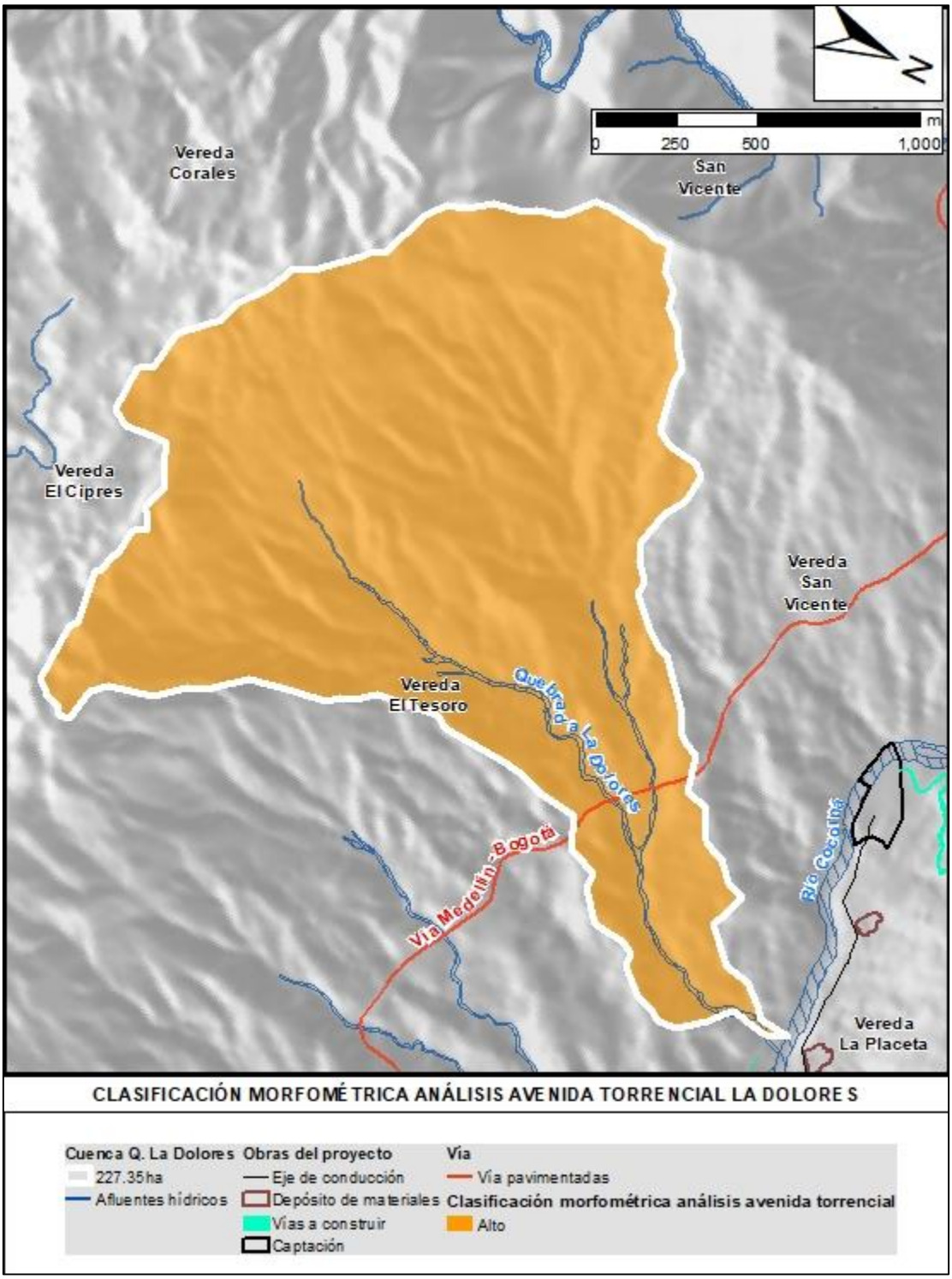

Figura 2-13 Clasificación morfométrica Q. La Dolores

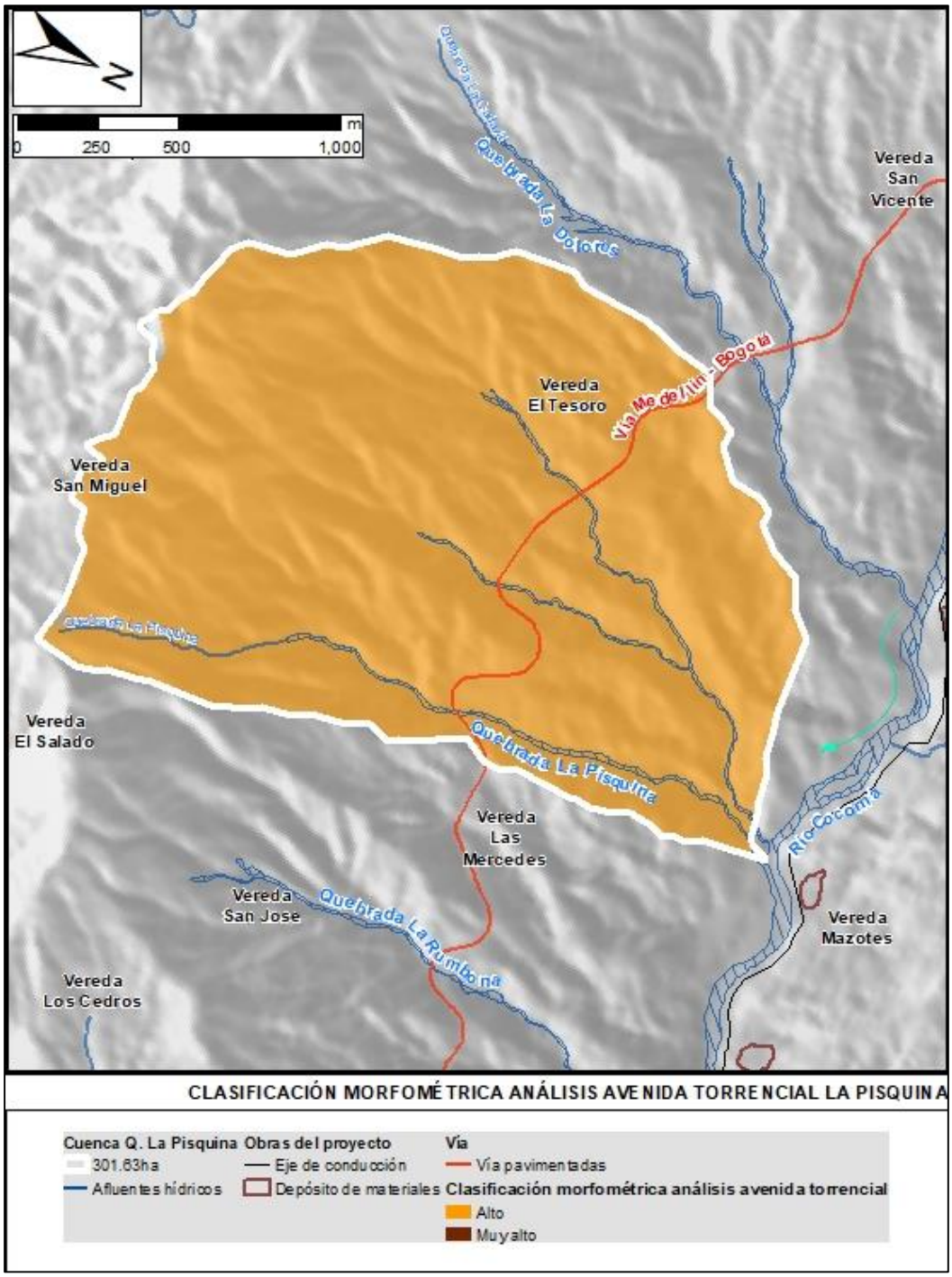

Figura 2-14 Clasificación morfométrica Q. La Pisquina

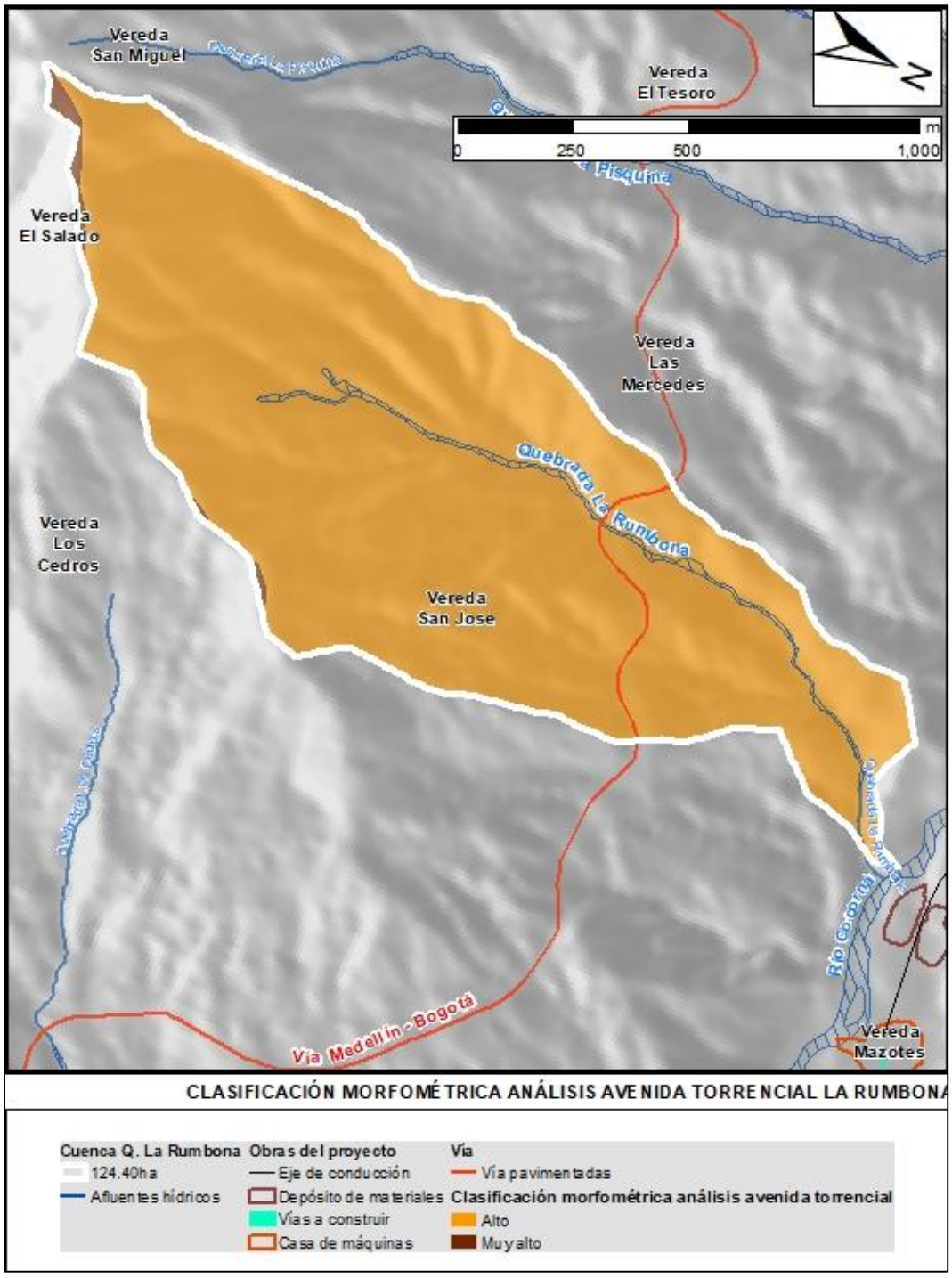

Figura 2-15 Clasificación morfométrica Q. La Rumbona

2.1.2 Precipitación

En lo que se refiere al parámetro de precipitación, este es extraído de la superficie de precipitación reclasificada de acuerdo a los valores presentados en la Tabla 2-8. Se resalta que se modifica el criterio con respecto a la metodología tomada como guía Cornare & Gobernación de Antioquia (2012)y se clasifican los valores de precipitación normalizados teniendo en cuenta el espectro nacional.

Tabla 2-8. Normalización de valores de precipitación en mm/año

Valor Precipitación (mm/año)	Valor Normalizado	Categoría
0 – 1.000	1	Muy bajo
1.000 – 2.000	3	Bajo
2.000 – 3.000	5	Medio
3.000 – 5.000	7	Alto
5.000 – 11.000	9	Muy Alto

La zona queda caracterizada por un único rango de precipitación (3.000-5.000) con categoría Alto, lo cual se muestra en la Figura 2-16, Figura 2-17 y la Figura 2-18.

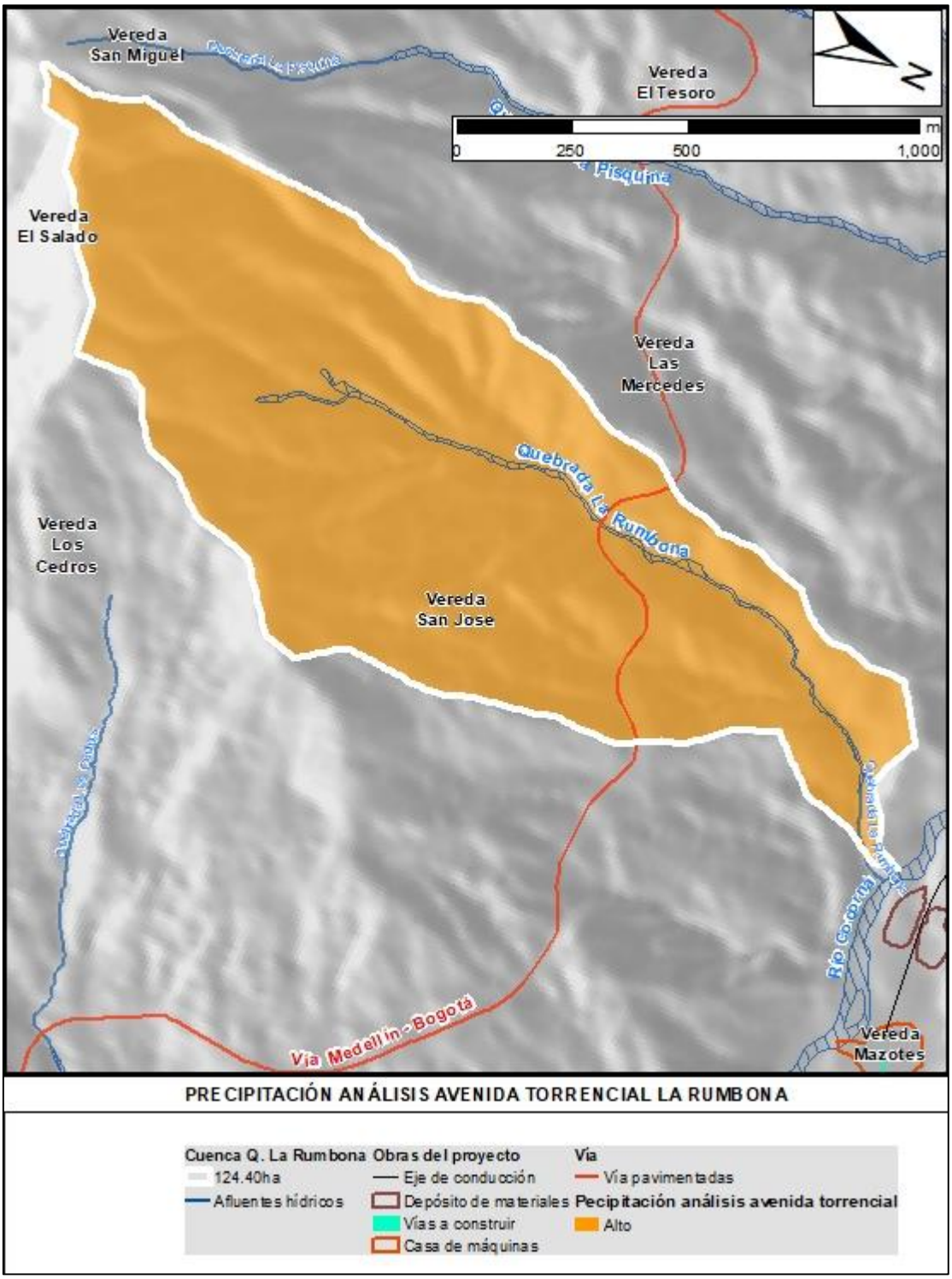

Figura 2-16 Precipitación Q. La Rumbona

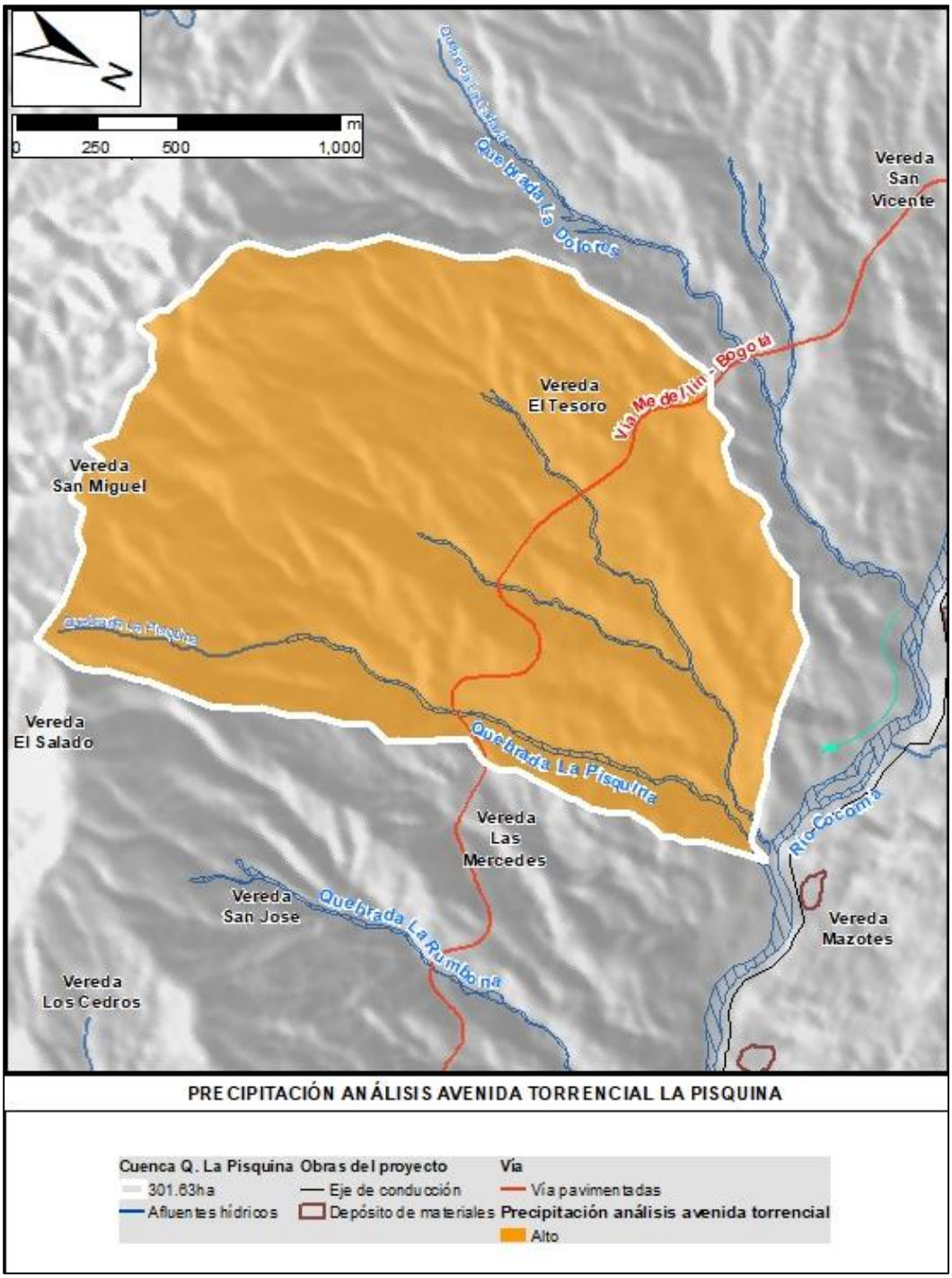

Figura 2-17 Precipitación Q. La Pisquina

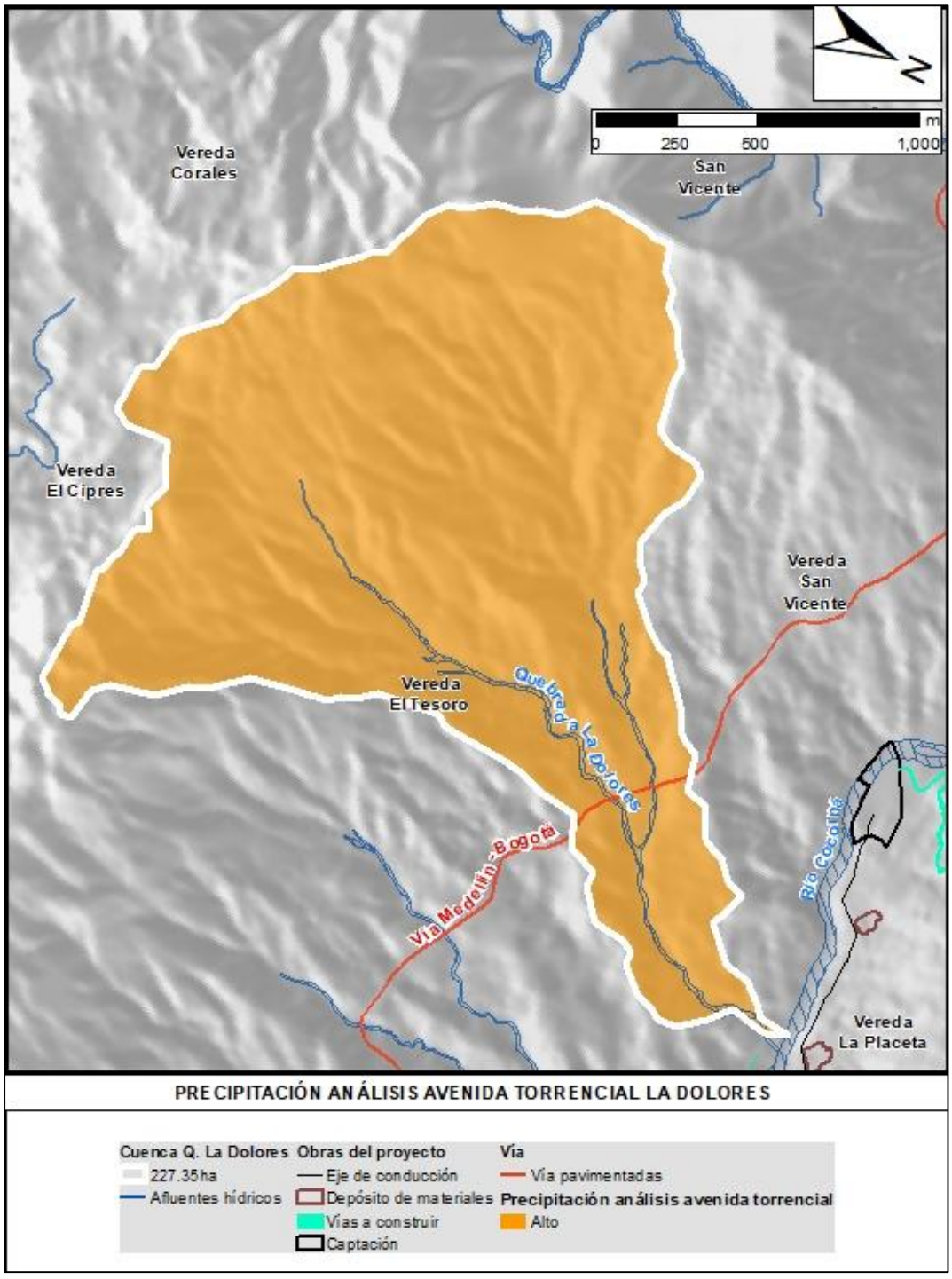

Figura 2-18 Precipitación Q. La Dolores

2.1.3 Cobertura superficial

La temática de cobertura superficial se aborda considerando las categorías de la clasificación Corine Land Cover presentes en el área de estudio y la normalización de estas se efectúa en términos de su mayor o menor aporte a la ocurrencia de un evento de tipo torrencial. (Ver Tabla 2-9).

Tabla 2-9. Normalización de las coberturas en el área de estudio

Cobertura	Valor	Categoría
Bosque abierto	1	Muy bajo
Bosque de galería y/o ripario	1	
Bosque denso	1	
Construcciones rurales	2	Bajo
Cultivos permanentes arbóreos	2	
Cultivos permanentes arbustivos	2	
Cultivos permanentes herbáceos	2	
Mosaico de cultivos	6	Medio
Mosaico de cultivos y espacios naturales	6	
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	6	
Mosaico de pastos y cultivos	6	
Pastos arbolados	6	
Pastos enmalezados	6	
Pastos limpios	6	
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	2	Bajo
Ríos (50 m)	1	Muy bajo
Vegetación secundaria o en transición	1	
Tejido urbano discontinuo	2	Bajo

Para el área de las quebradas La Dolores, La Pisquina y La Rumbona, se presentan la distribución porcentual de las coberturas por categorías (Tabla 2-10), así como su distribución espacial (Figura 2-19, Figura 2-20 y Figura 2-21).

Tabla 2-10. Distribución porcentual por categorías de las coberturas normalizadas

Cuenca	Categoría	Área [ha]	Porcentaje
Q. La Pisquina	Ato	199,8	66,3%
	Bajo	2,2	0,7%
	Muy bajo	99,6	33%
	Total	**300,6**	**100%**
Q. La Dolores	Alto	151,3	54,5%
	Bajo	0,5	0,2%
	Muy bajo	125,5	45,3%
	Total	**277,3**	**100%**
Q. La Rumbona	Alto	75,3	60,4%
	Bajo	1	0,8%
	Muy bajo	48,1	38,8%
	Total	**124,4**	**100%**

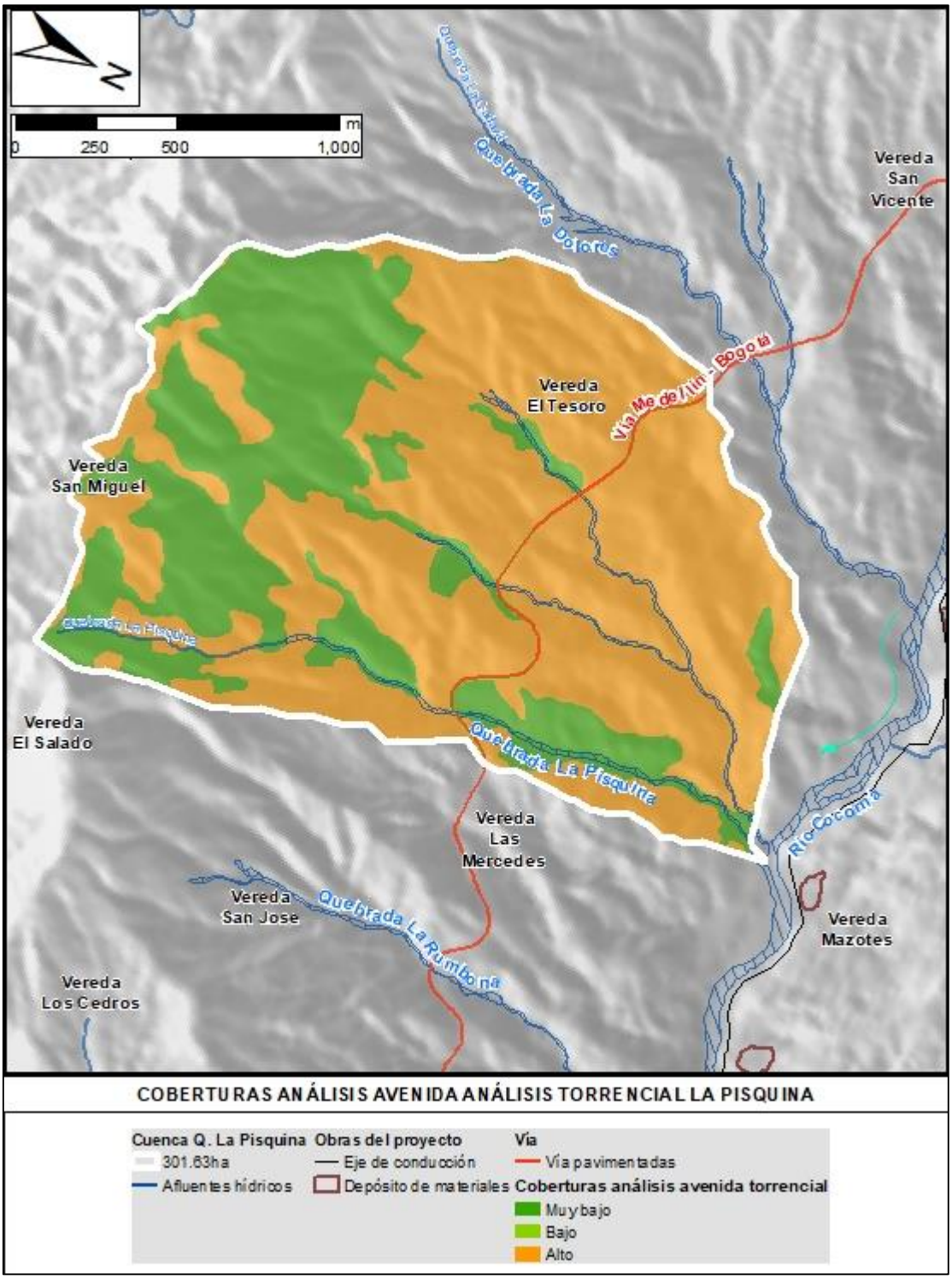

Figura 2-19 Coberturas Q. La Pisquina

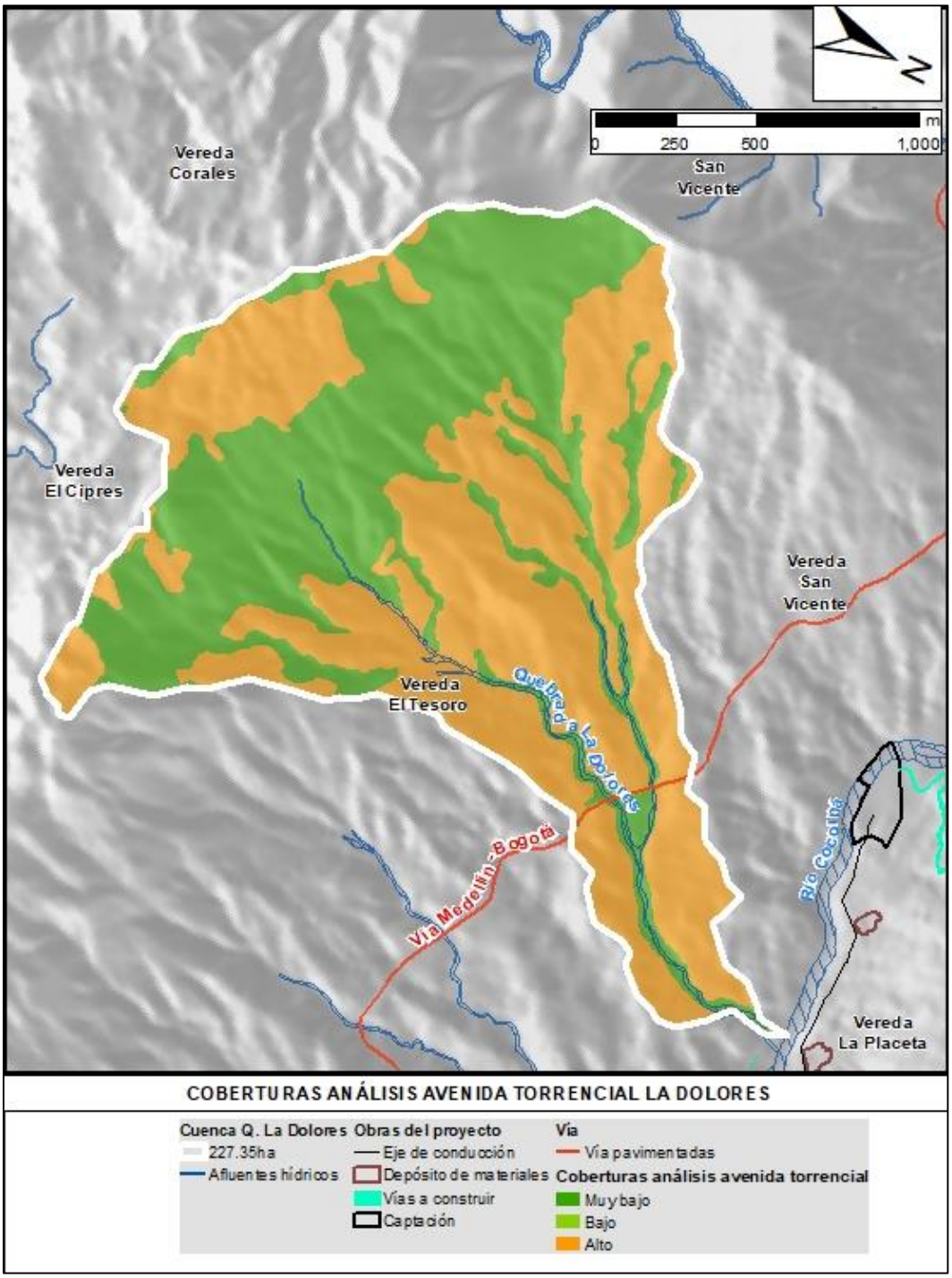

Figura 2-20 Coberturas Q. La Dolores

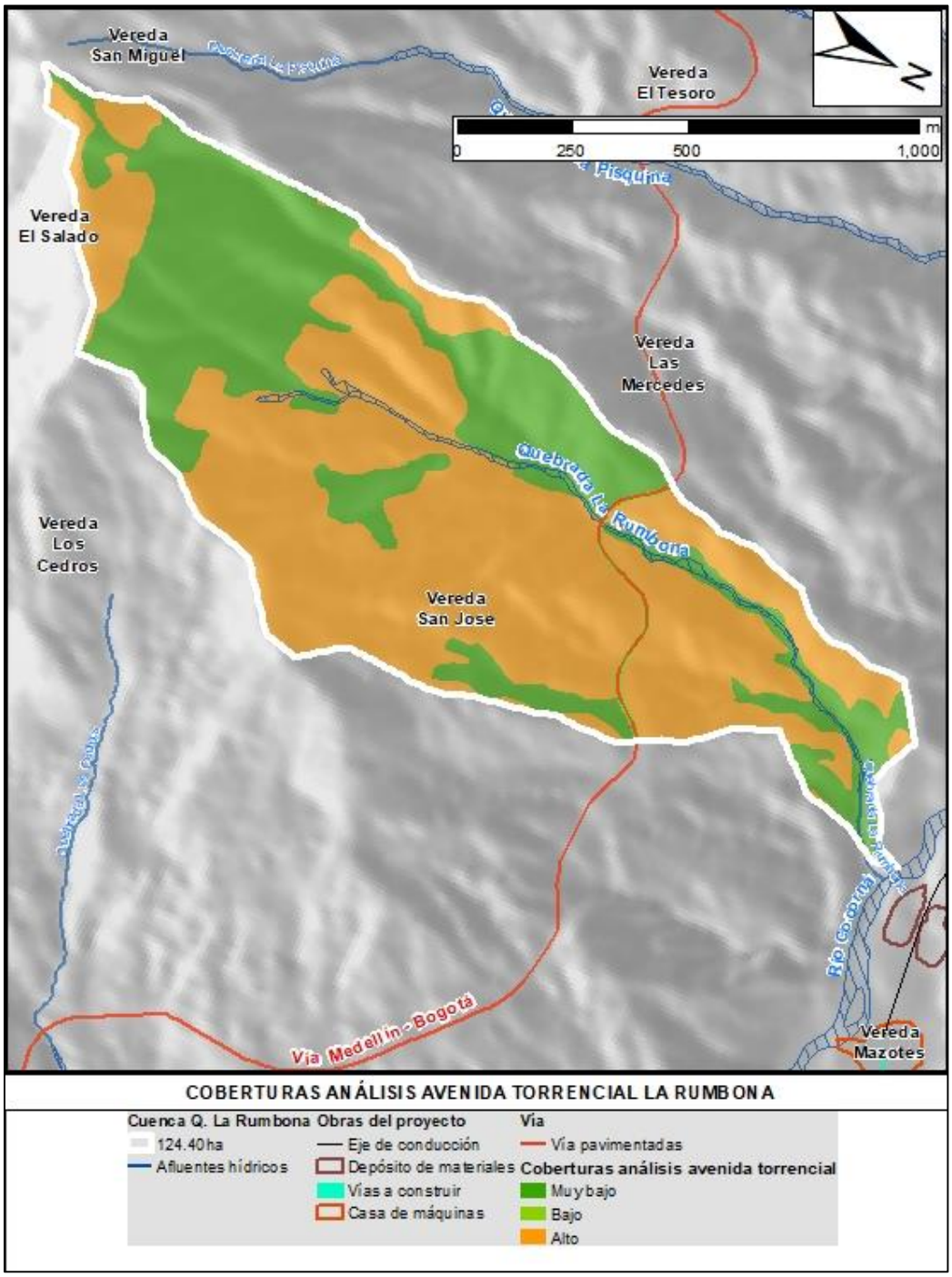

Figura 2-21 Coberturas Q. La Rumbona

2.1.4 Material superficial

El material superficial, que se deriva de las unidades geológicas se normaliza teniendo en cuenta las unidades presentes para las cuencas de las quebradas La Pisquina, La Dolores y la Rumbona de la siguiente forma, ver Tabla 2-11:

Tabla 2-11. Normalización de las categorías de material superficial

Unidad Geológica	Material Superficial	Valor	Categoría
Rbe	Roca blanda de esquisto	1	Muy Bajo
Srre	Suelo residual derivado de roca metamórfica esquistosa. Espesor de suelo entre 0-10m	6	Alto
Srri	Suelos residuales derivados de rocas intrusivas. Espesor de suelo entre 0-60m	4	Medio
Dsg	Depósito aluvial. Espesor de suelo entre 0-30m	2	Bajo

A continuación, se muestra la proporción de las categorías de reclasificación y su distribución espacial, Tabla 2-12, Figura 2-22, Figura 2-23 y Figura 2-24.

Tabla 2-12. Distribución porcentual por categorías del material superficial

Cuenca	Categoría	Área [ha]	Porcentaje
Q. La Dolores	Alto	51,1	18,4%
	Medio	159,9	57,7%
	Muy bajo	66,3	23,9%
	Total	**277,3**	**100%**
Q. La Pisquina	Alto	37,1	12,6%
	Medio	209,5	69,5%
	Muy bajo	54	17,9%
	Total	**300,6**	**100%**
Q. La Rumbona	Alto	16	12,8%
	Medio	94,2	75,7%
	Muy bajo	14,2	11,5%
	Total	**124,4**	**100%**

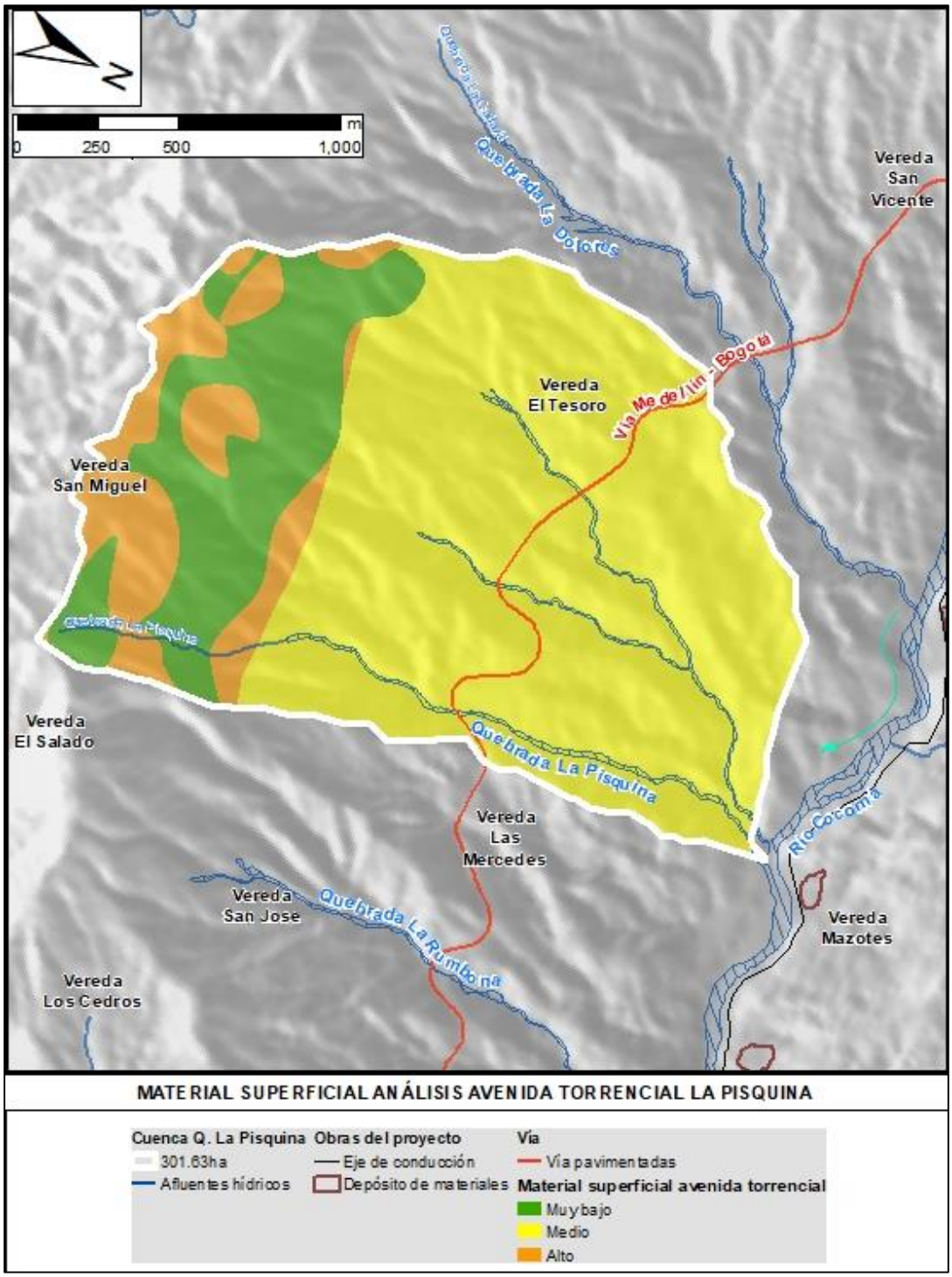

Figura 2-22 Material superficial Q. La Pisquina

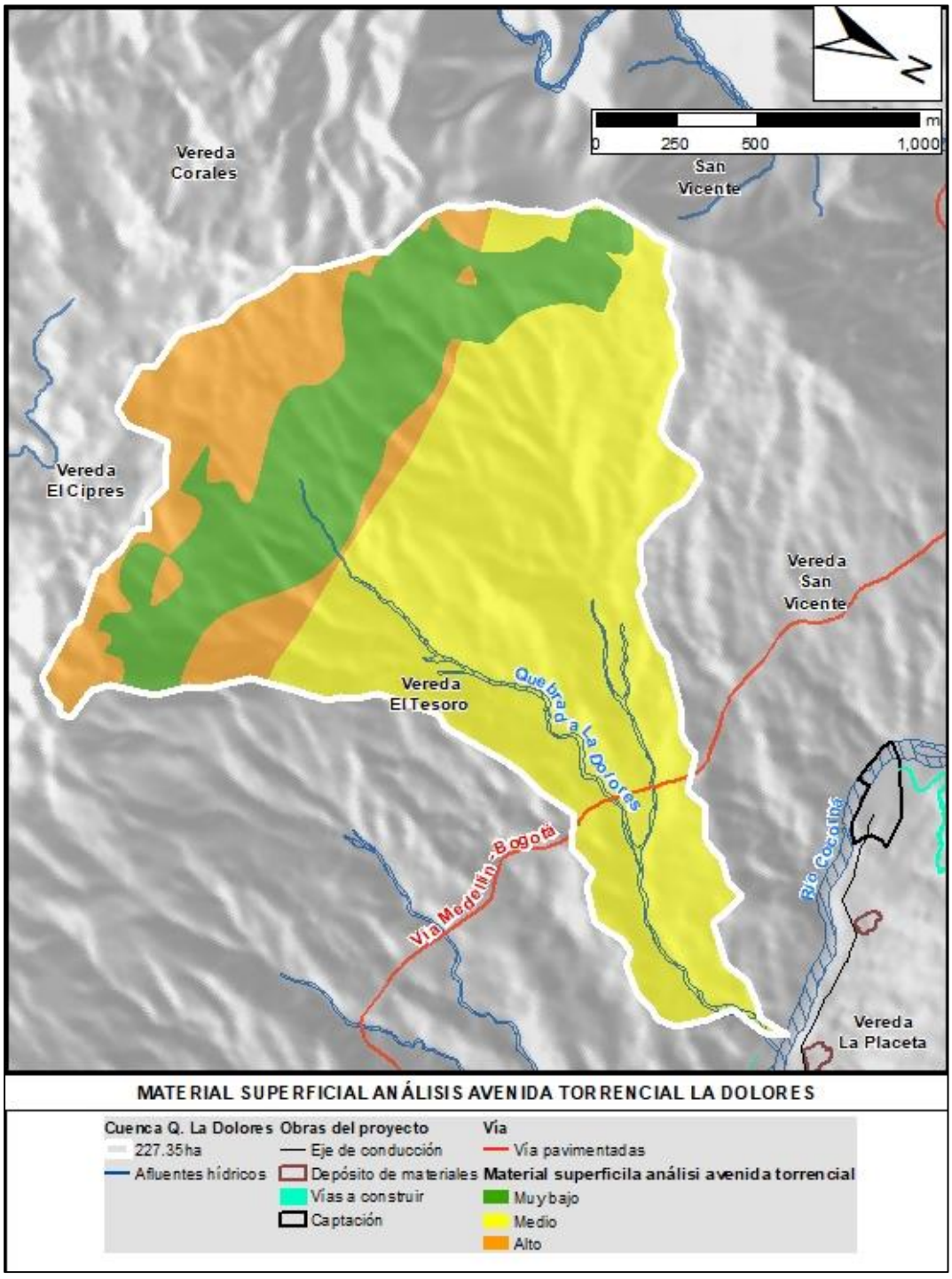

Figura 2-23 Material superficial Q. La Dolores

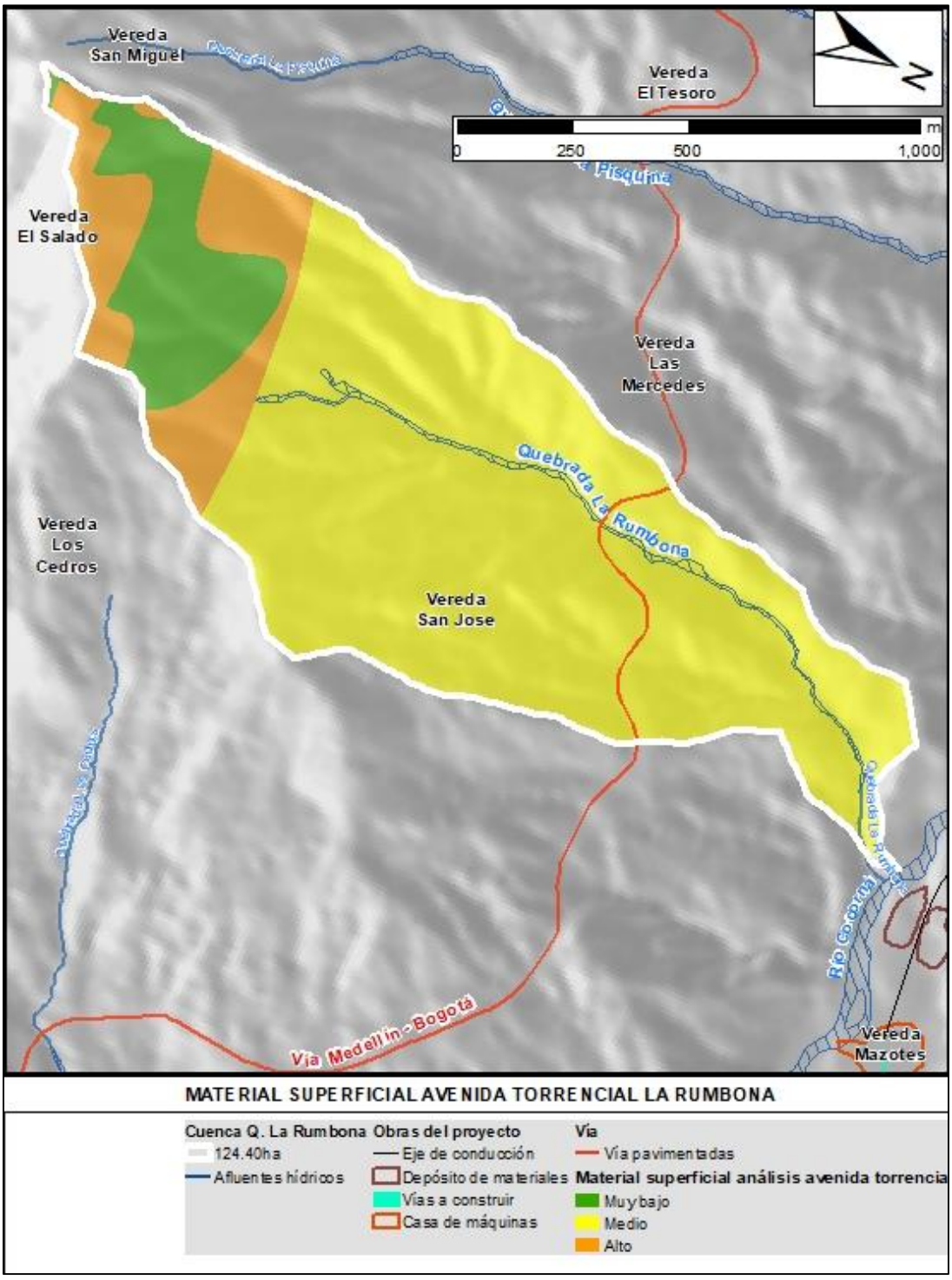

Figura 2-24 Material superficial Q. La Rumbona.

2.1.5 Geomorfología

La variable geomorfológica es la última variable por normalizar para la obtención de la temática de susceptibilidad a eventos por avenida torrencial. De acuerdo a las unidades presentes en el área de influencia se propone la siguiente normalización de unidades (Tabla 2-13).

Tabla 2-13. Normalización de unidades geomorfológicas

Unidad geomorfológica	Macro unidad	Valor	Categoría
SAT	Zonas con susceptibilidad por avenida torrencial	9	Muy alto
Er	Escarpe	4	Medio
Vsr	Vertiente sobre suelo residual	1	Muy bajo
Dldebl	Lomo denudado bajo de longitud larga	1	Muy bajo

- Zonas de Alta Susceptibilidad a la Torrencialidad (SAT) Acuerdo No 251 de agosto 10 de 2011.

La torrencialidad es el desbordamiento repentino de la fuente hídrica en un corto periodo de tiempo, caracterizándose por una abundante carga de material que arrastra el lecho. La extensión de dicho desbordamiento depende de factores geomorfológicos, climáticos e hidrológicos (Cornare, 2011).

La determinación de las Zonas de Alta Susceptibilidad a la Torrencialidad (SAT), se delimita mediante fotointerpretación y trabajo de campo complementando con estudios tanto hidrológicos e hidráulicos como estudios geológico-geomorfológicos. Este proceso se lleva a cabo con el fin de determinar las zonas con más susceptibilidad a las avenidas torrenciales.

A partir de este proceso se determina que la categoría de sensibilidad muy alta se limita a las Zonas de Alta Susceptibilidad a la Torrencialidad (SAT) para la variable geomorfología.

Tabla 2-14. Distribución porcentual por categorías de la variable geomorfológica

Cuenca	Categoría	Área [ha]	Porcentaje
Q. La Dolores	Muy alto	16,7	6%
	Medio	66,3	24%
	Muy bajo	194,3	70%
	Total	**277,3**	**100%**
Q. La Pisquina	Muy alto	20,1	6,7%
	Medio	54	17,9%
	Muy bajo	226,5	75,4%
	Total	**300,6**	**100%**
Q. La Rumbona	Muy alto	7,8	6,3%
	Medio	14,2	11,4%
	Muy bajo	102,4	82,3%
	Total	**124,4**	**100%**

Una vez obtenida la distribución espacial de las unidades geomorfológicas normalizadas (Ver Figura 2-25,Figura 2-26 y Figura 2-27), se determina para el área de las cuencas aferentes de margen derecha al tramo con caudal reducido del proyecto PCH Cocorná III la susceptibilidad a eventos de avenida torrencial.

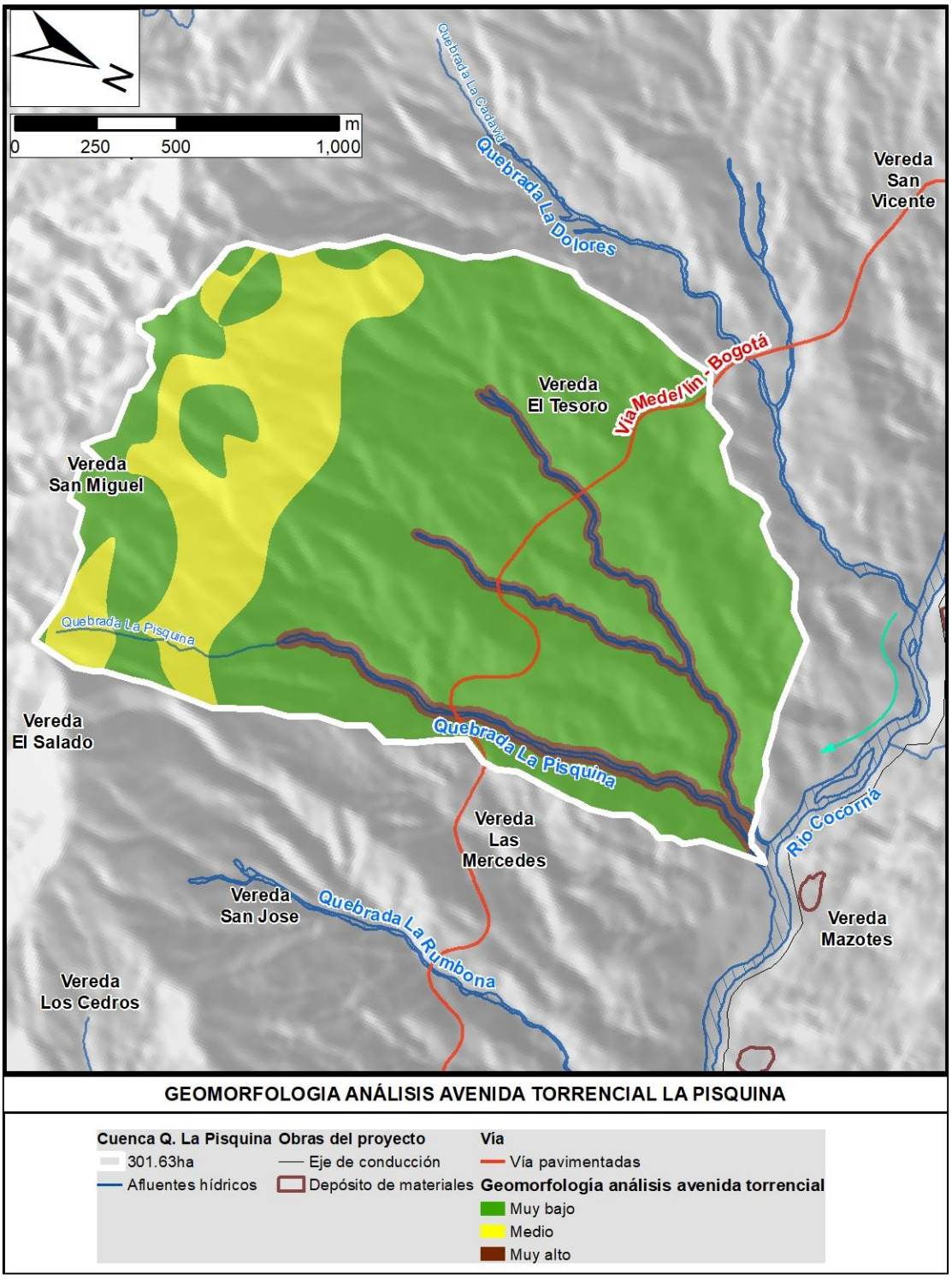

Figura 2-25 Geomorfología Q. La Pisquina

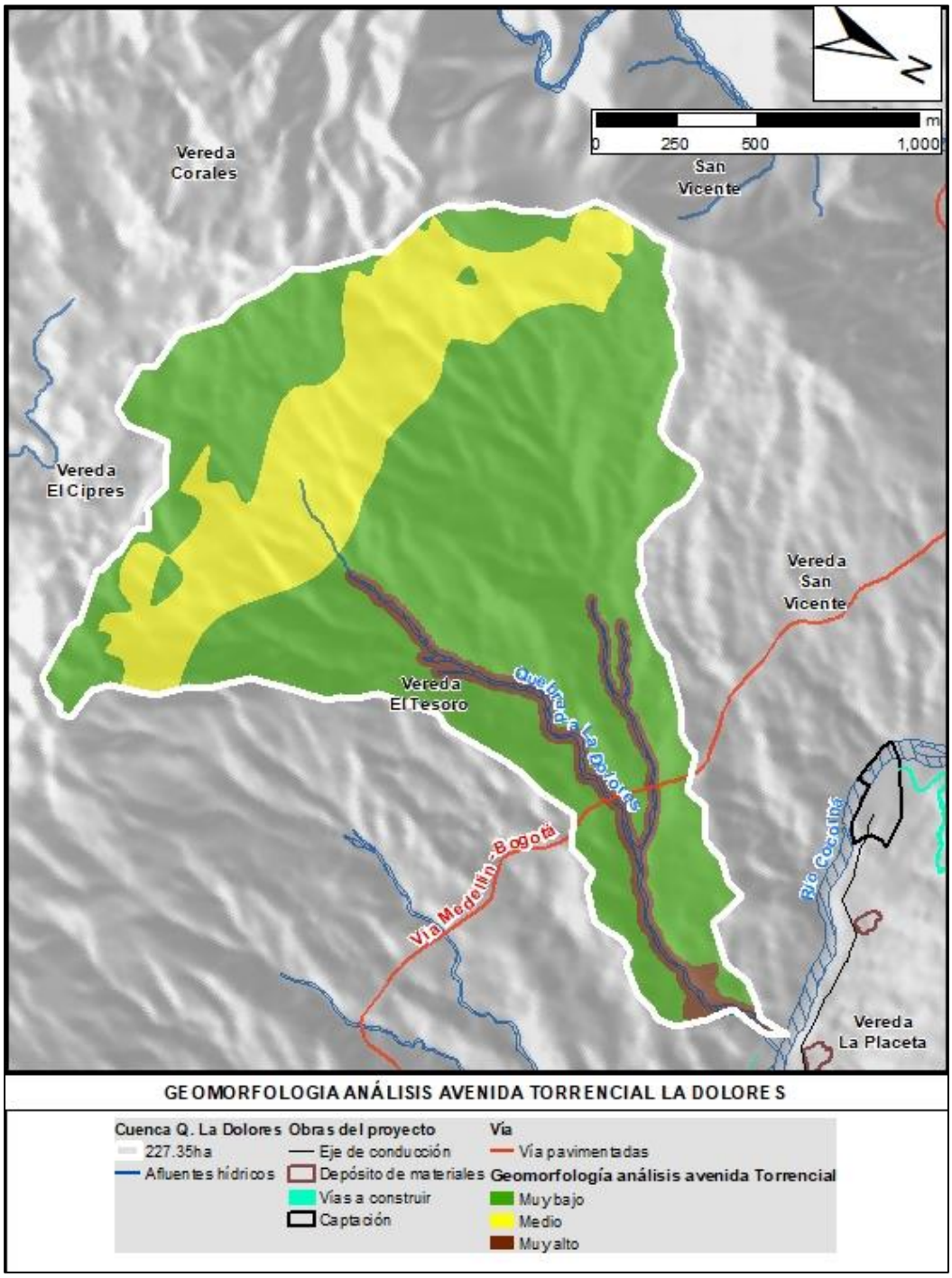

Figura 2-26 Geomorfología Q. La Dolores.

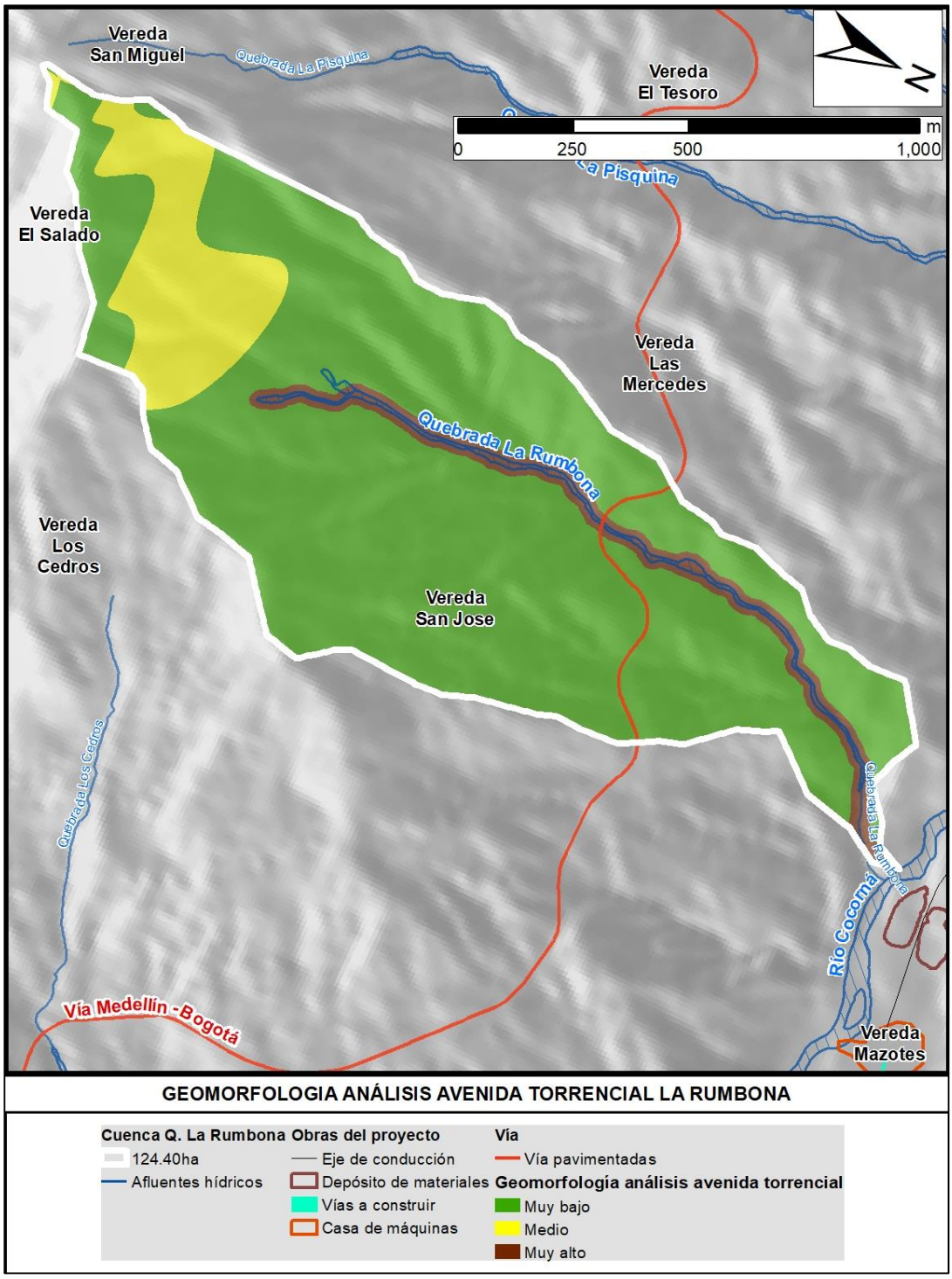

Figura 2-27. Geomorfología Q. La Rumbona

2.1.6 Resultados Susceptibilidad por Avenida Torrencial

Como el resultado de la suma ponderada de las variables apreciadas en la Figura 2-31 los resultados de la evaluación de susceptibilidad ante avenidas torrenciales para las cuencas de las quebradas La Dolores, La Pisquina y La Rumbona queda contenido en la Figura 2-28, Figura 2-29, Figura 2-30 y en la Tabla 2-15.

Tabla 2-15. Susceptibilidad Avenida torrencial por categoría

Cuenca	Categoría	Área [ha]	Porcentaje
Q. La Dolores	Alto	52,5	19%
	Medio	224,8	81%
	Total	**277,3**	**100%**
Q. La Pisquina	Alto	46,9	15,6%
	Medio	253,7	84,4%
	Total	**300,6**	**100%**
Q. La Rumbona	Alto	16,6	13,4%
	Medio	107,8	86,6%
	Total	**124,4**	**100%**

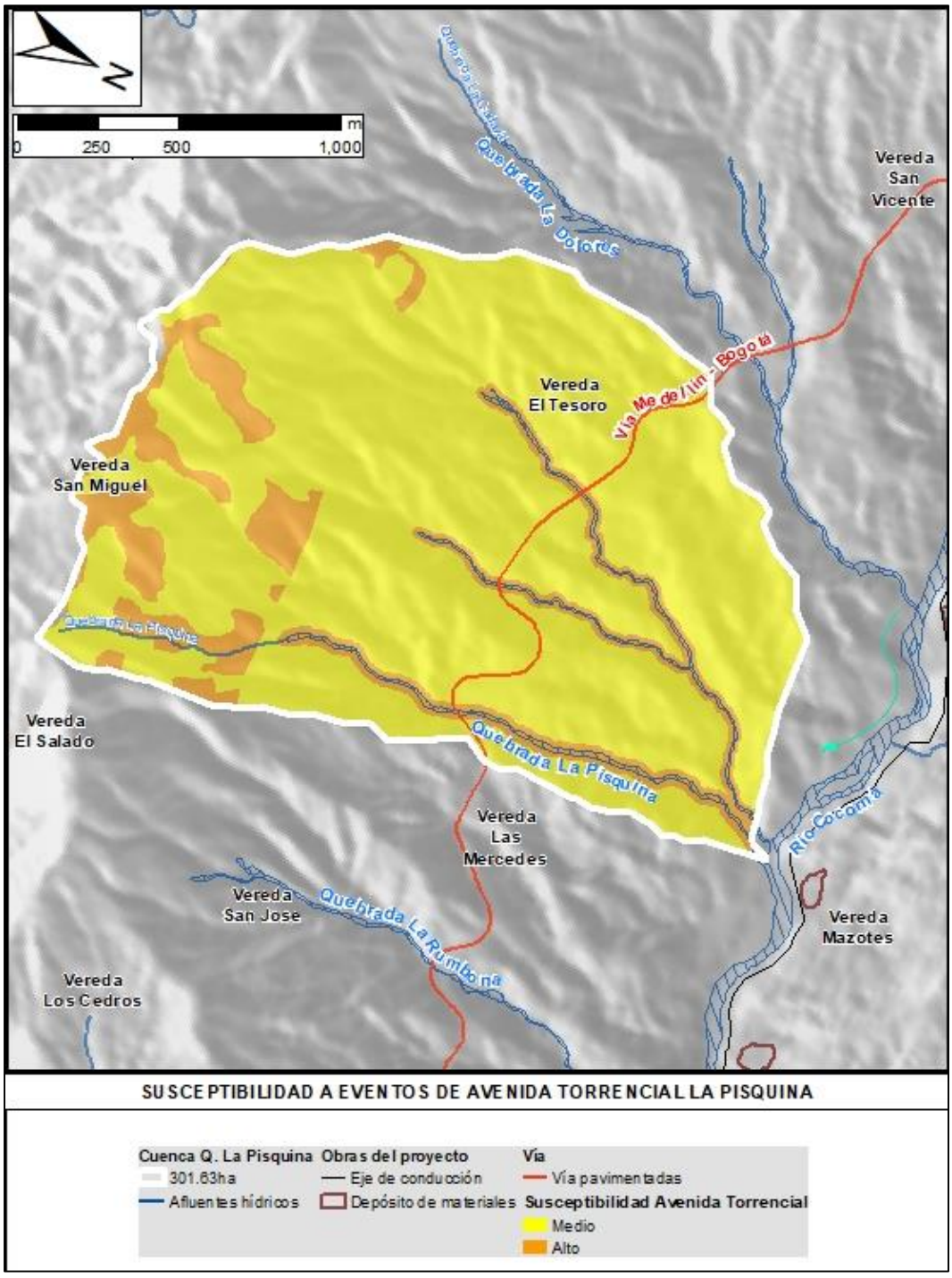

Figura 2-28. Susceptibilidad por eventos de avenida torrencial Q. La Pisquina.

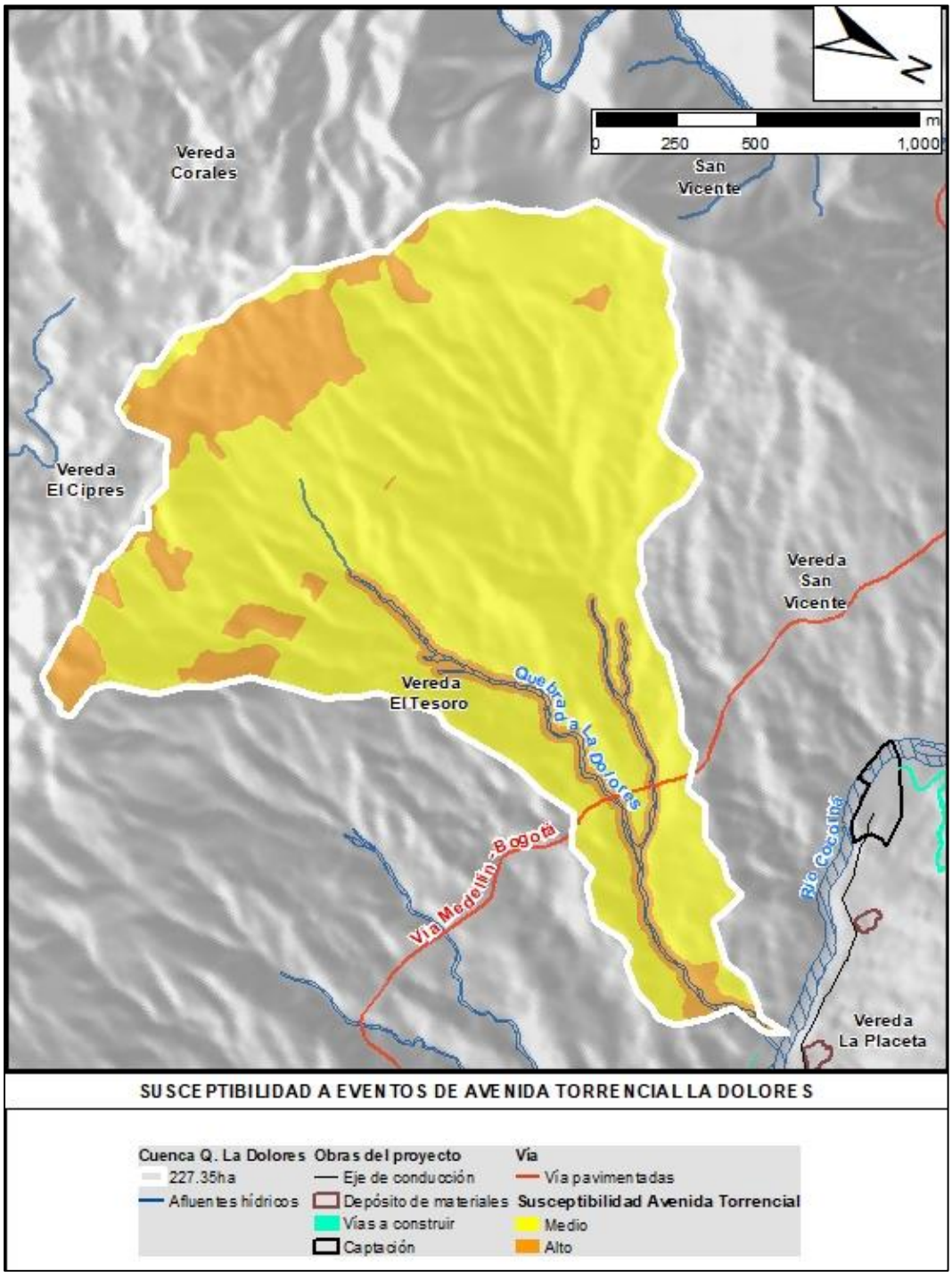

Figura 2-29. Susceptibilidad por eventos de avenida torrencial Q. La Dolores

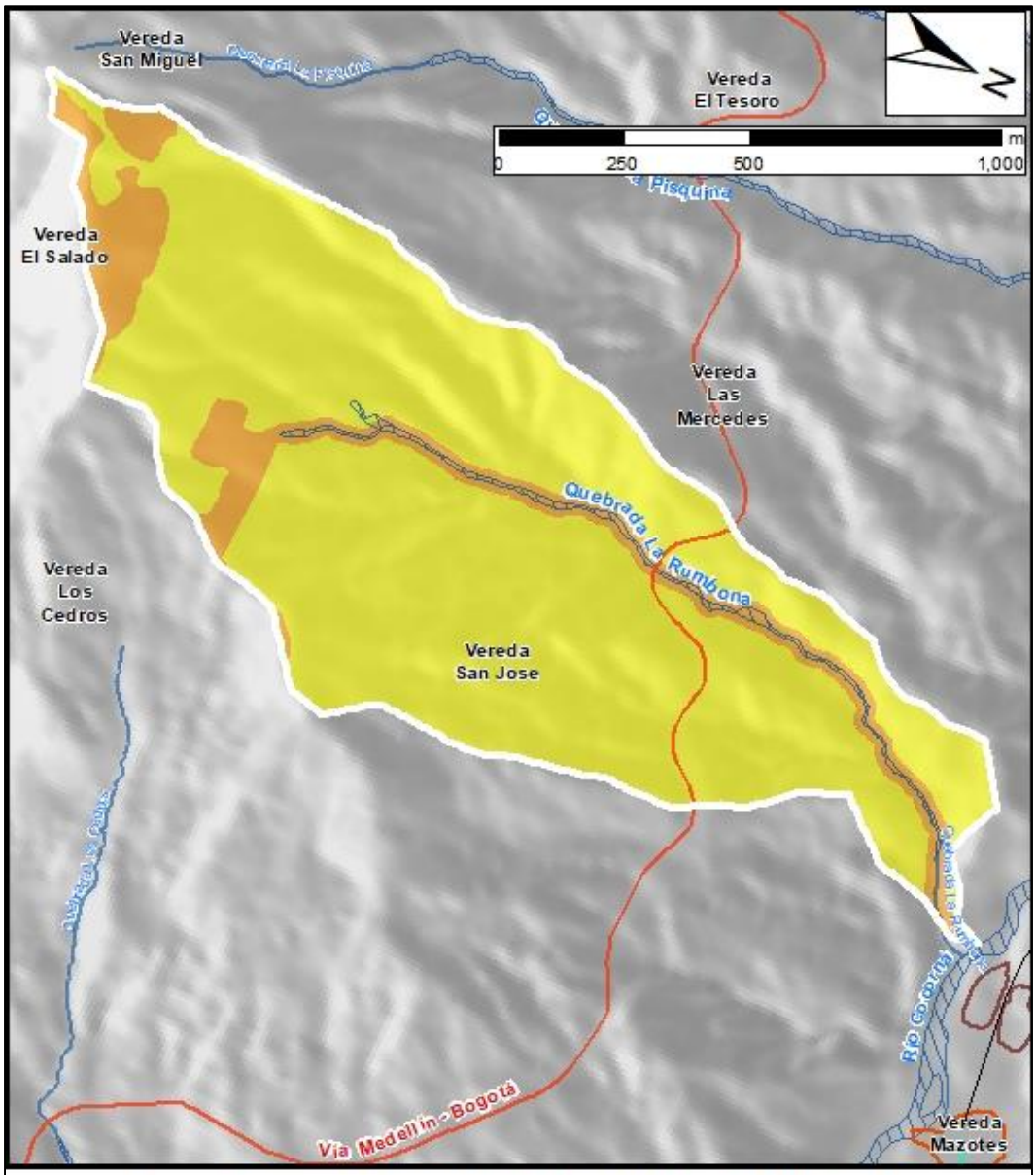

Figura 2-30. Susceptibilidad por eventos de avenida torrencial Q. La Rumbona

2.2 Amenaza por avenida torrencial

Para este tipo de eventos no se obtuvieron registros en las bases de datos investigadas, por tal motivo se asumen las calificaciones de susceptibilidad como las categorías de amenaza para eventos de avenida torrencial en el área de las cuencas de las quebradas La Dolores, La Pisquina y La Rumbona.

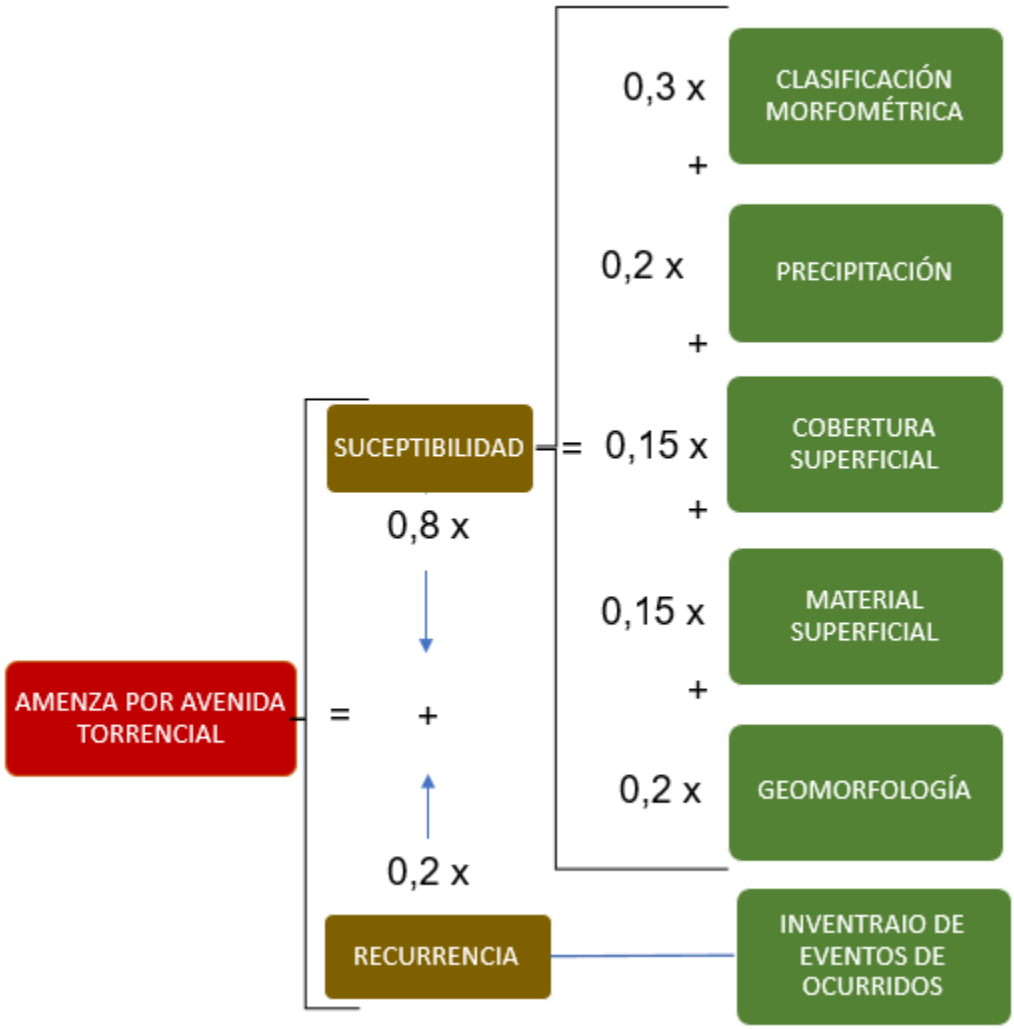

Figura 2-31. Esquema Metodológico determinación amenaza por avenida torrencial

Fuente: Adaptado de Cornare & Gobernación de Antioquia (2012)

De acuerdo con el desarrollo de la metodología previamente descrita en la Figura 2-31, los resultados se muestran en la Tabla 2-16, la Figura 2-32, la Figura 2-33 y la Figura 2-34, en estos resultados las categorías de la amenaza a eventos de avenida torrencial en el área de las cuencas de las quebradas La Dolores, La Pisquina y La

Rumbona varían entre media y alta. Al comparar estos resultados con los obtenidos en el informe de referencia (Figura 2-35), se encuentran similitudes, siendo la totalidad del área para el estudio presentado por Cornare & Gobernación de Antioquia (2012)calificada como alta, en el caso de las laderas hay diferencias, pues para el estudio de referencia la amenaza es alta, mientras los resultados de este EIA arrojan un valor medio en la mayor parte del área de estudio.

Es importante indicar que la diferencia entre los dos estudios, a pesar de seguir la misma metodología, se puede deber a que en el presente apartado se utilizaron entradas con mayor nivel de detalle y actualizadas con la información levantada en las visitas de campo, tales como las coberturas y los depósitos aluviales. Adicionalmente, se clasificaron los valores numéricos de acuerdo con los rangos Muy Baja (0-2), Baja (2-4), Media (4-6), Alta (6-8) y Muy Alta (8-10), difiriendo del método de natural Breaks utilizado por el estudio referenciado.

Tabla 2-16. Amenaza avenida torrencial por categoría

Cuenca	Categoría	Área [ha]	Porcentaje
Q. La Dolores	Alto	52,8	19%
	Medio	224,5	81%
	Total	**277,3**	**100%**
Q. La Pisquina	Alto	46,9	15,6%
	Medio	253,7	84,4%
	Total	**300,6**	**100%**
Q. La Rumbona	Alto	16,6	13,4%
	Medio	107,8	86,6%
	Total	**124,4**	**100%**

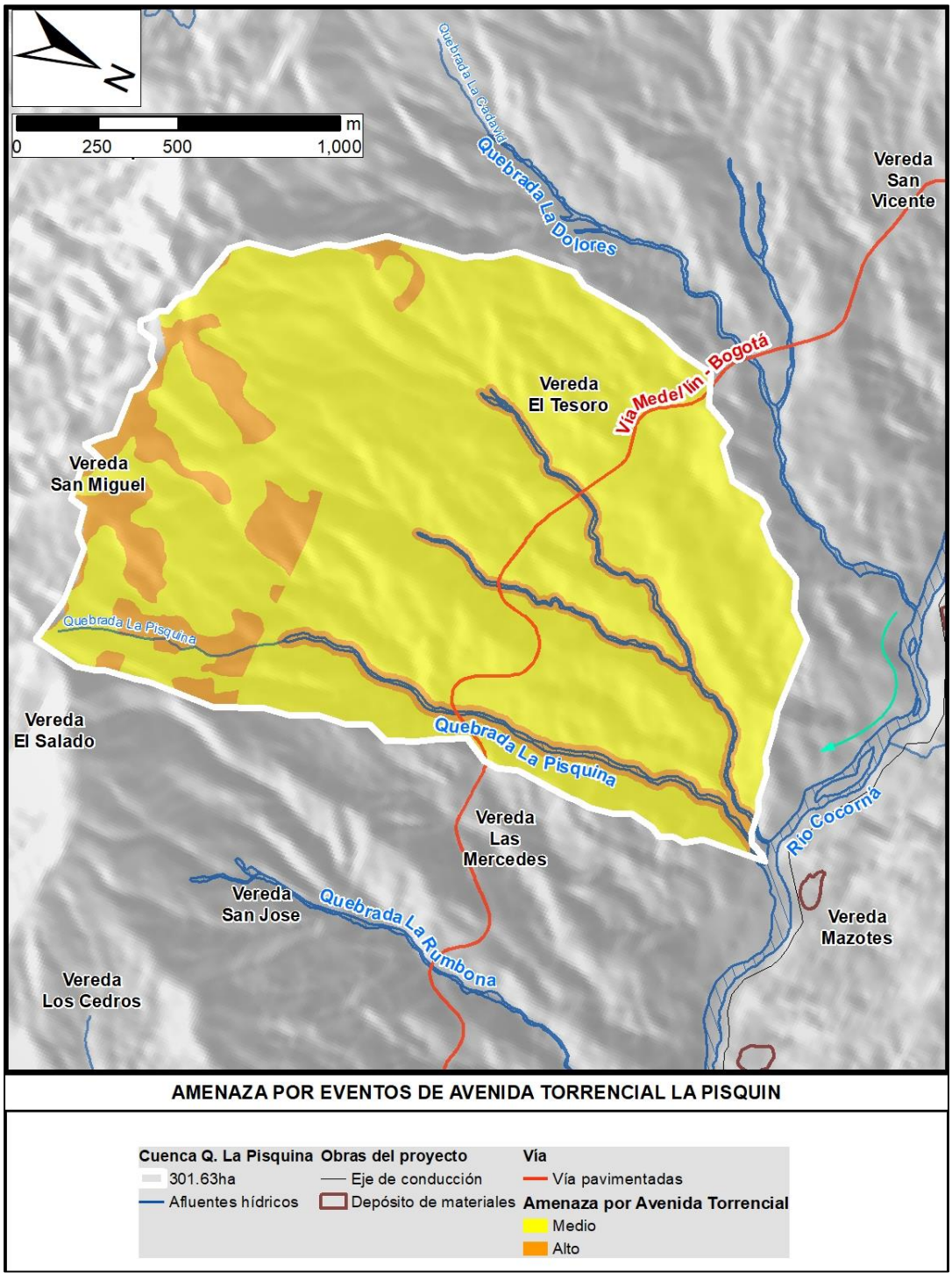

Figura 2-32 Amenaza por avenida torrencial Q. La Pisquina

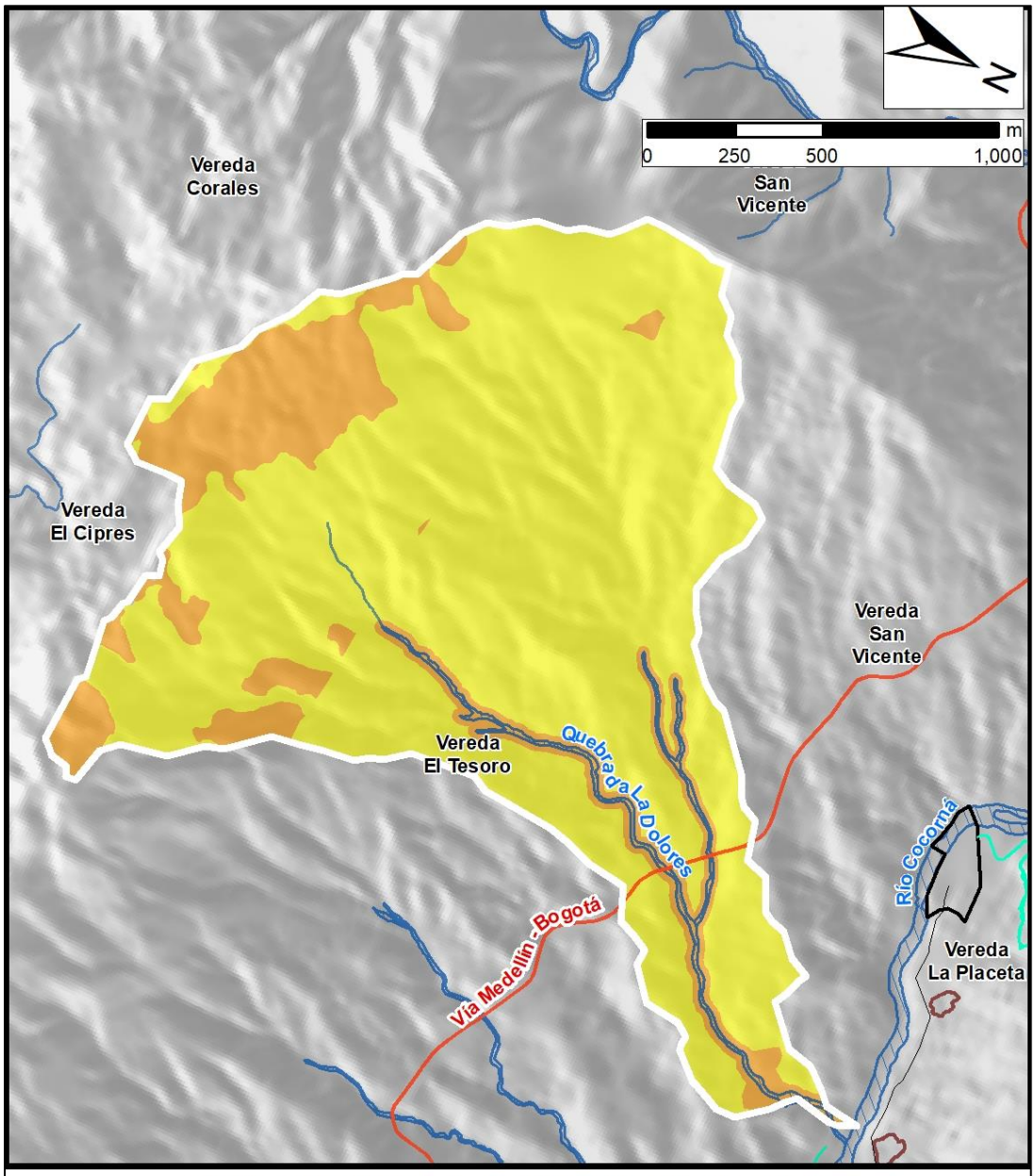

Figura 2-33 Amenaza por avenida torrencial Q. La Dolores

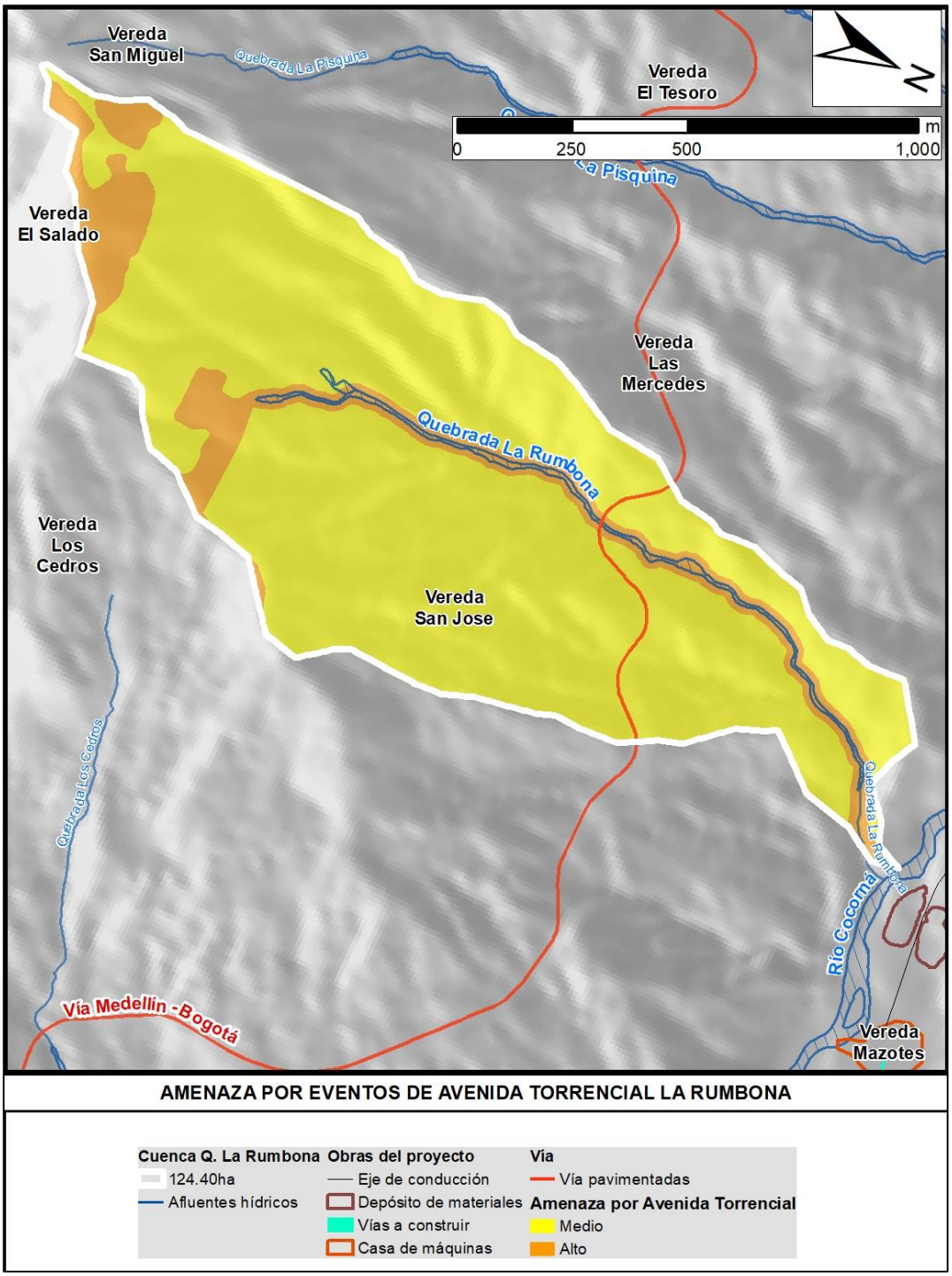

Figura 2-34 Amenaza por avenida torrencial Q. La Rumbona.

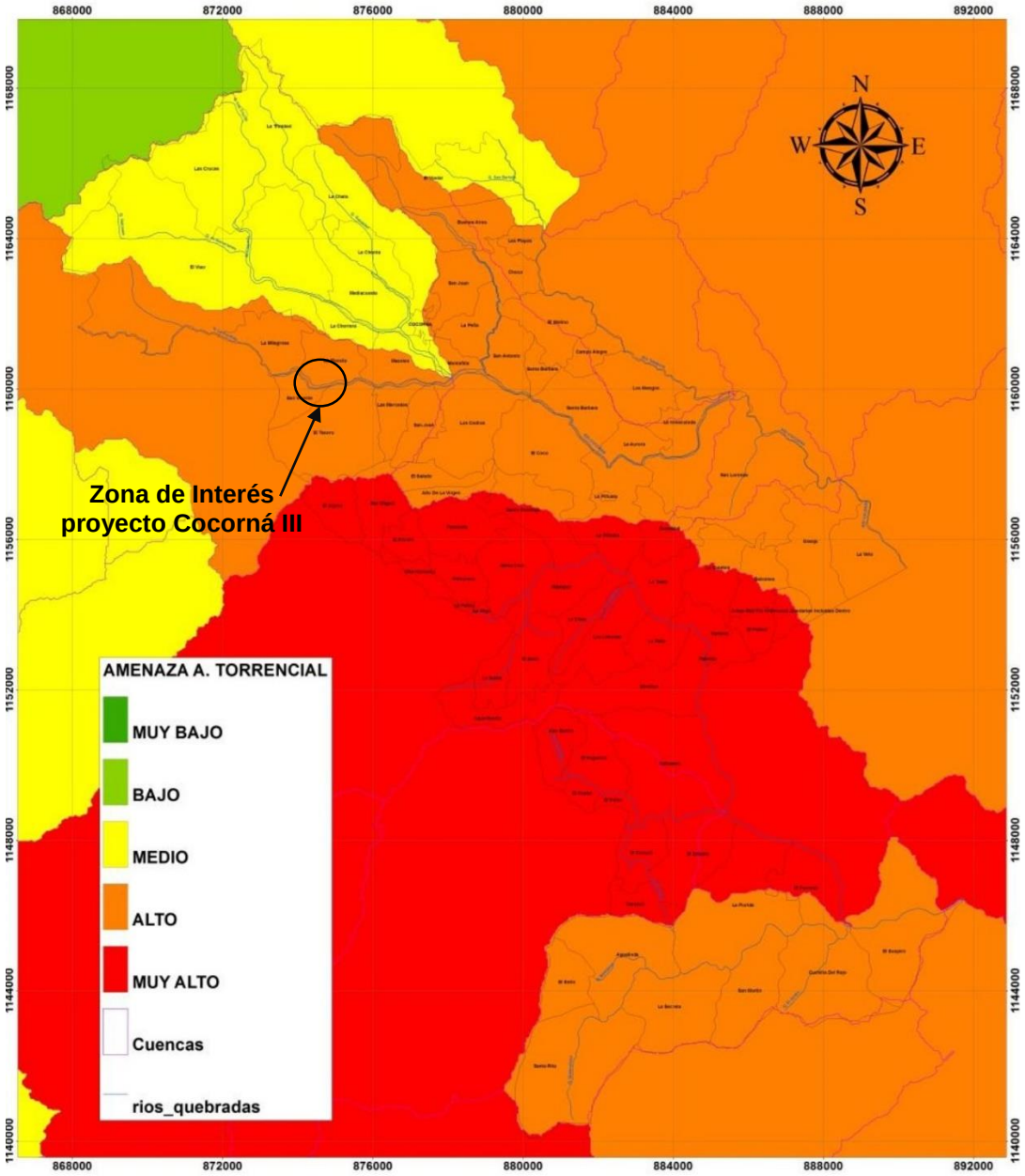

Figura 2-35. Mapa de amenaza por avenida torrencial para Cocorná

Fuente: Tomado de Cornare & Gobernación de Antioquia (2012)

2.3 Vulnerabilidad por avenida torrencial

El análisis del grado de exposición a posibles daños que puede sufrir una unidad social, estructura física o actividad económica por eventos de amenaza natural fue determinado a partir de indicadores para las unidades veredales presentes en el área de las quebradas La Dolores, La Pisquina y La Rumbona en torno al Proyecto Hidroeléctrico Cocorná III.

La información para el análisis de vulnerabilidad fue determina con base en los datos obtenidos durante la caracterización del área de influencia, considerando la siguiente expresión (Figura 2-36).

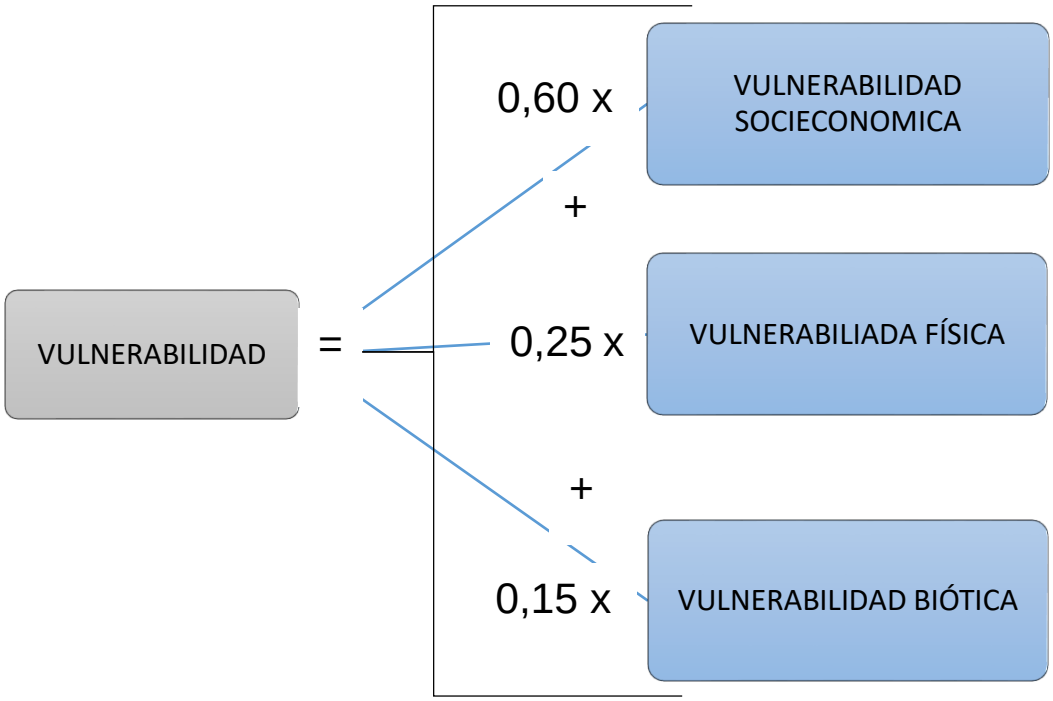

Figura 2-36. Esquema Metodológico Vulnerabilidad

Fuente: Adaptado de Cornare & Gobernación de Antioquia (2012)

2.3.1 Vulnerabilidad biótica

Teniendo en cuenta la metodología mencionada, en este caso Cornare & Gobernación de Antioquia (2012), la vulnerabilidad biótica es obtenida a partir de la cuantificación de la relación entre la extensión de áreas de importancia ambiental declaradas y el área de cada una de las unidades administrativas, en este caso veredas, del área de influencia socioeconómica.

La calificación de vulnerabilidad se realiza de acuerdo con la Tabla 2-17

Tabla 2-17. Calificación de la vulnerabilidad

Categoría	Calificativo	Porcentaje
Muy bajo	1	0-10%
Bajo	3	10-30%
Medio	5	30-50%
Alto	7	50-70%
Muy alto	9	70-100%

Para el área de análisis se obtienen los siguientes resultados de vulnerabilidad biótica en la intersección de las veredas en el área de las quebradas La Dolores, La Pisquina y La Rumbona en torno al Proyecto Hidroeléctrico Cocorná III.

Tabla 2-18. Vulnerabilidad Biótica

Vereda	Calificativo
El Tesoro	Muy bajo
La Placeta	Muy bajo
Las Mercedes	Muy bajo
Los Cedros	Muy bajo
Mazotes	Muy bajo
Montañita	Muy bajo
San José	Muy bajo
San Vicente	Muy bajo

2.3.2 Vulnerabilidad socioeconómica

Para el análisis del medio socioeconómico se realiza la cuantificación y clasificación de variables que dejan entrever el estado de la población en el territorio desde un enfoque multidimensional de la pobreza (Cornare, Corantioquia, & Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2017). La información arrojada permite establecer el nivel de vulnerabilidad socioambiental de cada una de las veredas interceptadas por el área de las quebradas La Dolores, La Pisquina y La Rumbona en torno al Proyecto Hidroeléctrico Cocorná III.

El indicador de vulnerabilidad socioambiental que se utiliza en este apartado se cimienta según Cornare & Gobernación de Antioquia (2012)y se incluyen algunas variables de la propuesta del Plan de Ordenamiento y Manejo de la cuenca del Río

Samaná Norte (Cornare, Corantioquia, & Cosorcio POMCAS Oriente Antioqueño, 2017); la conjunción de ambas metodologías permite evaluar una mayor cantidad de elementos que dan un panorama general de las condiciones de vulnerabilidad de las veredas del área de influencia del medio socioeconómico.

De esta forma, la vulnerabilidad socioeconómica trata de un indicador compuesto que incluye las condiciones de empleo, ingresos, condiciones de acceso a servicios públicos y sociales, población con discapacidad, necesidades básicas insatisfechas, nivel educativo, presencia de organizaciones sociales y desempeño fiscal (dato para el nivel municipal).

A continuación, en la Tabla 2-19 se presentan las variables analizadas, así como las fuentes de información utilizadas en cada caso:

Tabla 2-19 Variables y fuentes de información para el análisis de la vulnerabilidad socioeconómica

Variable	Categoría	Fuente
Ingresos	Familias que perciben menos de un salario mínimo	SIRPAZ 2012
	Familias que perciben un salario mínimo	SIRPAZ 2012
	Familias que perciben más de un salario mínimo	SIRPAZ 2012
Empleos	Personas que se encuentran desempleadas	SISBEN 2018
	Personas que se encuentran empleadas subempleadas	SISBEN 2018
Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI)	Porcentaje de familias con Necesidades Básicas Insatisfechas	DANE, 2019
Desempeño Fiscal	Indicador de desempeño fiscal del municipio	Departamento Nacional de Planeación (DNP) 2019
Población con menos capacidad de respuesta	Población de 0 a 13 años	SISBEN 2018
	Población mayor de 50 años	SISBEN 2018
	Población con discapacidad	SISBEN 2018
Población analfabeta	Mayores de 15 años que no sabe leer ni escribir	SISBEN 2018

Presencia de organizaciones comunitarias	Junta de Acción Comunal	Ficha de caracterización socioeconómica del proyecto
	Junta Administradora de Acueducto	Ficha de caracterización socioeconómica del proyecto
	Grupos Ambientales-Ecológicos	Ficha de caracterización socioeconómica del proyecto
	Institución Educativa	Ficha de caracterización socioeconómica del proyecto
	Asociaciones productivas	Ficha de caracterización socioeconómica del proyecto

Posterior a la recopilación de cada una de las variables analizadas, se le asigna una calificación de 1 a 5 que permite homologar los valores y asignarles una calificación en la que 1 refiere a la mejor condición y 5 a la menos favorable. Posteriormente se promedian los resultados por variable permitiendo arrojar un resultado único para cada unidad territorial. Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan a continuación los resultados obtenidos para la vulnerabilidad socioeconómica en el área analizada, ver Tabla 2-20.

Tabla 2-20. Vulnerabilidad Socioeconómica

Vereda	Calificativo
El Tesoro	Bajo
La Placeta	Bajo
Las Mercedes	Bajo
Los Cedros	Bajo
Mazotes	Bajo
San José	Bajo
San Vicente	Bajo
Montañita	Medio

Para la interpretación de resultados se considera que las veredas más vulnerables son aquellas en las que confluye una proporción elevada de personas sin ingresos, empleo, discapacidad, necesidades básicas insatisfechas y una menor organización social y desempeño fiscal; la condición de vulnerabilidad indica una menor capacidad de respuesta ante eventos de riesgo natural y social y expresa condiciones más desfavorables para la recuperación de la dinámica económica y social de la unidad territorial de forma posterior a un evento.

Cómo se puede observar en la Tabla 2-20 los resultados de la vulnerabilidad socioeconómica muestran un comportamiento homogéneo de las variables tenidas en cuenta, para las veredas territoriales del área de influencia; lo anterior, guarda relación con un desarrollo histórico similar que se conjuga con unos efectos parecidos de los procesos socioeconómicos actuales marcados por la cercanía de las unidades territoriales con la autopista Medellín-Bogotá y la cabecera municipal.

A pesar de lo anterior, la vereda Montañita presenta un indicador medio cuyo elemento de mayor incidencia es la ausencia de organizaciones comunitarias como Junta de Acción Comunal, mientras tanto, las demás unidades territoriales del área de influencia tienen un indicador Bajo lo que determina una buena capacidad para dar respuesta a eventos de riesgo que se pueden presentar en el territorio de acuerdo con las variables analizadas.

2.3.3 Vulnerabilidad física

En la determinación de la vulnerabilidad física se utiliza la propuesta de Cornare & Gobernación de Antioquia (2012), que trata de un indicador compuesto donde se consideran las características espaciales de las unidades territoriales como la longitud de vías que permiten el intercambio de productos y la densidad y calidad de las viviendas de acuerdo con sus materiales constructivos (pisos y paredes).

A continuación, en la Tabla 2-21 se presentan las variables analizadas, así como las fuentes de información utilizadas en cada caso:

Tabla 2-21. Variables y fuentes de información vulnerabilidad física

Vulnerabilidad	Variable	Categorías	Fuente
Vulnerabilidad Física	Densidad de vías	Área de la vereda	Catastro departamental, 2020
		Longitud de vías	IGAC, 2020
	Densidad de viviendas	Número de viviendas	SISBEN 2018
	Calidad de viviendas	Viviendas que requieren mejoras	SISBEN 2018

Posterior a la recopilación de cada una de las variables analizadas, se le asigna una calificación de 1 a 5 que permite homologar los valores de las variables y asignarles una calificación en la que 1 refiere a la mejor condición y 5 a la menos favorable. Posteriormente se promedian los resultados por variable permitiendo arrojar un resultado único para cada unidad territorial. Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan a continuación los resultados obtenidos para la vulnerabilidad física en el área analizada (Ver Tabla 2-22):

Tabla 2-22. Vulnerabilidad Física

Vereda	Calificativo
La Placeta	Bajo
Montañita	Medio
San Vicente	Medio
El Tesoro	Muy bajo
Las Mercedes	Muy bajo
Los Cedros	Muy bajo
Mazotes	Muy bajo
San José	Muy bajo

Para la interpretación de resultados se considera que las veredas más vulnerables son aquellas en las que se presenta una menor densidad de vías y las que tienen una mayor cantidad de viviendas que requieren mejoras, por encontrarse construidas en materiales inadecuados, esto significa que ante un evento de riesgo tienen una mayor posibilidad de verse afectadas estructuralmente con la amenaza consecuente a sus habitantes.

Dentro de las viviendas que requieren mejores se encuentran aquellas que tienen pisos de tierra o arena y paredes de madera burda, madera en mal estado, guadua, esterilla, zinc, latas y cartón, las cuales no cuentan con condiciones adecuadas para la habitabilidad.

Como se puede observar en la Tabla 2-22 las veredas El Tesoro, Las Mercedes, Los Cedros, Mazotes y San José tienen un indicador de vulnerabilidad “Muy Bajo”; esto tiene que ver con la presencia de la autopista Medellín-Bogotá y vías anexas que permiten una buena conectividad, esto muestra facilidades para el transporte de materiales adecuados para la construcción de las viviendas; en una situación similar, con calificativo “Bajo” se encuentra la vereda La Placeta que comporta indicadores más elevados de viviendas que requieren algunas mejoras.

Con calificativo “Medio” se encuentran las veredas San Vicente y Montañita que a pesar de encontrarse atravesadas por dos ejes viales de importancia como la vía Cocorná-San Francisco y la autopista Medellín-Bogotá, una proporción elevada de las viviendas se encuentran construidas en materiales inadecuados, especialmente madera burda, tablón y pisos de tierra.

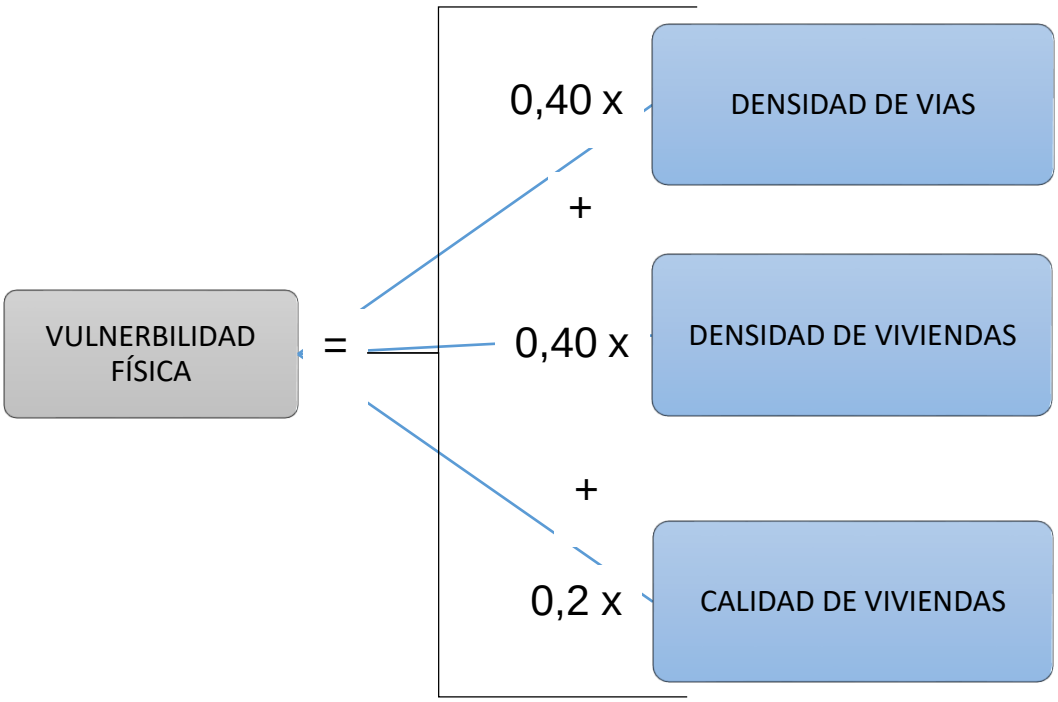

Figura 2-37. Esquema Metodológico Vulnerabilidad física

Fuente: Adaptado de Cornare & Gobernación de Antioquia (2012)

Tabla 2-23. Vulnerabilidad de las veredas del área de influencia

Categoría	Calificación
El Tesoro	Baja
La Placeta	Baja
Las Mercedes	Baja
Los Cedros	Baja
Mazotes	Baja
Montañita	Baja
San José	Baja
San Vicente	Baja

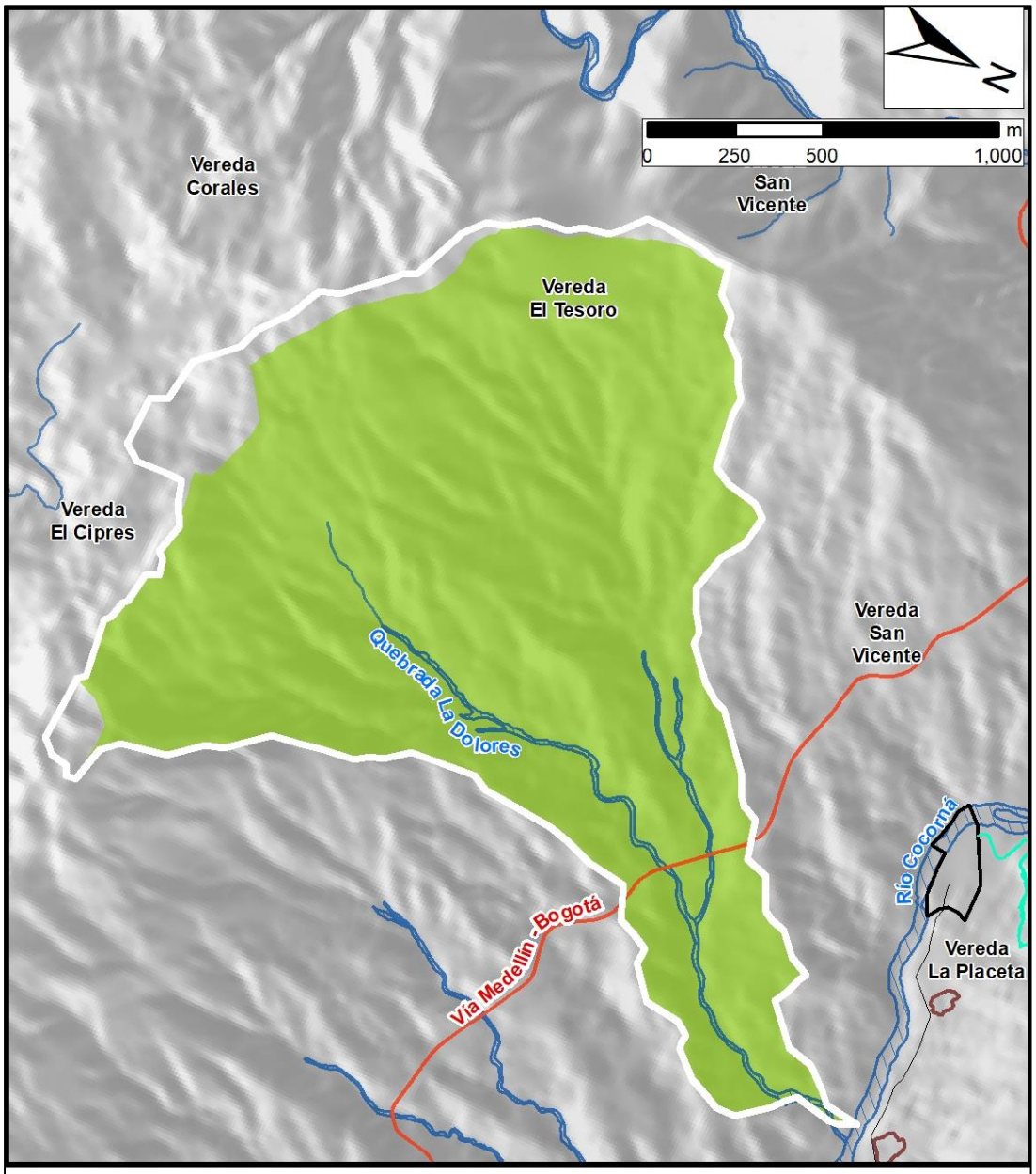

Figura 2-38 Vulnerabilidad avenidas torrenciales Q. La Dolores

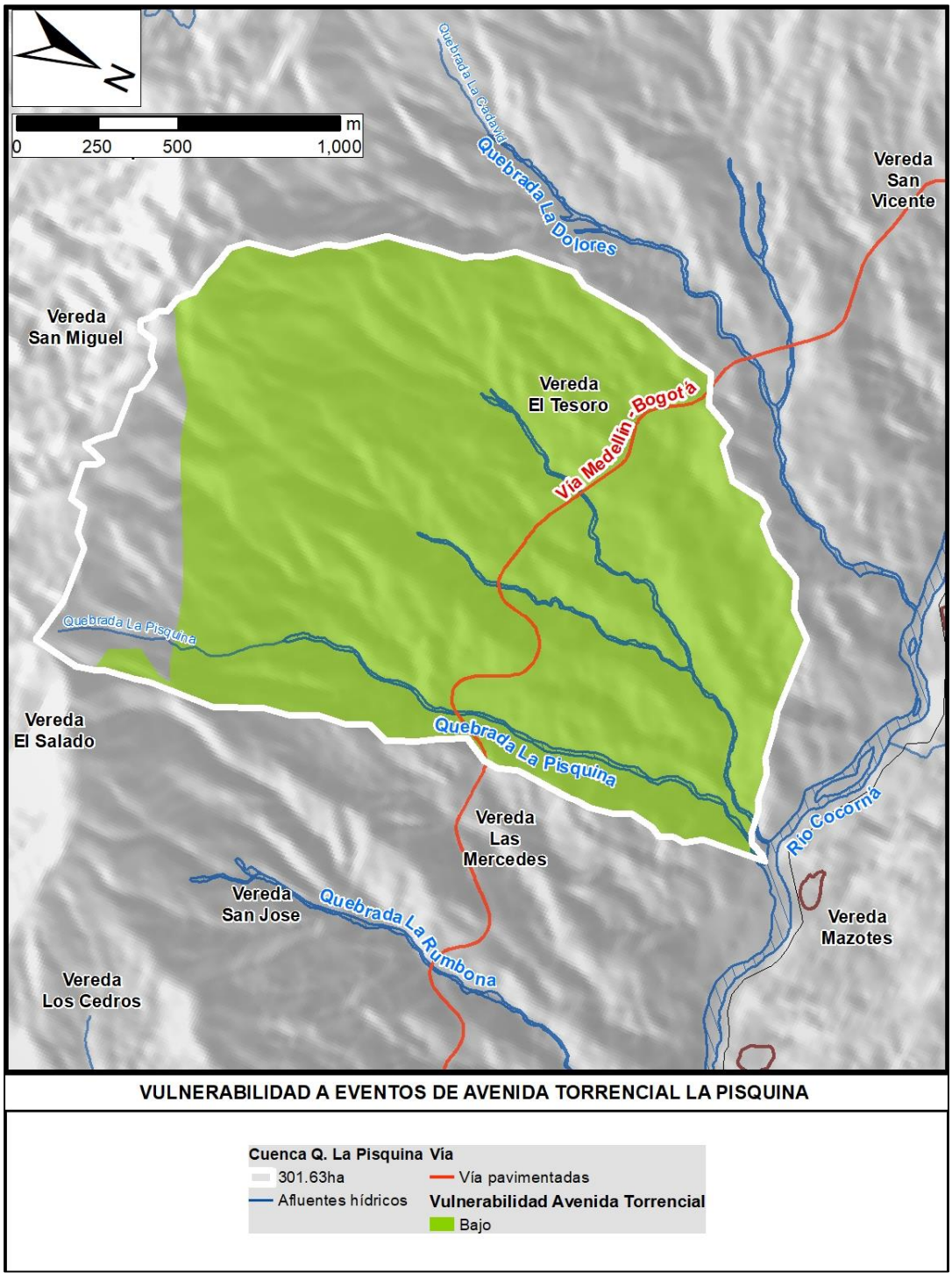

Figura 2-39 Vulnerabilidad avenidas torrenciales Q. La Pisquina

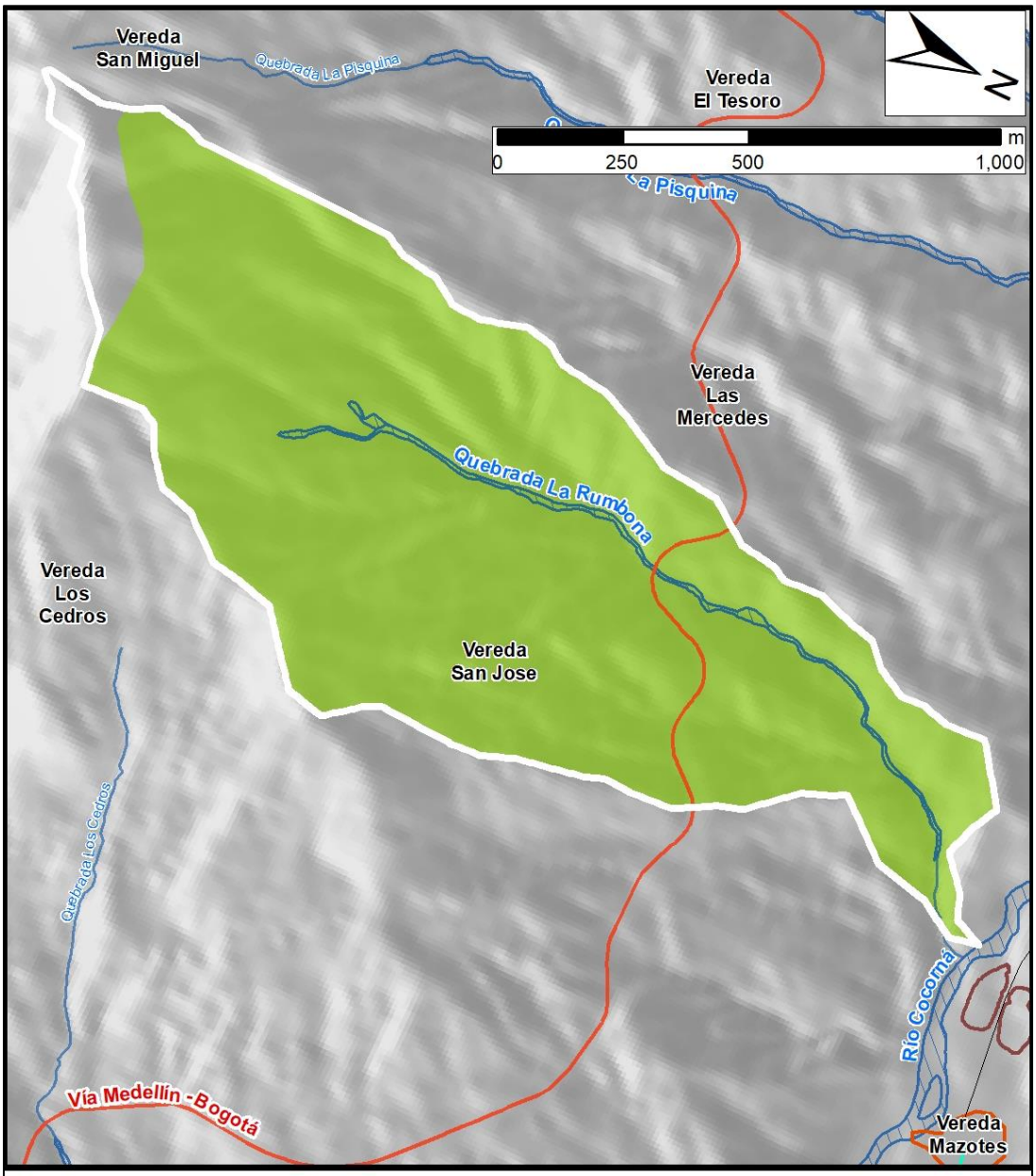

Figura 2-40. Vulnerabilidad avenidas torrenciales Q. La Rumbona

2.3.4 Vulnerabilidad

Una vez determinada la vulnerabilidad física, se aborda el cálculo de la vulnerabilidad ante eventos de avenidas torrenciales en el área de las quebradas La Dolores, La Pisquina y La Rumbona, mediante la expresión ya mencionada en la Figura 2-36, ver **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**.

Tabla 2-24. Vulnerabilidad

Cuenca	Calificación	Área [ha]	Porcentaje
Q. La Dolores	Baja	277,3	100%
Q. La Pisquina	Baja	300,6	100%
Q. La Rumbona	Baja	124,4	100%

El 100% de las cuencas de las quebradas La Dolores, La Pisquina y La Rumbona toda el área de influencia en estudio tiene una vulnerabilidad ambiental “Baja” ante eventos de avenidas torrenciales, que se debe principalmente a la no existencia de áreas protegidas o declaradas de importancia ambiental y a la cercanía de las unidades territoriales de dicha área con la autopista Medellín-Bogotá y la cabecera municipal.

2.4 Riesgo por avenida torrencial

Teniendo en cuenta la zonificación de amenaza realizada para el fenómeno de avenida torrencial, es posible mediante el cruce con la vulnerabilidad obtener el riesgo asociado a estos eventos para el área analizada.

De acuerdo con lo anterior se determina el riesgo a través de la siguiente expresión:

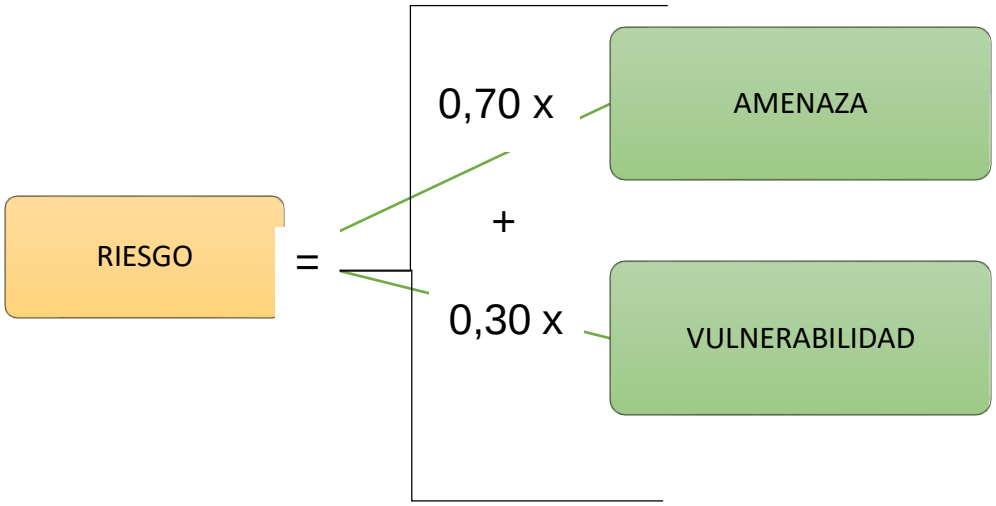

Figura 2-41. Esquema metodológico riesgos

Fuente: Adaptado de Cornare & Gobernación de Antioquia (2012)

Para el área de las cuencas de las quebradas La Dolores, La Pisquina y la Rumbona se obtienen los siguientes resultados para los eventos de avenidas torrenciales (Tabla 2-25, Figura 2-42,Figura 2-43 y Figura 2-44).

Tabla 2-25. Riesgo avenida torrencial por categoría

Cuenca	Categoría	Área [ha]	Porcentaje
Q. La Dolores	Alto	19,5	7%
	Medio	257,8	93%
	Total	**277,3**	**100%**
Q. La Pisquina	Alto	22,5	7,4%
	Medio	278,1	92,6%
	Total	**300,6**	**100%**
Q. La Rumbona	Alto	6,5	5,3%

Cuenca	Categoría	Área [ha]	Porcentaje
	Medio	117,8	94,7%
	Total	**124,4**	**100%**

La mayor parte del área de las cuencas La Dolores, La Pisquina y la Rumbona se encuentran en riesgo medio por avenida torrencial, esto debido a que son zonas poco habitadas, se encuentran asociadas a coberturas propias de las fajas forestales protectoras y tienen cuencas aferentes pequeñas. Sin embargo, sus características morfométricas y de pendientes, propias de quebradas de montaña aumentan la susceptibilidad intrínseca de esas cuencas.

Los taludes cercanos a las quebradas La Dolores, La Pisquina y la Rumbona, pueden generar movimientos en masa o avenidas torrenciales por taponamiento, sin embargo, la baja vulnerabilidad de la zona favorece la mitigación del riesgo asociado a estos eventos.

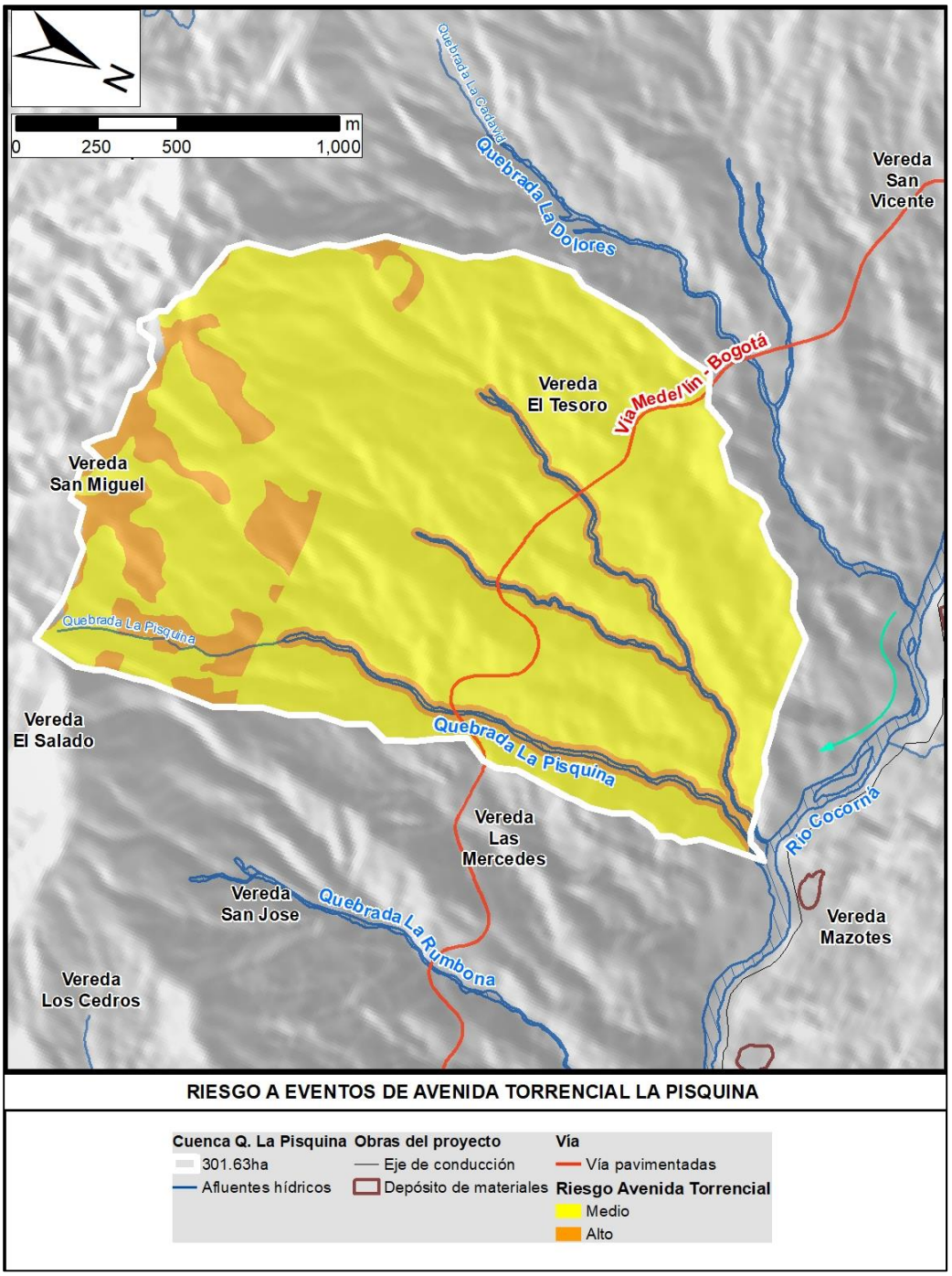

Figura 2-42 Riesgo por avenida torrencial Q. La Pisquina

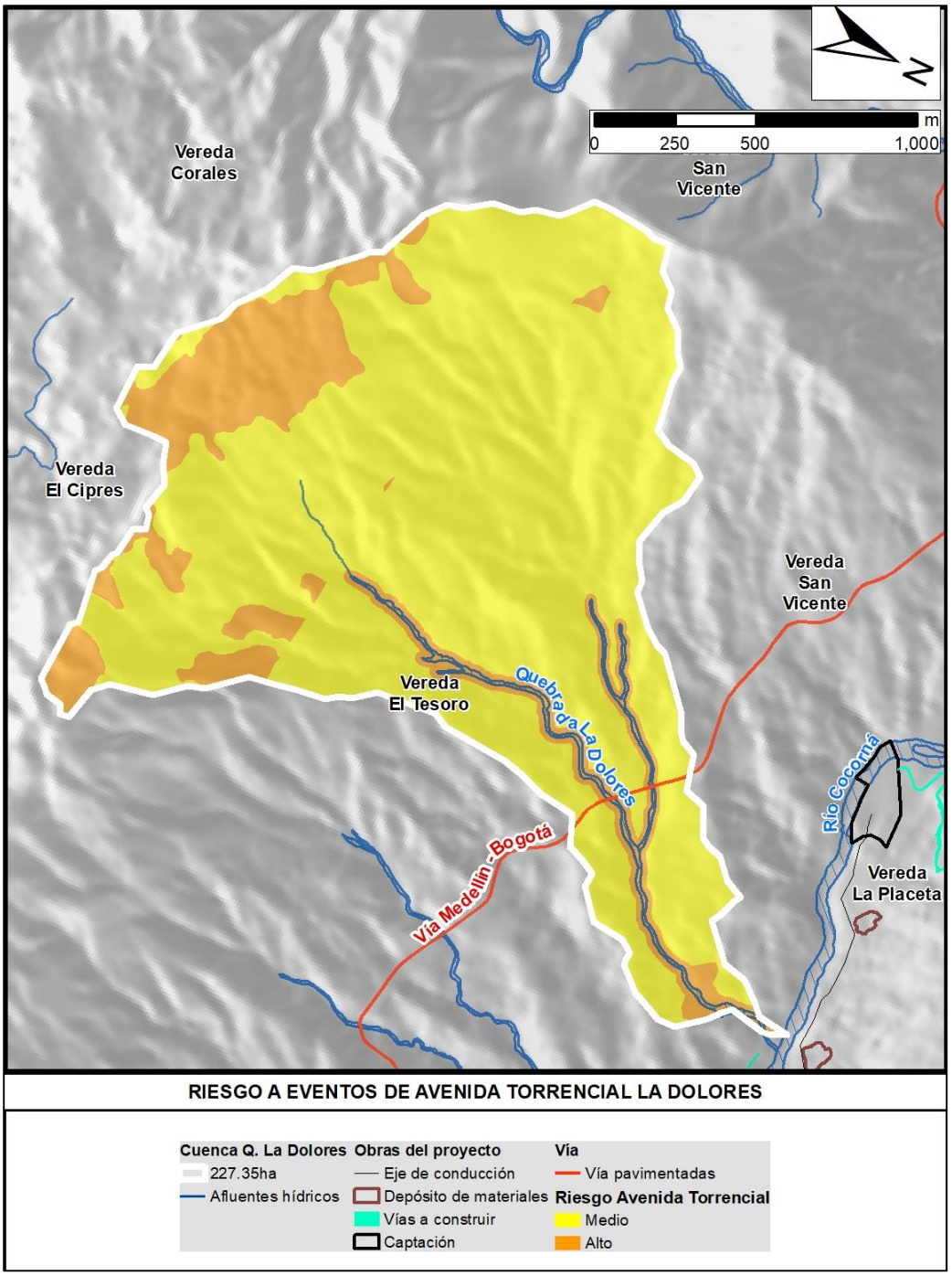

Figura 2-43 Riesgo por avenida torrencial Q. La Dolores

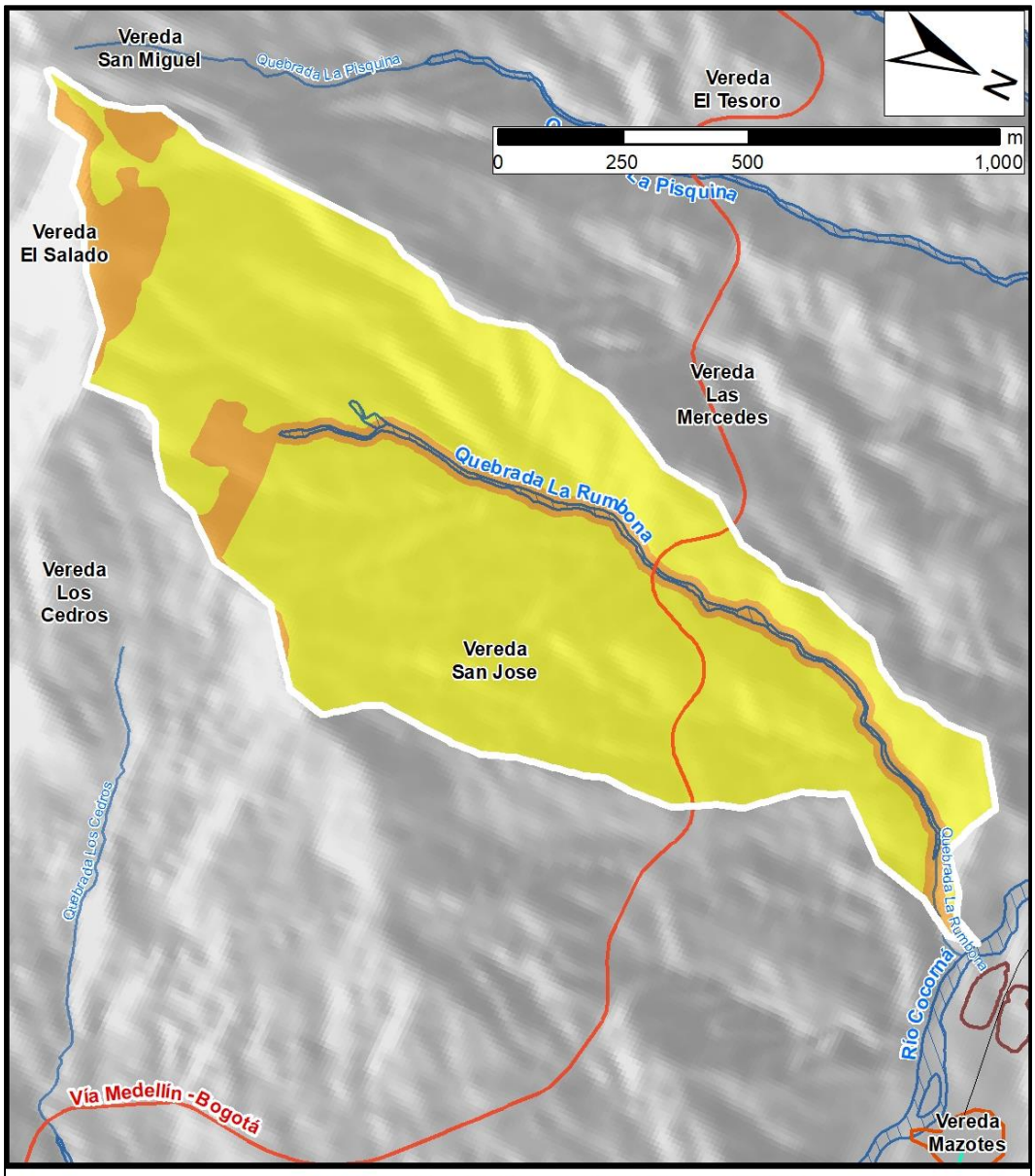

Figura 2-44 Riesgo por avenida torrencial Q. La Rumbona

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, H. C. (2012). Las avenidas torrenciales una amenaza potencial en el valle de Aburrá. *Gestión y Ambiente*, *14*(3), 45–50.

CORNARE - Corporación autónoma regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare. (2011). *Lineamientos ambientales para el ordenamiento territorial municipal - Versión Actualizada a 2011*. 188.

Cornare, Corantioquia, & Consorcio POMCAS Oriente Antioqueño. (2017). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Samaná Norte*. Retrieved from http://www.cornare.gov.co/planes-de-ordenacion-y-manejo-de-cuencas-hidrograficas-pomcas/