

**ANALISIS DE VULNERABILIDAD POR BAJA CONECTIVIDAD VIAL EN
SECTORES URBANOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA
CON AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA Y AMENAZA
SISMICA, IDENTIFICACION DE MEDIDAS DE MITIGACION**

**LILIANA MARCELA MOJICA SEPULVEDA
DIEGO FERNANDO RAMIREZ SUAREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**ANALISIS DE VULNERABILIDAD POR BAJA CONECTIVIDAD VIAL EN
SECTORES URBANOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA
CON AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA Y AMENAZA
SISMICA, IDENTIFICACION DE MEDIDAS DE MITIGACION**

**LILIANA MARCELA MOJICA SEPULVEDA
DIEGO FERNANDO RAMIREZ SUAREZ**

Trabajo de Grado en la modalidad de investigación para optar al título de
Ingeniero Civil

DIRECTOR
YERLY FABIAN MARTINEZ ESTUPIÑAN
Ingeniero Civil, Ms. C. – Profesor UIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

*A Dios por ser mi fortaleza y hacer de este logro una bendición en mi vida.
A mis padres Luz Marina Sepúlveda y Luis Martín Mojica, por su ejemplo y amor,
gracias por hacer de mí una mejor persona y futura profesional.
A mi familia y amigos porque su apoyo ha sido fundamental para la culminación
exitosa de este proceso.
Liliana.*

DEDICATORIA

*A Dios por ser fuente de sabiduría
A mis padres que con sus consejos y amor hicieron posible este logro.
A mi familia y amigos por su constante motivación y apoyo.
Diego.*

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

Al finalizar este proyecto, nos hemos dado cuenta que hubiese sido imposible lograr este objetivo sin la participación del MSc (c) Yerly Fabián Martínez que con su paciencia y conocimientos nos brindó el apoyo necesario para su culminación, estamos altamente agradecidos y comprometidos en nuestro futuro profesional, porque su ejemplo hace parte ya de nuestras vidas.

Además, queremos agradecer a la Universidad Industrial de Santander y al grupo de investigación Geomática por permitirnos el acceso a información que se maneja desde esta institución, ya que sin esto hubiera sido imposible la recolección de datos importantes y necesarios que contribuyeron a la solidez de nuestro trabajo.

CONTENIDO

INTRODUCCION	19
1. OBJETIVOS	21
1.1 OBJETIVO GENERAL OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	21
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	21
2. IDENTIFICACION DE ZONAS VULNERABLES A FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA Y AMENAZA SÍSMICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA... ..	22
2.1 ZONA 1B Rocas Sedimentarias con Pendientes Fuertes:	23
2.2 ZONA 1C Rocas Sedimentarias Fracturadas Afectadas por Fallamiento Geológico.	23
2.3 ZONA 2B Rocas Ígneas y Metamórficas Fracturadas Afectadas por Fallas Geológicas..	23
2.4 ZONA 3B Escarpes de la Meseta de Bucaramanga	23
2.5 ZONA 4A Miembros Órganos y Gravoso No Afectados por Procesos Erosivos.	23
2.6 ZONA 4C Miembros Órganos y Limos Rojos en Laderas Susceptibles a Deslizamientos.:.....	23
2.7 ZONA 7 Depósitos de Coluvión.	25
2.8 ZONA 8A Zona susceptible a deslizamientos en el Norte de Bucaramanga. ...	25
2.9 ZONA 8B Zona de Deslizamiento activo en el Norte de Bucaramanga	25

2.10 ZONA 9 Rellenos sueltos :	25
3. CLASIFICACION DEL ESTADO DE UN PAVIMENTO	
INVIAS.....	26
4. IDENTIFICACIÓN DE VÍAS ALTERNAS BASADAS EN LAS PROPUESTAS	
VIALES PLANTEADAS EN EL PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD	
METROPOLITANO 2011-	
2030.....	38
5. IDENTIFICACIÓN DE VÍAS ALTERNAS BASADAS EN LAS PROPUESTAS	
VIALES PLANTEADAS EN EL PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD	
METROPOLITANO 2011-	
2030.....	39
5.1 ZONA 1B Rocas Sedimentarias con Pendientes Fuertes.	39
5.2 ZONA 1C Rocas Sedimentarias Fracturadas Afectadas por Fallamiento	
Geológico.....	39
5.3 ZONA 2B Rocas Ígneas y Metamórficas Fracturadas Afectadas por Fallas	
Geológicas.	40
5.4 ZONA 3B Escarpes de la Meseta de Bucaramanga.	40
5.5 ZONA 4A Miembros Órganos y Gravoso No Afectados por Procesos Erosivos.	
.....	40
5.6 ZONA 4C Miembros Órganos y Limos Rojos en Laderas Susceptibles a	
Deslizamientos.	40
5.7 ZONA 7 Depósitos de Coluvión.	40
5.8 ZONA 8A Zona susceptible a deslizamientos en el Norte de Bucaramanga.	40
5.9 ZONA 8B Zona de Deslizamiento activo en el Norte de Bucaramanga.	

5.10	ZONA 9 Rellenos sueltos.	42
6	MODELOS DE SIMULACIÓN DE VÍAS ALTERNAS BASADOS EN LAS PROPUESTAS VIALES PLANTEADAS EN EL PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD METROPOLITANO.	42
7	MODELO DE ASIGNACION DE TRÁFICO.	44
8	ESCENARIOS DE SIMULACION	44
8.1	ESCENARIO BASE	45
8.2	GRUPO DE ESCENARIOS CRITICOS	45
8.2.1	ESCENARIO CRITICO 1. ZONA 1B.....	45
8.2.2	ESCENARIO CRITICO 2. ZONA 1C.....	45
8.2.3	ESCENARIO CRITICO 3. ZONA 2B.....	45
8.2.4	ESCENARIO CRITICO 4. ZONA 3B.....	46
8.2.5	ESCENARIO CRITICO 5. ZONA 4A.....	47
8.2.6	ESCENARIO CRITICO 6. ZONA 4C.....	47
8.2.7	ESCENARIO CRITICO 7. ZONA 7.....	48
8.2.8	ESCENARIO CRITICO 8. ZONA 8A.....	48
8.2.9	ESCENARIO CRITICO 9. ZONA 8B.....	49
8.2.10	ESCENARIO CRITICO 10. ZONA 9.....	49
8.3	GRUPO DE ESCENARIOS SIMULACION PROYECTOS PMM.....	49
8.3.1	ESCENARIO 1. ZONA 1B.....	49
8.3.2	ESCENARIO 2. ZONA 1C.....	49
8.3.3	ESCENARIO 3. ZONA 2B	50
8.3.4	ESCENARIO 4. ZONA 3B.....	50
8.3.5	ESCENARIO 5. ZONA 4A	50
8.3.6	ESCENARIO 6. ZONA 4C.....	51

8.3.7 ESCENARIO 7. ZONA 7.....	51
8.3.8 ESCENARIO 8. ZONA 8A.....	51
8.3.9 ESCENARIO 9. ZONA 8B.....	52
8.3.10 ESCENARIO 10. ZONA 9.....	52
9 INDICADORES DEL TRÁFICO.	53
10 RESULTADOS.	53
11 CONCLUSIONES.	55
12 RECOMENDACIONES.	58
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	60

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de conectividad vial en zonas de amenaza.	27
Tabla 2. Rangos de clasificación de pavimento INVIAS método PCI.	39
Tabla 3. Parámetros alfa y beta.	44
Tabla 4. Indicadores escenario base.....	53
TABLA 5. Indicadores escenarios críticos y escenarios de simulación crítica más proyectos PMM.	54

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: Mapa de zonificación sismogeotectónica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga. ..	61
ANEXO B: Tabla de indicadores desagregados del tráfico	62
ANEXO C: Modelo indicadores desagregados del tráfico.	66
ANEXO D. Escenarios de simulación. Escenario Base.	67
ANEXO E. Escenarios de simulación. Escenario modelo critico (zona 1A.)	68

GLOSARIO

PMM Plan Maestro de Movilidad.

VDT Indicador de Trafico de Distancia Recorrida.

VHT Indicador de Trafico Tiempo de Viaje.

ZONA 1B: Rocas Sedimentarias con Pendientes Fuertes.

ZONA 1C: Rocas Sedimentarias Fracturadas Afectadas por Fallamiento Geológico.

ZONA 2B: Rocas Ígneas y Metamórficas Fracturadas Afectadas por Fallas Geológicas.

ZONA 3B: Escarpes de la Meseta de Bucaramanga.

ZONA 4A: Miembros Órganos y Gravoso No Afectados por Procesos Erosivos.

ZONA 4C: Miembros Órganos y Limos Rojos en Laderas Susceptibles a Deslizamientos.

ZONA 7: Depósitos de Coluvión.

ZONA 8A: Zona susceptible a deslizamientos en el Norte de Bucaramanga.

ZONA 8B: Zona de Deslizamiento activo en el Norte de Bucaramanga.

ZONA 9: Rellenos sueltos.

RESUMEN

TITULO: ANALISIS DE VULNERABILIDAD POR BAJA CONECTIVIDAD VIAL EN SECTORES URBANOS DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA CON AMENAZA POR FENOMENOS DE REMOCION EN MASA Y AMENAZA SISMICA, IDENTIFICACION DE MEDIDAS DE MITIGACION¹

AUTOR: LILIANA MARCELA MOJICA SEPULDEVA.
DIEGO FERNANDO RAMIREZ SUARES.²

PALABRAS CLAVES: amenaza sísmica, amenaza por fenómenos de remoción en masa, Área Metropolitana de Bucaramanga, conectividad vial, infraestructura vial, modelo de transporte, escenarios de simulación, método estocástico, indicadores de tráfico, movilidad, zonas vulnerables.

DESCRIPCION:

Este trabajo de investigación presenta un análisis de la vulnerabilidad por baja conectividad vial en sectores del área metropolitana de Bucaramanga con amenaza por fenómenos de remoción en masa y amenaza sísmica, seleccionados con base en los estudios hechos en el 2001 por las alcaldías de los municipios que conforman el área metropolitana de Bucaramanga, INGEOMINAS, la Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) y la Universidad Industrial de Santander.

Las medidas de mitigación que se plantean en esta investigación se apoyan en la identificación de vías alternas en la eventualidad en que estas zonas queden incomunicadas vía terrestre por los fenómenos mencionados, estas propuestas están basadas en los proyectos viales metropolitanos existentes en el Plan Maestro de Movilidad del área metropolitana de Bucaramanga (2011 – 2030). En el proceso de análisis y medición del impacto se utilizaron modelos de macrosimulación en transporte con la ayuda del software TransCad ya que se consideró una herramienta adecuada para tal finalidad; para el proceso de asignación de tráfico se utilizó el Método Estocástico del usuario, el cual se basa en variables como son la capacidad, tiempo de recorrido, factores alpha y beta y además por ser el algoritmo que mejor representa el comportamiento real de los usuarios, ya que presume que éstos no tienen conocimiento total de los costos de viaje de cada ruta, obteniendo resultados e indicadores de tráfico como son el VHT y VDT que permitieron determinar el grado de impacto que tendría cada una de estas propuestas viales en el momento de la emergencia.

¹ Proyecto de grado. Modalidad Investigación.

² Facultad Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Yerly Fabián Martínez Estupiñan

SUMMARY

TITLE: VULNERABILITY ANALYSIS FOR CONECTIVITY OF LOW VOLUME ROADS IN METROPOLITAN AREAS OF BUCARAMANGA WITH RISK OF MASS REMOVAL PHENOMENO AND SEISMIC HAZARD, MITIGATION MEASURE IDENTIFICATION

AUTHOR: LILIANA MARCELA MOJICA SEPULVEDA
DIEGO FERNANDO RAMIREZ SUAREZ²

KEYWORDS: seismic hazard, threat of landslide phenomena, Metropolitan Area of Bucaramanga, road connectivity, road infrastructure, transport model, simulation scenarios, stochastic method, traffic indicators, vulnerable areas.

DESCRIPTION:

This research work shows an analysis of vulnerability caused by low road connectivity in sectors of the metropolitan area of Bucaramanga in risk by landmass movement phenomenon and seismic threat, selected based on studies done in 2001 by the towns' city halls that are part of the metropolitan area of Bucaramanga, Ingeominas, la Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) and Industrial University of Santander.

The possible solution measurements, which are proposed, are based on the identification of alternative roads in case the main roads maybe blocked by the mentioned phenomenon. These alternatives are based on the existing metropolitan roads projects of Bucaramanga in "el Plan Maestro de Movilidad del área metropolitana de Bucaramanga" (the master plan of mobility of the metropolitan area of Bucaramanga). Moreover, for the impact analysis and measurement process, macro-simulation models in traffic were run with the assistance of the TransCad software. For traffic assignment process, the user's stochastic method was used, which works with variables such as; capacity, covered time, Alpha and Beta factors, getting the results and traffic indicators , VHT and VDT, which allow to determine the impact level that each new road proposal would have in an emergency.

² Facultad Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Yerly Fabián Martínez Estupiñan.

INTRODUCCION

El área metropolitana de Bucaramanga se encuentra ubicada en un ambiente sismo geotectónico de fuerte actividad reconocida históricamente; en la cual los sistemas de falla como Bucaramanga – Santa Martha, Suarez y del Guaicaramo la afectan principalmente, al igual que marcadas formaciones geológicas desde el punto de vista litoestratigráfico y geomorfológico, que la hacen más propensa a presentar frecuentemente problemas relacionados con fenómenos de remoción en masa y amenaza sísmica afectando de manera significativa a sus habitantes. La presencia de este tipo de eventos se ve incrementada en especial en temporadas de lluvias intensas y favorecidas también por la constante actividad sísmica del denominado Nido Sísmico de Bucaramanga, y además por la permanente actividad antrópica que modifica el uso del suelo alterando sus condiciones morfológicas.

La infraestructura vial de conectividad del área metropolitana presenta diversas falencias como lo son pavimentos en mal estado, perfiles viales que no son suficientes para la demanda de transporte, falta de señalización vial y demás factores que la hacen aún más vulnerable, en especial en aquellas zonas consideradas con amenaza alta.

Al caracterizar las zonas susceptibles a sufrir amenaza sísmica o amenaza por movimientos de remoción en masa, se puede observar áreas críticas como lo son la zona de escarpa que cobija el oriente del municipio de Bucaramanga, el cual se vería seriamente afectado durante la ocurrencia de un evento sísmico, o el sector norte de Bucaramanga en el barrio Altos de Paulon que está ubicado en una zona de deslizamientos activos que necesitan intervención vial que mejore la conectividad.

Esta investigación tiene por objetivo identificar los problemas de conectividad vial de las zonas vulnerables a fenómenos de remoción en masa y amenaza sísmica para determinar alternativas de mitigación basadas en la información recopilada de los planes maestros de movilidad de los municipios del área metropolitana de

Bucaramanga y el uso de herramientas de simulación aplicados a modelos de transporte.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de la vulnerabilidad por baja conectividad vial en sectores urbanos del área metropolitana de Bucaramanga, afectados por la presencia de fenómenos de remoción en masa y amenaza sísmica.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las zonas vulnerables a fenómenos de remoción en masa y amenaza sísmica del área metropolitana de Bucaramanga.
- Evaluar la infraestructura vial de conectividad de las zonas seleccionadas en el área metropolitana de Bucaramanga.
- Establecer una propuesta de conectividad vial alternativa para la mitigación de los impactos negativos relacionados con los fenómenos de remoción en masa y amenaza sísmica identificados en las zonas de estudio.
- Elaborar modelos de simulación de vías alternas basados en las propuestas viales planteadas en el Plan Maestro de movilidad Metropolitano.

2. IDENTIFICACION DE ZONAS VULNERABLES A FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA Y AMENAZA SÍSMICA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA.

Los estudios de microzonificación sismo geotectónica indicativa hacen parte de los planes generales de desarrollo de Santander, realizados con el fin de definir parámetros preliminares para el diseño y construcción sismo resistente, para la gestión del riesgo, la planificación del desarrollo y el ordenamiento territorial.

Basados en el estudio de “ZONIFICACIÓN SISMOGEO TÉCNICA INDICATIVA DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA” hecho por INGEOMINAS y la CDMB en junio de 2001, donde se localizaron zonas de amenaza a movimientos de remoción en masa y amenaza sísmica identificadas por el tipo de suelo y en especial por los problemas geotécnicos hallados.³

Al caracterizar las zonas que presentan problemas de baja conectividad vial y a su vez son catalogados como vulnerables a fenómenos de remoción en masa y amenaza sísmica, se puede determinar el potencial de riesgo asociado a dichas problemáticas, para ello se identificaron las siguientes zonas de amenaza en el área metropolitana de Bucaramanga. (Ver Anexo 1. Mapa de zonificación sismo geotectónica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga.)

2.1 ZONA 1B Rocas Sedimentarias con Pendientes Fuertes:

³ Zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón - revisión

Esta zona presenta condiciones geotécnicas muy desfavorables principalmente en el monumento a la virgen en Piedecuesta y al noreste del municipio de Floridablanca, afectando el perímetro del barrio La Cumbre y sus barrios aledaños siendo afectados por deslizamientos masivos de los coluviones a media ladera desprendimientos y caída de grandes bloques de roca, en eventos lluviosos o por acción de los movimientos sísmicos, también en algunos sectores existen procesos activos de deslizamiento o erosión, los cuales están siendo acelerados por la intervención antrópica relacionada con el desarrollo urbano.

2.2 ZONA 1C Rocas Sedimentarias Fracturadas Afectadas por Fallamiento Geológico:

Ubicada hacia el sector de Altos de Paulon al Norte del municipio de Bucaramanga, presentando deslizamientos masivos de los coluviones a media ladera, desprendimiento y caída de grandes bloques de roca en eventos lluviosos o por acción de los movimientos sísmicos.

Al ser una zona sísmicamente activa, en el caso de un evento de gran magnitud se generarían agrietamientos del terreno y erosión por profundización acelerada de las cañadas.

2.3 ZONA 2B Rocas Ígneas y Metamórficas Fracturadas Afectadas por Fallas Geológicas:

Se presenta como una franja alargada de dirección noroeste, correspondiente a la zona de alto fracturamiento asociado al sistema de fallas Bucaramanga – Santa Marta, esta zona presenta una susceptibilidad muy fuerte a problemas geotécnicos

entre las cuales se indican deslizamientos masivos de los suelos residuales, formación de cárcavas profundas de erosión en el suelo residual, agrietamiento cosísmico del terreno en el momento de eventos de gran magnitud y afectación sísmica de las construcciones.

2.4 ZONA 3B Escarpes de la Meseta de Bucaramanga:

La zona escarpada abarca más de 20 barrios del occidente del municipio de Bucaramanga en la que se presentan problemas geotécnicos de gran magnitud como agrietamiento cosísmico de la superficie del suelo deslizamientos de tierra y avance de las cárcavas de erosión, siendo esta una de las zonas más críticas a la presencia de movimientos de remoción en masa y sismicidad.

2.5 ZONA 4A Miembros Órganos y Gravoso No Afectados por Procesos Erosivos:

En las áreas perimetrales de esta zona abarcando barrios del norte de Bucaramanga, el barrio La Cumbre en Floridablanca y gran parte de Girón, se pueden presentar deslizamientos de tierra de gran magnitud cárcavas profundas de erosión y agrietamiento cosísmico de las coronas de los taludes. En estos sectores no se deben localizar asentamientos humanos ni obras de infraestructura urbana.

2.6 ZONA 4C Miembros Órganos y Limos Rojos en Laderas Susceptibles a Deslizamientos

El noreste del municipio de Floridablanca se encuentra amenazado por procesos masivos de deslizamiento de tierra, lo que no permite garantizar la estabilidad de proyectos de desarrollo urbano por sus características geotécnicas, por lo tanto, cualquier edificación u obra de infraestructura que se localice en esta área, estará en grave peligro de ser afectada severamente por procesos de inestabilidad del terreno.

2.7 ZONA 7 Depósitos de Coluvión:

Estos depósitos localizados en la red hídrica del área metropolitana de Bucaramanga, generan deslizamientos de tierra y erosión por saturación en épocas de lluvias por lo tanto.

2.8 ZONA 8A Zona susceptible a deslizamientos en el Norte de Bucaramanga:

Esta zona presenta problemas de deslizamientos de tierra por saturación en épocas de lluvias, deslizamientos de tierra activados por sismos y agrietamiento por movimiento del terreno.

2.9 ZONA 8B Zona de Deslizamiento activo en el Norte de Bucaramanga:

En el barrio Villa Helena y sus alrededores se presentan deslizamientos y agrietamientos activos con movimientos actuales del terreno y aceleración de los movimientos por sismo o por temporadas de lluvias.

2.10 ZONA 9 Rellenos sueltos:

En esta zona se incluyen las áreas de rellenos de suelos sueltos y basuras, localizadas en una gran cantidad de sitios del Área Metropolitana de Bucaramanga, destacando por su importancia en la conectividad, avenidas como la Rosita, Quebrada seca y la calle 53.

Presenta asentamientos por colapsos de los rellenos al saturarse o por densificación de los eventos sísmicos, susceptibilidad a los deslizamientos y a la erosión acelerada y amplificación muy fuerte de la onda sísmica.

3. EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL DE CONECTIVIDAD DE LAS ZONAS DE AMENAZA.

Los estudios de vulnerabilidad se han convertido hoy en día en una de las principales fases de investigación en ingeniería para determinar el nivel de inminencia de un lugar a sufrir cierta amenaza, permitiendo demostrar el potencial de riesgo que conlleva la falta de una proyección de infraestructura vial acorde al crecimiento poblacional.

Es fundamental caracterizar la infraestructura vial sobre todo en aquellas zonas que presentan baja conectividad y a su vez son vulnerables a dichos fenómenos, con esto se pretende estimar si estas zonas que hacen parte del área metropolitana presenta las condiciones adecuadas en infraestructura vial, para afrontar una posible emergencia y un posterior proceso de evacuación.

En las zonas de estudio se identificaron características y condiciones de vías principales, secundarias y locales, que se verían seriamente afectadas durante la ocurrencia de una de las amenazas citadas anteriormente, provocando que estos sectores queden aislados para eventuales procesos de evacuación y desalojo.

En la tabla 1 se muestra para cada una de las zonas vulnerables las vías que se verían afectadas ante la un desastre identificando características como son

nomenclatura, ancho de la calzada, clasificación vial, estado del pavimento, estado de la señalización, entre otras, esta información fue tomada del inventario realizado por el Grupo de Investigación Geomática en los años 2009 y 2010 en convenio con cada una de las alcaldías que conforman los municipios del área metropolitana de Bucaramanga.

TABLA 1. Caracterización de conectividad vial en zonas de amenaza.

Zona	Municipio	Barrio	Nombre de Vía	Ancho Calzada [m]	Tipo de Vía	Numero Carriles	Estado del Pavimento	Estado de Señalización
					POT			
1 B	Flori dabl anca	Altos de Villabel	DG 3 - Cr 45	5,7	Inter medi a	2	0	Mala
			Cr 3	7,6	Inter medi a	2	28	Bue na
1 B	Flori dabl anca	Carlos Pizarro-Escoflor	Cr 45					
			Cr 3					
1 B	Flori dabl anca	Lagos IV	CI 39 – TV 29	8	Secu ndari a	2	92	Reg ular

		Urb Bellavista	TV	8	Red Local Nivel 2	2	0	Mala
		Urb Panorama						
1 B	Pied ecue sta	La cantera	Vía Guatiguará - Cr 3	6	Inter medi o	2	0	Mala
		Monserrote	CI 7					
1 B	Flori dabl anca	Rosales	Cr 12	7,1	Inter medi o	2	39	Bue na
1 C	Buca rama nga	Alto del Paulon	Viaducto Vía al Mar	5,3	Red local Nivel 1	2	65	
2 B	Buca rama nga	Buenos Aires	Vía Pamplona	8,5	Regi onal	2	0-10	Bue na
2 B	Buca rama nga	Buenavista	Cr 18	4,5	Red Local Nivel 4	2	95	Reg ular

2 B	Buca rama nga	Pan de Azúcar	Cr 49- Av. Pan de Azúcar	6	Red Local Nivel 4	2	52,5	Mala
			Cr 50	6	Red Local Nivel 4	2	37	Mala
2 B	Buca rama nga	Lagos del Cacique	Cr 33	5,4	Red Local Nivel 4	2	6,5	Mala
			Cr 49	7,2	Red Local Nivel 4	2	50,4	Reg ular
			Cr 56	8,7	Red Local Nivel 4	2	84,1	Mala
3 B	Buca rama nga	Norte Bajo	Cra18via Rio negro	6,4	Prim aria	2	0	Bue na
			CT Matanza	6	Secu ndari a	2	76,2	Mala

3 B	Bucaramanga	Gaitán	Cr 15	7	Primaria	2	0	Buena
			BL Bolívar	8,4	Red Local 2	2	65,7	Regular
			CI 12	9	Red Local 4	2	0,01	Regular
3 B	Bucaramanga	Granada	Cr 15	7	Primaria	2	0	Buena
3 B	Bucaramanga	Girardot	CI 31	6	Red Local 4	2	92	Regular
			Av. Quebrada Seca	10	Secundaria	3	55,7	Buena
			Cr 10	7	Red Local 1	2	34,42	Buena
3 B	Bucaramanga	Joya	CI 36	5,5	Red Local 4	2	66,4	Mala

		Pantano 1, 2 y 3	Cl 37	8,8	Red Local 4	2	70,7	Reg ular
3	Buca rama nga	Alonso López	Cr 9	6,97	Red Local 1	2	70,2	Bue na
3	Buca rama nga	Campo Hermoso	Cl 45	7	Secu ndari a	2	72,91	Bue na
3	Buca rama nga	San Miguel	Cl 50	9,87	Prim aria	3	0	Bue na
			Cr 17	15	Red Local 2	2	52,92	Bue na
3	Buca rama nga	Estoraque s, fundadore s	Cl 60	7,84	Red Local 4	2	40,18	Reg ular
		Punta estrella						
3	Buca rama nga	Mutis	Cl 60	9	Red Local 4	2	86,67	Reg ular

			CI 55	5,55	Red Local 4	2	66,6	Regular
			CI 62	8,6	Red Local 4	2	36,15	Mala
3 B	Bucaramanga	Ciudad Bolívar	TV Metropolitana	7,69	Secundaria	2	61,88	Regular
			CI 64	9	Terciaria	2	58,25	Buena
			CI 63 ^a	8	Terciaria	2	35,56	Regular
3 B	Bucaramanga	Bucaramanga	CI 65	7,69	Secundaria	2	61,88	Regular
			CI 69 ^a	7	Red Local 4	2	56,8	Mala
			CI 65C Cordoncillo I	6	Red Local 4	2	56,45	Mala
	Bucaramanga	La Victoria	CI 67	11	Red local 4	2	63,15	Buena

3 B			Cr 27	7	Secu ndari a	2	32,4	Bue na
3 B	Buc rama nga	San Martin	AP Florida Blanca	15,9	Prim aria	3	0	Reg ular
			Cr 32	5,4	Prim aria	2	34,2	Mala
			Cr 28	5,25	Red local 4	2	52,89	Mala
3 B	Buc rama nga	Diamante	AP Florida Blanca	15,9	Prim aria	3	0	Reg ular
			Cr 19	7,33	Red Local 4	2	56,03	Reg ular
			Av. 89	8,5	Red Local 4	2	39,8	Reg ular
			Cl 89	8,9	Red Local 4	2	68,08	Mala
			Cr 9	5	Red Local 4	2	79,33	Reg ular

			CI 105	7	Red Local 4	2	49,98	Regular
3 B	Bucaramanga	Manuela Beltrán	CL 104D	6,89	terciaria	2	77,9	Regular
			Cr 13	7	terciaria	2	67,4	Regular
3 B	Bucaramanga	Provenza	CL 105	6,89	terciaria	2	77,9	Regular
			Cr20	7,33	Red Local 4	2	56,03	Mala
			Cr 25	7	Red Local 4	2	54,7	Regular
4 ^a	Bucaramanga	Kennedy	Cr 8	7,37	Red Local 4	2	52,91	Mala
			Cr 12	7,96	Red Local 4	2	60,7	Regular
4 ^a	Bucaramanga	Colorados	Cr 28	-	Regional	2	0	Mala

4 ^a	Flori dabl anca	La Cumbre	Cl 30	7	Inter medi o	2	46	Bue na
			Cr 31	6	Red Local 1	2	0	Mala
			Cl 26	6,4	Inter medi o	2	2	Reg ular
4 ^a	Flori dabl anca	El bosque	AV Bosque	7	Inter medi o	2	0	Reg ular
			Cr 26	7	Inter medi o	2	26	Reg ular
4 ^a	Giró n	El Reposo	Cr 15A	7	Red Local 2	2	15	Mala
			Cl 56	11,2	Red Local 2	2	0	Mala
4 C	Flori dabl anca	La trinidad	Cr 18	7	Inter medi a	2	33	Bue na

			Cr 45	6	Red Local Nivel 1	2	0	Mala
7	Floridablanca	Cumbre	AV Bucarica	9	Secundaria	2	66,1	Mala
			Cr 45	7	Secundaria	2	90	Mala
7	Bucaramanga	Kennedy	TV 11-Cr 10	6,9	Red Local 4	2	70	Mala
7	Bucaramanga	Los Colorados	Vía al Mar	-	Regional	2	0	Mala
7	Bucaramanga	Morrongo-Sagrado Corazón	Vía Pamplona	7,1	Regional	2	35,38	Regular
7	Bucaramanga	Cabecera del Llano	AV Jardín	6	Red Local 4	2	88,66	Mala
			AV Pan de Azúcar - AV Jardín	5,17	Red Local 4	2	13,45	Mala

7	Bucaramanga	Pan de Azúcar	AV Jardín	6	Red Local 4	2	76,07	Mala
7	Piedecuesta	Hoyo Grande	CI 17	5	Intermedia	2	23,7	Regular
8ª	Bucaramanga	Café Madrid	Vía Café Girón	5,66	Regional	2	50,2	Buena
8ª	Bucaramanga	Olas Bajas	Vía Café	-	Primaria	2	0	Mala
8ª	Bucaramanga	Villa Rosa	Cr18B	7,8	Red Local 4	2	76,22	Mala
			Cr 7	6,92	Red Local 4	2	78,68	Regular
			CI 2C	2,14	Red Local 4	2	16,12	Mala
			CI 1N	7,52	Red Local 4	2	69,14	Mala

Fuente: elaboración propia.

Las vías citadas en la TABLA 1 muestran el área metropolitana de Bucaramanga con una infraestructura en las zonas de estudio con falencias graves por baja conectividad, ya que en ciertos sectores solo se cuenta con una vía de acceso y de salida, lo cual en una emergencia no sería suficiente para un proceso de evacuación, también es de resaltar que el estado de las vías no es el mejor y que falta más intervención de entes competentes para mejorar la señalización y el estado de la carpeta asfáltica.

4. CLASIFICACION DEL ESTADO DE UN PAVIMENTO INVIAS

Para la clasificación del estado del pavimento de las vías caracterizadas que se tomó la información del inventario realizado en los años 2009-2010 por el Grupo de Investigación Geomática donde se utilizó la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su sigla en inglés Paviment Condition Index) que se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad.

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento, se dio una ponderación numérica que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado.

TABLA 2. Rangos de clasificación de pavimento INVIAS método PCI.⁴

⁴ Pavement condition index Disponible en: <http://www.camineros.com/docs/cam036.pdf> [Citado 10 de Mayo de 2013]

RANGOS	CLASIFICACION
100 – 85	EXCELENTE
85 – 70	MUY BUENO
70 – 55	BUENO
55 – 40	REGULAR
40 – 25	MALO
25 – 10	MUY MALO
10 – 0	FALLADO

5. IDENTIFICACIÓN DE VÍAS ALTERNAS BASADAS EN LAS PROPUESTAS VIALES PLANTEADAS EN EL PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD METROPOLITANO 2011-2030.

El Plan Maestro de Movilidad Metropolitana (PMM) realizado en el año 2011 por la Universidad Industrial de Santander en convenio con el Área Metropolitana de Bucaramanga y teniendo en cuenta los problemas de conectividad y dificultades de accesibilidad presentó una serie de proyectos viales estratégicos que permitirían en parte mitigar esta problemática además de mejorar la movilidad vehicular de los cuatro municipios, entendiéndose que no se convierten en una solución definitiva.

5.1 ZONA 1B Rocas Sedimentarias con Pendientes Fuertes:

En esta zona encontramos el proyecto de Ampliación de la doble calzada de la Carretera Antigua (corredor vial metropolitano), cobijando los barrios Altos de Villabel, Carlos Pizarro, Lagos IV, Rosales, Urbanización Bellavista y Panorama

5.2 ZONA 1C Rocas Sedimentarias Fracturadas Afectadas por Fallamiento Geológico:

La zona 1c tiene dos proyectos de infraestructura vial de conectividad en su área de influencia los cuales son Ampliación de la calzada tramo la Cemento el Cero y la Circunvalar de los Colorados.

5.3 ZONA 2B Rocas Ígneas y Metamórficas Fracturadas Afectadas por Fallas Geológicas:

Esta zona cuenta con el corredor vial de la Doble calzada Bucaramanga Cúcuta entre los barrios de Bellavista y Buenos Aires también para el área de Lagos del Cacique esta la circunvalar oriental de Los Cerros.

5.4 ZONA 3B Escarpes de la Meseta de Bucaramanga:

En la zona escarpada de Bucaramanga se presentan proyectos viales iniciando con los ubicados en el barrio Gaitán con la Ampliación de la doble calzada La Virgen – La Cemento y la Transversal Nazaret; la Troncal Norte Sur (comunicando el centro de la ciudad con el municipio de Floridablanca) en cada uno de su tramos recorre la mayoría de barrios que conforma esta zona: entre La calle 23 y la Avenida Quebrada Seca (tramo 1) a los barrio Granada y Girardot, en la troncal carrera 9 (tramo 2) el barrio Alfonso López, siguiendo con el Viaducto la Novena (tramo 3) el barrio Campo Hermoso; los tramos 4 y 5 entre los barrios Mutis y Ciudad Bolívar y el tramo 6 a barrios Manuela Beltrán Diamante y Provenza.

Los sectores vecinos a la Autopista Girón como el barrio Bucaramanga y El Porvenir con proyectos como la Doble calzada del puente El Bueno, la Transversal de Cenfer y Malpaso.

5.5 ZONA 4A Miembros órganos y Gravoso No Afectados por Procesos Erosivos:

En la zona 4A la Ampliación de la Doble calzada del tramo La Virgen La Cemento ubicada en el barrio Kennedy y en el barrio Los Colorados se localizaran dos proyectos: la Ampliación de la doble calzada La Cemento La Cero y la Transversal los Colorados.

5.6 ZONA 4C Miembros Órganos y Limos Rojos en Laderas Susceptibles a Deslizamientos

En la zona 4C la Transversal Oriental (sector Mensuli –Circunvalar Mensuli) en la zona de influencia de los barrio La Trinidad y la Urbanización José A Morales, y la Transversal de Los Cerros el barrio El Portón de Israel y la Urbanización José A Morales nuevamente.

5.7 ZONA 7 Depósitos de Coluvión:

En la zona 7 en el barrio Kennedy la Ampliación a Doble calzada tramo La Virgen La Cemento, para el barrio Los Colorados la Transversal de Los Colorados y la ampliación doble calzada tramo La Virgen La Cero, y en los barrios de Pan de Azúcar y Cabecera del Llano la Transversal Oriental como único proyecto.

5.8 ZONA 8A Zona susceptible a deslizamientos en el Norte de Bucaramanga:

En la zona 8A en el barrio Café Madrid y Olas Bajas el proyecto de Ampliación Doble Calzada tramo Café Madrid La Cemento, y la conexión Bucaramanga – Ruta del Sol conocida como la “Supervia”, en el barrio Villarosa la Transversal de La Paz- conexión vial y la conexión puente elevado La Esperanza Comuna 1, en el barrio Colseguros la Ampliación de la Doble calzada tramo La cemento El Cero y Transversal de Los Colorados y en el barrio Juventud la Transversal de Nazaret.

5.9 ZONA 8B Zona de Deslizamiento activo en el Norte de Bucaramanga

En esta zona se evidencia una falta de proyecciones viales que le den mejoría en cuanto a conectividad vial se refiere.

5.10 ZONA 9 Rellenos sueltos:

Al revisar la infraestructura de conectividad vial de esta zona podemos establecer que no se podrían hacer nuevos proyectos ya que se tendría que redefinir la infraestructura ya demarcadas.

6. MODELOS DE SIMULACIÓN DE VÍAS ALTERNAS BASADOS EN LAS PROPUESTAS VIALES PLANTEADAS EN EL PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD METROPOLITANO.

El crecimiento poco planificado o nulo del área metropolitana de Bucaramanga ha incidido también en el crecimiento desmedido de su parque automotor dándose los fenómenos de vías que han perdido su vida útil o que están en pésimas condiciones, problemas de congestión, seguridad y eficiencia lo cual genera la necesidad de conocer en un futuro el impacto que tendrá el tráfico en la infraestructura y en la conectividad, evaluando mediante modelos la forma más eficiente de controlar estos fenómenos y de estimar los cambios en los patrones de movilidad para usar los sistemas de transporte en respuesta a cambios urbanísticos demográficos, y en nuestro caso para mitigar el impacto de las amenazas ya mencionadas.

Los modelos de transporte simulan gráficamente el funcionamiento del tráfico en un entorno simplificado estos se crean a través de ecuaciones matemáticas (paramétricas) empleando distintos factores como flujos vehiculares, capacidad vial, dimensión de la vía entre otras.

En la teoría de tráfico existen diferentes medidas que sirven para estimar la utilización de las calles, algunas de ellas son:

- **Flujo:** es la cantidad de vehículos por unidad de tiempo.
- **Velocidad:** (distancia recorrida por unidad de tiempo) La velocidad a la que circulan los vehículos es un dato importante para medir el nivel de congestión que existe.
- **Tiempo:** es el tiempo de viaje sobre un segmento del camino conocido. Esta medida es obtenida dividiendo el largo de la calle entre la velocidad media en atravesar la calle.
- **Parámetros alfa y beta**
“De acuerdo con Fehr & Peers (2010), estos se asignaron como se muestra en la tabla 3.⁵

TABLA 3. Parámetros alfa y beta.

⁵ Castillo Rangel Miguel Andrés, Martínez Estupiñan Yerly Fabián, Porras Díaz Hernán, Modelo de asignación de tráfico y su uso en la priorización de proyectos viales del área metropolitana de Bucaramanga.(2012)

FUNCIONALIDAD	ALFA	BETA
Autopista	0,78	2,5
Arteria urbana	0,40	5,5
Colector	0,70	4,0
Local	0,78	3,8
Conectora “centroide”	0,15	4,0

Fuente: elaboración propia.

7. MODELO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO

El modelo de simulación asigna tráfico basado en información recolectada por medio de aforos que mediante una matriz agrupa los flujos viales en centroides los cuales asignan las cantidades de vehículos que transitan por las vías de acuerdo a su nivel de servicio

Se desarrollaron unos escenarios donde se pudo comparar los flujos totales del tráfico privado de las vías simulando un cierre de flujo vehicular por amenaza sísmica o de remoción en masa de cada zona sin y con sus respectivos proyectos, dicho cierre se logró cambiando los parámetros de velocidad y carga de la asignación de flujo de las vías que se consideraron críticas dándoles valores de 1 km/h y cargas inferiores a la mitad del valor que tienen en realidad, así en el momento de la asignación no se asumiría estas vías desviando los flujos hacia las que tuvieran mejores especificaciones, ayudándonos a estimar si los proyectos para cada zona mejorarían la conectividad vial o si por el contrario no representarían ninguna mejora significativa.

8. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

Para el estudio de las medidas de mitigación que surgirían con la implementación de los proyectos viales del PMM en el área metropolitana de Bucaramanga se proyecta un modelo de transporte que permita relacionar las vías consideradas críticas según la clasificación de zonificación propuesta con dichos proyectos viales, que se suponen mejorarían la baja conectividad vial de las zonas en amenaza.

Se analizaron tres grupos de escenarios: el primero es un escenario básico o situación actual, que fue el punto de partida el cual nos muestra la malla sin ninguna alteración, en segundo lugar están los escenarios críticos (10 escenarios uno por cada zona) que simulan lo que pasaría con la malla vial que tiene el área metropolitana de Bucaramanga si ocurrieran las amenazas citadas generando vías críticas que se bloquearían o cerrarían en dado caso; y un tercer grupo de escenarios que simula el comportamiento de los proyectos del PMM planteados como posible solución a las zonas críticas.

8.1 ESCENARIO BASE

Este escenario corresponde a la malla del área metropolitana sin cambios en las condiciones actuales y que sirva de referente con el cual comparar los demás escenarios.

8.2 GRUPO DE ESCENARIOS CRITICOS:

8.2.1 ESCENARIO CRITICO 1. ZONA 1B

- ✓ Vías críticas existentes:
- FLORIDABLANCA: en el barrio Altos de Villabel la Diagonal 3, la Carrera 3, la Carrera 11, en el barrio Escoflor y Carlos Pizarro la Carrera 45 y la Carrera 3, en Lagos IV la Calle 29, la Transversal 29, y en la Urbanización Bellavista y Panorama la Transversal Oriental.
- PIEDECUESTA: en el perímetro de los barrios La Cantera y Monserrate la vía Guatiguará con Carrera 3 y la Calle 7.

8.2.2 ESCENARIO CRITICO 2. ZONA 1C

✓ Vías críticas existentes:

- BUCARAMANGA: en el barrio Altos de Paulon el viaducto Vía al Mar.

8.2.3 ESCENARIO CRITICO 3. ZONA 2B

✓ Vías críticas existentes:

- BUCARAMANGA: en el barrio Buenos Aires la vía a Pamplona en Buenavista la carrera 18, en Pan de azúcar la Carrera 49, la Avenida Pan de Azúcar la Carrera 50, y en el barrio Lagos del Cacique la Carrera 33 la Carrera 49, y la Carrera 56.

8.2.4 ESCENARIO CRITICO 4. ZONA 3B

✓ Vías críticas existentes:

- BUCARAMANGA: En el barrio Norte Bajo la Carrera 15, la Carrera 18 vía Rio Negro, y CT Matanza, en el barrio San Rafael la Calle 6, en el barrio Gaitán la Carrera 15, Boulevard Bolívar, la Calle 12 y la Calle 18, en el barrio La Gloria la Calle 16A, en el barrio Granada la Carrera 15, en el barrio Girardot la Calle 31 la Avenida Quebrada Seca y la Carrera 10, en el barrio Nariño la Calle 21 y la Calle 20, en el barrio Cuyanita la Calle 26, en el barrio Nápoles la Calle 28, en el barrio La Feria la Calle 26, en el barrio Pio XII la Calle 29, en el barrio Don Bosco la Calle 32, en el barrio 23 de Junio la Calle 31; en los barrios La Joya, Pantano I,II, y III, la Calle 36, y calle 37; en el barrio Alfonso López la Carrera 9 y la Calle 45; en el barrio La Concordia la Diagonal 15 la Calle 45, la Carrera 17 y la Avenida la Rosita; en el barrio Chorreras de Don Juan y Campo Hermoso la Calle 45; en el barrio San Miguel la Calle 53, la Diagonal 15, la Calle 50 y la Carrera 17; en el barrio Estoraques la Calle 60; en el barrio Mutis la Calle 55 y la Calle 62; en el barrio Ciudad Bolívar la Transversal Metropolitana la Calle 64

y la Calle 63A; en el barrio Bucaramanga la Calle 65 la Calle 69A, la Calle 65C hacia Cordoncillo y la Autopista Girón; en el barrio La Victoria la Calle 67 y la Carrera 27; en el barrio San Luis la Carrera 10 y la Carrera 16; en el barrio Balcones de Provenza la Calle 105; en el barrio San Martin la autopista Floridablanca la Carrera 33, la Carrera 27A y la Carrera 28; en el barrio Nueva Fontana la Carrera 17; en el barrio Diamante la Carrera 24 la Autopista Floridablanca, la Calle 91, la Carrera 19, la Avenida 89 y la Calle 89; hacia el sur de la ciudad la vía Sur – Autopista Girón la Carrera 9 y la Calle 105; en el barrio Manuela Beltrán la Calle 104 y la Carrera 13, en el barrio Provenza la Calle 105, la Carrera 25 y la Carrera 20.

- FLORIDABLANCA: el barrio Club House la Avenida 29 y la Transversal 154.

8.2.5 ESCENARIO CRITICO 5. ZONA 4A

✓ Vías críticas existentes:

- BUCARAMANGA: en el barrio Kennedy la vía Al Café y la Carrera 12; en el barrio Los Colorados la Vía al Café.
- FLORIDABLANCA: en el barrio La Cumbre la Calle 30 la Carrera 3E y la Calle 26; en el barrio el Bosque la Avenida El Bosque y la Carrera 26.
- GIRON: en el barrio El Tejar la Carrera 34 la Calle 30 y la Vía Lebrija.

✓ Proyectos viales del PMM:

- BUCARAMANGA: la Ampliación de la doble calzada tramo La Virgen La Cemento y la Transversal de Los Colorados.
- FLORIDABLANCA y GIRON: en los barrios citados para esta zona no hay proyectos establecidos en el PMM.

8.2.6 ESCENARIO CRITICO 6. ZONA 4C

- ✓ Vías críticas existentes:
- FLORIDABLANCA: en el barrio La Trinidad la Calle 107, la Carrera 47 y la Carrera 41; en la Urbanización José A Morales la Transversal Oriental; en el barrio El Reposo la Carrera 47 y la Calle 51; en el barrio El Portón de Israel y laderas de La Cumbre la Calle 30 y la Avenida 60 – Transversal Oriental.
- ✓ Proyectos viales del PMM:
- FLORIDABLANCA: la Transversal Oriental (sector Circunvalar de Mensuli) y la Transversal de Los Cerros.

8.2.7 ESCENARIO CRITICO 7. ZONA 7

- ✓ Vías críticas existentes:
- BUCARAMANGA: en el barrio Kennedy la Transversal 11- Carrera 10; en el barrio Colorados la Vía al Mar; en el barrio Morrórico y Sagrado Corazón la Vía Pamplona; en el barrio Pan de Azúcar la Carrera 51 la Avenida Pan de Azúcar (Avenida Jardín) y la Diagonal 56; y en el barrio Cabecera del Llano la Avenida 42.
- FLORIDABLANCA: en el barrio La Cumbre la Avenida Bucarica y la Transversal Oriental.
- PIEDECUESTA: en el barrio Hoyo Grande la Calle 14.

8.2.8 ESCENARIO CRITICO 8. ZONA 8A

- ✓ Vías críticas existentes:
- BUCARAMANGA: en el barrio Café Madrid la carrera 9AA y la transversal 11; en el barrio Olas Bajas la vía al mar; en el barrio Villa Rosa la carrera 13B y la vía al mar; en el barrio Colseguros la carrera 7 y la vía al mar; y en el barrio la Juventud la CT matanza, la vía al mar, la calle 12C y la calle 1N.

8.2.9 ESCENARIO CRITICO 9. ZONA 8B

- ✓ Vías críticas existentes:
- BUCARAMANGA: En el barrio Villa Helena la Carrera 27 la Carrera 26 y la Carrera 23.

8.2.10 ESCENARIO CRITICO 10. ZONA 9

- ✓ Vías críticas existentes:
- BUCARAMANGA: en el barrio Antonia Santos la Avenida Quebrada Seca; en el barrio La Concordia la Avenida La Rosita y la Calle 53; en la Ciudadela Real de Minas la Transversal Metropolitana y la Calle 65; en el terminal la oreja de la Autopista Girón.
- FLORIDABLANCA: en el barrio La Floresta la Transversal Oriental y la Calle 107; en el barrio Altos del Lago la Carrera 55 la Calle 73, la Calle 75 y la Carrera 56; y en el barrio Cañaverál la Autopista Floridablanca en sentido sur-norte.

8.3 GRUPO DE ESCENARIOS SIMULACION PROYECTOS PMM

8.3.1 ESCENARIO 1. ZONA 1B

- ✓ Escenario critico 1. Zona 1B.
- ✓ Proyectos viales del PMM:
- FLORIDABLANCA y PIEDECUESTA: Ampliación de la doble calzada de la Carretera Antigua.

8.3.2 ESCENARIO 2. ZONA 1C

- ✓ Escenario critico 2. Zona 1C.

- ✓ Proyectos viales del PMM:
- No tiene proyectos planificados en el PMM.

8.3.3 ESCENARIO 3. ZONA 2B

- ✓ Escenario critico 3. Zona 2B.

- ✓ Proyectos viales del PMM:

BUCARAMANGA: en los barrios Buenos Aires, Buenavista la doble calzada Bucaramanga – Cúcuta, y en los barrios Pan de Azúcar y Lagos del Cacique la Circunvalar de Los Cerros.

8.3.4 ESCENARIO 4. ZONA 3B

- ✓ Escenario critico 4. Zona 3B.

- ✓ Proyectos viales del PMM:

BUCARAMANGA: Ampliación de la doble calzada tramo La Virgen La Cemento la Transversal Nazaret, la TNS tramo 1, la Avenida Quebrada Seca, la Calle 23, TNS tramo 2, Ampliación de la Carrera 18, la TNS tramo 3B puente La Novena, la vía alterna de la novena San Miguel Mutis, la Ampliación de la Carrera 15, la TNS tramo 4, la TNS tramo 5 estadio de softball hacia el terminal, la Doble calzada vía a Girón desde el puente El Bueno – la Salle, la Ampliación de la doble calzada Carretera Antigua y la TNS tramo 6A, y la Transversal de Cenfer.

FLORIDABLANCA: La Transversal de Malpaso y la TNS tramo 6B.

8.3.5 ESCENARIO 5. ZONA 4A

✓ Escenario critico 5. Zona 4A.

✓ Proyectos viales del PMM:

BUCARAMANGA: la Ampliación de la Doble Calzada tramo La Virgen La Cemento y la Transversal de Los Colorados.

FLORIDABLANCA y GIRON: en los barrios citados para esta zona no hay proyectos establecidos en el PMM.

8.3.6 ESCENARIO 6. ZONA 4C

✓ Escenario critico 6. Zona 4C.

✓ Proyectos viales del PMM:

FLORIDABLANCA: la Transversal Oriental (sector Circunvalar de Mensuli) y la Transversal de Los Cerros.

8.3.7 ESCENARIO 7. ZONA 7

✓ Escenario critico 7. Zona 7.

✓ Proyectos viales del PMM:

BUCARAMANGA: la Ampliación de la doble calzada tramo La Cemento El Cero y la Transversal de Los Cerros.

FLORIDABLANCA y PIEDECUESTA: en los barrios citados para esta zona no hay proyectos establecidos en el PMM.

8.3.8 ESCENARIO 8. ZONA 8A

✓ Escenario critico 8. Zona 8A.

✓ Proyectos viales del PMM:

BUCARAMANGA: La Ampliación de la doble calzada tramo Café Madrid La Cemento, La conexión Bucaramanga – Ruta del Sol “Supervia”, la Ampliación doble calzada tramo La Virgen la Cemento, la conexión puente elevado La Esperanza Comuna 1 y la Ampliación doble calzada tramo la Cemento El cero.

8.3.9 ESCENARIO 9. ZONA 8B

✓ Escenario critico 9. Zona 8B.

✓ Proyectos viales del PMM:

BUCARAMANGA: en este sector no hay proyectos viales en el PMM.

8.3.10 ESCENARIO 10. ZONA 9

✓ Escenario critico 10. Zona 9.

✓ Proyectos viales del PMM:

BUCARAMANGA: La Ampliación de la Carrera 18, la Ampliación de la Avenida Quebrada Seca, la Ampliación de la Calle 54, el Corredor vial Calle 54 Doble calzada entre la Carrera 17 y Carrera 27 y la Vía alterna de La novena – San Miguel – Mutis.

FLORIDABLANCA: la prolongación del Deprimido Calle 58 entre Carrera 23 y 28 y la Ampliación Viaducto La Flora.

9. INDICADORES DEL TRAFICO

Para cada escenario simulado se calcularon los indicadores de trafico VDT (indicador de distancia recorrida) y VTH (indicador de tiempo de viaje) de los vehículos particulares de la matriz origen destino y expresados en kilómetros y horas ,(indicadores agregados) y el flujo vehicular medidos en determinados puntos de control tomados sobre grafos de los proyectos viales del PMM implementados en esta investigación, para mostrar a modo de ejemplo (Los datos completos se encuentran en el anexo 2) uno de ellos está ubicado sobre el proyecto de Ampliación de la doble de la calzada de la Carretera Antigua en el tramo que atraviesa el barrio Altos de Villabel arrojando un flujo total de 963,2 vehículos entendiéndose como flujo la cantidad de vehículos que pasan por un punto de control durante un tiempo determinado con base en criterios de movilidad y de que estuvieran ubicados en zonas críticas para observar su comportamiento.

10.RESULTADOS

Los resultados obtenidos para los indicadores agregados en el escenario base se consignan en la tabla 4, así mismo en la tabla 5 para los escenarios críticos y escenarios de simulación critica más proyectos PMM.

TABLA 4. Indicadores escenario base.

INDICADORES INICIALES	
VHT	VDT
390489.44	161114.74

Fuente: elaboración propia.

TABLA 5. Indicadores escenarios críticos y escenarios de simulación crítica más proyectos PMM.

	ESCENARIOS CRITICOS		ESCENARIOS CRITICO MAS PROYECTOS PMM	
Zon	Indicadores		Indicadores	
a	VHT	VDT	VHT	VDT
1B	391485.31	160265.82	391103.04	161220.5
1C	327784.09	142146.25	N.A	N.A
2B	392974.52	160145.77	390060.89	161013.06
3B	401298.62	161940.33	392904.69	160928.60
4A	398647.52	160440.93	398165.53	161627.05
4C	390489.44	160111.86	N.A	N.A
7	393174.28	161634.18	381746.11	161200.48
8A	390919.46	161180.79	391352.43	161283.31
8B	390479.0	161110.69	N.A	N.A

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos para el “Tot Flow” (flujos totales) indicador desagregado del tráfico, este indicador hace referencia a la cantidad de vehículos que pasaron por los puntos de control expuestos en el anexo 2.

11. CONCLUSIONES:

Al concluir esta investigación se logró identificar que los proyectos del PMM incluidos en el análisis de zonificación son piezas claves para mejorar la conectividad del Area metropolitana de Bucaramanga sin descartar que aun hacen falta más proyectos que se enfoquen en solucionar la problemática de aquellas zonas expuesta a fenómenos de amenaza sísmica y/o a movimientos de remoción en masa. Además se debe mencionar que el modelo de macro simulación de transporte utilizado con ayuda del software TransCad constituye una importante herramienta para fortalecer la planeación de los proyectos de infraestructura vial en lo que se refiere a atención de emergencias y planes de evacuación y no solo desde la perspectiva de la movilidad vehicular.

Es importante mencionar que el indicador VHT para la condición crítica respecto a la condición base aumento en las zonas 1B, 2B, 3B, 4 y 8A debido a la poca conectividad que se genera al incluir la condición de una afectación global por cierres de las vías a causa de las amenazas evaluadas; este indicador disminuyo en las zonas 1C, 4C y 8B debido a que se encuentran en zonas aisladas lo cual indica en términos del software que hacia esos sectores no llegarían flujos por ende disminuirían los tiempos de viaje.

Contrastando los resultados obtenidos al simular los escenarios (Condición crítica y condición crítica aplicando proyectos viales de los PMM) se encontró al aplicar los proyectos viales el indicador VTH disminuyó de forma notoria en las zonas 1B 2B, 3B, 4A y 7, reduciendo de esta forma los tiempos de recorrido y obteniéndose una asignación de flujo mayor a los presentados en las vías de cada zona, lo cual representa condiciones favorables a la hora de una evacuación Respecto al indicador VDT se obtuvo que en las zonas 1B, 2B, 4A y 8A mostró un aumento debido a que los nuevos proyectos poseen longitudes mayores, buenas características de infraestructura y velocidades más altas, disminuyendo los tiempos de recorrido generados en estos trayectos.

En la zona 1C (altos del Paulon, norte de Bucaramanga) y 4C (la trinidad, Floridablanca) no presentan proyectos viales en los PMM que mejoren su conectividad vial debido a que estos no se enfocan en la problemática analizada, convirtiéndola en zonas con mayor afectación a futuro, destacando que la zona 1C es un sector con presencia de alta sismicidad y de deslizamientos masivos con tan solo una vía de conexión.

Al analizar el “Tot Flow” de cada uno de los proyectos de los PMM, se encontró que hay dos prioridades que tendrían mayor afluencia de vehículos, lo cual mitigarían la baja conectividad vial del área metropolitana de Bucaramanga, la primera es la Doble calzada vía Girón beneficiando la conectividad vial en más de 10 barrios del sector y la segunda es la ampliación a doble calzada de la carretera antigua, que ayudaría a disipar el flujo en la Autopista Florida convirtiéndose esta en uno de los corredores viales que ayudarían a la evacuación de personas de Norte a sur y viceversa en el caso de emergencia.

En relación con la zona de escarpa (zona 3B) se analizó que no posee las vías necesarias en caso de evacuación durante una emergencia sísmica, afectando con más severidad a los barrios que cuentan con una o máximo dos vías de acceso como lo son Nápoles, La feria, Pio XII, Don Bosco, La Joya, Estoraques, Punta estrella y club House entre otros.

Cabe destacar que en el modelo de asignación se presentaron valores de flujo vehicular bajo para los proyectos Transversal de los Colorados, Ampliación a doble calzada tramo La Cemento El Cero, puente elevado la esperanza comuna 1, doble calzada vía a Cúcuta y en la conexión “supervia” Bucaramanga – Ruta del sol debido a que solo se analizó el tráfico privado, sin embargo son proyectos que podrían mitigar la baja conectividad vial al norte y oriente de la ciudad de Bucaramanga, siendo estas vías de acceso de barrios y veredas aledañas.

No se realizó la simulación de los escenarios para la zona 9 debido a que se encuentra situada en sectores con una infraestructura fuertemente demarcada que

no permite cambios, se puede notar que afecta principalmente a 3 grandes corredores del municipio de Bucaramanga (Avenida quebrada seca, avenida la rosita, y la calle 56) los cuales presentan alta conectividad generando que los flujos en una situación de amenaza se pueden dispersar en cualquier dirección del corredor.

Por último, se concluye que el Área Metropolitana de Bucaramanga no presenta las condiciones adecuadas en lo que se refiere a conectividad vial para afrontar una emergencia de evacuación en aquellas zonas vulnerables a fenómenos de remoción en masa y amenaza sísmica. A pesar de que se presente un sinnúmero de proyectos de conectividad vial estos no son suficientes ya que no se plantearon para mitigar esta problemática y aun así cuando algunos de ellos se implementaran sería necesario realizar pequeñas obras de conectividad que los hicieran más eficientes como es el caso de la “Supervia” en el sector de Altos de Paulon pero es de destacar que con la implementación de los proyectos incluidos en esta investigación se mitigaría en gran medida la baja conectividad de las zonas de estudio así esta no haya sido su principal finalidad.

12.RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se debería actualizar los datos de la malla base de simulación mediante la utilización de información proveniente de más aforos y estudios viales del área metropolitana de Bucaramanga con el fin de ajustar mucho más el modelo y tener mayor precisión.

También es necesario realizar una actualización en los estudios de microzonificación en los municipios del Area Metropolitana de Bucaramanga y detallar en una escala más eficiente los planos correspondientes a dichos estudios.

En cuanto a los proyectos es conveniente ajustar la información a la malla de una manera más detallada para no trabajar en base a supuestos como ocurre en vías de las cuales no se tiene datos sobre su estado y geometría para con ello disminuir el porcentaje de error en el análisis de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Alcaldía de Bucaramanga – Universidad Industrial de Santander. (2011). Plan maestro de movilidad, Bucaramanga 2010 – 2030. Bucaramanga, Colombia.

[2] CASTILLO RANGEL MIGUEL ANDRÉS, MARTÍNEZ ESTUPIÑAN YERLY FABIÁN, PORRAS DÍAZ HERNÁN, Modelo de asignación de tráfico y su uso en la priorización de proyectos.

[3] COSTA, J. 1988. Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows and debris flows. In Flood geomorphology, Baker, V. John Wiley & Sons, N.Y

[4]EVACUACIÓN MULTIMODAL REGIONAL.PLANEACIÓN Y EVACUACIÓN USANDO SIMULACIÓN DE TRÁFICO. Brian Wolshon, PhD. And Vinayak Dixit, Ph.D. Louisiana State University Y Gulf Coast Center for Evacuation and Transportation Resiliency

[5]De Cea, J. and Fernandez, J.E. Transit Assignment Models, the State of the Art. HANDBOOK IN TRANSPORT, D.A. Hensher, and K.J Button. Ed. Pergamon Press, Oxford. 2000.

[6] Fehr & Peers Transportation Consultants. (2010). Mendocino county travel demand model, user's guide.

[7] Geoportal Bucaramanga UIS
<http://garza.uis.edu.co/observatoriosigbucaramanga/>, [citado 10 de Marzo de 2013]

[8] Geoportal Área Metropolitana de Bucaramanga UIS
<http://garza.uis.edu.co/observatoriosigam/> [citado 10 de Marzo de 2013]

[9] Nptel, Traffic assignment models. [En jinea]. [S.F.] Disponible en: http://www.sectra.cl/Indicadores_de_Movilidad/indicadores_movilidad.html. [Citado 18 de mayo de 2013]

[10] ORTUZAR, J. DE D. y WILLUMSEN, L.G. (2001). Modelling Transport. John Willey&Sons LTD, West Sussex, Inglaterra.

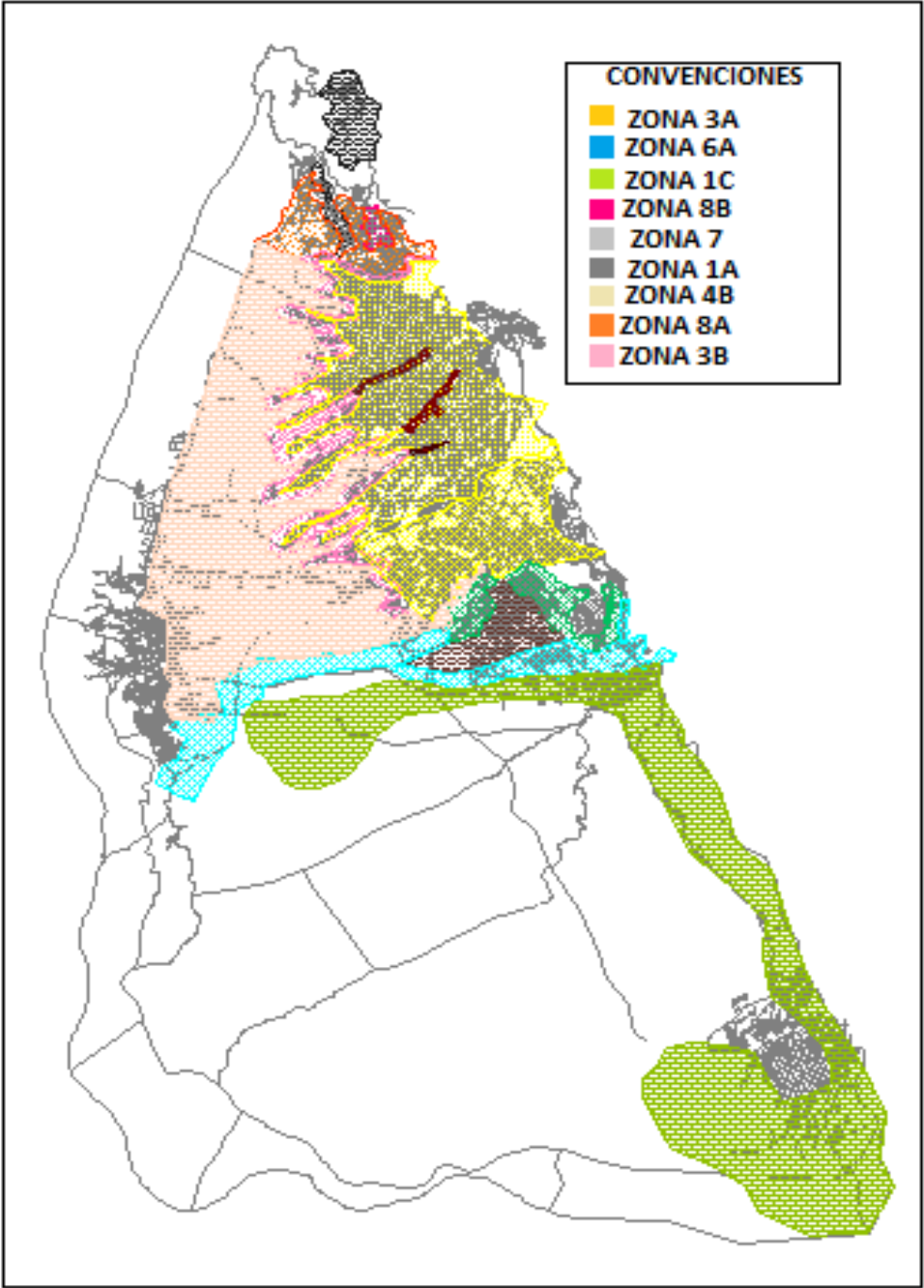
[11] PAVEMENT CONDITION INDEX, INGEPAV, <http://www.camineros.com/docs/cam036.pdf> [Citado 15 de Junio de 2013]

[12] PERFORMANCE OF MULTI-MODAL EVACUATION TRAFFIC NETWORKS: A SIMULATION BASED ASSESSMENT.

[13] TECHNOLOGICAL ADVANCES IN EVACUATION PLANNING AND EMERGENCY MANAGEMENT: CURRENT STATE OF THE ART. Dr. Mohsen Jafari Professor cooperation with U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Center for Advanced Infrastructure & Transportation (CAIT) Department of Industrial and Systems Engineering Civil & Environmental Engineering Rutgers, The State University Piscataway, Izzat Bakhadyrov Graduate Research Assistant Dr. Ali Maher Professor

[14] TRANSIT-BASED EMERGENCY EVACUATION MODELING WITH MICROSCOPIC SIMULATIO. Hana Naghawi B.S. The University of Jordan M.S. The University of Jordan May 2010

Anexo A. Mapa de zonificación sismogeotectónica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga.



Fuente: elaboración propia.

Anexo B: Tabla de indicadores desagregados del tráfico.

INDICADORES DESAGREGADOS DEL TRAFICO					
ZO NA	PROYECTO	BARRIO	TOT FLO W	NS AB Flow	SN BA Flo w
				CARR IL 1	CA RRI L 2
				AB FLOW	
1a	Ampliación de la doble de la calzada de la carretera antigua.	Altos de Villabel	963.2	646	317
	Ampliación de la doble de la calzada de la carretera antigua.	Lagos iv, Urb bellavista	28.6	28.6	
	Ampliación de la doble de la calzada de la carretera antigua.	Rosales	28.6	28.6	— —
2b	Doble calzada Bucaramanga Cúcuta	Buenos aires			
	Doble calzada Bucaramanga Cúcuta	Buenavista	135	10.6	124. 6
	Circunvalar oriental o de los cerros	Pan de azúcar	147	140	7
	Circunvalar oriental o de los cerros	Lagos del cacique	539	365	174
3b	Ampliación doble calzada tramo la virgen la cemento	Norte bajo	764.4	764.4	0

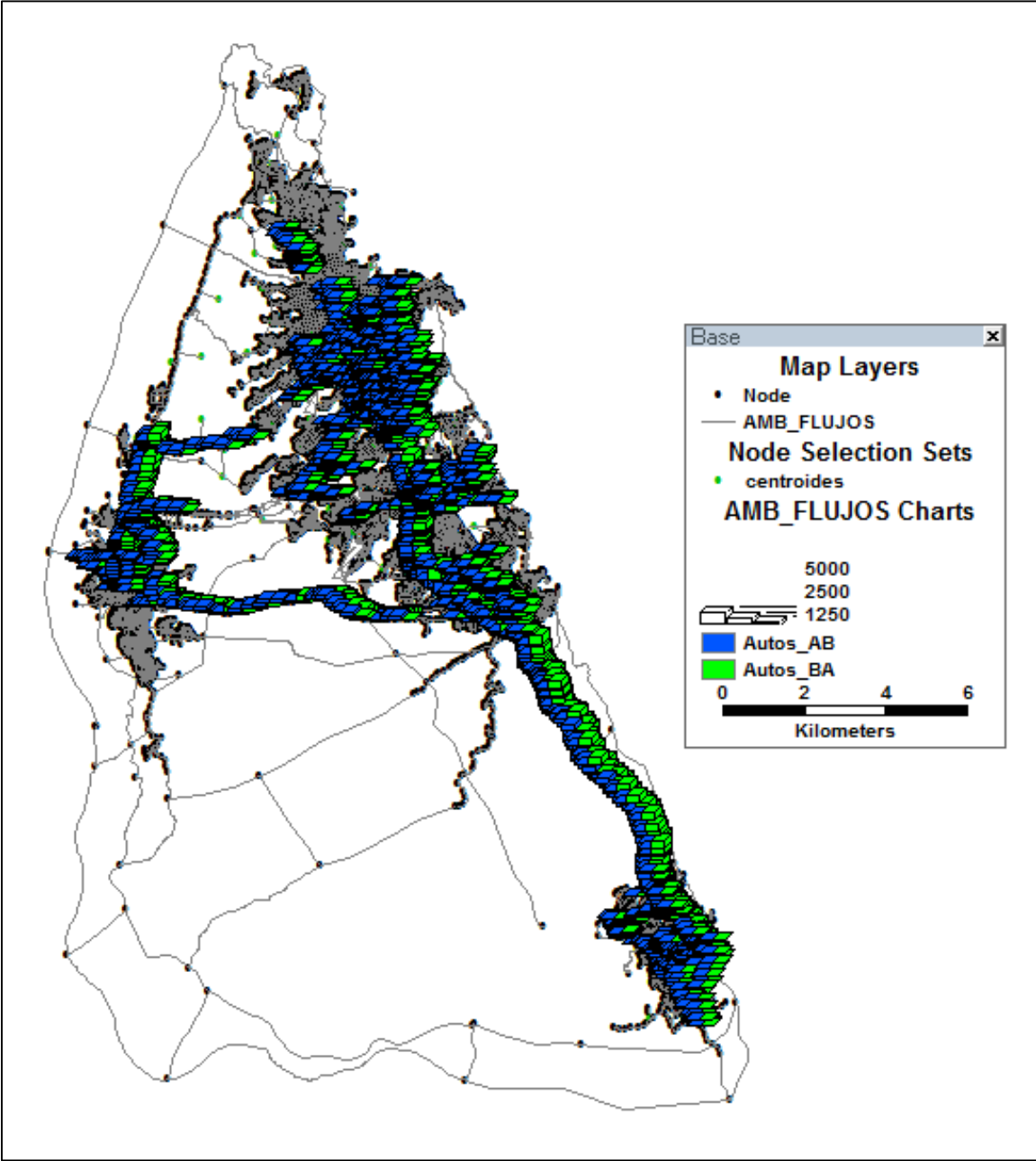
transversal Nazaret	Gaitán	605.6	139	466.6
Troncal norte sur tramo 1 avenida	Granada y Girardot	4.6	0	4.6
Ampliación de la avenida quebrada seca	Granada	188.2	188.2	0
Troncal norte sur tramo 2 Cra 9	La concordia	402.2	0	402.2
Ampliación de la Cra 18	La concordia	402.2	0	402.2
Troncal norte sur tramo 3b puente la novena	Campo hermoso	0	0	0
Ampliación de la Cra 18	La concordia - san miguel	93.4	0	93.4
Troncal norte sur tramo 4 mutis	Mutis	0	0	0
Troncal norte sur tramo 5 estadio softball hacia terminal	Ciudad bolívar	588.2	0	588.2
Doble calzada vía a Girón desde el puente el bueno -la Salle	Bucaramanga	1108.4	724	384.4
Doble calzada vía a Girón desde el puente el bueno -la Salle	La victoria	1108.4	724	384.4
Doble calzada vía a Girón desde el puente el bueno -la Salle	San Luis	1109.4	725	385.4
Ampliación a doble calzada carretera antigua	San Martin	658	258	400
Troncal norte sur tramo 6a id	Nueva fontana	0	0	0
Transversal de Cenfer	Sur vía Girón	85.2	6.2	79
Transversal de malpaso	Sur vía Girón	0	0	0

	Troncal norte sur tramo 6a p22	Manuela Beltrán - Provenza	126	126	0
	Troncal norte sur tramo 6b	???	3	3	0
4a	Ampliación doble calzada tramo la virgen la cemento	Kennedy	683.8	464.8	219
	Transversal de los colorados	Colorados	0	0	0
	Ampliación doble calzada tramo la cemento el cero	Colorados	0	0	0
4c	Transversal de los cerros	La trinidad			
7	Ampliación doble calzada tramo la cemento el cero	Colorados	0	0	0
	Transversal de los cerros	Hoyo grade			
	Transversal de los cerros	El portón de Israel	188.7 5	174,5	14,2 5
	Transversal de los cerros	Pan de Azúcar	345.5	338.25	7.25
8a	Conexión Bucaramanga ruta del sol "supervia"	Café Madrid	0	0	0
	Ampliación doble calzada tramo la virgen-la cemento	Olas bajas	199	199	0
	Ampliación doble calzada tramo la virgen-la cemento	Villarosa	916	563	353
	Conexión - puente elevado 'la esperanza comuna 1	Villarosa	96	62	34
	Ampliación doble calzada tramo la cemento - el cerro	Colseguros	866	552	314
	Ampliación doble calzada tramo la cemento - el cerro	Juventud	956	650	306

8b	Conexión puente elevado "la esperanza "comuna 1	Villa helena			
-----------	---	--------------	--	--	--

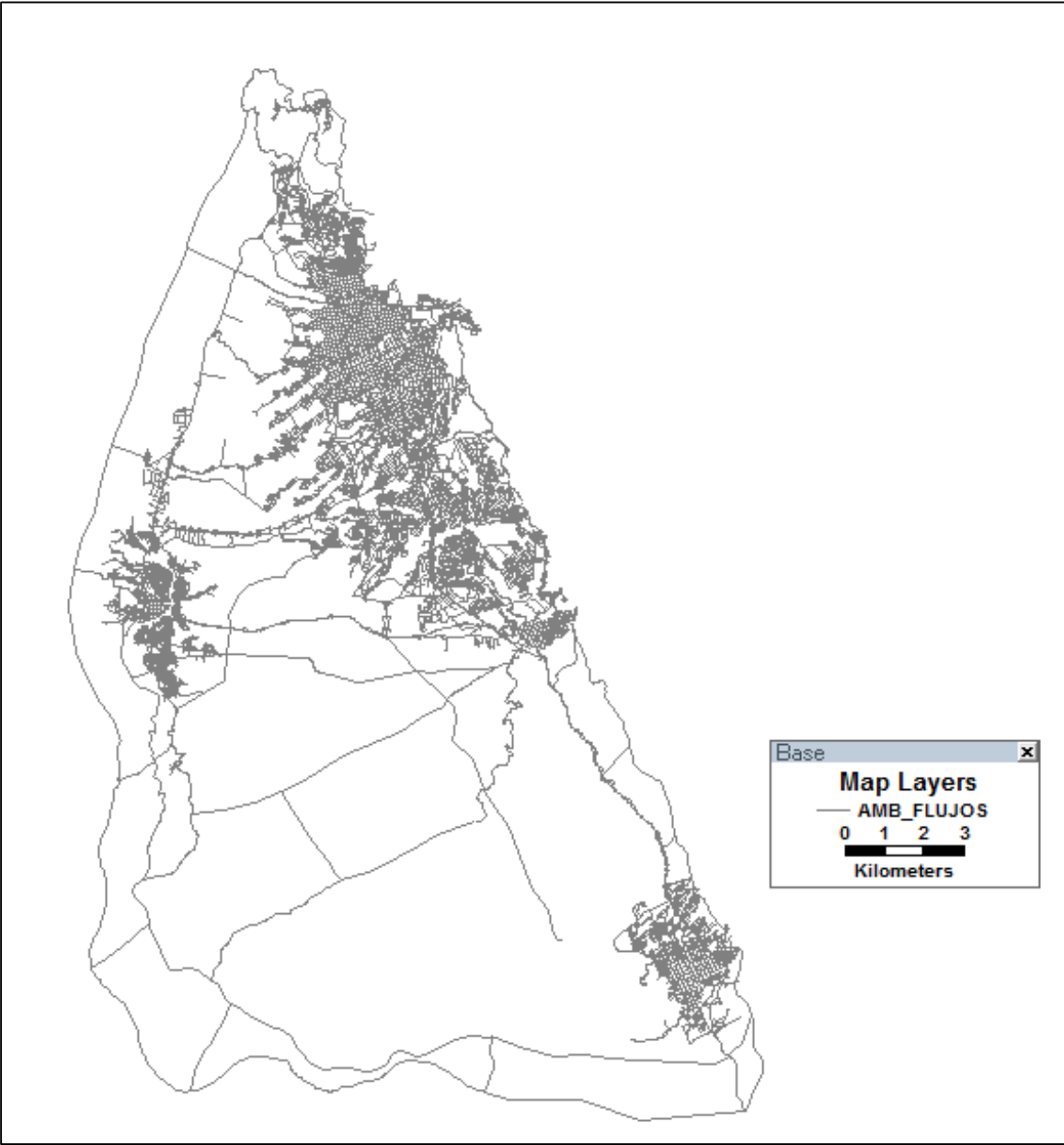
Fuente: Elaboración propia

Anexo C. Modelo indicadores desagregados del tráfico.



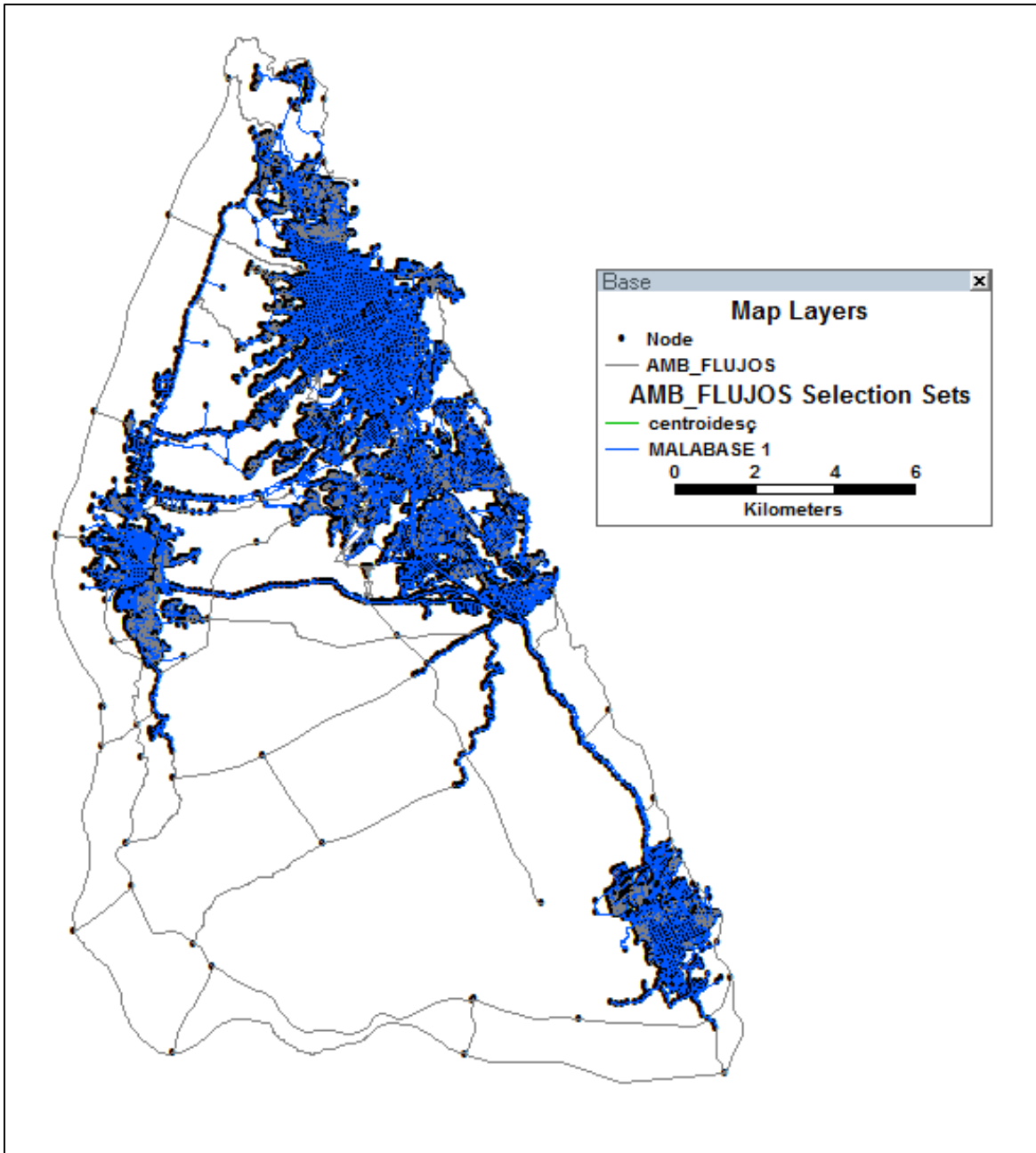
Fuente: Elaboración propia

Anexo D. Escenarios de simulación. Escenario Base.



Fuente: elaboración propia

Anexo E. Escenarios de simulación. Escenario modelo crítico (zona 1A.)



Fuente: elaboración propia