

**MODELACIÓN LOGIT BINARIA DE LA SEVERIDAD DE LOS
ACCIDENTES DE TRÁFICO EN LAS VÍAS RURALES DEL ATLÁNTICO,
COLOMBIA.**

JORGE BOLÍVAR REDONDO

LUIS LLERENA SIERRA



**UNIVERSIDAD
DE LA COSTA
1970**

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

**MODELACIÓN LOGIT BINARIA DE LA SEVERIDAD DE LOS
ACCIDENTES DE TRÁFICO EN LAS VÍAS RURALES DEL ATLÁNTICO,
COLOMBIA.**

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO POR:

JORGE BOLÍVAR REDONDO

LUIS LLERENA SIERRA

TUTORES DE INVESTIGACIÓN:

ING. ANDREA ARÉVALO

ING. MAURICIO OROZCO

UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

Nota de aceptación

Presidente de Jurado

Jurado

Jurado

Barranquilla, _____ 2017

Dedicatoria

A mis padres, Luis Llerena e Inés Sierra, quienes incondicionalmente han empeñado sus vidas y esfuerzos a brindarme las oportunidades que ellos no tuvieron, les dedico éste y todos mis logros, los amo.

Luis Llerena Sierra.

Dedicatoria

A mi madre, Ingrid Redondo, quien, con su templanza, carácter y principalmente con su amor, me inculcó los valores que hoy tengo y me motivó siempre a hacer bien las cosas. Eres un ejemplo para mí. Te amo.

Jorge Bolívar.

Agradecimientos

A mi familia, que de manera directa e indirecta han forjado lo que soy, y facilitan cada paso que doy en el camino de la vida.

A los amigos que me prestó y regaló la universidad, principalmente a **JORGE BOLÍVAR** y **LAURA IGLESIAS**, con quienes he compartido alegrías y tiempos difíciles, realmente aprecio su amistad.

A los ingenieros, mentores y amigos, **MAURICIO OROZCO** y **ANDREA ARÉVALO**, por el conocimiento compartido, la confianza e introducirme a una de las ramas más bonitas de la ingeniería civil; sin su ayuda la culminación de este proyecto no hubiese sido posible, mi más sincera gratitud.

Luis Llerena Sierra.

Agradecimientos

A **DIOS**, por acompañarme, sostenerme, guiarme y ser fiel a sus promesas, porque hizo posible lo imposible más de una vez y por su misericordia hoy culmino una etapa y empiezo otra.

A **MIS PADRES**, Jorge Bolívar Solano e Ingrid Redondo Cossio, quienes lo han dado todo por mí. Los amo.

A **ANA DUARTE**, por su amor incondicional y por su motivación en los momentos de mayor dificultad y exigencia. Me has enseñado a amar.

Al ingeniero **JORGE GONZÁLEZ**, por su paciencia y amor a la docencia. Gracias por su ayuda y sus enseñanzas innumerables veces.

Al ingeniero **ARMANDO FONTALVO**, quien con su dedicación y entrega a la docencia no solo me enseñó sobre Mecánica de Fluidos, sino que me mostró que aún hay personas que quieren un mundo mejor y sirven a los demás para ello.

A los ingenieros **CAMILO OSORIO** y **CARLOS ACOSTA**, por dictarme las clases más gratificantes de todo mi pregrado e impulsarme a superarme y dar lo mejor de mí.

A mis tutores, los ingenieros **MAURICIO OROZCO** y **ANDREA ARÉVALO**, por sus enseñanzas en ingeniería del transporte y seguridad vial, la confianza que me brindaron y la oportunidad de desarrollar este trabajo de grado bajo su guía. Profundamente agradecido con ustedes.

Jorge Bolívar.

Resumen

Este estudio busca identificar los factores significativos que afectan la severidad de los accidentes en las vías rurales del departamento del Atlántico en Colombia. Tres años de información (de 2014 a 2016) registrados relacionados a afectados debido a accidentes de tránsito fueron considerados para este estudio. El análisis por densidad de Kernel fue utilizado para crear mapas de calor por medio de Sistemas de Información Geográfica para identificar las zonas críticas. Una vez identificadas, información vinculada a características geométricas de la vía y las zonas laterales fue recolectada. Variables como barreras, presencia de animales, ancho del carril, iluminación artificial, presencia de objetos fijos, entre otros, fueron usadas para la modelación estadística. Modelos de regresión logística binaria fueron aplicados para explicar la severidad de los accidentes (muertes y lesiones), accidentes con solo daños no fueron considerados. Los resultados indican que la presencia de árboles, postes, barreras metálicas, presencia de ciclistas, peatones, motociclistas y personas mayores de 60 años cuando están involucrados en accidentes de tráfico, incrementan las probabilidades de sufrir lesiones fatales, mientras que los accidentes que ocurren en horas de la noche, la presencia de iluminación artificial, intersecciones semaforizadas y el número de curvas horizontales incrementan las probabilidades de sufrir lesiones no fatales. Los resultados de este estudio serán utilizados para sugerir medidas de bajo costo con el objetivo de reducir la severidad de las lesiones, las cuales se espera sean implementadas por el Instituto de Tránsito del Atlántico.

Palabras clave: Severidad de las lesiones. Lesiones de tráfico. Regresión Logística binaria.

Abstract

Traffic accidents bring about thousands of deaths worldwide and even more injured every year. Therefore, special attention has been given to accident analysis and prevention. In such framework, this study aims to identify the significant factors affecting accidents severity in rural roads from Atlantico department in Colombia. Three years of information (2014 to 2016) registered related to casualties due to traffic accidents were considered for this study. Kernel density analysis was used to create heat maps by means of GIS to identify critical zones. Once identified, information linked to roads and roadside characteristics was collected. Variables like barriers, the presence of animals, lane width, artificial lighting, the presence of fixed objects and other variables were used for statistical modeling. Binary logistic regression models were applied to explain severity (injuries and deaths), crashes with no injured people were not considered. The results indicate that presence of trees, utility poles, guardrail barriers, presence of cyclists, pedestrian, motorcyclists and older people (>60 years old) when involved in a traffic accident increase the odds of suffering fatal injuries, meantime accidents occurred at night, lack of artificial lighting, traffic light controlled intersections and the number of horizontal curves increase de odds of suffering less severe injuries. The results of this study will be used to suggest low-cost countermeasures in terms of reducing injury severity, which are planned to be implemented by the Instituto de Tránsito del Atlántico (ITA).

Keywords: Injury severity. Traffic injury. Binary logistic regression.

Contenido

Resumen..... 8

Abstract..... 9

I. Lista de figuras 13

II. Lista de tablas 17

1. Introducción..... 19

2. Objetivos..... 22

 2.1. Objetivo general 22

 2.2. Objetivos específicos..... 22

3. Estado del arte 23

4. Marco De Referencia..... 27

 4.1. Contextualización..... 27

 4.2. Marco teórico-conceptual..... 29

 4.2.1. Accidente de tránsito..... 29

 4.2.2. Seguridad vial. 29

 4.2.3. Actor de la vía..... 30

 4.2.4. Usuario vulnerable..... 31

 4.2.5. Modelos estadísticos de regresión logística..... 31

 4.2.6. Densidad de Kernel..... 33

MODELACIÓN LOGIT BINARIA DE LA SEVERIDAD	11
4.2.7. P – valor	34
4.2.8. Prueba de bondad de Hosmer y Lemeshow	35
4.3. Antecedentes	35
4.3.1. Accidentalidad a nivel mundial.	35
4.3.2. Accidentalidad en Latinoamérica.	37
4.3.3. Accidentalidad en Colombia.	39
5. Datos	45
5.1. Registro de accidentes	45
5.1.1. Codificación y ubicación de los incidentes.....	46
5.1.2. Selección de tramos	48
5.2. Información de campo.....	51
5.3. Compilación en base de datos	55
5.4. Mapas de calor	56
6. Resultados y análisis.....	58
6.1. Estadística descriptiva.....	58
6.1.1. Fallecidos y lesionados	58
6.1.2. Lesionados/heridos	62
6.1.3. Fallecidos/muertos	65
6.2. Mapas de calor	68

MODELACIÓN LOGIT BINARIA DE LA SEVERIDAD	12
6.2.1. Según el tipo evento.....	70
6.2.2. Según el usuario afectado	79
6.3. Modelos estadísticos	87
6.3.1. Descripción de variables.....	87
6.3.2. Modelos (resultados).....	89
7. Conclusiones.....	118
8. Limitaciones y recomendaciones.....	120
8.1. Limitaciones.....	120
8.2. Recomendaciones.....	121
Referencias.....	127
Anexos	134

I. Lista de figuras

Figura 1. División política del departamento del Atlántico 28

Figura 2. Clasificación general de factores incidentes en la accidentalidad vial..... 30

Figura 3. Representación de la densidad de kernel..... 34

Figura 4. Top 10 de causas de muerte para personas entre los 15 y 29 años, 2012..... 36

Figura 5. Número de muertes por accidentes de tráfico a nivel mundial, 2013. 37

Figura 6. Muertes por accidentes de transporte, casos y tasas por 100.000 habitantes. Colombia, 2007 - 2016. 40

Figura 7. Lesiones por accidentes de transporte, casos y tasas por 100.000 habitantes, Colombia, 2007 - 2016. 41

Figura 8. Muertes por accidentes de transporte según día del hecho. Colombia, 2016..... 43

Figura 9. Lesiones por accidentes de transporte según día del hecho. Colombia, 2016..... 44

Figura 10. Metodología para la obtención y tratamiento de la información..... 45

Figura 11. Metodología para la obtención y tratamiento de la información..... 48

Figura 12. Tramos de vía seleccionados para el estudio..... 51

Figura 13. Toma de información en campo, Ruta 90 (vía cordialidad), inmediaciones al municipio de Luruaco. 52

Figura 14. Registro fotográfico tramo Ruta 90A (vía al mar), presencia de postes al costado de la vía..... 53

Figura 15. Usuarios afectados entre 2014 y 2016 en accidentes de tránsito..... 58

Figura 16. Afectados en accidentes de tránsito entre 2014 y 2016 en el Atlántico discriminados por día y mes. 59

Figura 17. Afectados en accidentes de tránsito entre 2014 y 2016 en el Atlántico discriminados por día y hora. 60

Figura 18. Afectados en incidentes ocurridos en días festivos según rangos horarios. 61

Figura 19. Usuarios lesionados en accidentes de tránsito entre el 2014 y 2016..... 62

Figura 20. Clasificación de los usuarios lesionados por mes y día de la semana entre 2014 y 2016..... 63

Figura 21. Lesionados en accidentes de tránsito entre 2014 y 2016 en el Atlántico discriminados por día y hora. 64

Figura 22. Usuarios fallecidos en accidentes de tránsito entre el 2014 y 2016. 65

Figura 23. Clasificación de los usuarios fallecidos por mes y día de la semana entre 2014 y 2016. 66

Figura 24. Lesionados en accidentes de tránsito entre 2014 y 2016 en el Atlántico discriminados por día y hora. 67

Figura 25. Mapa de calor con todos los afectados durante el período de registro..... 68

Figura 26. Tramo de vía Ruta 90 (vía cordialidad), kilómetro 103..... 69

Figura 27. Mapa de calor para lesionados por accidentes de tránsito durante el período de estudio..... 70

Figura 28. Mapa de calor para fallecidos por accidentes de tránsito durante el período de estudio.
 71

Figura 29. Zona crítica en Sabanalarga..... 72

Figura 30. Zona crítica en Baranoa..... 73

Figura 31. Zona crítica entre Sabanagrande y Palmar de Varela..... 74

Figura 32. Zona crítica en la cordialidad 75

Figura 33. Zona crítica en la vía oriental 76

Figura 34. Tramo de vía en la Ruta 90A (vía al mar) con discontinuidad en las barreras metálicas
 en segmento de curva horizontal..... 77

Figura 35. Discontinuidad en barrera metálica empotrada en el extremo, tramo de vía en la Ruta
 25 (vía oriental)..... 77

Figura 36. Mapa de calor para motociclistas lesionados por accidentes de tránsito durante el
 período de estudio. 79

Figura 37. Mapa de calor para motociclistas fallecidos por accidentes de tránsito durante el
 período de estudio. 80

Figura 38. Tramo de vía perteneciente a la Ruta 25 (vía oriental), municipio de Sabanagrande. 81

Figura 39. Mapa de calor para lesionados en automóvil por accidentes de tránsito durante el
 período de estudio. 82

Figura 40. Mapa de calor para fallecidos en automóvil por accidentes de tránsito durante el
 período de estudio. 83

MODELACIÓN LOGIT BINARIA DE LA SEVERIDAD	16
Figura 41. Segmento de vía Ruta 25 (vía oriental), kilómetro 18.....	84
Figura 42. Mapa de calor para peatones lesionados por accidentes de tránsito durante el período de estudio.	85
Figura 43. Mapa de calor para peatones fallecidos por accidentes de tránsito durante el período de estudio.	86
Figura 44. Tramo de vía secundario entre Baranoa y Santo Tomás.	100
Figura 45. Presencia de árboles en las zonas laterales de la vía, ruta 90 (vía cordialidad).	106
Figura 46. Presencia de árboles en las zonas laterales de la vía, Ruta 25 (vía oriental).	107
Figura 47. Colisión contra barrera metálica en San Diego, California.	109
Figura 48. Segmento de vía perteneciente a la Ruta 90, inmediaciones al municipio de Luruaco	111
Figura 49. Tramo de vía en la Ruta 90 (vía cordialidad) con presencia de objetos fijos en las zonas laterales.	116
Figura 50. Formato auxiliar de recolección de información en campo propuesto.....	123

II. Lista de tablas

Tabla 1. Muertes por accidentes de transporte agrupado según medio de desplazamiento, Colombia, 2016..... 42

Tabla 2. Cantidad de lesionados por día y rango de hora entre 2014 y 2016 en el departamento del Atlántico..... 63

Tabla 3. Cantidad de fallecidos por día y rango de hora entre 2014 y 2016 en el departamento del Atlántico..... 66

Tabla 4 Descripción de variables significativas en los modelos..... 88

Tabla 5 Modelo Rural 1 89

Tabla 6 Resumen del modelo, modelo rural 1. 90

Tabla 7. Prueba de Hosmer y Lemeshow para el modelo rural 1. 90

Tabla 8 Modelo Rural 2 95

Tabla 9 Resumen del modelo, modelo rural 2. 96

Tabla 10 Prueba de Hosmer y Lemeshow para el modelo rural 2. 97

Tabla 11 Modelo Urbano 1 102

Tabla 12 Resumen del modelo, modelo urbano 1..... 103

Tabla 13 Prueba de Hosmer y Lemeshow, modelo urbano 1. 103

Tabla 14 Modelo Urbano 2..... 112

Tabla 15 Resumen del modelo, modelo urbano 2..... 113

Tabla 16 Prueba de Hosmer y Lemeshow, modelo urbano 2. 114

Tabla 17 Recomendaciones para zonas críticas de accidentalidad 126

1. Introducción

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (2017), los accidentes de tránsito son la primera causa de muerte entre jóvenes de 15 a 29 años; además, las muertes por accidentes de tránsito son la primera causa de muerte entre adolescentes y adultos jóvenes (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2017). Las consecuencias sobre la salud de los implicados en este tipo de sucesos van desde la incapacidad temporal, incapacidad permanente producto de las lesiones, costos relacionados a la atención médica inmediata, tratamientos, manutención (en caso de incapacidad temporal o permanente) y en el peor de los casos, fatalidad, sin contar con las repercusiones psicológicas para el afectado y su familia (Jou & Chen, 2015). Desde el punto de vista de la sociedad, los accidentes de tránsito representan un problema de salud pública por el número de fatalidades y lesiones que generan, así como un impacto económico por los costos directos e indirectos producto del suceso, en países como Australia, Estados Unidos y España existe evidencia de que los costos que superan los cientos de millones de dólares por acción de accidentes de tránsito (Alemany, Ayuso, & Guillén, 2013; Czech, Shakeshaft, Sanson-Fisher, & Breen, 2011; Kahn & Gotschall, 2015), por lo que este tipo de incidentes generan un impacto negativo sobre la calidad de vida de los afectados (Rissanen, Berg, & Hasselberg, 2016) y podrían afectar la percepción de calidad de vida del resto de la población. Las diversas implicaciones de los accidentes de tránsito hacen de ello un problema multisectorial y que ha llevado a la creación de políticas a nivel internacional cuyo objetivo es la reducción significativa del impacto de los accidentes, tales como el Decenio de la Seguridad Vial, propuesto por las Naciones Unidas y que comprende el período 2011-2020.

Colombia se ha unido a esta iniciativa internacional con la creación del Plan Nacional de Seguridad Vial 2011 – 2021 por medio de la resolución 2273 de 2014, dadas las consecuencias de la inseguridad vial en el país. Esta estrategia surge como respuesta a las cifras recopiladas en el reporte generado por el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses en su informe anual *Forensis*. En la versión más reciente de este informe, resaltan datos como el récord del año 2016 al ser el año con más muertes registradas producto de accidentes de transporte en lo que va del siglo XXI, la concentración de fatalidades de más del 50% por accidentes de transporte en la moto y que este tipo de accidentes sea la segunda causa de muertes violentas en el país (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2017).

En el departamento del Atlántico, durante los años 2014 a 2016, 575 personas resultaron afectadas en accidentes de tránsito en las vías rurales, de las cuales 161 fueron registradas como fatalidades y 414 como personas lesionadas. La información previamente mencionada muestra claramente las repercusiones de los accidentes de tránsito desde diferentes ámbitos, a nivel mundial, nacional y regional. La seguridad vial como ciencia estudia este problema multisectorial con el ser humano como eje de estudio, con la premisa de que un accidente puede no solo prevenirse (desde diseños de infraestructura vehicular e infraestructura vial, sino de educación a los actores de la vía) sino que puede predecirse por medio de análisis estadísticos y de riesgo (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2017). Este tipo de análisis estadístico comprende un campo de estudio amplio, sobre el cual se han desarrollado numerosas investigaciones, muchas de ellas en el área de *frecuencia*, que busca establecer, como su nombre lo indica, con qué periodicidad bajo ciertas condiciones un accidente de tránsito puede presentarse, y la *severidad*, la cual busca comprender, en caso de ocurrencia de un accidente de

tránsito, dadas determinadas condiciones qué tan graves serían las consecuencias del mismo. Este último enfoque tiene igual importancia que el de frecuencia considerando que los factores que afectan a uno y otro pueden ser distintos (Savolainen, Mannering, Lord, & Quddus, 2011). En Colombia se han desarrollado estudios en el área de seguridad vial, no obstante, tales estudios no abordan la severidad de accidentes de tránsito a nivel nacional, sino que han sido sectorizados acorde a un tipo de vehículo y sus implicaciones en accidentes de tránsito. Dado el contexto, es necesario un estudio que permita identificar las variables que afectan la severidad de los accidentes de tránsito en el departamento del Atlántico, por ello, el presente proyecto de grado pretende identificar los factores viales que influyen en este campo de la accidentalidad y con base a los resultados proponer medidas de mitigación con el fin de reducir la severidad de los accidentes de del departamento y de esta manera contribuir para alcanzar los objetivos del gobierno y de Naciones Unidas.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Determinar los factores incidentes en la severidad de los accidentes de tránsito presentados en las vías del departamento del Atlántico excluyendo el área metropolitana de Barranquilla.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión del estado del arte sobre estudios similares a nivel mundial y nacional.
- Recopilar la información sobre las características de las vías en estudio y la accidentalidad.
- Conformar una base de datos con la información recolectada
- Analizar los datos estadísticamente por medio de softwares tales como Excel, Stata, entre otros.
- Determinar por medio de modelación estadística los factores que influyen en la severidad de los accidentes, así como su nivel de incidencia.
- Analizar las variables influyentes y realizar las recomendaciones necesarias para la disminución en la severidad de accidentes en las vías rurales del departamento.
- Desarrollar mapas de calor para identificar las zonas críticas acorde a la severidad de los accidentes en las vías del Atlántico.

3. Estado del arte

La literatura sobre severidad en el análisis de la accidentalidad vial es muy extensa y cubre distintos enfoques. Numerosos estudios se han desarrollado a nivel mundial. En América Latina por ejemplo, destacan los estudios desarrollados por Borges et al. (2017) quienes evaluaron las lesiones por accidentes de tráfico y su relación con el consumo de alcohol en Latino América y el Caribe, Cunto & Ferreira (2017) estudiaron la severidad de las lesiones en accidentes en motocicleta en Brasil y por Otero & Rau (2017), que examinaron la severidad de lesiones en accidentes vehiculares y su relación con normativas restrictivas al consumo de alcohol y conducción en Chile. En Colombia se han desarrollado estudios en materia de seguridad vial correspondientes a caracterizaciones o análisis de accidentalidad en vías intermunicipales (Pabón Lozano, 1984) y la identificación de puntos críticos de accidentalidad (Pabon Lozano, 1987; Vargas, Mozo, & Herrera, 2012). Sin embargo y como se mencionó, estas investigaciones corresponden a otras áreas del estudio de accidentalidad y no a estudios de severidad, de los cuales no se encontró registro en Colombia.

Los factores que afectan la severidad de los accidentes pueden dividirse de manera general en cuatro grupos principales: factores humanos, factores del entorno, factores viales y medio ambiente/clima. Distintos estudios de severidad han identificado la incidencia de variables pertenecientes al factor humano, factores del entorno y factores medio ambientales, sobre la severidad de los accidentes, como el consumo de alcohol (Esser et al., 2016; Woratanarat et al., 2009), consumo de drogas (Bondallaz et al., 2016; Filtness, Armstrong, Watson, & Smith, 2017), la edad (Verzosa & Miles, 2016), fatiga (Herman et al., 2014; Weiss, Kaplan, & Prato, 2014), conducción temeraria (Chu, 2014), uso del cinturón de seguridad (Conner & Smith, 2014; Hoye,

2016), condiciones de iluminación (Chiou, Hwang, Chang, & Fu, 2013), precipitaciones, viento (Chen et al., 2015) y nubosidad (J. K. Kim, Ulfarsson, Kim, & Shankar, 2013), de igual forma diversos estudios han evaluado la severidad de las lesiones por accidentes de tránsito acorde a usuarios de vía como motociclistas (Savolainen & Mannering, 2007), peatones (Haleem, Alluri, & Gan, 2015) y ciclistas (Abdel-Aty & Keller, 2005), así como los efectos estacionales (Gray, Quddus, & Evans, 2008).

De igual manera, otros estudios han identificado la incidencia de variables correspondientes al factor vial sobre la severidad de los accidentes, por ejemplo, Roque, Moura & Lourenço Cardoso (2015) identificaron que los accidentes de tránsito por salida de la vía que involucran pendientes longitudinales incrementan el riesgo de fatalidad para el conductor en 4.69 veces en comparación a la situación base en la cual no se enfrentarían a pendientes. Además, en el mismo estudio señalan que las tangentes tienen una probabilidad 94% menor de presentar accidentes en los cuales los conductores sufran lesiones fatales, mientras que la presencia de curvas está asociada a mayor severidad de accidentes en choques en los cuales el vehículo cruza el separador, mientras que Khattak, Schneider & Targa (2003) señalan de manera más puntual que las curvas cerradas incrementan la probabilidad de sufrir choques severos. Wang, Ivan, Ravishanker & Jackson (2017) hallaron que el ancho del carril es significativo a la hora de explicar la severidad de los accidentes, concluyendo que carriles más angostos generan tendencia a accidentes menos severos mientras que carriles más anchos conllevan a accidentes con mayor severidad. En el estudio realizado por Haleem & Abdel-Aty (2010) concluyeron que un incremento de 0.3 metros en el ancho de la berma interior de la vía incrementa las probabilidades de ocurrencia de accidentes fatales en un 0.2%. Por otra parte, Ma, Zhao, Chien & Dong (2015)

identificaron en su investigación que las personas involucradas en accidentes ocurridos sobre pavimento asfáltico tienen mayores probabilidades de sufrir lesiones severas. Adicionalmente, Anarkooli, Hosseinpour & Kardar (2017) encontraron que condiciones inseguras en las zonas laterales de la vía tienen un efecto significativamente negativo en la severidad de los accidentes de tránsito. La presencia de animales al costado de la vía ha conlleva a lesiones menos severas en caso de un choque vehicular (Gray et al., 2008). Así mismo, la investigación desarrollada por Wu, Zhang, Zhu, Liu & Tarefder (2016) demuestra la alta incidencia de los objetos fijos sobre la severidad de las lesiones, de acuerdo con Xie, Zhao & Huynh (2012) quienes aseguran que factores como la presencia de árboles, barreras de concreto y postes de servicios públicos incrementan la severidad de las lesiones en choques en los cuales el vehículo sale de la vía, resultados similares a los encontrados por Holdridge, Shankar & Ulfarsson (2005) quienes añaden que chocar contra las terminaciones de barreras metálicas incrementa la probabilidad de sufrir lesiones fatales. Lee & Mannering (2002) encontraron en su investigación que los accidentes que ocurren al chocar con las alcantarillas de drenaje en vías rurales tienen mayores probabilidades de producir lesiones menos severas, mientras que aquellos que ocurren en intersecciones y contra señales verticales tienden a producir daños de propiedad únicamente; a su vez, indican que aquellos incidentes ocurridos en secciones de vía con grupos de árboles en las zonas laterales incrementan la probabilidad de sufrir lesiones incapacitantes o fatales, mientras que Yamamoto & Shankar (2004) encontraron que las colisiones con señales verticales, accesorios en zanjas, barreras de concreto y cercas tienen a causar lesiones menos severas.

El presente estudio busca determinar qué variables exógenas explican la severidad de los accidentes en las vías del departamento del Atlántico, haciendo énfasis en el factor vial y

considerando características de las zonas laterales de la vía, de tránsito, aspectos de señalización y la presencia de transeúntes entre otros.

4. Marco de referencia

4.1. Contextualización

El departamento del Atlántico se encuentra ubicado al norte de Colombia, posee una extensión de 3.386 km². El área del Atlántico representa el 0.29 % de la extensión total del país después de San Andrés y Providencia y el Quindío. Limita al norte y noreste con el mar Caribe, en una extensión aproximada de 90 Km; desde el rompeolas occidental en Bocas de Ceniza, hasta las salinas de Galerazamba. Al este, con el río Magdalena, en una longitud de 105 Km, contados desde su desembocadura en Bocas de Ceniza hasta el desprendimiento del Canal del Dique en Calamar; al sur, suroeste y oeste con el departamento de Bolívar desde Calamar hasta las Salinas de Galerazamba. (Gobernación del Atlántico, 2017)

El departamento cuenta con tres vías principales en su territorio, la vía 90 o también conocida como la Cordialidad que conecta los municipios de Galapa, Baranoa, Sabanalarga y Luruaco, además atraviesa otras poblaciones como Campeche, Molinero y Arroyo de Piedra. La vía 90A o usualmente llamada vía al Mar, ubicada a un costado del mar en la jurisdicción de los municipios de Puerto Colombia, Tubará, Juan de Acosta y Piojó, sin embargo, esta vía no atraviesa ninguna población significativa. La vía 25 también conocida como vía Oriental, en el Atlántico se encuentra ubicada al oriente de departamento a un costado del río Magdalena, conecta los municipios de Malambo, Sabanagrande, Santo Tomás, Palmar de Varela, Ponedera, y Suán.

Figura 1.



Nota: recuperado del sitio web de la gobernación del Atlántico. Disponible en:

http://www.atlantico.gov.co/images/stories/mapas/division_politica.png

4.2. Marco teórico-conceptual

4.2.1. Accidente de tránsito

Un accidente de tránsito puede definirse como toda aquella lesión (fatal o no fatal) o daño generado de manera involuntaria por el movimiento de un vehículo y que puede involucrar dos o más usuarios de vía (peatones, ciclistas, motociclistas, conductores de vehículos livianos y pesados) (Colorado State Traffic Records Advisory Committee, 2006). La norma colombiana define un accidente de tránsito como un evento generalmente involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en él e igualmente afecta la normal circulación de los vehículos que se movilizan por la vía o vías comprendidas en el lugar o dentro de la zona de influencia del hecho (Ministerio de transporte, 2002).

4.2.2. Seguridad vial.

Entiéndase por seguridad vial el conjunto de acciones y políticas dirigidas a prevenir, controlar y disminuir el riesgo de muerte o de lesión de las personas en sus desplazamientos ya sea en medios motorizados o no motorizados. Se trata de un enfoque multidisciplinario sobre medidas que intervienen en todos los factores que contribuyen a los accidentes de tráfico en la vía, desde el diseño de la vía y equipamiento vial, el mantenimiento de las infraestructuras viales, la regulación del tráfico, el diseño de vehículos y los elementos de protección activa y pasiva, la inspección vehicular, la formación de conductores y los reglamentos de conductores, la educación e información de los usuarios de las vías, la supervisión policial y las sanciones, la gestión institucional hasta la atención a las víctimas. (Ministerio de transporte, 2013)

La seguridad vial también abarca el estudio de la accidentalidad (frecuencia y severidad de los accidentes) y las distintas variables que tienen incidencia en ella.

Figura 2.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

Estas variables pueden agruparse de manera general en cuatro factores, tal como lo indica la *Figura 2*: factores ambientales/de clima, factores del entorno, factor humano y factor vial.

4.2.3. Actor de la vía.

Son actores de la vía, todas las personas que asumen un rol determinado para hacer uso de las vías, con la finalidad de desplazarse de un lugar a otro, por lo tanto, se consideran actores de tránsito y de la vía los peatones, los transeúntes, los pasajeros y conductores de vehículos automotores y no automotores, los motociclistas, los ciclistas, los acompañantes, los pasajeros, entre otros. (Ministerio de transporte, 2015).

4.2.4. Usuario vulnerable.

Es el término que se aplica a los usuarios con una mayor probabilidad de sufrir lesiones graves o la muerte en caso de accidente, son principalmente aquellos sin la protección de un revestimiento exterior, a saber, los peatones y los conductores de vehículos de dos ruedas. Entre éstos, los peatones, los ciclistas y motociclistas (Ministerio de transporte, 2015).

4.2.5. Modelos estadísticos de regresión logística.

Washington, Karlafatis & Mannering (2003) definen los modelos de regresión logística como modelos que son aplicables cuando la variable dependiente es discreta. Este tipo de modelos son útiles para predecir variables dependientes dicotómicas (binarias) como una función de una serie de variables predictoras (explicativas).

El objetivo de la regresión logística, ..., es identificar el mejor modelo que describe la relación entre una variable dependiente binaria y un grupo de variables independientes explicativas. ... La variable dependiente es la proporción de población o probabilidad (P) de que el resultado sea igual a uno. Es importante notar que los parámetros obtenidos para las variables independientes pueden ser usados para estimar razones de probabilidad (odds ratios) para cada una de las variables independientes en el modelo.

El logit es el logaritmo natural Ln (base Euler) de las probabilidades, o razón de probabilidad, de que la variable dependiente sea 1, de manera que

$$Y = \text{logit}(P) = LN\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = B_0 + B_i * X_i \quad (I)$$

Donde B_0 es la constante del modelo y el parámetro B_i son los parámetros estimados para las variables independientes ($X_i, i = 1, \dots, n$ el set de variables independientes). La

probabilidad P se encuentra en el rango de 0 a 1, mientras que el logaritmo natural $LN(P/(1 - P))$ se encuentra en el rango del infinito negativo al infinito positivo. El modelo de regresión logística explica una relación curvilínea entre la elección binaria Y , y las variables predictoras X_i , las cuales pueden ser continuas o discretas.

... La ecuación fundamental para la regresión logística muestra que cuando el valor de una variable independiente incrementa por una unidad, y todas las demás variables se mantienen constantes, la nueva razón de probabilidad $\left[\frac{P_i}{(1 - P_i)} \right]$ es dada por

$$\begin{aligned} \left(\frac{P_i}{1 - P_i} \right) &= EXP^{B_0} EXP^{B_i(X_i+1)} = EXP^{B_0} EXP^{B_i X_i} EXP^{B_i} \\ &= \left(\frac{P_i}{1 - P_i} \right) = EXP^{B_i} \end{aligned}$$

Por tanto, cuando la variable independiente X_i incrementa por una unidad, con todos los demás factores manteniéndose constantes, la probabilidad $\left[\frac{P_i}{(1 - P_i)} \right]$ incrementa por el factor EXP^{B_i} . El factor EXP^{B_i} es llamado razón de probabilidad (OR) y se encuentra en el rango de 0 al infinito positivo. Indica la cantidad relativa por la cual la probabilidad del resultado incrementa ($OR > 1$) o disminuye ($OR < 1$) cuando el valor de la variable independiente correspondiente incrementa por una unidad. (Washington et al., 2003, pp. 123–124)

4.2.6. Densidad de Kernel

La estimación de densidad Kernel involucra ubicar una superficie simétrica sobre cada punto y luego evaluar la distancia desde el punto a una locación de referencia basado en una función matemática y luego sumar el valor para todas las superficies para esa locación de referencia. Este proceso es repetido para puntos sucesivos. Esto permite ubicar un kernel sobre cada observación y sumar estos *kernels* individualmente brinda la densidad estimada para la distribución de puntos (Fotheringham, Brunsdon, & Charlton, 2000)

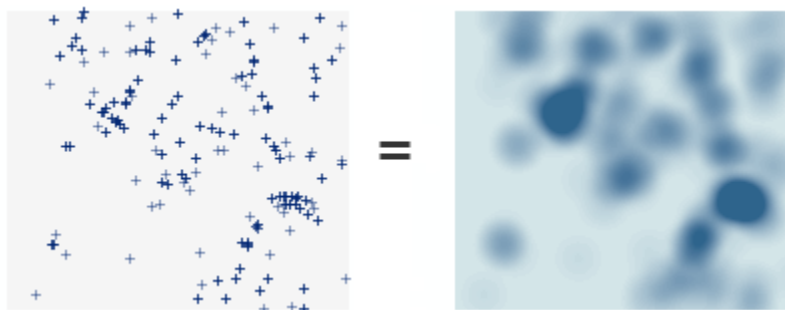
$$f(x, y) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{d_i}{h}\right)$$

Donde $f(x, y)$ es la densidad estimada en la locación (x, y) ; n es el número de observaciones, h es el ancho de banda o tamaño del kernel, K es la función de kernel y d_i es la distancia entre la locación (x, y) y la locación para la i ésima observación.

Hay muchas ventajas de la estimación de densidad kernel (KDE por sus siglas en inglés). La principal ventaja para este método radica en la determinación de la “extensión” de riesgo de un accidente. La extensión de riesgo puede definirse como el área alrededor de un grupo definido en el cual hay una probabilidad incrementada para la ocurrencia de un accidente basado en la dependencia espacial (Anderson, 2009, p. 360)

En resumen, se determina una magnitud de densidad por unidad de área de entidades que pueden ser puntos mediante una función Kernel para suavizar una superficie.

Figura 3.



Nota: Recuperado del sitio web de ArcGIS. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/GUID-67692D27-9EAF-4667-AD3A-6B828744B224-web.png>

A la izquierda se observan los puntos de la muestra y en el costado derecho el resultado de los datos presentados como una densidad de Kernel.

4.2.7. P – valor

El p – valor es un parámetro estadístico utilizado en la prueba de hipótesis que indica el nivel de significancia de la asociación entre variables, cuyo valor oscila entre 0 y 1. La determinación del p – valor de referencia está relacionado con el nivel de seguridad admisible para un estudio. De manera arbitraria la comunidad científica ha adoptado comúnmente un nivel de seguridad del 95% para las asociaciones estudiadas, lo cual es recíproco con un p – valor de 0.05; en otras palabras, para un estudio dado con nivel de seguridad del 95% se considera que una asociación de variables puede estar *alterada por el azar* si el p – valor es mayor que 0.05, en caso que este valor sea menor o igual a 0.05, se considera que *las variables estudiadas tienen una asociación apreciable no producto de la aleatoriedad* (Manterola & Pineda, 2008).

4.2.8. Prueba de bondad de Hosmer y Lemeshow

Esta prueba es un análisis estadístico de la bondad del modelo que considera una significancia entre 0 y 1, pero que considera que un modelo genera mejor ajuste en la medida en que esa significancia se acerca más a 1, siendo adoptado de manera general por la comunidad científica como valor mínimo una significancia de más de 0.5 para este análisis.

4.3. Antecedentes

En esta sección se repasa grosso modo conceptos básicos que abarca un accidente de tránsito y se revisa la situación de la accidentalidad a diferentes escalas.

4.3.1. Accidentalidad a nivel mundial.

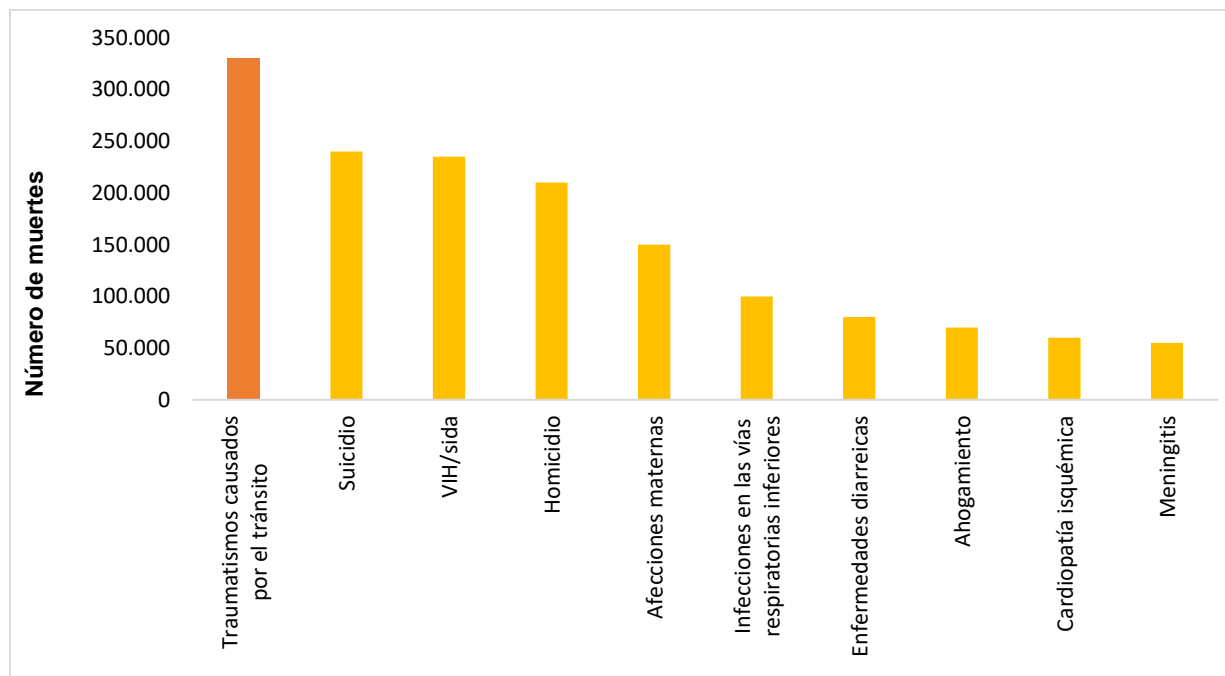
Dado el fuerte impacto que tienen los accidentes de tránsito en materia de seguridad y salud, cada país del globo recoge y entrega información a organizaciones internacionales que realizan seguimiento y en conjunto evalúan cuales son las acciones por seguir para reducir los niveles de accidentalidad y velar por el bienestar de la sociedad. Para este fin, es la organización mundial de la salud (OMS) se encarga de recopilar y presentar esta información. El último informe del Reporte del Estado Global de la Seguridad en las Vías (World Health Organization, 2015), donde se encuentra toda la información presentada en el presente numeral.

Dicho informe, incluye tres principales secciones: la primera, donde se presentan el estado actual de la seguridad vial, donde se presentan de manera cuantitativa la situación de la seguridad en las vías, número de afectados y clases de usuarios afectados. En segundo lugar, se presenta una descripción de la legislación y controles que posee cada país para regular los factores que afectan la accidentalidad en la vía, como la velocidad máxima permitida, uso de cascos para usuarios de motocicletas y bicicletas, la conducción bajo los efectos del alcohol, uso del cinturón de seguridad, entre otros. Por último, se trata la regulación para el uso de vías

seguras y vehículos seguros, principalmente la disposición y los requerimientos técnicos de seguridad mínimos que se establecen para comercializar un vehículo en su territorio, de igual forma las vías, enfocando estas últimas en su diseño. Aunque el análisis realizado por la organización mundial de la salud no incluye todos los países del mundo, sí reúne la información de una cantidad significativa de países en todas las regiones a lo largo y ancho del planeta.

Entre los antecedentes que se analizan, se incluye una información diciente, donde se presenta la cantidad de personas fallecidas por accidentes de tránsito y se compara con otras causas de muerte, demostrando porqué los accidentes de tránsito son tratados como un delicado tema de salud pública.

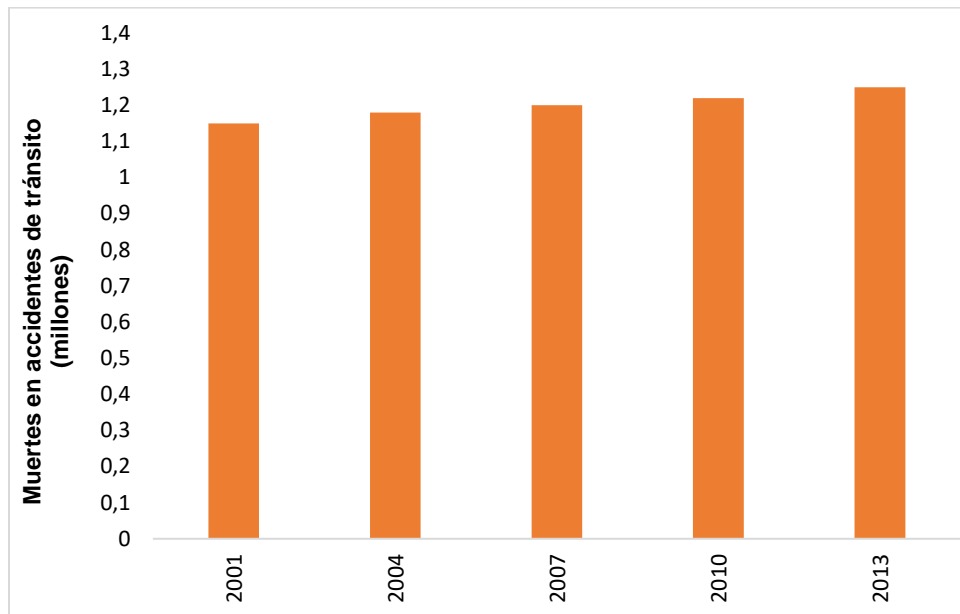
Figura 4.



Nota: recuperado de Global Status Report on Road Safety, World Health Organization (2015) adaptado por J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La información reciente presentada por la OMS a nivel mundial de la cantidad de accidentes corresponde al año 2013, año donde más de 1 millón de personas fallecieron en accidentes de tránsito.

Figura 5.



Nota: recuperado de Global Status Report on Road Safety, World Health Organization (2015) adaptado por J.

Bolívar, L. Llerena, (2018).

4.3.2. Accidentalidad en Latinoamérica.

Acorde al Banco Mundial (2013), en América Latina mueren cerca de 130 mil personas cada año y otras 6 millones resultan heridas producto de accidentes de tránsito, destacando el hecho de ser la principal causa de muerte para las personas entre los 15 y 44 años. La institución resalta como principales factores incidentes la no utilización del cinturón de seguridad y casco, así como el consumo de alcohol y el mal estado de la malla vial.

De acuerdo con el informe *Desempeño de América Latina y el Caribe durante los primeros años de la década de acción por la seguridad vial*, de CEPAL (2015), la tasa de muertes en la región pasó de 14.75 personas por cada 100.000 habitantes a 17.68 al término de la primera década del presente siglo, mostrando un incremento del 20%. El grupo de usuarios vulnerables de las vías en la región representan más del 50% de los fallecidos (27% representado por peatones, 20% motociclistas y 3.7% ciclistas). Lo anterior es complementado por la Organización Panamericana para la Salud (2015) la cual señala que un 44% de las muertes en las vías del Caribe hispano hablante corresponde a motociclistas, las cuales se convierten en una preocupación en materia de seguridad vial en la medida que su número incrementa.

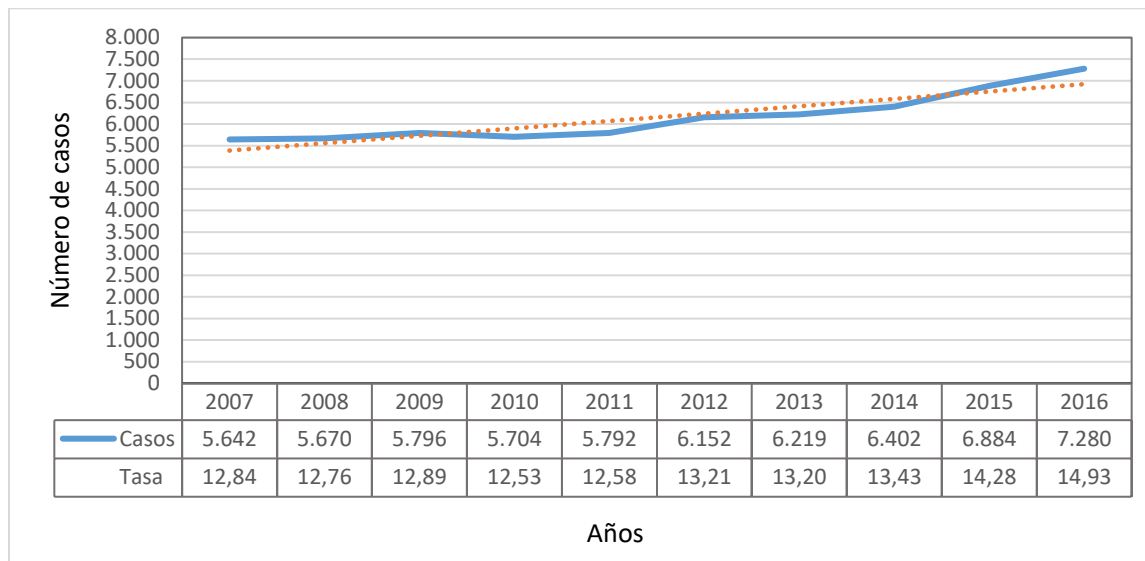
El informe de la entidad no solo proporciona cifras como las mencionadas anteriormente, sino que realiza un análisis de las políticas de seguridad indicando la imperiosa necesidad de su adaptación al contexto regional, proporcionando una infraestructura para los transeúntes, servicios de transporte eficientes y accesibles a toda la población y mejorar la protección a los usuarios vulnerables. De la misma manera hace énfasis en el seguimiento que debe hacerse a los afectados en un accidente de tránsito posterior a su atención in situ, debiendo reportarse lo sucedido con los mismos hasta 30 días siguientes a la ocurrencia del suceso dado que esto puede brindar información sobre aquellas personas que fallecen no de forma inmediata sino días después producto de las lesiones sufridas, así como en los sistemas de recopilación de información, siendo éstos una herramienta clave para la toma de decisiones previa ocurrencia, durante la ocurrencia y post – ocurrencia de los accidentes.

4.3.3. Accidentalidad en Colombia.

A nivel nacional la información de las personas lesionadas o fallecidas en accidentes de tránsito es presentada por el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias en un informe conocido como Forensis. Este informe incluye toda la información de diferentes causales de muerte en el país, dentro de ellas las generadas por accidentes de transporte, que incluye todos los eventos de transporte terrestre, fluvial, marítimo aéreo y férreo.

En el año 2016, fueron reportados 52.536 casos atendidos por accidentes de transporte en el territorio colombiano, de los cuales 7.280 son personas fallecidas y 45.256 son personas lesionadas, ó 13.86% y 86.14% respectivamente (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2017).

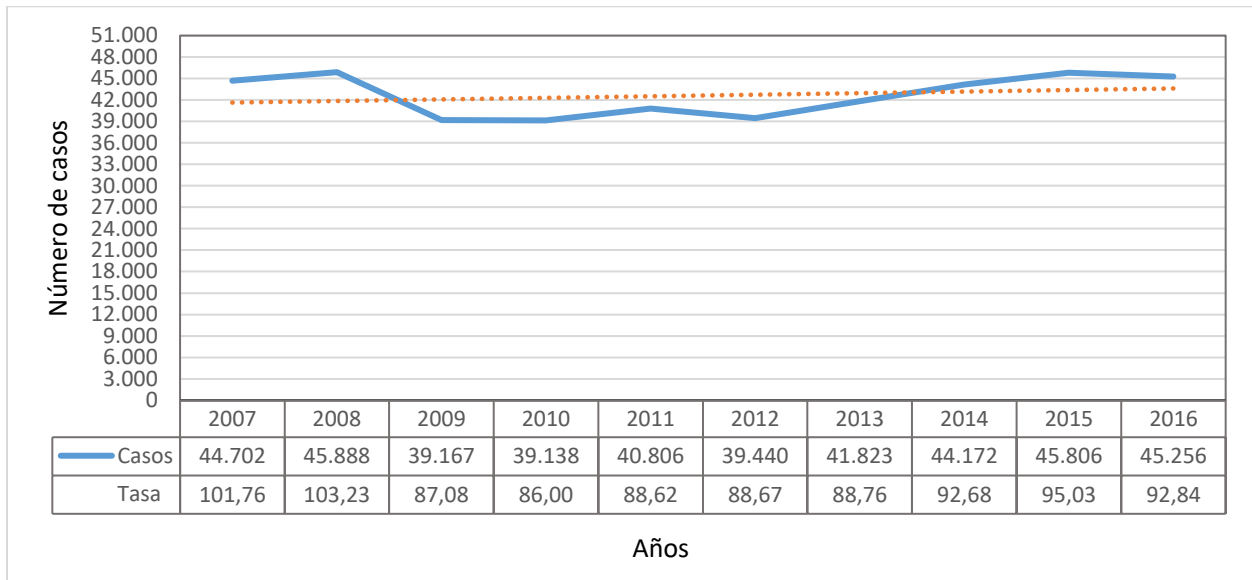
Figura 6.



Nota: recuperado de Comportamiento de las muertes y lesiones en accidentes de transporte. Colombia, año 2016, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2017) adaptado por J. Bolívar, L. Llerena (2018).

En la Figura 6 destaca el comportamiento del crecimiento de los fallecidos desde el año 2014, donde el número de casos incrementa hacia el 2015 y en el año 2016 se observa que los afectados aumentan alejándose de línea punteada de tendencia, evidenciando un crecimiento en los últimos tres años estudiados.

Figura 7.



Nota: recuperado de Comportamiento de las muertes y lesiones en accidentes de transporte. Colombia, año 2016, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2017) adaptado por J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La cantidad de usuarios lesionados disminuye de 2008 a 2009 y se mantienen en tasas inferiores a los 90 afectados por cada 100.000 habitantes desde el 2009 hasta el 2013, desde 2014 a 2016 la tasa de lesionados aumenta de superando los 90 lesionados por cada 100.000 habitantes, sin embargo, las tasas de lesionados más altas se presentan entre 2007 y 2008

Tabla 1.

Muertes por accidentes de transporte agrupado según medio de desplazamiento, Colombia, 2016.

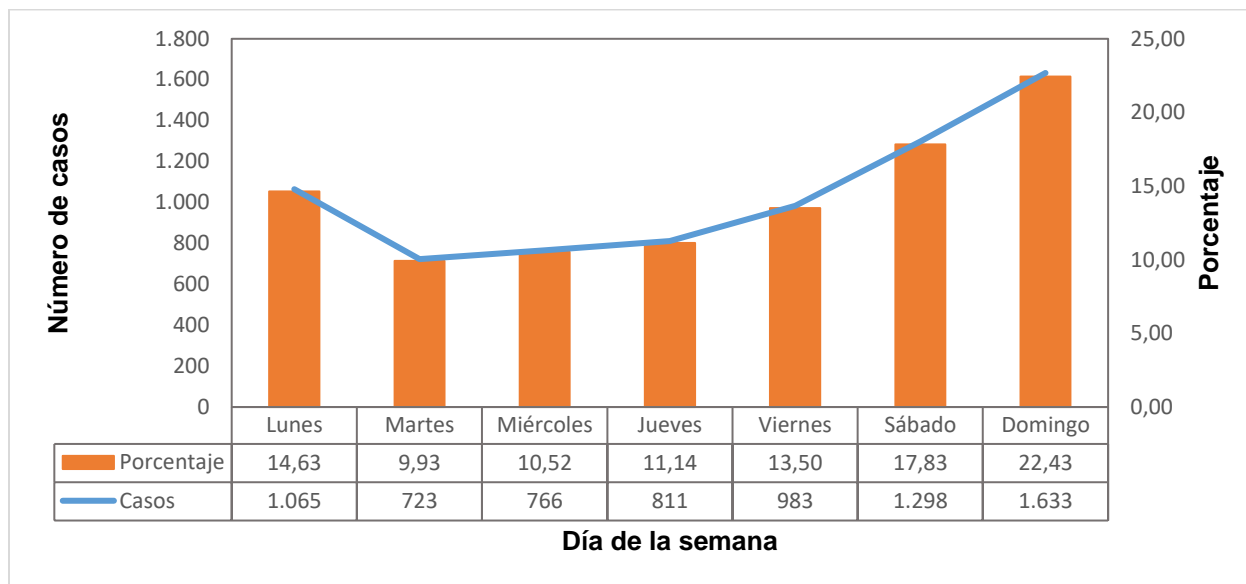
Medio de Transporte	Conductor (casos)	Conductor (%)	Pasajero (casos)	Pasajero (%)	Peatón (casos)	Peatón (%)	Total casos	Total (%)
Motocicleta								
-	3086	79.68	663	49.81			3749	51.5
motocarro								
Peatón	-	-	-	-	1857	100	1857	25.51
Bicicleta	371	9.58	8	0.6	-	-	379	5.21
Automóvil								
- Campero	259	6.69	332	24.94	-	-	591	8.12
-								
Camioneta								
Tracto -								
Camión -								
Camión -	93	2.4	79	5.94	-	-	172	2.36
Furgón -								
Volqueta								
Bus -								
Buseta -	17	0.44	128	9.62	-	-	145	1.99
Microbús								
Otros								
vehículos	19	0.49	13	0.98	-	-	32	0.44
terrestres								

Nota: recuperado de Comportamiento de las muertes y lesiones en accidentes de transporte. Colombia, año 2016,

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2017) adaptado por J. Bolívar, L. Llerena, (2018)

Al revisar la proporción de los usuarios afectados, se observa que los usuarios de motocicleta y motocarros son lo más afectados, alcanzando un 51.5% del total de los usuarios muertos en el año 2016. Los peatones afectados se ubican en segunda posición con un 25,51% de total de los afectados. Los ciclistas y usuarios de automóviles presentan un 5.21% y 8.12% respectivamente.

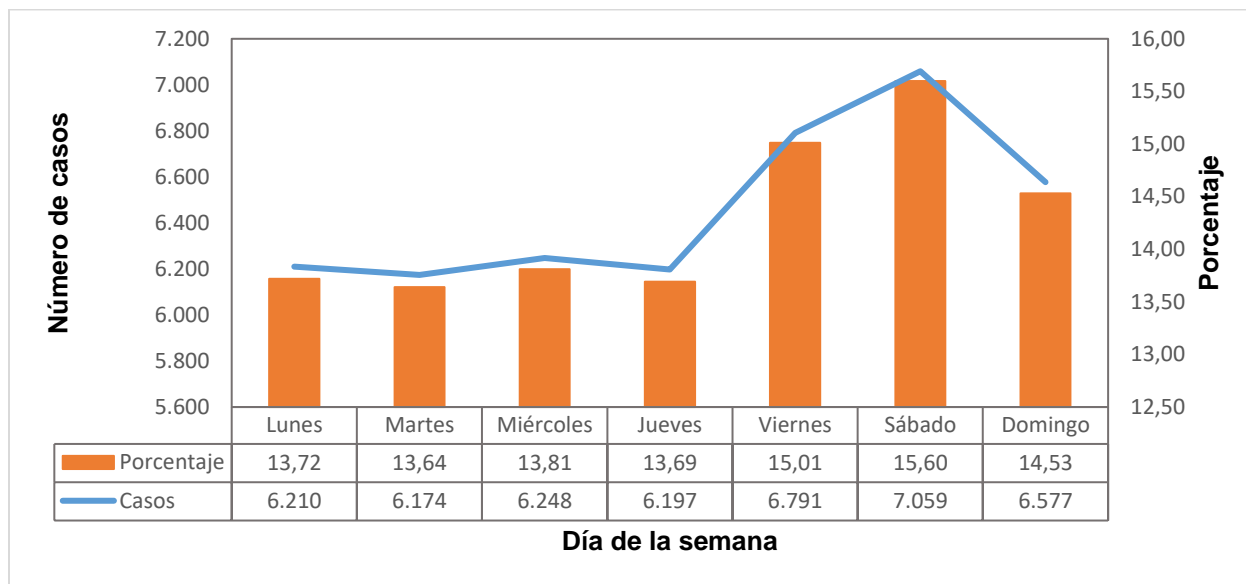
Figura 8.



Nota: recuperado de Comportamiento de las muertes y lesiones en accidentes de transporte. Colombia, año 2016, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2017) adaptado por J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

Los usuarios fallecidos se presentan en mayor medida durante el fin de semana, iniciando un crecimiento el viernes y alcanzando su máximo punto el domingo, el lunes también posee un valor mayor que el resto de la semana, entonces, los martes, miércoles y jueves son los días con menor porcentaje de fallecidos en accidentes de transporte durante el 2016 y el domingo con el mayor porcentaje de 22.43%.

Figura 9.

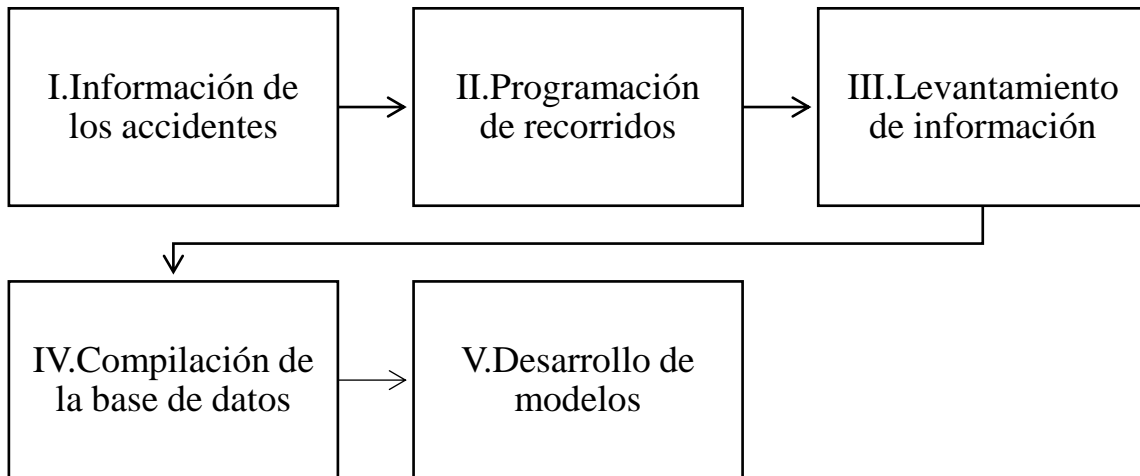


Nota: recuperado de Comportamiento de las muertes y lesiones en accidentes de transporte. Colombia, año 2016, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2017) adaptado por J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

5. Datos

En esta sección del documento se describe la metodología empleada en las etapas de recolección y procesamiento de información.

Figura 10.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

En el presente apartado se describe detalladamente el proceso adoptado en las cuatro primeras etapas del proyecto, presentadas en la Figura 10.

5.1. Registro de accidentes

El proyecto inicia con la obtención el registro de lesionados y fallecidos en el lapso comprendido entre el primero de enero de año 2014 y el 31 de diciembre de 2016, el siguiente paso es georreferenciarlos y seleccionar los tramos de vía de interés para el estudio dentro del departamento del Atlántico, esta sección presente desglosar todo ese proceso.

5.1.1. Codificación y ubicación de los incidentes

La primera fase consistió en la obtención del registro con la información de los usuarios afectados por accidentes de tránsito durante los años 2014, 2015 y 2016. Esta información fue proporcionada por el Instituto de Tránsito del Atlántico (ITA). Esta base de datos contenía información por cada persona involucrada en un accidente, detallando la fecha en que ocurre, el día de la semana correspondiente, la hora, sus identificaciones, jurisdicción en el que ocurre el suceso, la modalidad del accidente, la ubicación y el tipo de accidente, es decir, si la persona involucrada resulta herida o fallece.

Luego se designó un código de seis (6) dígitos a cada accidente para su identificación, indicando los dos primeros dígitos el año de ocurrencia del accidente (14 hace referencia al año 2014, 15 al año 2015 y 16 al año 2016), el tercer dígito indica si el accidente implica un muerto (toma el valor de 1) o un herido (toma el valor de 2), el cuarto dígito indica el tipo de vehículo implicado acorde al criterio “modalidad de accidente” registrado en la base de datos (1 para moto, 2 para vehículo, 3 para peatón, 4 para bicicleta, 5 no registra) y los dos últimos dígitos hacen referencia al número de registro del accidente (01, 02, 03, etcétera). En algunos casos, el código de identificación del accidente pasaba de tener 6 a 7 dígitos pues el número de accidentes registrados en ese año para ese tipo de vehículos era igual o mayor a cien (100).

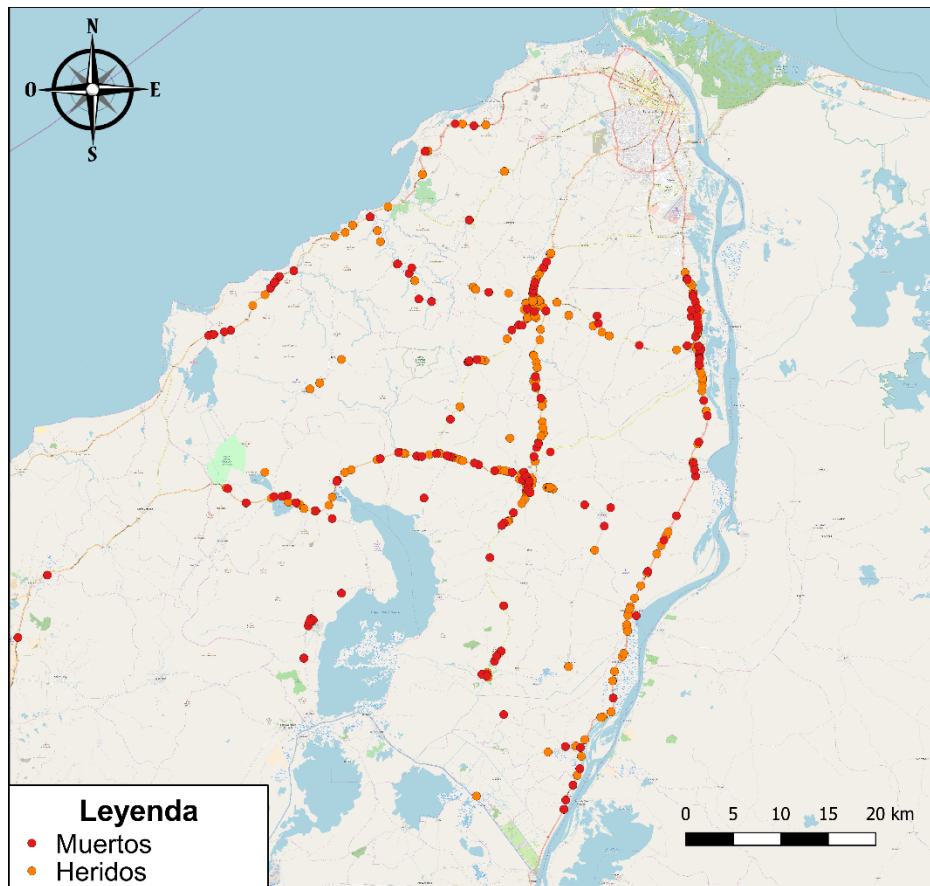
Posteriormente se realizó la ubicación de los accidentados en Google Earth, para ello se utilizó la ubicación brindada por el ITA. Las ubicaciones proporcionadas estaban dadas acorde a una descripción del kilómetro y la vía en la cual ocurrieron los accidentes. En pocos casos la base de datos contaba con las coordenadas geográficas del lugar del accidente y en los casos en los que se contaba con ellas, no concordaba con las descripciones de ubicación.

En las vías primarias, los accidentes se ubicaron con ayuda del Mapa de Carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) disponible en línea, revisando la descripción del incidente e identificando las coordenadas en el Mapa de Carreteras para su posterior ubicación en Google Earth. Para las vías secundarias, no se pudo utilizar el mapa del INVIAS puesto que las vías secundarias no se encuentran acotadas en dicho mapa, por tanto, se procede a la ubicación con la descripción disponible en la base de datos del ITA, atendiendo las indicaciones presentadas, puntos de referencia y empleando las herramientas de medición de Google Earth.

Durante la creación del elemento que representa el incidente se le asignó como nombre el código de seis dígitos definido previamente y un color dependiendo del tipo, rojo para aquellos que terminan con una persona fallecida y naranja para lesionados, tal como se presenta en la Figura 11.

Luego, con la información cargada en Google Earth se generó un archivo con la extensión KMZ, este formato conserva la ubicación geográfica y el nombre del suceso. Posteriormente, el archivo se exportó a un sistema de información geográfico (GIS), en este caso a QGIS, con el fin tener más herramientas más apropiadas para el análisis y la presentación de la información. La exportación se realizó por medio de la conversión de la información en formato KMZ a SHP (Shapefile) y su carga a QGIS. El resultado de este procedimiento se presenta en la Figura 11.

Figura 11.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

Como se menciona anteriormente, QGIS conserva el nombre asignado de cada punto ubicado, esto significa que cada punto fue identificado con el código de seis dígitos que se explicó en la primera parte de esta sección.

Con la información en QGIS se pretendió realizar mapas de calor, discriminando el tipo de suceso y el usuario involucrado (de automóvil, motocicleta, bicicleta o peatón).

5.1.2. Selección de tramos

Con la ubicación geográfica de todos los incidentes de tránsito entre los años estudiados, se procedió a seleccionar los tramos de vía que debían ser evaluados tratando de incluir la mayor

cantidad de sucesos y optimizando los recursos disponibles para realizar el levantamiento de la información.

5.1.2.1. Tramos en vías primarias

Una vez identificados y ubicados los accidentes, se seleccionaron tramos en la vía con una longitud entre 1,0 y 3,5 kilómetros para la toma de información de zonas laterales, estado de la señalización, ancho del carril, existencia de berma y otros factores, en las tres vías principales del departamento (Vía 90, 90A y 25, también conocidas como la Cordialidad, Vía al Mar y Vía Oriental) que posteriormente serían estudiados en el análisis estadístico. La selección de los tramos tuvo en cuenta los siguientes criterios:

- Se tomó una distancia prudente antes y después de la concentración de accidentes en la vía, tomando una longitud máxima de 3500 metros para un tramo por motivos prácticos de recolección de información.
- Se tuvo presente la premisa de que la vía presenta características aproximadamente homogéneas, buscando incluir la mayor cantidad de accidentes en un mismo tramo.
- Se consideraron tramos que, si bien no presentaban una alta cifra de accidentes, tenían varios afectados en un mismo lugar a través del período de registro; es decir, donde existiese un posible *punto de accidentes recurrentes*.
- Se evitó cortar tramos sobre una curva, lo cual extendió la longitud de los tramos en algunos casos.

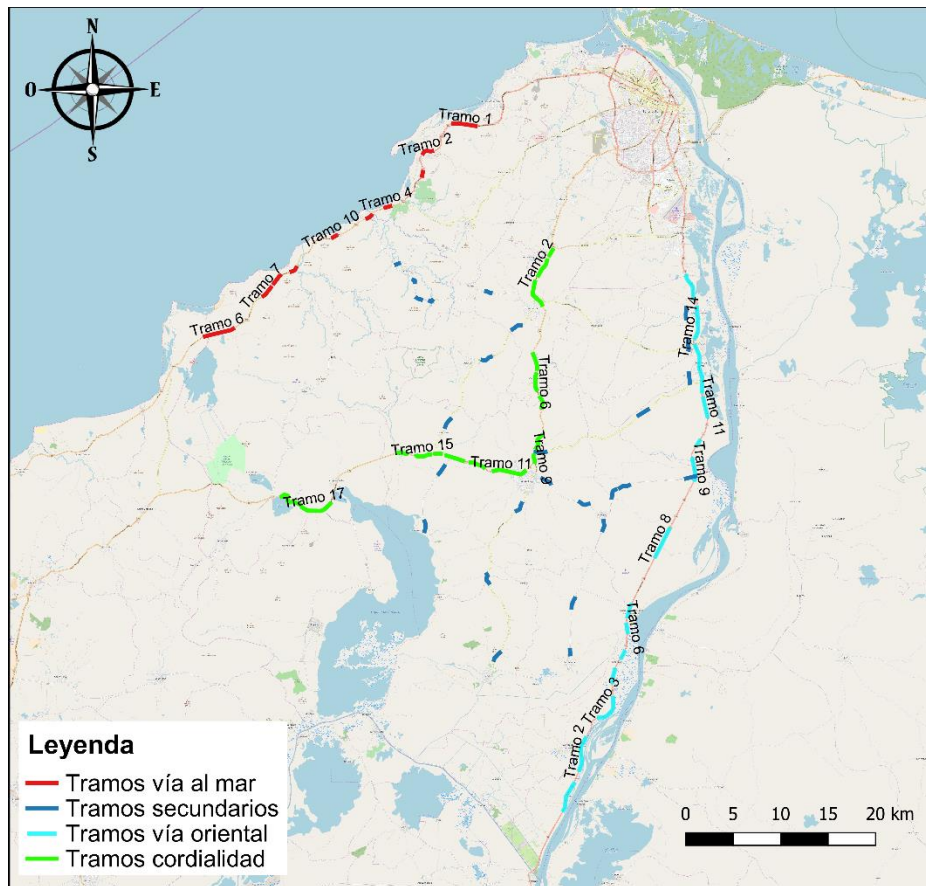
5.1.2.2. Tramos en vías secundarias

La selección de los tramos en vías secundarias difiere en comparación a los tramos en vías primarias. Previo al recorrido se realizó una preselección desde Google Earth, utilizando puntos de referencia que pudieran ser identificados con facilidad en campo, esto por la dificultad de utilizar el Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) en zonas con poca cobertura (como es el caso de varias vías secundarias). Inicialmente los puntos de referencia fueron curvas en la vía o edificios aledaños, sin embargo, luego del primer recorrido que incluyó tramos secundarios se optó por utilizar los mojones de la vía para agilizar la identificación de inicio y fin de cada tramo. De manera general se tuvieron en cuenta los siguientes criterios para la determinación de los tramos en vías secundarias.

- La longitud de los tramos en vías secundarias debía estar entre los 300 y 1000 metros.
- Se tuvieron en cuenta las sugerencias del personal de la entidad departamental de tránsito respecto a los recorridos en tramos de vía secundaria con base en su experticia en el tema. En el último caso, algunos tramos sugeridos tenían cifras de accidentalidad muy bajas, pero contaban con *características potencialmente peligrosas*.
- En vías que unían dos centros urbanos, el número de tramos se estableció en un promedio de tres y con un mínimo de dos tramos. Estos tramos se seleccionaron al inicio, en medio y al final de la vía con longitudes de 1000 metros preferiblemente (tomando como referencia los mojones al costado de la vía ubicados cada 1000 metros).

En total se realizó el levantamiento de la información para 72 tramos de vía, distribuidos de la siguiente manera: 19 tramos en la ruta 90 o cordialidad, 10 tramos en la ruta 90^a o vía al mar, 17 tramos en la ruta 25 o también conicidad como vía oriental y 26 tramos en vías secundarias.

Figura 12.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

La Figura 12 refleja los tramos de vía seleccionados para la toma de información acorde a los criterios previamente mencionado. Como puede observarse en la imagen, los segmentos de vía están distribuidos por todo el departamento y en el caso de las vías principales (Ruta 90, 90A y 25), se encuentran ubicados a lo largo de la mayor parte de su longitud dentro del departamento.

5.2. Información de campo

La recopilación de la información de los tramos seleccionados se realizó por medio de inspecciones de campo entre noviembre de 2016 y marzo de 2017. En tales inspecciones se

identificó de forma visual la presencia de una serie de variables establecidas previamente a la planificación de los recorridos.

Figura 13.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

Los *factores* a identificar estaban asociados con características de geométricas de la vía (número de carriles, ancho de carriles, ancho de berma) y las zonas laterales de la vía, con variables tales como presencia de objetos fijos (postes y árboles), cantidad de objetos fijos, barreras de contención (existencia, tipo – si existe –, terminación y cantidad); también se consideró la señalización vertical en la cual se evaluó la reflectividad, pertinencia y estado de las señales; así como la señalización horizontal en la que se examinó la existencia y estado de la demarcación, reductores de velocidad y pasos peatonales. Otro de los *factores* que se tuvo en cuenta en el desarrollo de las inspecciones fueron las intersecciones, contabilizándolas según su tipo. Igualmente se contemplaron variables como el uso de suelo (rural o urbano), tipo de pavimento

(rígido o flexible), iluminación artificial (existente o inexistente), drenaje de la vía (bueno o malo), presencia de peatones, bicicletas y animales, presencia de vehículos livianos, pesados y motos (en categorías alta, media y baja para cada caso) y por último las curvas en el tramo (número, existencia de peralte en la curva y la posibilidad – a determinar visualmente – de peralte inverso en la curva).

Figura 14.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

Las variables utilizadas fueron clasificadas en dos categorías principales: continuas y binarias (también denominadas *mudas*). La primera clasificación hizo referencia a variables que podían tomar un valor cualquiera dentro del rango que las delimitaba, por ejemplo, la variable *Ancho de carril* en la cual la variable podía tomar cualquier valor desde 0 hasta $+\infty$, es decir, 0, 0.1, 0.11, 0.12, etcétera. En este tipo de variables no existía mayor restricción de los valores que puedan tomar las variables, salvo el límite inferior de los datos, en otras palabras, la imposibilidad

de la existencia de valores negativos. La segunda clasificación asignó el valor de 1 o 0 a las variables, tomando como 1 el valor verdadero (cumple, existe, hay presencia, etcétera) y 0 el valor falso (no cumple, no existe, no hay presencia, etcétera). Esta técnica fue aplicada a variables que podían tomar distintos valores como la edad y otro tipo de variables como el día de la semana o mes del año las cuales no toman un valor numérico como tal sino un valor de texto, el propósito de esto fue facilitar la interpretación del resultado final al momento de realizar los modelos estadísticos.

La inspección visual ha sido utilizada previamente como metodología para la recopilación de información en análisis de severidad de accidentes (Jalayer & Zhou, 2016; Zou, Tarko, Chen, & Romero, 2014) y el grupo de variables mencionado anteriormente se estableció considerando investigaciones sobre severidad de accidentes que incluyeron estos factores como potenciales variables explicativas (Haleem, Alluri, & Gan, 2015; Jung, Jang, Yoon, & Kang, 2014; Ma, Wang, Yan, & Weng, 2016; Roque, Moura, & Lourenço Cardoso, 2015; Wu, Zhang, Zhu, Liu, & Tarefder, 2016; Xie, Zhao, & Huynh, 2012; Xu, Wong, & Choi, 2014; Zou et al., 2014), las sugerencias por parte de expertos en Seguridad Vial y del ITA.

En total la toma de información se realizó en cuatro jornadas, se empleó una jornada completa para recolectar la información de los tramos ubicados en La Cordialidad, otro para la información de los tramos de la vía Oriental, aproximadamente media jornada en la toma de información de la Vía al Mar y el resto de esta jornada en cinco tramos secundarios completando así la tercera jornada de toma de datos. Por último, la cuarta jornada se invirtió completamente en tramos secundarios.

Para el registro de las variables durante la inspección de campo en cada tramo se utilizó un formato previamente diseñado con una extensión dos páginas, presentado en los anexos (Anexo 1). Durante los recorridos en vías primarias para identificar el inicio y fin de cada tramo se utiliza la ubicación en GPS proporcionada por las redes de telefonía celular, utilizando Google Maps con una capa de los tramos previamente creada para este propósito.

Para los tramos secundarios la escasa o nula cobertura de redes de telefonía celular en las colindancias a las vías secundarias no permitió utilizar el mismo método, por tanto, se optó por utilizar los mojones al costado de la vía como referencia y luego con la ayuda de Google Earth, se ubicó geográficamente el inicio y fin de cada tramo levantado en campo, es decir, el inicio y fin de la mayoría de los tramos secundarios fue seleccionado en campo.

5.3. Compilación en base de datos

Para la compilación de los datos se utiliza Excel en versión 2016. En primera instancia se creó una base de datos de los tramos en la cual se registró toda la información obtenida después de los recorridos en campo a los 72 segmentos de vía establecidos para el estudio. Esta base de datos contenía información relacionada a las zonas laterales, señalización vertical, horizontal, presencia de animales, peatones, bicicletas y todas las variables contempladas y explicadas en este estudio (ver sección 5.2). Los tramos fueron identificados por un número entero y la vía a la cual pertenecían (excepto para tramos secundarios en los cuales se designó de manera genérica la abreviatura “2do” haciendo referencia a una vía secundaria).

Luego, otra base de datos fue creada para empalmar la información referente a las características de la vía y aquellas propias a los accidentes. Esta nueva base de datos se constituyó de las personas que resultaron afectadas de los accidentes (heridos y muertos) los cuales fueron tomados como *resultado* (*outcome*) y el resto de características tomadas como una

serie de atributos de ese *resultado*. En ella se incluyeron todos los muertos y heridos presentados en los tramos seleccionados, se indicó el tramo y la vía al que pertenecía el herido o muerto, así como el código de seis a siete dígitos propio del afectado. A partir de esto, con combinaciones de funciones condicionales anidadas y funciones de búsqueda y referencia se permitió vincular la información referente a características de los tramos obtenida luego de los recorridos de inspección junto con la información del suceso señalada en las bases de datos proporcionada inicialmente por el ITA.

Con esto, a cada persona afectada en el departamento del atlántico incluida dentro de la base de datos del ITA se le asignó una cantidad significativas de variables que buscaban describir el entorno y contexto donde ocurrió el accidente de tránsito.

En la base de datos final, cada incidente contaba con una lista de variables asignadas que serían utilizadas durante el proceso de modelación estadística.

5.4. Mapas de calor

Un mapa de calor o también conocido como mapa de densidades, representa la termografía de un fenómeno que se desea estudiar, por ejemplo, la densidad de población en una zona determinada. Esto se logra asignando un color a un pixel dentro de un espectro de colores previamente definido, donde cada color representa un valor en una escala de densidades. La densidad depende a su vez del radio que se asigna al generar el mapa, es decir, la densidad de la población no es igual en un radio de un kilómetro que en un radio de cinco kilómetros, por tanto, la información que se tiene puede generar mapas con diferentes intensidades de colores dependiendo el radio asignado. Para el presente estudio se desarrollaron mapas de calor de accidentes de tránsito. Luego de evaluar diferentes escenarios e intensidades de colores, se concluyó que con un radio de kilómetro y medio (1500 metros) se destacan puntos de

concentración de accidentes y se ajusta a la longitud máxima de tramos discutidos en la página 48.

De igual forma el espectro de colores fue definido para obtener una mejor visualización de los puntos de concentración de accidentes y la escala de densidades fue recomendada por el programa QGIS y ajustada a números enteros por los autores.

6. Resultados y análisis

6.1. Estadística descriptiva

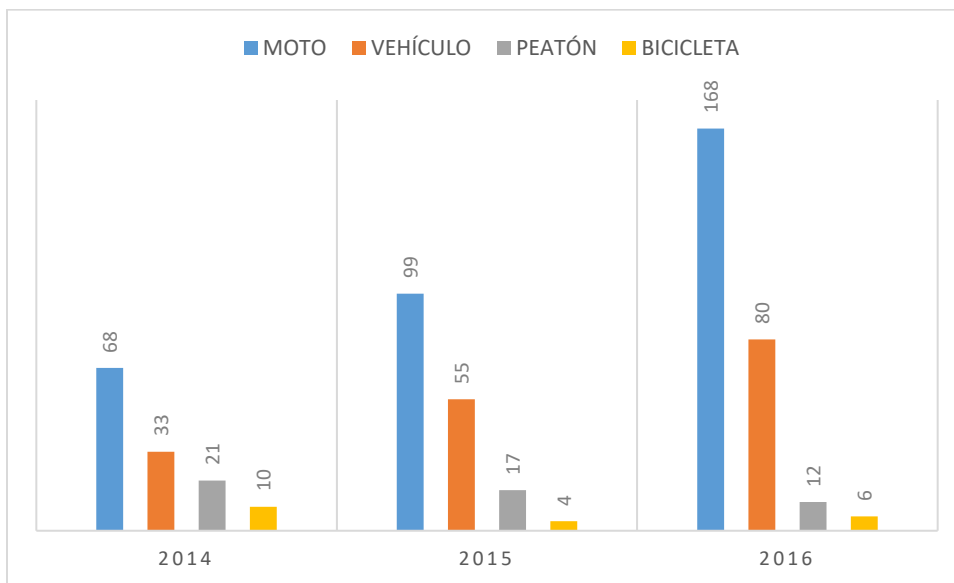
A partir de la base de datos final, se realizó un diagnóstico y revisión de la caracterización de la información empleando estadística descriptiva.

El objetivo fue entregar una visión general de diferentes factores que se tuvieron en cuenta al momento de recolectar la información, como por ejemplo los días en que se presenta la mayor cantidad de fallecidos o el usuario más afectados en accidentes de tránsito en el departamento del Atlántico durante los años de registro la información.

6.1.1. Fallecidos y lesionados

Inicialmente se realizó una revisión de la distribución de los usuarios afectados utilizando todos los sucesos ocurridos durante el intervalo comprendido año 2014 y 2016.

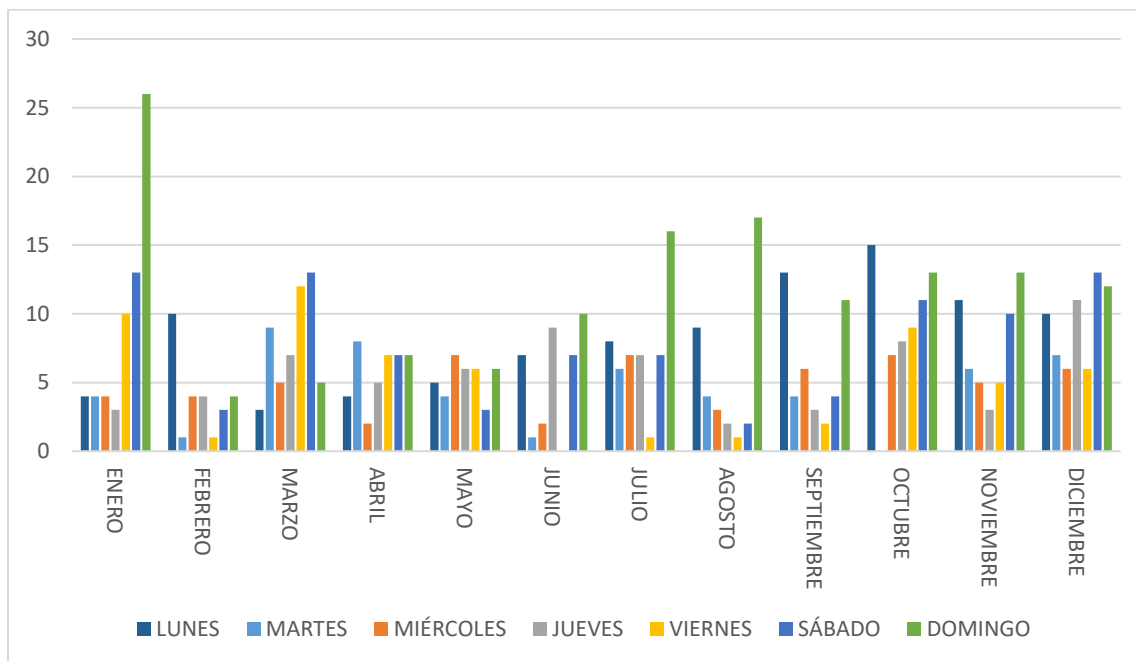
Figura 15.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

Se observó que los tres años presentan un comportamiento similar, donde los usuarios de motos presentaron la mayor cantidad de afectados, en segundo lugar, se encuentran los usuarios de vehículos, seguidos por los peatones y en último lugar los ciclistas.

Figura 16.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

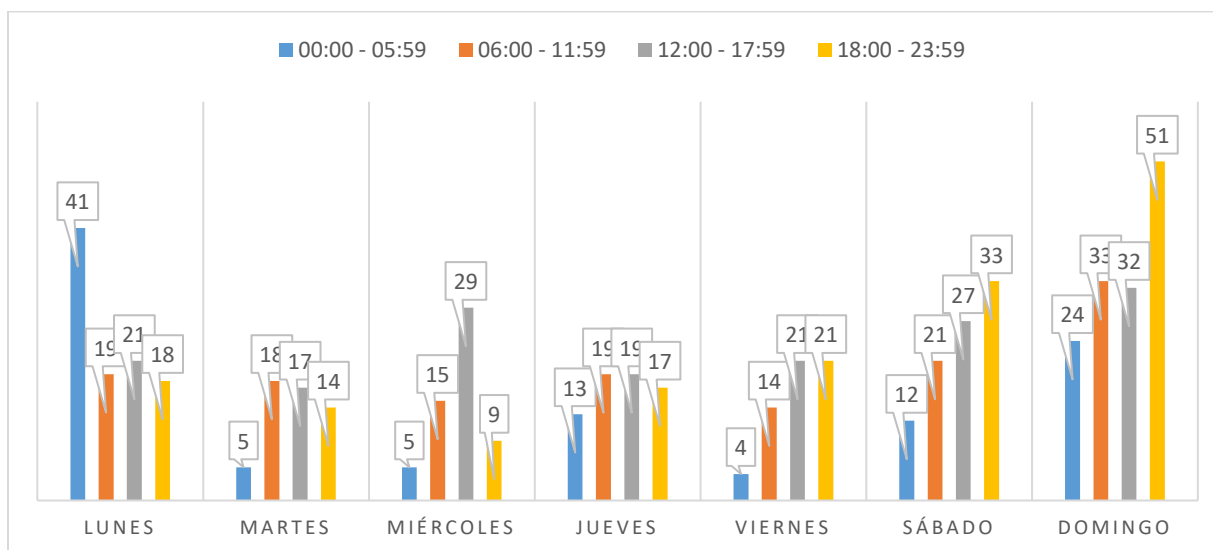
Con la información proporcionada por la Figura 16, se observan los meses en los que cada día de semana es más crítico, presentando la mayor cantidad de afectados. En el mes de enero los fines de semana (viernes, sábado y domingo) presentaron una cantidad considerable de afectados, principalmente el domingo, día que también presentó representativas cantidades de afectados en los meses comprendidos de junio y diciembre, es decir la mayoría del año. El viernes y sábado surgieron nuevamente como días críticos en el mes de marzo y en octubre.

El lunes es otro de los días que presenta un alto número de afectados, principalmente en el mes de febrero y en lapso entre agosto y diciembre.

En general, el día con mayores afectados fue el domingo mientras que los meses con mayores afectados fueron enero, octubre y diciembre.

Además, se realizó una revisión para identificar la distribución de los afectados en una escala más pequeña de tiempo, estudiando los afectados en cuatro diferentes intervalos de tiempo de 6 horas cada uno.

Figura 17.



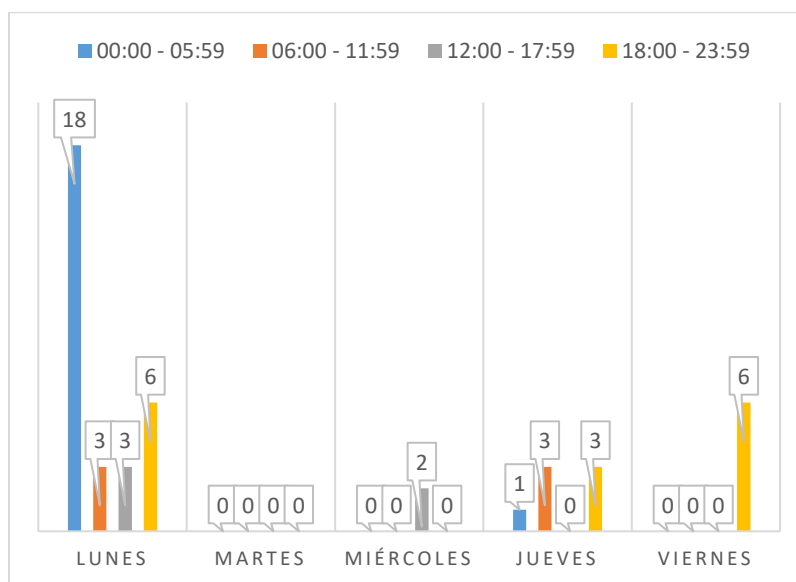
Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

Con el detalle presentado en la *Figura 17* se observa que, en los últimos tres días de la semana, los incidentes ocurridos tendieron a aumentar en el transcurso del día, siendo entonces el rango horario comprendido entre las 18:00 y las 23:59 horas el lapso crítico para los viernes, sábado y principalmente el domingo.

Los afectados en los rangos del resto de la semana no presentaron mayor variación, exceptuando el primer periodo de hora de los días martes, miércoles y viernes que presentaron un bajo registro de afectados, el primer periodo lunes que presentó la segunda mayor cantidad de afectados y el lapso entre las 12:00 y las 17:59 horas del miércoles, que presentó un número de afectados superior al de la tendencia entre semana (entre lunes y jueves).

Para indagar sobre el comportamiento observado en algunos rangos horarios presentados en la *Figura 17*, se estudiaron cómo los días festivos afectaban la cantidad de implicados en accidentes de tránsito en las vías del Atlántico.

Figura 18.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

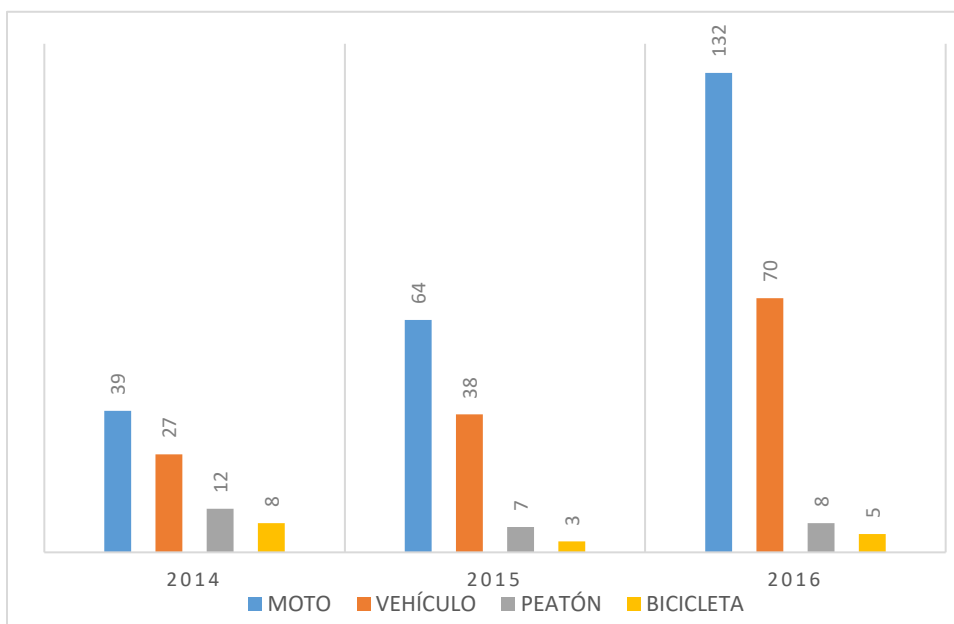
Con lo expuesto en la *Figura 18* se revela que el 43.90% de los sucesos ocurridos en las primeras horas del lunes ocurrieron en día festivos y en total el lunes festivo aporta 30 afectados durante los 3 años estudiados.

Las secciones subsecuentes presentan un análisis de la información discriminando el tipo de suceso (lesionados o fallecidos) y su variación temporal

6.1.2. Lesionados/heridos

El análisis estadístico para usuarios lesionados entre los años 2014 y 2016 incluye la siguiente información.

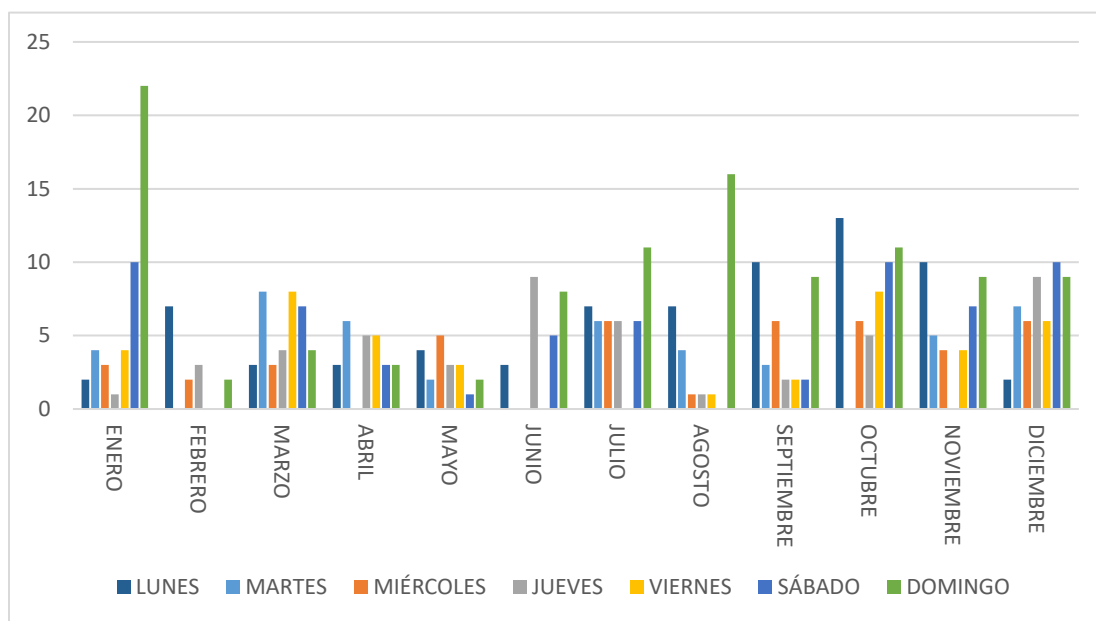
Figura 19.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

Al comparar los usuarios lesionados entre el periodo de tiempo estudiado, se observa que se presentó el mismo comportamiento en todos los años. Los usuarios de motocicletas encabezan la lista de más afectados, seguidos por los usuarios de automóvil, en menor medida los peatones y biciusuarios.

Figura 20.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

Con la información ilustrada en la *Figura 20*, se dedujo que los domingos aportaron una mayor cantidad de lesionados los meses de enero, julio, agosto y octubre. Los sábados fueron críticos en los meses de enero, octubre y diciembre. Los lunes por su parte presentaron una mayor influencia entre los meses de septiembre y noviembre. Para el resto de días no se observaron picos significativos.

Tabla 2.

Cantidad de lesionados por día y rango de hora entre 2014 y 2016 en el departamento del Atlántico.

Día/Hora	00:00 - 05:59	06:00 - 11:59	12:00 - 17:59	18:00 - 23:59	TOTAL
LUNES	30	15	13	13	71
MARTES	4	14	15	12	45
MIÉRCOLES	4	13	21	4	42
JUEVES	9	15	12	12	48
VIERNES	4	9	15	13	41

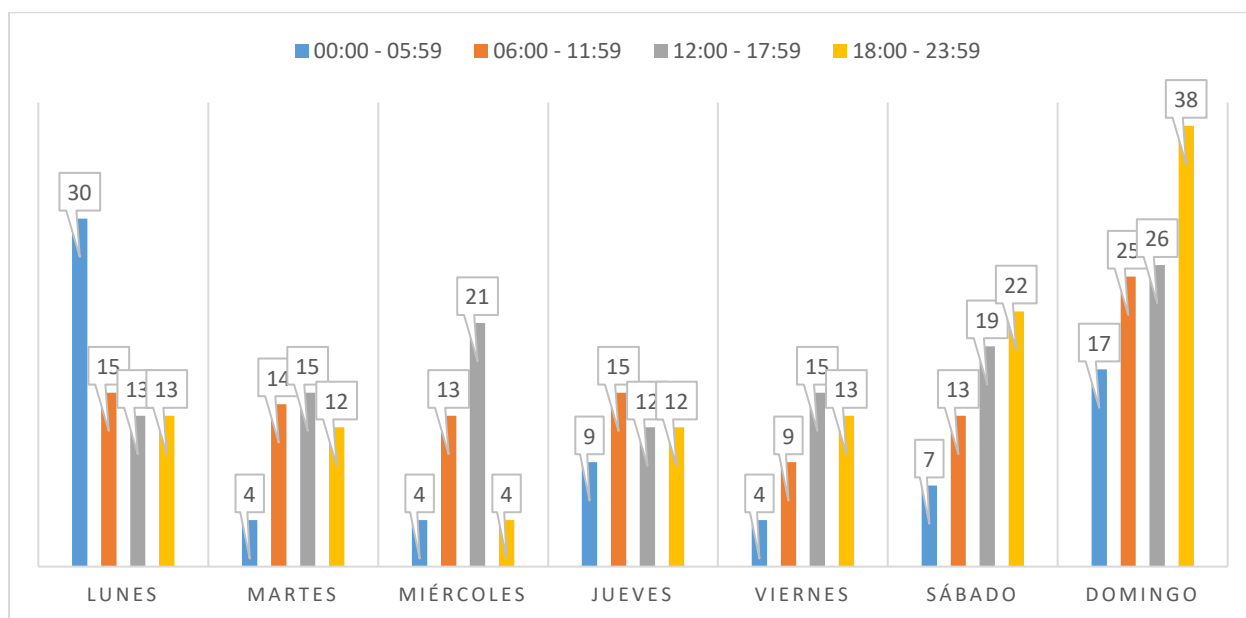
SÁBADO	7	13	19	22	61
DOMINGO	17	25	26	38	106
TOTAL	75	104	121	114	414

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

En general, se observa que la cantidad de lesionados aumentó desde las primeras horas de mañana (entre las 00:00 y las 5:59) y alcanzó su punto máximo entre las 12:00 y las 17:59 horas, para luego disminuir levemente en el último periodo del día.

Sin embargo, los días sábados y domingo presentaron un comportamiento particular, ya que la cantidad de lesionados incrementó en el transcurso día de inicio a fin. Adicionalmente, el primer periodo del lunes presentó una cantidad elevada de lesionados, asimismo, entre las 12:00 y 17:59 horas del miércoles se presentó un alza de lesionados en comparación el resto de la semana como se observa en la *Figura 21*.

Figura 21.



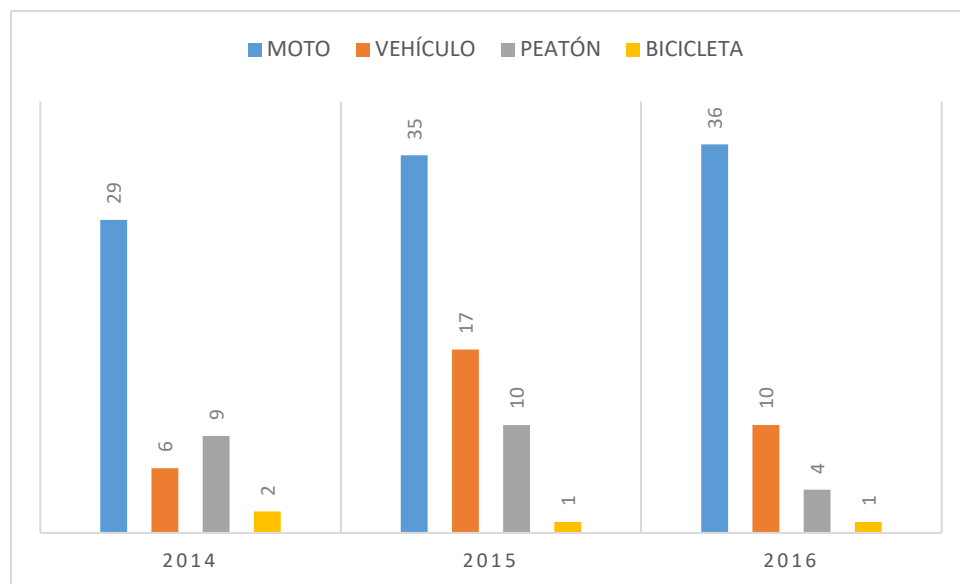
Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

6.1.3. Fallecidos/muertos

Por último, se observa las diferentes características que presentan los accidentes que involucran un fallecido.

En contraste a lo observado en la *Figura 22*, los usuarios de automóviles resultaron menos afectados que los peatones en el año 2014, al contrario de los usuarios de motocicletas que aportaron la mayor cantidad de afectados durante el lapso estudiado.

Figura 22.

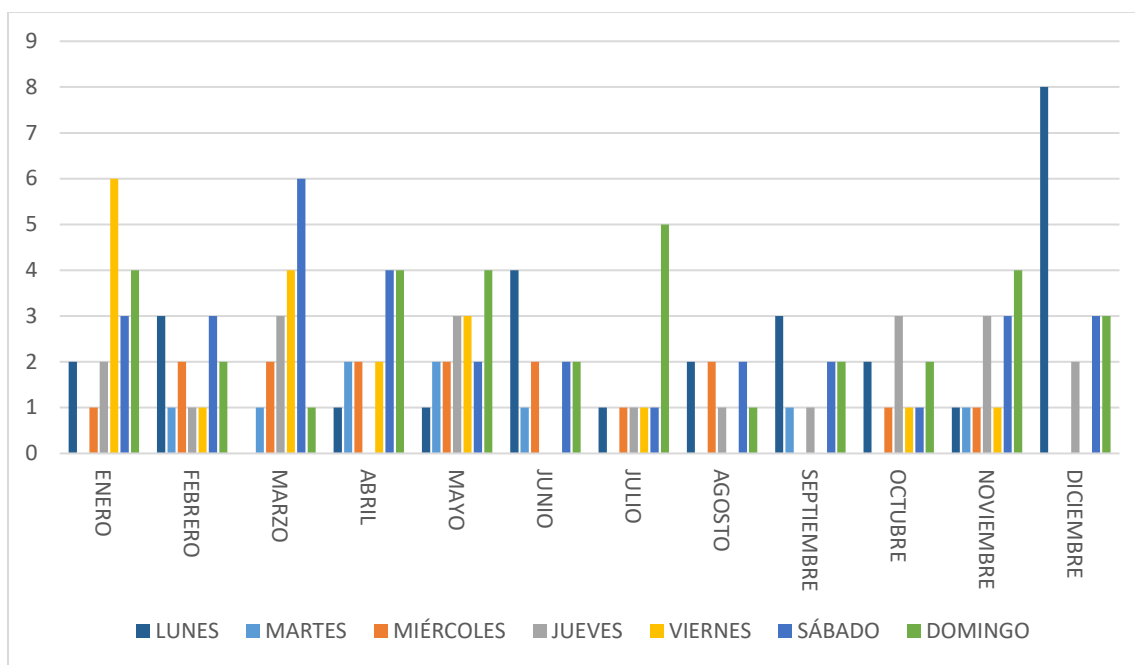


Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

Con lo expuesto en la

Figura 23 se observa que el viernes resultó crítico en el mes de enero, sin embargo, de junio a diciembre no presentó un número elevado de fallecidos. El lunes sobresalió en junio y principalmente en diciembre. El mes pico de sábado se encontró en el mes de marzo y durante el resto del año por lo menos fallecieron dos usuarios por mes en sábados. Por último, el domingo presenta cuatro o más fallecidos en por lo menos cinco meses del año.

Figura 23.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

Luego de segregar la información disponible en cuatro rangos horarios por día, se reveló que la cantidad de fallecidos de manera general aumentó al transcurrir el día, iniciando a las 00:00 horas con 29 fallecidos y finalizando con 49 a las 23:59 horas.

Tabla 3.

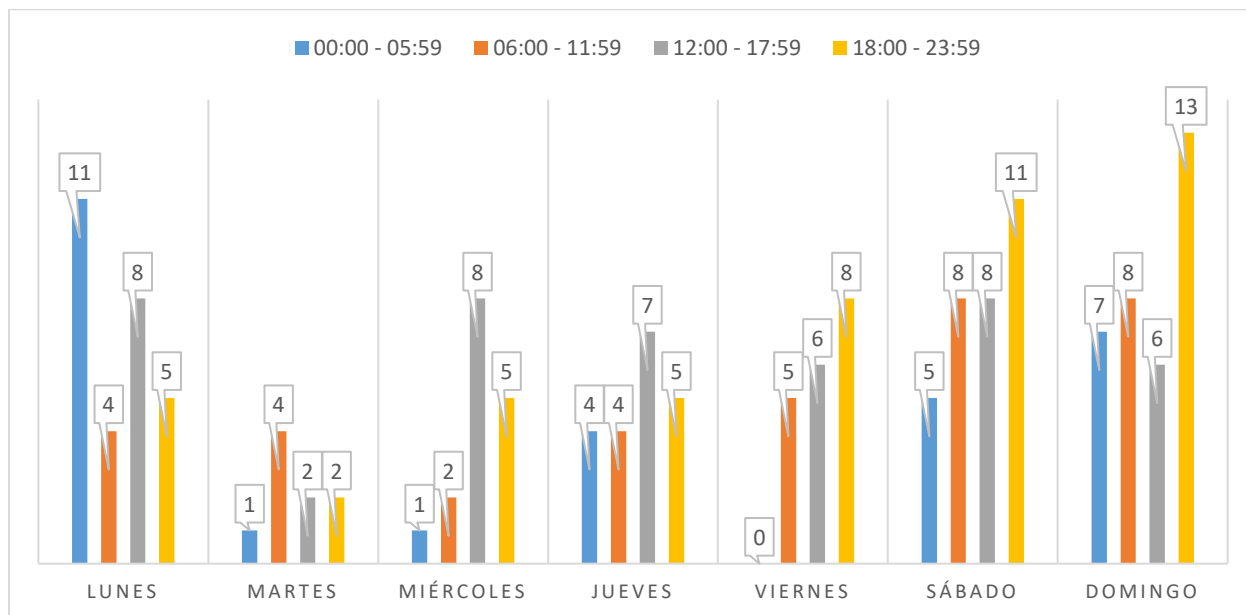
Cantidad de fallecidos por día y rango de hora entre 2014 y 2016 en el departamento del Atlántico

Dia/Hora	00:00 - 05:59	06:00 - 11:59	12:00 - 17:59	18:00 - 23:59	TOTAL
LUNES	11	4	8	5	28
MARTES	1	4	2	2	9
MIÉRCOLES	1	2	8	5	16
JUEVES	4	4	7	5	20
VIERNES	0	5	6	8	19
SÁBADO	5	8	8	11	32
DOMINGO	7	8	6	13	34

TOTAL	29	35	45	49	161
--------------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

Nota: J. Bolívar, L. Llerena (2018).

Figura 24.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

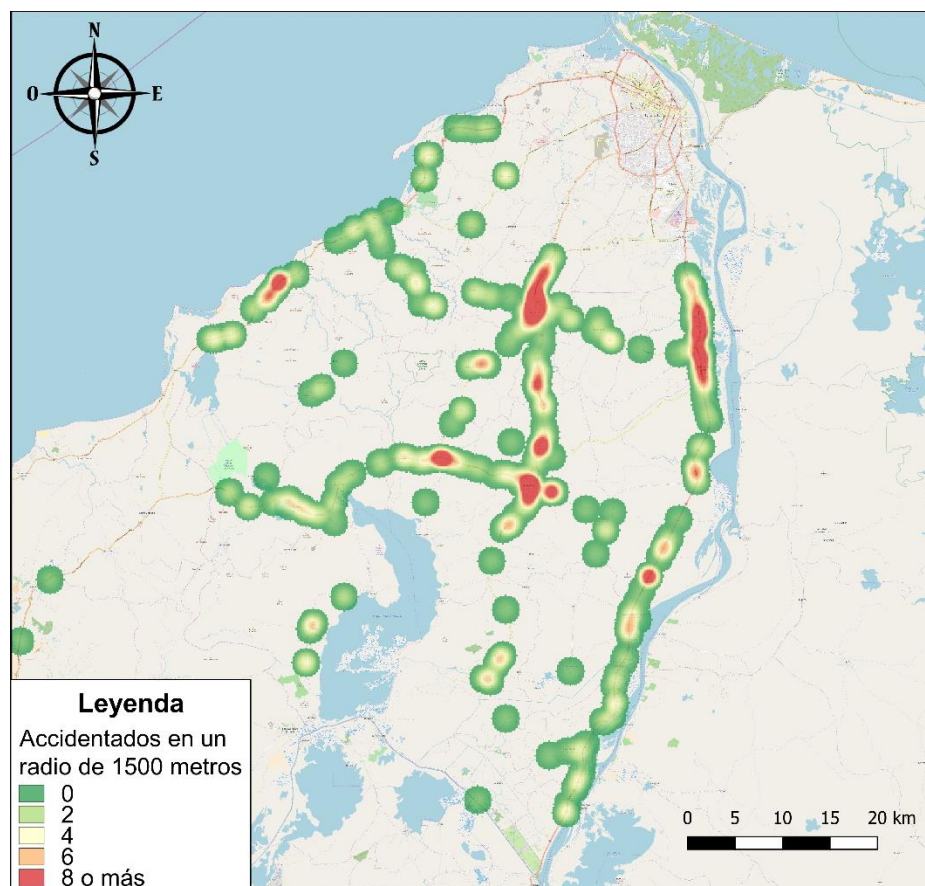
De la *Figura 24* se destaca que el primer rango de hora sólo resultó significativo en el lunes, el rango entre las 12:00 y las 17:59 horas los días lunes, miércoles y sábado. El intervalo entre las 06:00 y las 11:59 horas presentaron ocho usuarios fallecidos los días sábado y domingo y entre las 18:00 y las 23:59 horas se elevó la cantidad de fallecidos en los días viernes, sábado y domingo.

6.2. Mapas de calor

Además de analizar la información cuantitativa de la base de datos compilada, se realizó un análisis de la distribución espacial de los afectados por accidentes de tránsito en las vías rurales. Para esto, y con el fin de obtener una mejor visualización de la distribución, se crearon mapas de calor. De esta manera se pudo observar la concentración de accidentes de tránsito en diferentes zonas del departamento del Atlántico entre los años 2014 y 2016.

En primer lugar, se generó un mapa de calor con toda la información disponible, donde se pueden observar las zonas donde los usuarios resultan afectados reiteradamente.

Figura 25.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La *Figura 25* señala la existencia de por lo menos 8 zonas críticas de accidentalidad en el departamento: sobre la cordialidad en Baranoa, Campeche, Sabanalarga dentro del municipio y zonas aledañas, y en la intersección del acceso a Isabel López con Cordialidad.

Figura 26.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La *Figura 26* mostrada arriba pertenece a uno de los tramos ubicado dentro de la zona roja con mayor concentración de accidentes en la Ruta 90. En este segmento de vía hay una alta presencia de vehículos pesados debido a la existencia de una estación de recarga de combustible, además de la presencia de árboles y postes al costado de la vía. Estos factores pueden tener incidencia sobre la accidentalidad en este punto.

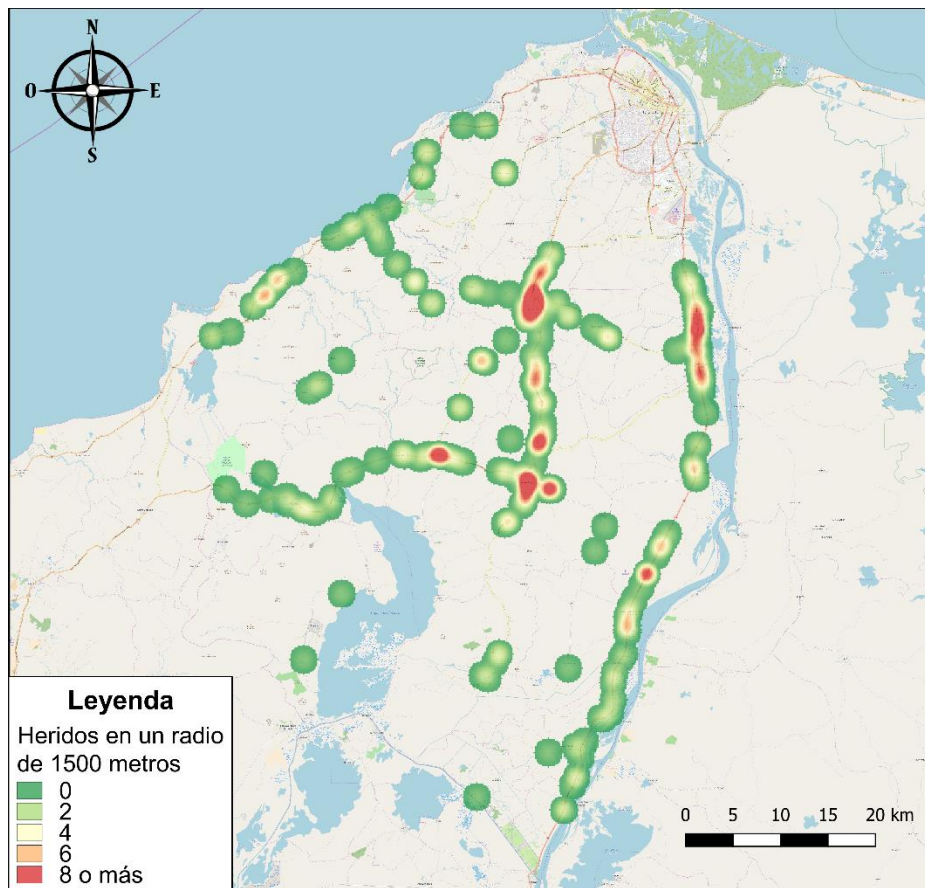
En la vía oriental se presentan concentraciones en la zona que comprende los municipios de Sabanagrande, Santo Tomás y Palmar de Valera, y en un tramo de vía después de Ponedera.

Por último, también se presenta una concentración de afectados en vía al mar a escasos kilómetros del límite del departamento del Atlántico con el departamento de Bolívar.

6.2.1. Según el tipo evento

Con el fin de validar las zonas críticas para lesionados y fallecidos, se realizaron los mapas de calor de la *Figura 27* y la *Figura 28*.

Figura 27.

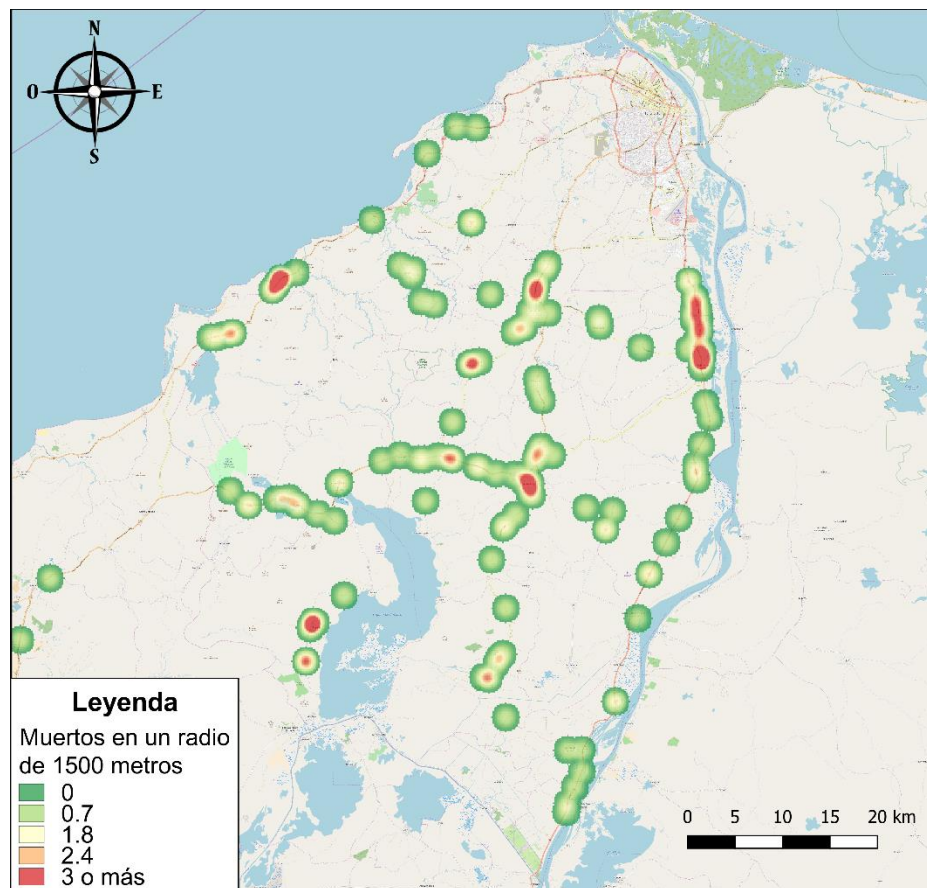


Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

Se observa que existe una semejanza entre los mapas de la *Figura 27* y la *Figura 28*. Las zonas críticas de la cordialidad y vía oriental se mantienen, sin embargo, su tamaño se reduce.

Con los usuarios fallecidos, la distribución conserva varias zonas donde se presentan usuarios afectados principalmente en las ubicadas sobre la cordialidad y la vía oriental. Adicionalmente, se revela que en el área del municipio de Repelón y en el último segmento de vía al mar dentro de departamento se presenta una concentración de fallecidos.

Figura 28.



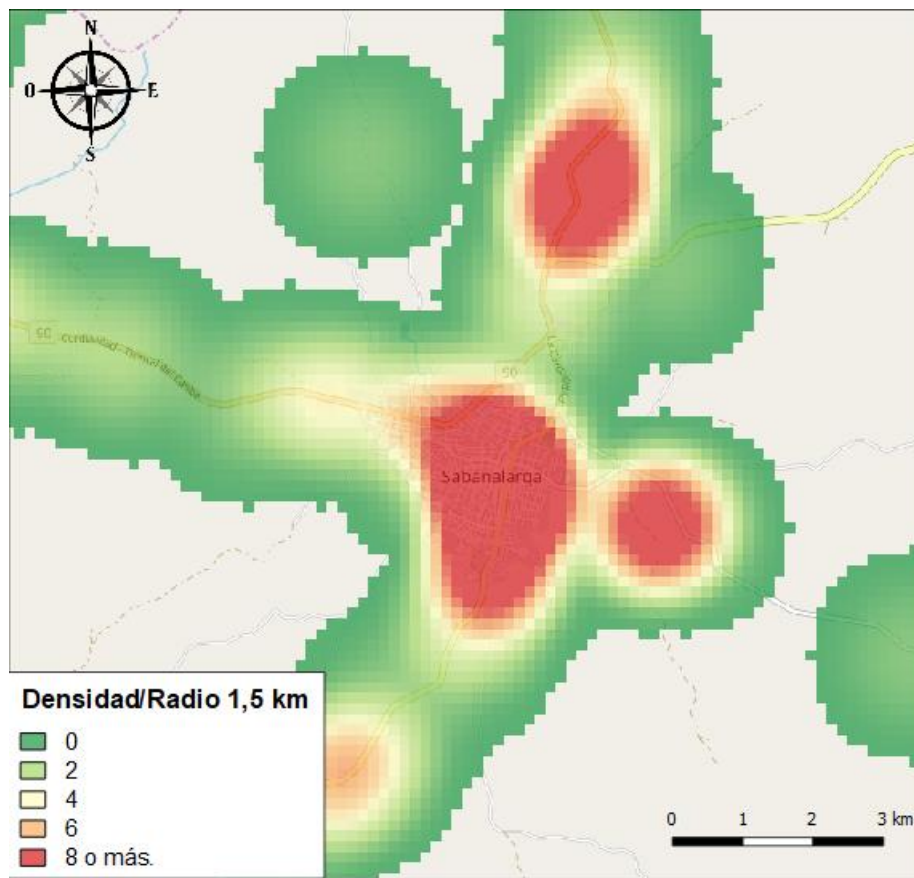
Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

6.2.1.1. Zonas críticas

A partir de la Figura 25, Figura 27 y la Figura 28, se pueden identificar al menos cinco (5) zonas críticas de accidentalidad en el departamento, descritas brevemente a partir de características peligrosas, identificadas a continuación:

- Zona crítica Sabanalarga: ubicada aproximadamente entre el K77+000 y el K77+370 de la Ruta 90, hay presencia de árboles y postes en las zonas laterales, iluminación artificial, presencia de bicicletas e intersecciones semaforizadas. En el tramo hay alta actividad comercial en las zonas laterales de la vía y consecuentemente un importante número de peatones.

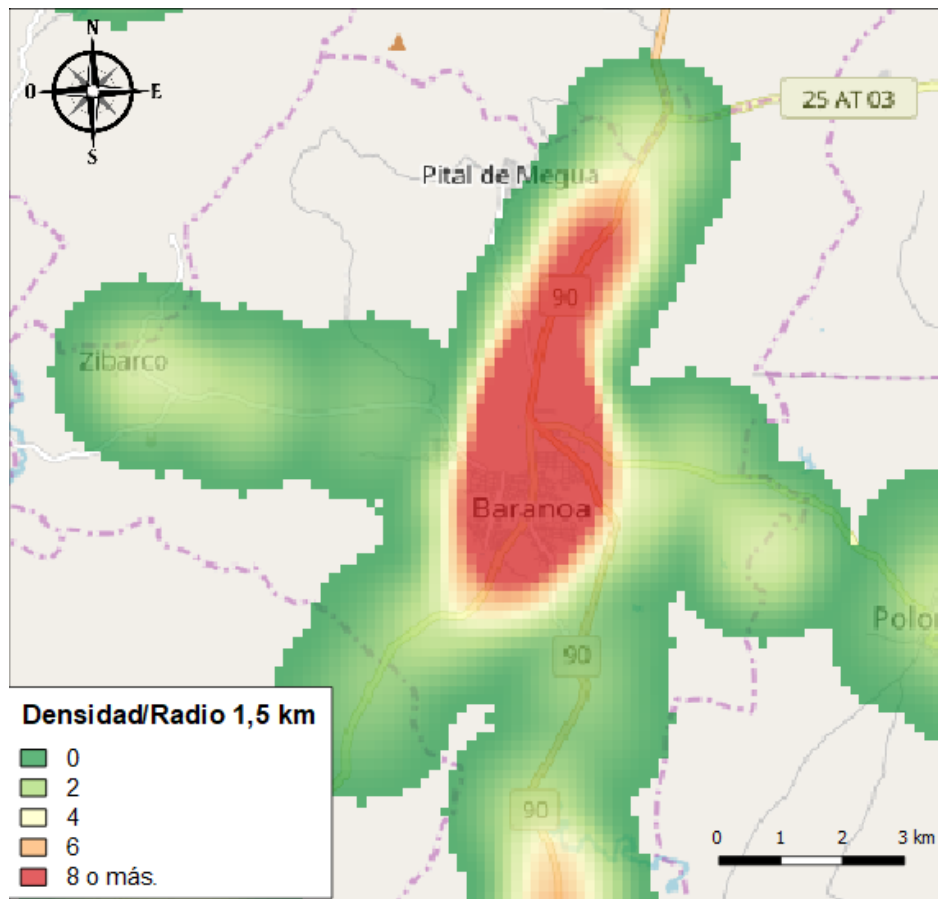
Figura 29.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

- Zona crítica Baranoa: ubicada aproximadamente entre el K96+510 y el K99+000 de la Ruta 90, existe presencia de postes y árboles en las zonas laterales, así como curvas horizontales en el tramo. Un elevado número de vehículos de carga pesada transita por el tramo, la actividad comercial en los costados de la vía es muy importante y hay tránsito de peatones, motocicletas y motocarros sobre la vía y cruzándola.

Figura 30.

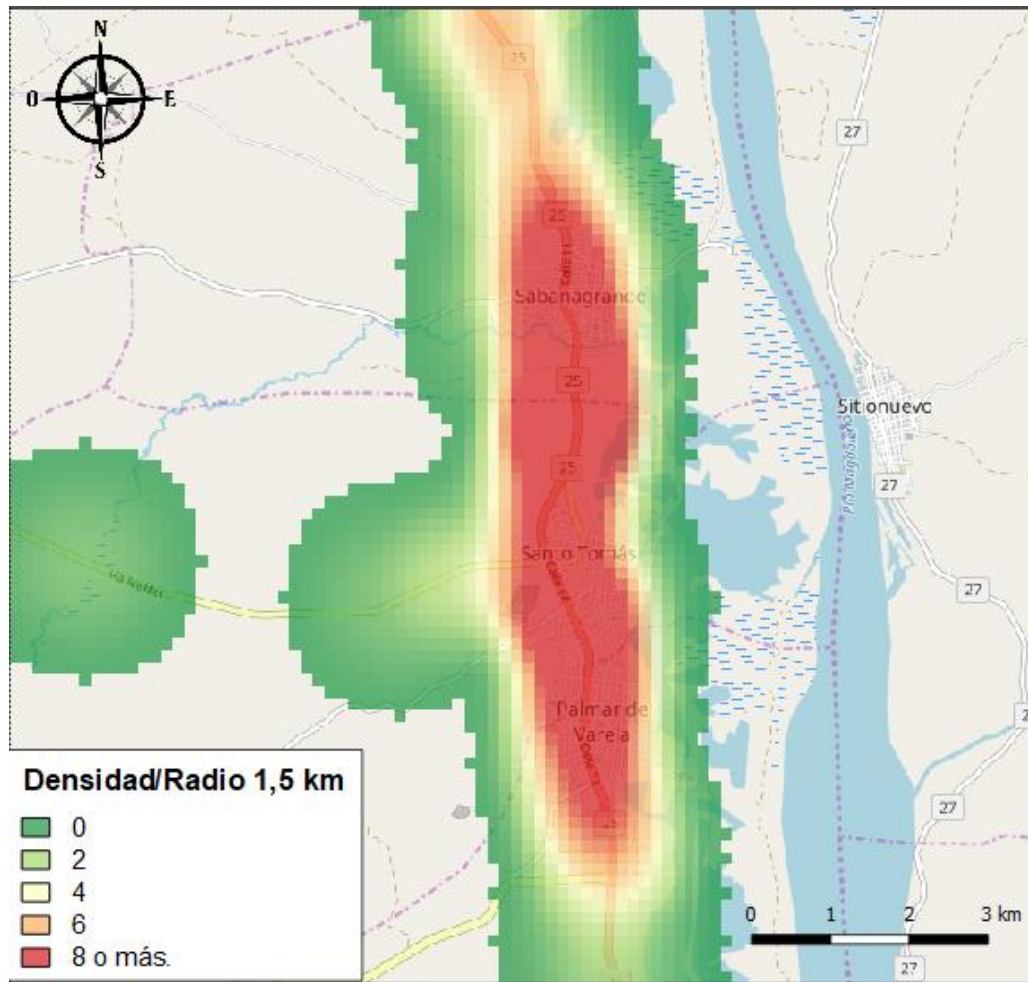


Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

- Zona crítica Sabanagrande – Palmar de Varela: ubicada aproximadamente entre el K64+860 y el K58+170 de la Ruta 25, presencia de postes, árboles, iluminación artificial, barreras metálicas en el tramo y bicicletas en las zonas laterales de la vía. Actividad

económica moderada en los costados de la vía, alto tránsito de peatones. Elevada presencia de motocarros y mototaxis, tránsito de vehículos pesados y transporte intermunicipal.

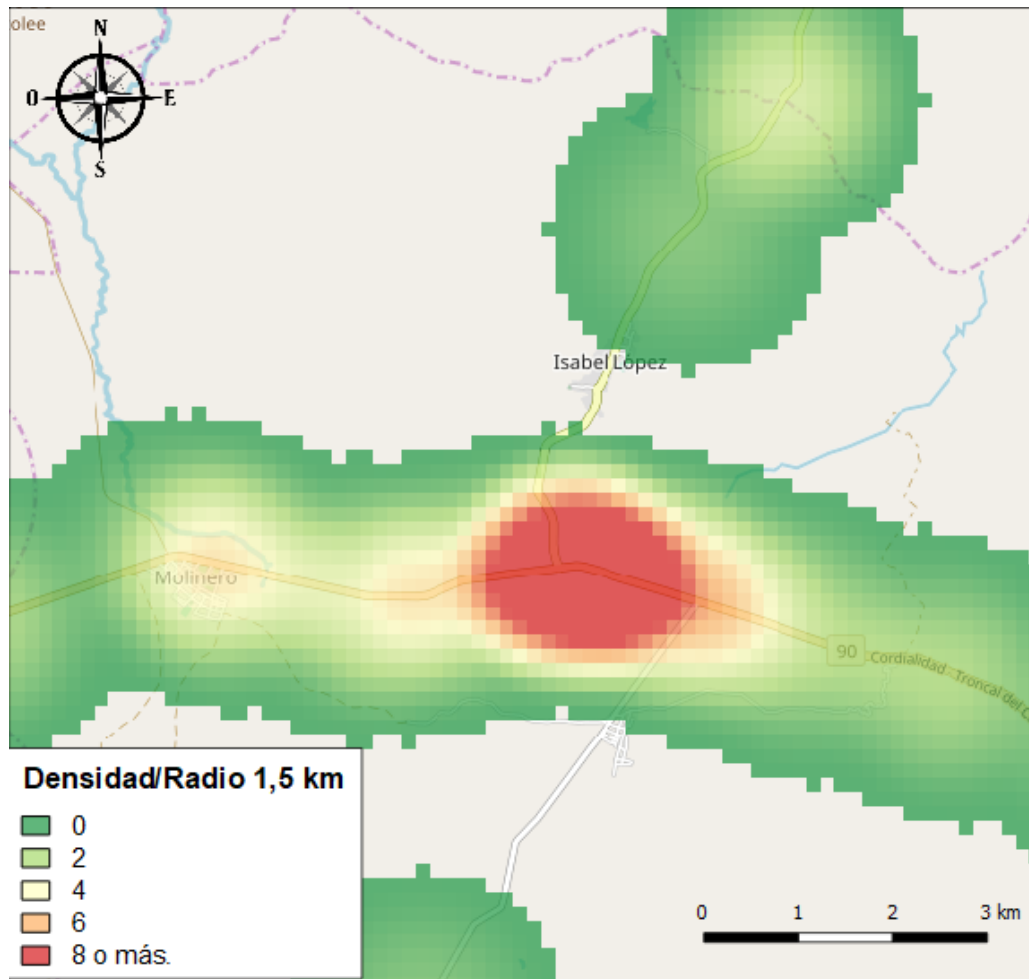
Figura 31.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

- Zona crítica Ruta 90A (vía al mar): ubicada aproximadamente entre el K62+000 y el K63+000 de la Ruta 90A, presencia de barreras de contención metálicas con discontinuidades en las inmediaciones a una curva, presencia de animales en el tramo. Posible tendencia a tránsito a alta velocidad debido a las características del tramo.

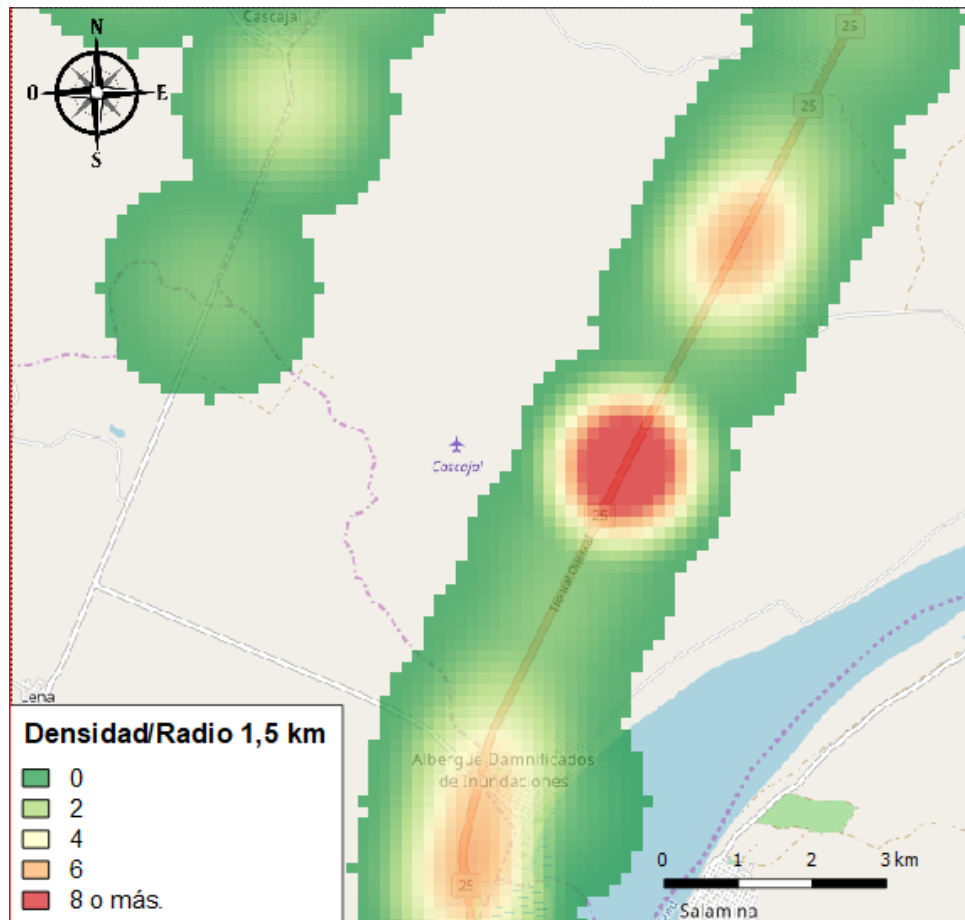
Figura 32.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

- Zona crítica Ruta 25 (Puerto Giraldo – Campo de la Cruz): ubicada aproximadamente entre el K34+320 y el K38+520 de la Ruta 25, presencia de postes y árboles en las zonas laterales. La vía presenta un tramo recto de longitud importante el cual puede generar tendencia al tránsito a alta velocidad.

Figura 33.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

- Zona crítica Suán: ubicada aproximadamente entre K6+390 y el K14+580 de la Ruta 25, presencia de postes y árboles de gran envergadura en las zonas laterales de la vía, curvas en el tramo y presencia de animales. Calzada con berma de aproximadamente 2 metros de ancho y carriles amplios (3.7 metros) y carpeta de rodadura en buen estado. Condiciones para tránsito a alta velocidad.

Figura 34.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

Durante los recorridos en campo no solo se recolectó información de los tramos seleccionados, sino que se pudieron identificar aspectos peligrosos de las vías de manera general. Tal como lo indica la

Figura 34, uno de los aspectos peligrosos fue hallado en las curvas, donde se presentan interrupciones en el trazado de las barreras metálicas. La situación es preocupante al considerarse los siguientes puntos: las interrupciones en las barreras representan un peligro al permitir que un vehículo se salga de la vía en caso de perder el control; dichas interrupciones representan una situación de riesgo con respecto a la terminación con tendencia a ser punzante de tales barreras.

Figura 35.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La

Figura 35 presenta una situación contradictoria: una barrera metálica que ha sido empotrada en el terreno pero que, a pocos metros del empotramiento, ha sido cortada de manera deliberada generando una discontinuidad y dando lugar a una terminación en cola de pescado. Las discontinuidades no son producto de accidentes ocurridos previamente, tienen cortes totalmente claros, indicando que fueron dispuestas así al momento de diseñar la vía.

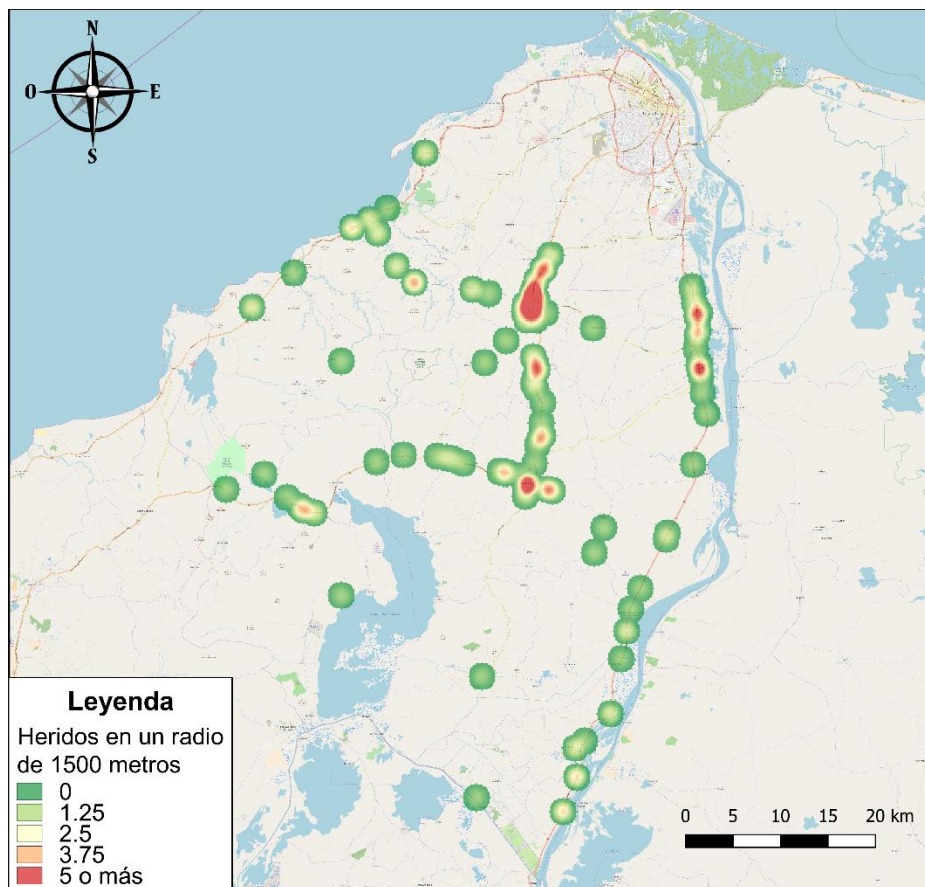
6.2.2. Según el usuario afectado

Las acciones requeridas para reducir la afectación de usuarios de motocicletas difieren de las necesarias para disminuir la afectación de usuarios automóviles o los peatones, por tanto, con el fin de identificar la zona donde cada usuario es más susceptible se crearon mapas de calor para los registros de cada usuario.

6.2.2.1. Motociclistas

Inicialmente se identifican las zonas donde se concentran la mayor cantidad de motociclistas afectados.

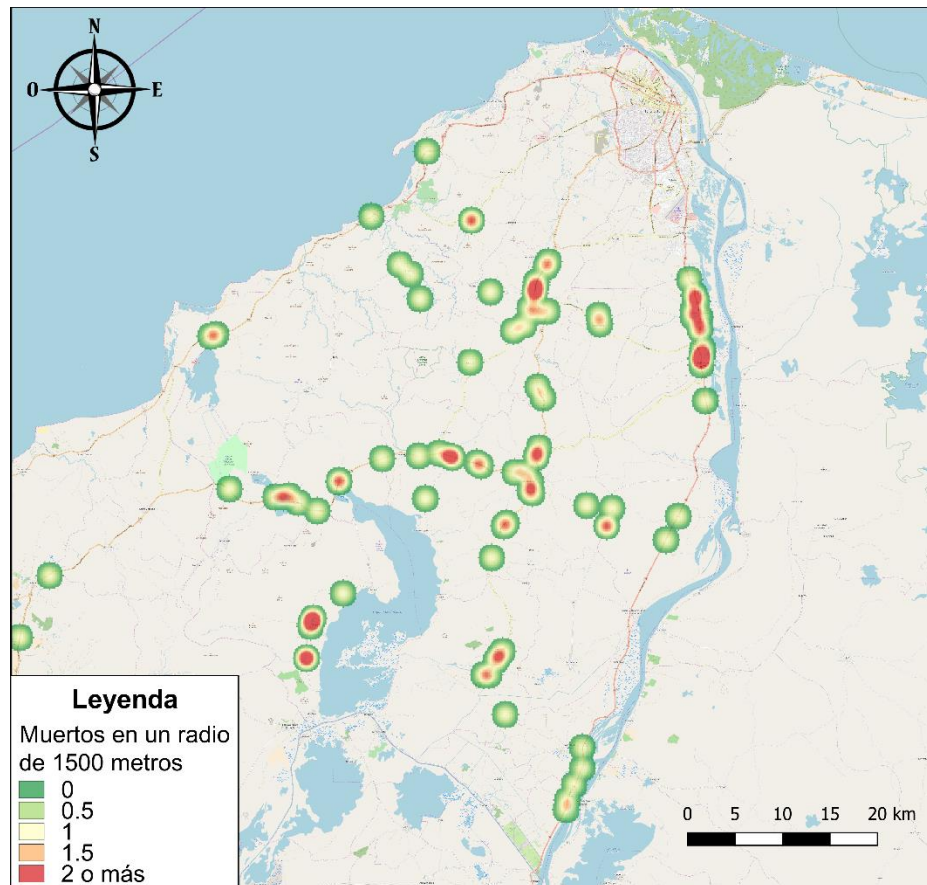
Figura 36.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

Los usuarios de motocicletas lesionados registran una mayor afectación en la Cordialidad en la zona de Baranoa, en la zona Campeche y cuando la vía atraviesa el municipio de Sabanalarga. En la vía Oriental se agrupan los municipios de Sabanagrande y Palmar de Varela.

Figura 37.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

Como se observa en la *Figura 37*, los usuarios fallecidos en moto se distribuyen en diferentes zonas a lo largo y departamento, sin embargo, se pueden destacar las siguientes áreas como críticas: segmento de la Cordialidad al norte Baranoa, intersección de la Cordialidad y la variante Sabanalarga-Palmar de Varela, sur del municipio de Sabanalarga en la vía hacia Manatí,

intersección de la Cordialidad y la vía de acceso a La Peña, Zona aledaña a Repelón, La vía Oriental entre Santo Tomás y Palmar de Varela, y el segmento de la vía Oriental antes, entre y después del municipio de Sabanagrande.

Figura 38.



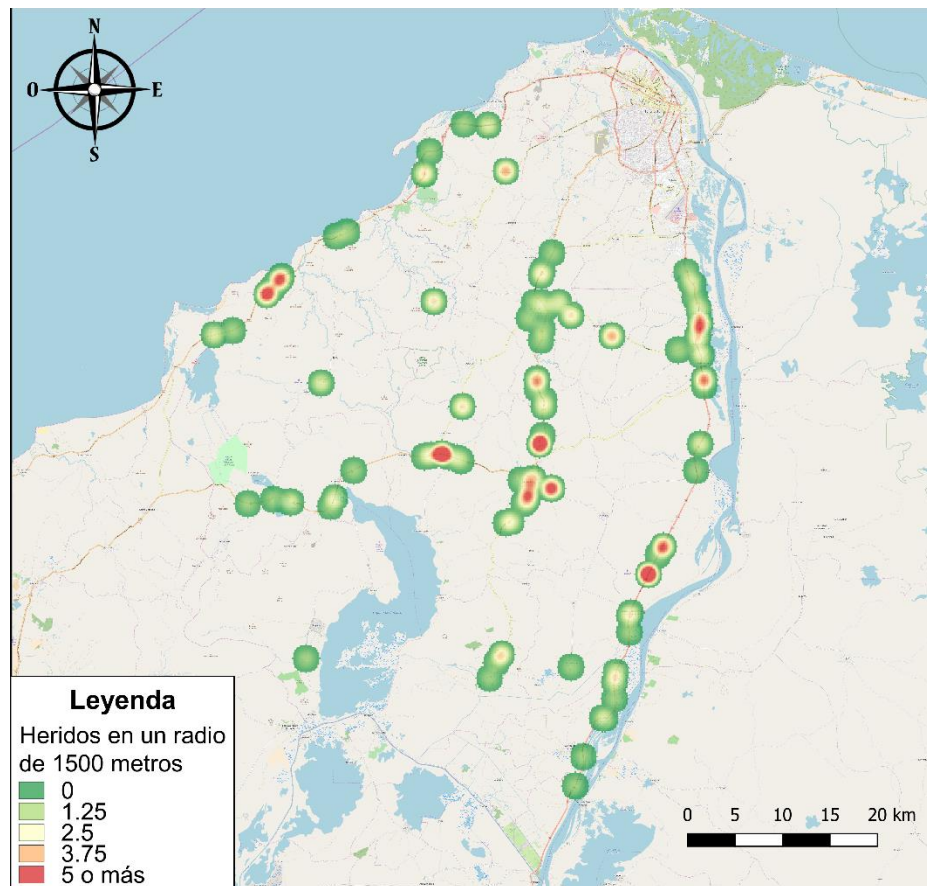
Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La *Figura 38* fue tomada en el interior del municipio de Sabanagrande que es atravesado por la Ruta 25, tal como sucede en otros municipios del departamento con las vías primarias. En la imagen se puede observar el transporte informal en la modalidad de mototaxismo que es muy frecuente en esta localidad. Así como en el ejemplo propuesto, muchos conductores no cuentan con elementos de seguridad (casco protector, chaleco reflectivo) que los protejan en caso de un

incidente, esto combinado con el alto flujo vehicular a través de la vía (por la cual transita un número considerable de buses de transporte intermunicipal y vehículos livianos) genera un escenario potencialmente peligroso para estos usuarios vulnerables de la vía.

6.2.2.2. Usuarios de automóviles

Figura 39.

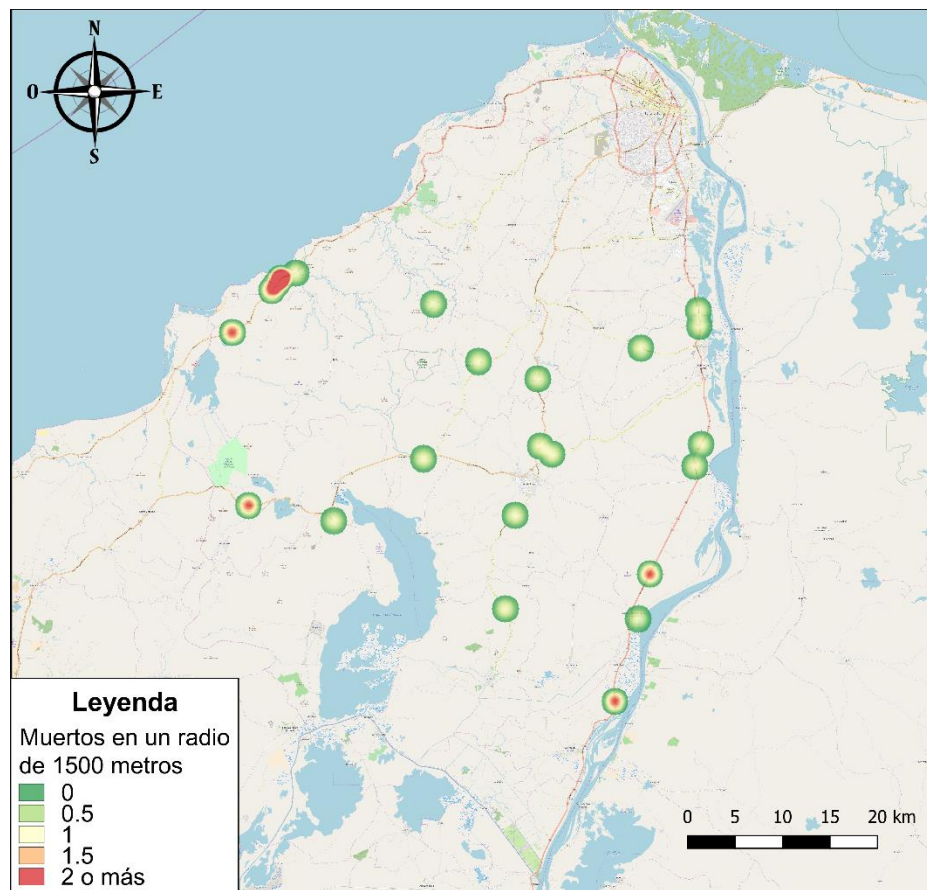


Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

El mapa de la *Figura 39* permite identificar concentraciones de accidentes con personas heridas como resultado de ello no solo en las vías principales sino también en varios tramos de vías secundarias, como las rutas Juan de Acosta – Baranoa, en las cercanías de Piojó y

Candelaria y una llamativa concentración importante entre los municipios de Baranoa y Polonuevo. Una vez más, las mayores densidades se encuentran en la Cordialidad (Baranoa, previo al municipio de Sabanalarga y dentro de él, al igual que en la intersección con Isabel López) y la vía Oriental (entre Sabanagrande y Palmar de Varela, con una concentración importante en la vía que comunica Ponedera con Puerto Giraldo), así como dos focos de concentración subsecuentes en la vía al Mar.

Figura 40.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La *Figura 40* representa un gran contraste entre las concentraciones de lesionados y fallecidos por accidentes de tránsito en automóviles. En ella, pueden identificarse diversas zonas

tanto en vías primarias como en vías secundarias. Las zonas críticas se encuentran en la vía al Mar y en la vía Oriental, destacando el hecho de que, en esta última, uno de los puntos de concentración más elevada se encuentra muy cercano a un foco de concentración de lesionados para este tipo de vehículo, mostrado en la figura previa, pudiendo incluso decirse que los puntos se superponen lo cual llama la atención e indica que en la vía que conecta Ponedera con Puerto Giraldo existe un segmento crítico de accidentalidad. El otro foco existente en esta vía se encuentra entre Puerto Giraldo y el municipio de Campo de la Cruz. De manera similar, en la vía al Mar se encuentran dos zonas con alta densidad de manera subsecuente en ubicaciones que son prácticamente las mismas que las de los puntos de concentración para lesionados mostrados en la *Figura 39*, pudiendo concluirse que existe igualmente un segmento de vía en la ruta 25 el cual es crítico para la accidentalidad.

Figura 41.

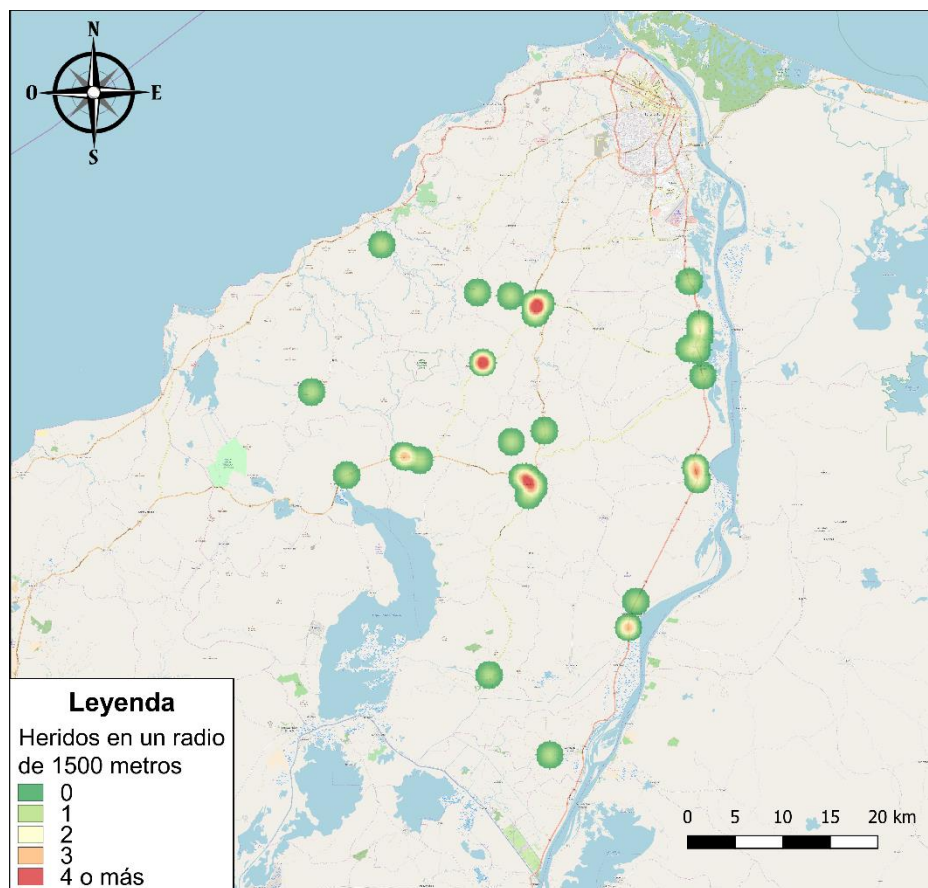


Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La *Figura 41* fue tomada durante los recorridos de inspección en el kilómetro 18 de la Ruta 25 y en ella puede verse la alta presencia de árboles en las zonas laterales de la vía. Además, destaca la presencia de una cámara de velocidad, por lo que se deduce que en este tramo las velocidades de tránsito son muy elevadas. Ambos factores pueden tener incidencia en la accidentalidad reflejada en la zona roja de la *Figura 40* al final de la Ruta 25 en la cercanía al municipio de Campo de la Cruz.

6.2.2.3. Peatones

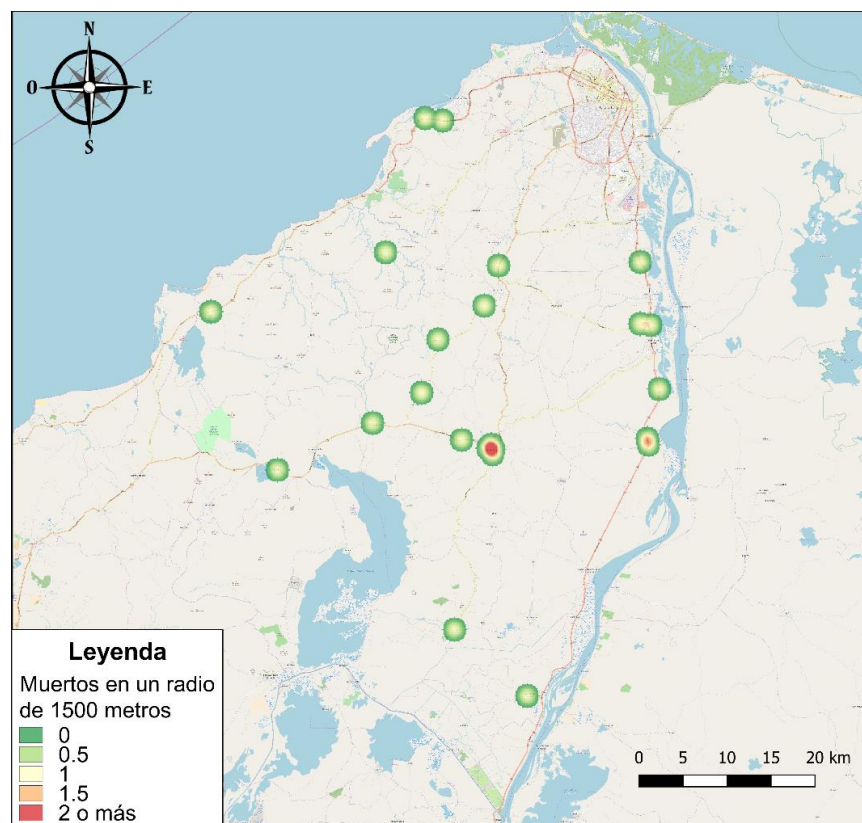
Figura 42.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

El mapa de calor de la *Figura 42* presenta las zonas de concentración para patrones lesionados. Las concentraciones más altas se encuentran en la vía Cordialidad en las inmediaciones de los municipios de Baranoa y Sabanalarga, así como entre los municipios de Baranoa y Usiacurí. Nuevamente existen focos de concentración entre los municipios de Ponedera y Puerto Giraldo, en puntos semejantes a los hallados previamente para los usuarios de automóviles. Las densidades más altas halladas en las vías principales (con excepción del caso Baranoa – Usiacurí) pueden explicarse al considerar que en las inmediaciones de las vías principales que atraviesan los municipios existe mucha actividad económica e incluso asentamientos urbanos en ambos costados de la vía y a pocos metros de la calzada.

Figura 43.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

El mapa de calor para los peatones fallecidos en accidentes de tránsito mostrado en la *Figura 43* muestra una distribución distinta a la de los lesionados con puntos de concentraciones semejantes mayormente en vías primarias y algunos en vías secundarias (como en los tramos que conectan a Baranoa con Usiacurí y a Juan de Acosta con Baranoa). Las zonas de mayor concentración se encuentran en la vía Cordialidad, en las cercanías al municipio de Sabanalarga, así como en la vía Oriental, en cercanías al municipio de Ponedera.

6.3. Modelos estadísticos

En esta sección se presentan los modelos estadísticos que mejor desempeño mostraron, así como el análisis de las variables obtenidas y sus parámetros. Se decidió desarrollar modelos estadísticos para vías urbanas y otros para vías rurales dada la marcada diferencia del entorno que rodea a la vía y a sus actores en cada caso, aclarando que para este estudio se consideran zonas urbanas como aquellas zonas en las cuales una vía principal atraviesa una cabecera municipal y que tiene prioridad durante todo su trayecto, mientras que se considera zona rural a una zona en la cual la vía principal no colinda con propiedades que tienen asentamientos poblacionales o que tiene muy pocos en sus inmediaciones; se utilizó como parámetro de significancia el p – valor (indicado en las tablas como “sig”), además, se eligió un intervalo de confianza del 90% para la determinación de la significancia de variables en un modelo, lo que indicó un p – valor máximo de 0.1 como significancia aceptable para la asociación de variables. Se obtuvieron dos modelos para zonas urbanas y dos modelos para zonas rurales.

6.3.1. Descripción de variables

La Tabla 4 contiene un resumen de las variables halladas como significativas posterior a la modelación estadística.

Tabla 4.

Descripción de variables significativas en los modelos

Variable	Descripción	Tipo de variable
MesDic	Ocurrencia del incidente en el mes de diciembre (1 sí, 0 no)	Binaria
Lunes	Ocurrencia del incidente en lunes (1 sí, 0 no)	Binaria
Horuno	Ocurrencia del incidente entre las 0:00 horas y las 06:00horas (1 sí, 0 no)	Binaria
Horcuatro	Ocurrencia del incidente entre las 18:00 horas y las 23:59 horas (1 sí, 0 no)	Binaria
BarrerasCont	Presencia de barreras de contención en el tramo de vía (1 sí, 0 no)	Binaria
TipoBC	Tipo de barrera de contención (1 metálica, 0 concreto)	Binaria
Illuminacion	Iluminación artificial en el tramo de vía (1 sí, 0 no)	Binaria
VMoto	Participación de una motocicleta en el accidente (1 sí, 0 no)	Binaria
VPeaton	Participación de un peatón en el accidente (1 sí, 0 no)	Binaria
VAuto	Participación de un automóvil en el accidente (1 sí, 0 no)	Binaria
PresAltaMoto	Presencia alta de motos en la vía (1 sí, 0 no)	Binaria
PresBici	Presencia de ciclista en la vía (1 sí, 0 no)	Binaria
NumBarrerasC	Número de barreras de contención en el tramo de vía	Continua
NumCurvas	Número de curvas en el tramo de vía	Continua
Arboles	Presencia de árboles en las zonas laterales de la vía (1 sí, 0 no)	Binaria
Postes	Presencia de postes en las zonas laterales de la vía (1 sí, 0 no)	Binaria
IntSem	Intersecciones semaforizadas en el tramo de vía	Continua
Ercinco	Edad superior a 60 años (1 sí, 0 no)	Binaria

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

6.3.2. Modelos (resultados)

6.3.2.1. Modelos rurales

Los dos modelos rurales obtenidos se presentan en la Tabla 5 y Tabla 8. Cada tabla incluye el nombre asignado a la variable, el parámetro B, el error estándar, la significancia, la razón de probabilidad (Exp(B) en las tablas) y el intervalo de confianza para la razón de probabilidad.

Tabla 5.

Modelo Rural 1

Variable	B	Error estándar	Wald	Sig.	Exp(B)	95% C.I. para EXP(B) Inferior	95% C.I. para EXP(B) Superior
Ocurrencia del accidente en el mes de Diciembre	1,033	0,519	3,955	0,047	2,810	1,015	7,777
Participación de una motocicleta en el accidente	0,876	0,345	6,432	0,011	2,401	1,220	4,726
Participación de un peatón en el accidente	2,088	0,650	10,327	0,001	8,071	2,258	28,845
Presencia de barreras de contención	1,009	0,324	9,728	0,002	2,744	1,455	5,174
Constante	-2,055	0,331	38,504	0,000	0,128		

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

El modelo rural 1 incluye las variables de ocurrencia del accidente en el mes de diciembre, presencia de barreras de contención en la vía, participación de una motocicleta y de un peatón en

el accidente. En todos los casos, el p – valor es inferior a 0.1, lo cual quiere decir que las variables satisfacen el intervalo de confianza del 90% y son significativas.

Tabla 6.

Resumen del modelo, modelo rural 1.

Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
244,661	,108	,155

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La Tabla 6 presenta un resumen de los parámetros estadísticos del logaritmo de la verosimilitud y el r cuadrado de Cox y Snell y el de Nagelkerke. Acorde a los resultados, el modelo explica satisfactoriamente el 15.5% de la varianza de la variable dependiente.

Tabla 7.

Prueba de Hosmer y Lemeshow para el modelo rural 1.

Paso	Chi-cuadrado	gl	Sig.
1	2,305	3	0,512

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La Tabla 7 presenta los resultados para la prueba de Hosmer y Lemeshow. El valor del Chi – Cuadrado es pequeño y la significancia de la prueba es superior a 0.5, por lo que el modelo genera una discrepancia entre valores observados y esperados más que aceptable.

El modelo rural 1 considera como regresores, entre otras variables, la participación de motocicletas y peatones en un accidente de tránsito. Ambos son considerados como actores vulnerables de la vía, por lo que su implicación en accidentes de tránsito tendrá tendencia a sufrir consecuencias severas. Los parámetros estadísticos de estimación obtenidos en el modelo indican que la participación de una motocicleta en el incidente incrementa la probabilidad de muerte en 2.41 veces (OR = 2.41) en comparación a si no estuviese involucrada. Chen, Zhang, Huang, Wang & Tarefder (2016) desarrollaron un estudio en el cual corroboraron que los motociclistas son usuarios altamente vulnerables. De manera similar Decker, Otter, Cruz et al., (2016) obtuvieron resultados que ratifican la tendencia de los motociclistas a sufrir lesiones severas en caso de verse implicados en un accidente de tránsito, mientras que Decker et al. (2016) también indican en su estudio la propensión de estos actores en la vía a sufrir lesiones más severas. Los resultados concuerdan con el reporte de la revista *Forensis*, el cual indica que para el año 2016 los accidentes de tránsito en motocicleta concentran el 50% de las fatalidades por accidentes de transporte en Colombia (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2017), así como en el registro de accidentes de tránsito durante los años 2014 a 2016 en el departamento, en los cuales los accidentes de tránsito en moto corresponden al 62.11% de las personas que fallecieron en este tipo de accidentes en las vías rurales del Atlántico. En el Atlántico, es común ver motociclistas circulando por las vías sin chalecos reflectivos o sin utilizar las luminarias de su vehículo e inclusive en casos más temerarios, sin cascos de protección. La no utilización de las luminarias ni chaleco reflectivo puede hacer que un conductor de motocicleta sea prácticamente imperceptible bajo escasas condiciones de luz, por lo que el conductor de otro vehículo puede no percatarse de su presencia en la vía hasta que se encuentra a muy pocos metros de él, cambiando completamente su perspectiva para maniobrar mientras conduce,

mientras que la no utilización del casco puede incrementar las lesiones hasta dos veces más en comparación al uso de este elemento de seguridad (Bambach & Mitchell, 2015), lo cual es preocupante si se considera la sensibilidad de la cabeza ante lesiones.

“Los peatones son usuarios de la vía con un elevado riesgo de lesiones” (Niebuhr, Junge, & Rosén, 2016, p. 121). Los resultados indican que los peatones tienen una probabilidad del 88.98% de fallecer al verse involucrados en un accidente de tránsito y presentan la significancia más alta entre las variables del modelo (p – valor 0.001). A diferencia de los usuarios de automóviles, camiones o buses, los peatones no cuentan con una estructura ni con elementos de seguridad pasiva que los protejan en caso de verse implicados en un choque vehicular. Es por ello que la inclusión de un peatón en un accidente vehicular tiene la tendencia a mostrar las lesiones más severas en comparación a cualquier otro actor de vía (Niebuhr et al., 2016). Estudios previos corroboran los resultados al indicar que los peatones tienen una probabilidad muy elevada de sufrir lesiones severas al verse involucrados en choques vehiculares (Haleem & Gan, 2015; Manner & Wunsch-Ziegler, 2013; Michalaki, Quddus, Pitfield, & Huetson, 2015). Por ejemplo, el estudio desarrollado por Fountas & Anastasopoulos (2017) señala que la participación de un peatón está asociada con lesiones más severas en el 99.9% de los casos en comparación con otros usuarios de la vía. El Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses reporta que para el año 2016, 1.857 peatones murieron en accidentes de transporte correspondientes a aproximadamente $\frac{1}{4}$ de las muertes totales por este tipo de accidentes, mientras que el registro a nivel departamental reporta que un total de 50 peatones se vieron afectados por accidentes de tránsito, de los cuales 23 fallecieron, correspondientes al 14.29% de los muertos totales y el restante al 6.52% de los lesionados. Los resultados pueden estar

fuertemente vinculados a la presencia de peatones en la vía debido a que existen asentamientos humanos en los costados de la misma, pertenecientes usualmente a personas que se dedican a la agricultura. Dada su ubicación, estas personas normalmente no cuentan con rutas que los trasladen directamente desde sus recintos hacia la ciudad o lugares de trabajo, por lo que deben tomar rutas intermunicipales en la vía donde no existen paraderos o estructuras determinadas para tal fin, por lo que encontrar peatones al costado de las vías es relativamente común.

La ocurrencia del accidente en el mes de diciembre demostró ser significativa e incrementar la probabilidad de muerte para los implicados. En caso de suceder en este mes del año, las probabilidades de fallecimiento para los implicados es 2.81 veces mayor ($OR = 2.81$) en comparación a si ocurriese durante otro mes. Gray, Quddus & Evans (2008) consideraron los “efectos estacionales”, es decir, la ocurrencia de accidentes de tránsito en determinado mes del año o día de la semana, para evaluar sus efectos sobre la severidad de las lesiones. Los resultados señalan que la ocurrencia del suceso durante este mes del año incrementa la probabilidad de sufrir lesiones severas en aproximadamente el 15%. El registro del Instituto de Medicina Legal reporta 624 personas fallecidas en ese mes del año. A nivel departamental, 65 personas resultaron afectadas entre los años 2014 y 2016, correspondientes al 11.36% del total de los afectados, siendo el mes con el máximo de afectados durante el período de registro. La finalización de los períodos académicos de instituciones educativas y las festividades propias de fin de año motivan el incremento de viajes en las vías, siendo que las personas buscan movilizarse hacia otras regiones del país y desde otras regiones del país hacia el departamento para encontrarse con familiares y vacacionar. Una posible explicación es que durante el período de festividades, los viajes a altas horas de la noche y la conducción bajo efectos del alcohol

comunes por la temporada del año y por factores socio – culturales de la zona podrían afectar la severidad de los accidentes al incidir sobre las habilidades de conducción de las personas, siendo que ambas variables han sido comprobadas previamente como significativas al explicar la severidad de los accidentes (Behnood & Mannering, 2017; Rifaat, Tay, & De Barros, 2011).

La presencia de barreras de contención en la vía fue otro de los regresores que hacen parte del modelo. Al igual que la participación de peatones, esta variable posee una alta significancia (p – valor 0.002) y acorde a los parámetros de pronóstico, la presencia de barreras de contención en la vía en caso de ocurrencia de un accidente de tránsito incrementa las probabilidades de muerte en 2.75 veces ($OR = 2.75$) en comparación a si no existiera este tipo de estructuras. Aun cuando las barreras de contención hacen parte de los elementos de seguridad vial y buscan proteger a los usuarios de chocar con otros objetos peligrosos (Roque & Cardoso, 2013), se sabe que pueden cambiar el curso de vehículos y redirigirlos a la vía, por lo que el número de choques vehiculares aumenta producto de las barreras de contención (Hu & Donnell, 2010). Una posible explicación es que las barreras de contención como tal bien pueden propiciar un nuevo escenario de peligro para los usuarios de la vía al redirigir vehículos poniéndolos en la trayectoria de otros vehículos y causando choques con consecuencias que pueden ser peores que la situación inicial (salida del camino del vehículo), situación en la cual los ocupantes del vehículo que choca contra la barrera y vuelve a la vía pueden no tener suficiente tiempo de respuesta para reaccionar, ser incapaces de reaccionar por averías mecánicas del vehículo o haber sufrido lesiones que les impidan responder al nuevo escenario; o bien pueden convertirse por sí mismas en objetos peligrosos, dependiendo del material de la barrera metálica y el tipo de choque que exista. Esto último concuerda con el elevado riesgo de sufrir lesiones fatales por

parte de los motociclistas en choques contra barreras de contención reportado por la National Highway Traffic Safety Administration de Estados Unidos (2008). Aunque el registro de datos sobre accidentalidad proveído por el Instituto de Tránsito no provee información alguna sobre tipos de choques, es posible que dada la cantidad de accidentes en motocicleta que se presentan en las vías del departamento y su propensión a sufrir lesiones más severas en caso de choques contra barreras de contención sea un causal que justifique el resultado obtenido para la variable.

Tabla 8.

Modelo Rural 2

Variable	B	Error estándar	Wald	Sig.	Exp(B)	95% C.I. para EXP(B) Inferior	95% C.I. para EXP(B) Superior
Ocurrencia del incidente entre las 0:00 horas y las 06:00horas	-0,847	0,485	3,044	0,081	0,429	0,166	1,110
Presencia alta de motos en la vía	0,762	0,345	4,870	0,027	2,142	1,089	4,213
Participación de un automóvil en el accidente	-0,791	0,348	5,167	0,023	0,454	0,229	0,897
Ocurrencia del incidente en lunes	0,794	0,410	3,743	0,053	2,212	0,990	4,943
Número de barreras de contención en el tramo de vía	0,226	0,073	9,696	0,002	1,254	1,087	1,446
Número de curvas en el tramo de vía	-0,284	0,118	5,742	0,017	0,753	0,597	0,950
Constante	-0,856	0,303	7,961	0,005	0,425		

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

El modelo rural 2 incluye las variables de ocurrencia del accidente entre las 00:00 horas (medianoche) y las 6:00 horas, ocurrencia del accidente en el lunes, número de barreras de contención en la vía, participación de un automóvil, presencia alta de motos y el número de curvas

horizontales en la vía. Para este modelo, todas las variables son *mudas* o binarias, a excepción de las variables referentes al número de curvas y de barreras de contención las cuales son discretas. En todos los casos, el p – valor es inferior a 0.1, lo cual quiere decir que las variables satisfacen el intervalo de confianza del 90% y son significativas.

Tabla 9.

Resumen del modelo, modelo rural 2.

Paso	Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
1	247,068	,098	,142

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La

Tabla 9 presenta un resumen de parámetros que miden la bondad del modelo, como lo son el logaritmo de la verosimilitud y los valores de R cuadrado de Cox y Snell y de Nagelkerke. Acorde a los resultados, el modelo explica adecuadamente el 14.2% (0.142) de la varianza de la variable dependiente.

Tabla 10.

Prueba de Hosmer y Lemeshow para el modelo rural 2.

Chi-cuadrado	gl	Sig.
4,329	8	,826

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La Tabla 10 muestra los resultados de la prueba de bondad de Hosmer y Lemeshow. Los resultados del Chi – Cuadrado (4.329) y la significancia de 0.826 arrojados por la prueba, indican que el modelo tiene un muy buen ajuste, existiendo diferencias reducidas entre los valores observados y los estimados por medio del modelo.

El modelo rural 2 encontró seis variables predictoras como significativas para explicar la severidad de los accidentes: ocurrencia del incidente el lunes, ocurrencia del incidente entre las 00:00 horas (medianoche) y las 06:00 horas, inclusión de un automóvil en el accidente, presencia alta de motos, número de curvas y número de barreras de contención. Con respecto a la primera variable mencionada del modelo, la ocurrencia del incidente en este día de la semana incrementa la probabilidad de sufrir lesiones fatales en 2.21 veces (OR = 2.21) en comparación a si ocurriese otro día de la semana. Los resultados pueden ser justificados por el hecho que durante el período de registro 99 personas resultaron afectadas por accidentes de tránsito ocurridos un lunes, de los cuales 30 casos ocurrieron durante lunes festivos. Dada esta relación, se puede inferir que la

tendencia a vacacionar o realizar viajes con objetivos recreativos durante los fines de semana puede estar vinculada con el consumo de alcohol (Gray et al., 2008). El reporte de *Forensis* para el año 2016 indica que durante los días hábiles de la semana (lunes a viernes), durante el lunes se dio el mayor número de fatalidades por accidentes de transporte con un total de 1065 casos correspondiente al 14.63% del registro de muertes durante días de la semana.

La ocurrencia del accidente durante las 00:00 horas (medianoche) y las 06:00 horas incrementa las probabilidades de sufrir lesiones en un 69.98%. Los resultados son congruentes con el hecho que entre el 2014 y el 2016, durante horas de la noche (18:00 horas – 06:00 horas) se registró aproximadamente el 53% de los lesionados, del cual el 18.2% se ubicó en el rango horario de las 00:00 horas y las 06:00 horas. En ese mismo lapso, la revista *Forensis* indica que, en el 2016, 2684 personas resultaron lesionadas. Chen et al. (2015) concluyeron tras su investigación que los accidentes que ocurren entre la media noche y el amanecer tienen mayores probabilidades de resultar en lesiones que en consecuencias fatales para los implicados.

El involucramiento de un automóvil en un accidente de tránsito fue encontrado como contribuyente a sufrir lesiones en un accidente de tránsito, con una probabilidad del 68.8%. Los archivos indican que, durante los tres años de registro considerados para esta investigación, las lesiones en vehículos corresponden al 32.61% de las lesiones acorde a la distribución modal de las lesiones. En Colombia, en el 2016 se reportaron más de 3000 personas lesionadas en automóviles (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2017). Una posible justificación de este resultado es que, a diferencia de los motociclistas, ciclistas y peatones, los ocupantes de un automóvil cuentan con una estructura que puede absorber una buena parte de la

energía del impacto, además de contar con elementos como las bolsas de aire (*airbags*) y cinturones de seguridad que reducen considerablemente la severidad de las lesiones.

La presencia alta de motos en la vía fue otro de los regresores encontrados como significativos para explicar la severidad de las lesiones. Para el modelo rural 2, esta variable indica un incremento en la probabilidad de sufrir lesiones fatales en 2.41 veces ($OR = 2.41$) en comparación a si la presencia de motos en la vía no fuese alta. A nivel nacional, el parque automotor comprende más de 13.446.783 vehículos, de los cuales el 56.64% corresponde a motocicletas (“CIFRAS Parque automotor | RUNT,” 2017), mientras que durante el 2016, las muertes por accidentes de tránsito en motocicleta en todo el país contaron más de 3 mil, aproximadamente el 76% del total de personas fallecidas, y a nivel departamental 100 personas fallecieron en accidentes de tránsito que involucraron motocicletas. Lo anterior permite ver que el parque automotor de motocicletas es más amplio que el de otros vehículos y de manera consecuente son más las personas afectadas por accidentes de tránsito en estos vehículos. La cantidad de vehículos y su vulnerabilidad justifican los resultados y concuerdan con las conclusiones de autores como Shinstine, Wulff & Ksaibati (2016) quienes evaluaron los efectos sobre la severidad de las lesiones de variables como el uso de elementos de seguridad (cinturón), la velocidad media y la participación de motocicletas en vías rurales, encontrando en distintos escenarios evaluados que la participación de motocicletas tiende a incrementar la probabilidad de sufrir lesiones más severas.

El número de curvas horizontales en el tramo de vía incrementa la probabilidad de sufrir lesiones en un accidente de tránsito ($OR = 1.33$) de acuerdo con los resultados obtenidos. Una posible explicación está relacionada a la fuerza centrípeta que genera la tendencia a llevar a los vehículos fuera de la vía en una curva horizontal lo cual los obliga a reducir la velocidad y

maniobrar con mayor cautela ante situaciones potencialmente peligrosas (Anastasopoulos, Mannering, Shankar, & Haddock, 2012). “La presencia de curvas puede reducir la visibilidad de los conductores, resultando en tiempos de percepción y reacción más cortos y por tanto en pequeños márgenes para los conductores para reducir su velocidad antes del impacto lo cual llevará a un incremento en la probabilidad de sufrir una lesión en un choque”. (Rifaat et al., 2011)

Figura 44.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

Como puede observarse en la *Figura 44*, la presencia de curvas reduce la visibilidad de los conductores por factores como el crecimiento de la maleza y arborización presente en las zonas laterales las cuales en algunos casos puede obstruir la visualización de la señalización vertical existente que busca proporcionar información a los usuarios, lo cual representa un elemento de riesgo.

El número de barreras de contención también fue encontrado como variable explicativa de la severidad de los accidentes con alta significancia (p – valor 0.002). Los resultados indican que, a mayor cantidad de barreras de contención, mayores probabilidades existen de sufrir lesiones fatales (OR = 1.25). Por ejemplo Daniello & Gabler (2011) encontraron que una colisión contra una barrera de contención de concreto es 4.10 veces (OR = 4.10) más probable de conducir a un deceso en comparación a choques contra el suelo. En un escenario ideal, donde las barreras laterales son construidas con todas las especificaciones técnicas que se enfocan en reducir el impacto que puede tener un accidente de tránsito en los usuarios de la vía es lógico pensar que a mayor cantidad de barreras mayor protección brinda la vía a los usuarios y por ende se disminuye la severidad de los accidentes. Sin embargo, al momento que las barreras no tienen esta disposición y por el contrario se erigen como un elemento que propicia un entorno peligroso alrededor de la vía su cantidad evidentemente influye negativamente en la severidad de los accidentes. Durante la recopilación de información en campo se encontraron situaciones particulares con respecto a las barreras de contención, las cuales serán discutidas ampliamente más adelante en el análisis de otros modelos.

6.3.2.2. Modelos urbanos

Los dos modelos urbanos obtenidos se presentan en la Tabla 11 y Tabla 14. Cada tabla incluye el nombre asignado a la variable, el parámetro B, el error estándar, los grados de libertad, la razón de probabilidad OR ($\text{Exp}(B)$ en las tablas) y el intervalo de confianza para la razón de probabilidad.

Tabla 11.
Modelo Urbano 1

Variable	B	Error estándar	Wald	Sig.	Exp(B)	95% C.I. para EXP(B) Inferior	95% C.I. para EXP(B) Superior
Edad superior a 60 años	1,946	0,954	4,158	0,041	7,000	1,078	45,431
Ocurrencia del incidente entre las 18:00 horas y las 23:59 horas	-1,200	0,669	3,214	0,073	0,301	0,081	1,118
Tipo de barrera de contención	1,280	0,701	3,336	0,068	3,597	0,911	14,208
Presencia de ciclista en la vía	2,392	0,983	5,915	0,015	10,933	1,591	75,131
Presencia de árboles en las zonas laterales de la vía	1,914	1,140	2,819	0,093	6,783	0,726	63,391
Constante	-5,079	1,499	11,485	0,001	0,006		

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

El modelo urbano 1 contiene las variables edad mayor a 60 años, ocurrencia del evento entre las 18:00 horas y las 00:00 horas (medianoche), tipo de barrera de contención, presencia de árboles en las zonas laterales de la vía y presencia de ciclistas en la vía. Para este modelo, todas las variables son *mudas* o binarias. El error estándar en cada caso es mínimo, además, la significancia es menor a 0.1 para todas las variables, lo cual indica que se encuentran dentro del intervalo de confianza previamente establecido para el desarrollo del estudio, por lo cual se consideran como significativas.

Tabla 12.

Resumen del modelo, modelo urbano 1.

Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
100,478	,149	,217

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La Tabla 12 presenta el resumen de parámetros de bondad del ajuste del modelo como son el logaritmo de la verosimilitud y los valores de R cuadrado de Cox y Snell y de Nagelkerke. Acorde a los resultados, el modelo desarrollado explica satisfactoriamente el 21.7% de la varianza de la variable dependiente (0.217).

Tabla 13.

Prueba de Hosmer y Lemeshow, modelo urbano 1.

Chi-cuadrado	gl	Sig.
1,999	6	,920

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La Tabla 13 recopila los resultados de la prueba de bondad del ajuste de Hosmer y Lemeshow para el modelo urbano 1. El valor de Chi – Cuadrado (1.999) y la elevada

significancia (0.920) indican que este modelo presenta un gran desempeño para la predicción de los resultados a partir de las variables independientes consideradas.

Los modelos urbanos presentados están conformados por otras variables. El primero de ellos tiene como predictores la participación de individuos mayores de 60 años, la ocurrencia del suceso entre las 18:00 horas y las 00:00 horas (medianoche), el tipo de barreras de contención, la presencia de árboles en las zonas laterales de la vía y la presencia de ciclistas en la vía.

El primero de los predictores ha sido ampliamente estudiado y considerado en las investigaciones sobre severidad de los accidentes, siendo quizá una de las variables que más ha sido incluida en los estudios de esta área. Acorde a los resultados de la presente investigación, las personas mayores de 60 años tienen hasta 7 veces ($OR = 7.00$) mayores probabilidades de morir en caso de verse involucradas en un accidente vehicular. Lo anterior es lógico al considerar que en la medida que avanzan los años, el cuerpo humano pierde resistencia, vigorosidad y capacidad de reponerse ante lesiones de distinto tipo. Por ejemplo, el envejecimiento lleva a la pérdida de masa ósea y la habilidad de los huesos de responder a cargas se reduce (Koistinen et al., 2014), por lo que ante los esfuerzos mecánicos repentinos y violentos a los que se ve sometido el cuerpo humano en un choque, la capacidad de las personas de recuperarse se ve reducida notoriamente. Investigaciones previas como la desarrollada por Verzosa & Miles (2016) reportan que las probabilidades de resultados fatales en un accidente de tránsito que involucra a peatones mayores de 60 años son hasta 3.5 veces mayores que aquellas en las que no se ven involucrados, además, Chiou, Hwang, Chang & Fu (2013) indican que los conductores mayores de 65 años de edad están en riesgo de sufrir lesiones más severas en caso de verse involucrados en un accidente. En el ámbito colombiano, el reporte del Instituto Nacional de Medicina legal indica que

aproximadamente el 20% de las personas fallecidas en Colombia en accidentes de transporte durante el 2016 eran mayores de 60 años (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2017).

Otro de los predictores de este modelo fue la ocurrencia del accidente entre las 18:00 horas y la medianoche, el cual, acorde a los resultados, es significativo e incrementa la probabilidad de sufrir lesiones en 3.32 veces ($OR = 3.32$) en comparación a si no ocurriese durante este período de tiempo. En el Atlántico se registraron 114 personas lesionadas durante los años tenidos en cuenta para el estudio, cifra correspondiente al 27% de las personas lesionadas, mientras que a nivel nacional más de 11365 personas resultaron lesionadas en este intervalo de tiempo (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2017). Aunque los resultados son semejantes con los mostrados por la variable de ocurrencia entre la medianoche y las 6 a.m., en este caso la probabilidad de sufrir lesiones es considerablemente mayor si el accidente sucede entre el período de tiempo de las 18:00 horas a la medianoche. Siendo que la jornada laboral común finaliza a las 18:00 horas, muchos viajes se realizan después de esas horas por lo que el número de vehículos en tránsito en las vías incrementa. Haleem & Gan (2015) encontraron que los accidentes que ocurren en horas de la noche incrementan la probabilidad de sufrir lesiones, resultados afines a los obtenidos por M. Kim, Kho & Kho (2017).

La presencia de árboles en las zonas laterales de la vía indica acorde a los resultados obtenidos, que la probabilidad de sufrir lesiones fatales es 6.78 veces mayor ($OR = 6.783$) en comparación a la no presencia de estos objetos. Diferentes estudios han abordado la evaluación de los objetos fijos en la severidad de los accidentes. Holdridge, Shankar & Ulfarsson (2005) en

su investigación analizaron los efectos de objetos en las zonas laterales de la vía sobre la severidad, concluyendo que los choques contra árboles incrementan la probabilidad de sufrir lesiones fatales. Daniello & Gabler (2011) señalan con mayor precisión que las colisiones contra árboles son altamente peligrosas, siendo 14.6 veces más probables de tener resultados fatales.

Figura 45.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La *Figura 45* representa una escena típica en las vías del departamento, con árboles en las zonas laterales de la vía. En el caso mostrado, es evidente el vasto diámetro del árbol (lado derecho de la imagen), siendo un elemento macizo y muy difícil de mover, correspondiente a su clasificación como objeto fijo. Los resultados de la investigación realizada por Yasmin & Eluru (2013) indican que los choques contra objetos fijos (como árboles o postes) son incluso más peligrosos en comparación a los choques contra otros vehículos.

Figura 46.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La

Figura 46 es otra evidencia fotográfica de la presencia de árboles en los costados de la vía. En este caso, en la Ruta 25, la imagen fue captada en inmediaciones al casco urbano de una población y puede verse cómo el número de árboles es aún mayor. Dada su peligrosidad, es inquietante no solo la cantidad de estos elementos sino la cercanía que tienen respecto a la vía. El riesgo de estos objetos en caso de un accidente de tránsito se incrementa cuando se considera la participación no de vehículos pesados o livianos, sino de los usuarios vulnerables, en especial los ciclistas y motociclistas. En el último caso, Bambach & Mitchell (2015) señalan que los objetos fijos son más peligrosos para los motociclistas que para los ocupantes de vehículos, hecho lógico si se tiene en cuenta las condiciones de protección extremadamente mínimas con las que cuentan

estos usuarios de la vía. Así mismo, se observa presencia de semovientes en la vía, situación que adiciona un riesgo a los usuarios de la vía.

La presencia de ciclistas en la vía hace parte de las variables estímulo del modelo. Los resultados indican que la presencia de ciclistas incrementa la probabilidad de muerte en un accidente de tránsito en aproximadamente 11 veces (OR = 10.93) en comparación a la ausencia de estos actores de vía. A nivel nacional, durante el 2016, el 7.28% de las muertes por accidentes de transporte fueron en bicicleta (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, 2017). Los ciclistas hacen parte del grupo de usuarios vulnerables de la vía, junto con los motociclistas y los peatones. Investigaciones precedentes señalan que los choques que involucran ciclistas tienen muy altas probabilidades de resultar en lesiones con el mayor grado de severidad (Abdel-Aty & Keller, 2005). Los ciclistas tienen características muy particulares que indudablemente indican sobre su condición de vulnerabilidad en las vías. La capacidad de desplazarse a mayor velocidad que los peatones lo cual incrementa su *momentum* y consecuentemente en caso de un choque la fuerza de impacto que sufren, la carencia de una estructura que pueda protegerlos (más allá del casco protector que reglamentariamente deberían utilizar), circular directamente sobre las vías (y no en un espacio destinado para ellos especialmente como los peatones sobre el andén) sin contar con un carril exclusivo para ellos y la facilidad (en comparación con aquellos que se desplazan en vehículos de más de dos ruedas) de perder el equilibrio puestos en contexto con carencias en la cultura de respeto hacia estos usuarios de la vía y en la estructura vial para acogerlos da cuenta de la condición de inseguridad con la que cuentan.

El presente modelo también consideró el tipo de barrera de contención que se encuentra en la vía. Los resultados del modelo indican que el tipo de barrera de contención es significativo

para explicar la severidad de los accidentes, en particular, las barreras metálicas contribuyen a la obtención del resultado más severo (lesiones fatales). La presencia de este tipo de barreras genera una probabilidad del 78.25% de sufrir lesiones mortales (OR = 3.60) en comparación con otros tipos de barrera. Durante la recolección de información en campo se detectaron dos tipos de barrera metálica en las vías: barreras de concreto y barreras metálicas, estas últimas del tipo *W-beam* o *guardrail*. Aunque se considera de manera general que este tipo de barreras reduce la severidad de los accidentes pero incrementa la frecuencia (Park, Abdel-Aty, & Lee, 2016; Zou & Tarko, 2016), los resultados del presente estudio indican lo contrario. De hecho, los resultados están en línea con Daniello & Gabler (2011) quienes reportan que chocar contra una barrera metálica tipo *guardrail* es hasta 7 veces más probable de producir lesiones fatales en comparación a choques con el suelo y con Holdridge, Shankar & Ulfarsson (2005) quienes resaltan que colisionar contra el final de este tipo de barreras está asociado a incrementos en la propensión de sufrir lesiones mortales.

Figura 47.



Nota: recuperado de Guardrail Pierces Through Car On San Diego Highway, Cadena NBC (2015).

La *Figura 47* expone una situación supremamente peligrosa que pone en riesgo la vida de los usuarios de la vía: la barrera metálica en lugar de absorber la energía del impacto y redirigir el vehículo hacia la vía, penetra la estructura del vehículo y lo traspasa completamente, cambiando su dirección (en el caso, se inclina hacia arriba) y siguiendo su curso.

Situaciones como la presentada previamente usualmente ocurren cuando un vehículo choca con una barrera cuyos extremos son del tipo “cola de pescado”. Este tipo de terminación de la barrera se caracteriza por una deflexión de la estructura metálica principal que compone la barrera, transversal a su eje axial. En teoría esta terminación debería evitar que el vehículo se salga de la vía, redirigiéndolo de forma que pueda seguir su curso en línea con la barrera, la cual absorbe gran parte de la energía cinética del choque deformándose. No obstante, la *Figura 47* es evidencia de que este sistema falla, probablemente porque es funcional hasta ciertos límites de velocidad o ángulos de impacto (sea cual fuere la razón, su determinación no se encuentra dentro

de los alcances del presente estudio). La recomendación inmediata es el empotramiento de las terminaciones, eliminando la posibilidad de que el extremo de la barrera pueda convertirse en una “hoja de cuchillo” que corte la carrocería de los vehículos.

En las vías del departamento del Atlántico las barreras metálicas tienen terminación tipo “cola de pescado”. Sin embargo, en línea con los resultados obtenidos, en el contexto del Atlántico se encontró una situación alarmante con respecto a las barreras metálicas.

Figura 48.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La

Figura 48 pertenece a una zona urbana acorde a los criterios establecidos en este estudio. El tramo en cuestión pertenece a las inmediaciones del municipio de Luruaco y se encuentra ubicado en varios mapas de calor como zona crítica, siendo el caso más diciente el indicado en la *Figura 37*, que refleja la alta concentración de accidentes de tránsito en motocicleta con consecuencias fatales. La imagen del tramo cerca a Luruaco refleja curvas horizontales consecutivas pronunciadas y presencia de barreras metálicas de contención con extremos tipo cola de pescado no empotrados. Además, el sector es transitado por un elevado número de vehículos de carga pesada, por lo cual la combinación de factores representa un escenario muy peligroso para los motociclistas.

El registro fotográfico es evidencia de la preocupante situación de riesgo a la que se exponen los usuarios de la vía gracias a estos elementos que contrario a su propósito inicial, pueden convertirse en un potenciador de situaciones peligrosas con consecuencias severas para los actores de la vía en lugar de un elemento de seguridad pasiva.

Tabla 14.

Modelo Urbano 2

Variable	B	Error estándar	Wald	Sig.	Exp(B)	95% C.I. para EXP(B) Inferior	95% C.I. para EXP(B) Superior
Edad superior a 60 años	2,067	0,904	5,224	0,022	7,898	1,342	46,475
Ocurrencia del incidente entre las 18:00 horas y las 23:59 horas	-1,192	0,637	3,509	0,061	0,303	0,087	1,057
Iluminación artificial en el tramo de vía	-,979	0,569	2,960	0,085	0,376	0,123	1,146
Presencia de postes en las zonas laterales de la vía	2,327	1,306	3,174	0,075	10,247	0,792	132,536

Intersecciones semaforizadas en el tramo de vía	-1,027	0,593	2,993	0,084	0,358	0,112	1,146
Constante	-2,093	1,228	2,906	0,088	0,123		

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

El modelo urbano 2 comprende las variables: edad mayor a 60 años para el implicado en el suceso, ocurrencia del accidente entre las 18:00 horas y las 00:00 horas (medianoche), número de intersecciones semaforizadas en la vía, presencia de postes en las zonas laterales de la vía e iluminación artificial en la vía. A excepción de la variable número de intersecciones semaforizadas, todas las variables del modelo son *mudas*. Como puede observarse, en todos los casos, el p – valor es menor a 0.1 por lo que los regresores considerados en el modelo satisfacen las condiciones de significancia mínimas determinadas para este estudio.

Tabla 15.

Resumen del modelo, modelo urbano 2.

Logaritmo de la verosimilitud -2	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
102,532	,132	,191

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La Tabla 15 presenta el resumen de estadísticos que evalúan la bondad del ajuste para el modelo urbano 2. Los resultados indican que el modelo explica el 19.1% (0.191) de la varianza de la variable dependiente.

Tabla 16.

Prueba de Hosmer y Lemeshow, modelo urbano 2.

Paso	Chi-cuadrado	gl	Sig.
1	1,510	5	,912

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

La Tabla 16 recopila los resultados de la prueba de bondad de Hosmer y Lemeshow para el modelo urbano 2. Los valores del Chi – Cuadrado (1.510) y la significancia (0.912) reflejan el buen desempeño del modelo al comparar la diferencia entre los valores estimados y los valores observados y generar pocas discrepancias.

El modelo urbano 2 tiene como regresores el involucramiento de individuos mayores de 60 años, la ocurrencia del accidente entre las 18:00 horas y la medianoche, el número de intersecciones semaforizadas, la presencia de postes en la vía y la presencia de iluminación artificial. Las dos primeras variables independientes del modelo también hacen parte del modelo urbano número 1 y ya fueron presentadas y analizadas previamente, por lo que en el presente modelo se hará énfasis en las otras tres variables.

Las intersecciones semaforizadas resultaron ser significativas para la explicación de la severidad de los accidentes, generando probabilidades de sufrir lesiones del 73.62% en un accidente de tránsito. Las intersecciones semaforizadas buscan regular el tránsito, permitiendo el paso de manera ordenada entre los accesos. Pese al control que tienen sobre el flujo vehicular, en ellas pueden presentarse situaciones de riesgo. Ye, Pendyala, Washington, Kondury & Oh (2009)

mencionan una de esas situaciones peligrosas al describir que mientras un vehículo se detiene ante un semáforo, otro que viene tras él puede chocarlo, causando un accidente. De manera más puntual, Celik & Oktay (2014) reportan tras su investigación que las probabilidades de sufrir lesiones no fatales son aproximadamente cuatro veces mayores que las de sufrir lesiones mortales cuando las luces de la intersección semaforizada están activas en la escena del accidente. En el contexto de estudio, las intersecciones semaforizadas son controladas principalmente por el dispositivo de semáforo y complementadas por demarcación de piso y señalización vertical. La demarcación de piso delimita un espacio que deben respetar los vehículos, bien sea por la existencia de un paso peatonal o por mera reglamentación. Si la señalización de la intersección es deficiente o se encuentra en mal estado, los conductores se ven tentados a irrespetar los límites inicialmente dispuestos y pueden presentarse situaciones como el atropello a un peatón que cruza la intersección, más aún en la medida que la velocidad de los vehículos en las proximidades de la intersección aumenta (Elvik, Sørensen, & Nævestad, 2013). Otra situación probable es el cruce de la intersección durante el tiempo de transición de detención (luz roja de semáforo) a paso (luz verde de semáforo). En este último caso, los vehículos pueden impactar de costado o en ángulo a vehículos del otro acceso que aún se encuentran cruzando la intersección. Los escenarios hipotéticos mencionados aducen en su mayor parte a actitudes que demuestran carencias en la cultura vial por parte de los usuarios de la vía.

La variable que expresa la presencia o ausencia de iluminación artificial en la vía demostró ser significativa e incrementar la probabilidad de sufrir lesiones en caso de un accidente de tránsito. Específicamente, la presencia de iluminación artificial incrementa las

probabilidades de sufrir lesiones en caso de un accidente de tránsito en 2.66 veces (OR = 2.66) en comparación a la ausencia de este tipo de iluminación.

La iluminación artificial puede mejorar la visibilidad de los conductores y la habilidad para detectar objetos peligrosos en la vía. Sin embargo, la presencia de iluminación artificial también puede afectar adversamente la seguridad debido a la “compensación de riesgo”: los conductores pueden “sentirse” más seguros y consecuentemente incrementar la velocidad y reducir la concentración. (Beyer & Ker, 2009, p. 1) Esto los ubica en una situación en la cual son más propensos a participar de un choque vehicular el cual resultaría en lesiones para los afectados.

Igualmente, la presencia de postes en la vía demostró ser significativa en la explicación de la severidad de los accidentes, siendo 10.25 veces mayor la probabilidad de sufrir lesiones fatales en comparación a la ausencia de estos objetos. Los postes existentes en las vías del departamento son de concreto en la gran mayoría de los casos y sirven de soporte para líneas de energía eléctrica y de telefonía. Estos elementos, denominados como “objetos fijos”, se convierten en objetos peligrosos en caso de un hipotético choque contra ellos, dadas sus características. Al ser hechos en concreto, son objetos con alta resistencia mecánica. Ante los impactos tienden a desplazarse respecto a su eje axial, inclinándose, en lugar de fracturándose. Daniello & Gabler (2011) argumentan que después de las colisiones contra árboles, las colisiones de motocicletas contra estos objetos son las más peligrosas, resultados concordantes con lo dicho por Bambach & Mitchell (2015). De hecho, Holdridge, Shankar & Ulfarsson (2005) remarcan la tendencia de accidentes de tránsito contra postes que tienen como resultado lesiones fatales.

Figura 49.



Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

Al igual que los árboles, los postes no solo abundan en número, sino que también se encuentran muy cerca de las vías. El riesgo que representan para los usuarios de la vía es más que notorio, dado que por sus características no son capaces de absorber la energía de impacto en caso de un choque, transmitiéndose ésta a los ocupantes del vehículo que colisiona. Destaca, en contraste, la no vinculación del concepto de “postes abatibles” en las vías, siendo que éstos últimos se han adoptado en otros casos como estrategia para reducir la severidad de las lesiones al permitir que el poste sea derribado en caso de un choque vehicular.

7. Conclusiones

El presente estudio determinó los factores incidentes en la severidad de las lesiones por accidentes de tránsito en las vías rurales del departamento del Atlántico por medio de la aplicación de modelos de regresión logística binaria. Luego de la elaboración de mapas de calor a partir de información secundaria para la identificación de zonas críticas, la recopilación de información en campo para la identificación de parámetros geométricos y operacionales de la vía, su depuración y el proceso de modelación estadística, los resultados indican que el número de curvas, la participación de un automóvil en el accidente, la ocurrencia en horas de la noche (entre las 18:00 y las 06:00), las intersecciones semaforizadas y las ausencia de iluminación artificial en la vía incrementan las probabilidades de sufrir lesiones, mientras que la ocurrencia del accidente el lunes, ocurrencia en el mes de diciembre, la presencia y cantidad de barreras de contención – especialmente las barreras metálicas tipo *guardrail* –, la alta presencia de motos en la vía, la presencia de árboles en las zonas laterales, la participación de motocicletas, la presencia de postes en las zonas laterales, la participación de peatones, las personas mayores de 60 años y la presencia de ciclistas en un accidente de tránsito incrementan la probabilidad de sufrir lesiones fatales, estos últimos cuatro factores presentan las probabilidades más altas de resultar en lesiones fatales en caso de un accidente, teniendo razones de probabilidad (OR) mayores que 7 en todos los casos.

Siendo que los objetivos propuestos se cumplieron de manera satisfactoria, se procede a realizar una serie de recomendaciones entre las que se encuentran el empotramiento de los extremos las barreras metálicas existentes, la protección de los objetos fijos (árboles y postes) peligrosos ubicados en las zonas laterales de la vía con barreras con extremos empotrados, el mantenimiento oportuno de la demarcación de piso (especialmente en las intersecciones

semaforizadas) y el control de la vegetación en las zonas laterales debido a su tendencia a la obstrucción visual de la señalización vertical existente y del tránsito de otros usuarios de la vía. Como aspecto a considerar para futuras investigaciones, se sugiere la modificación en los aspectos tenidos en cuenta durante la toma de información posterior a un accidente, contemplando un mayor número de variables correspondientes al escenario y las circunstancias bajo las cuales sucedieron los hechos, determinando las hipótesis causales con mayor minuciosidad y teniendo especial atención en la inclusión de la escala de severidad propuesta, de forma que estudios posteriores puedan tener una mayor escala de lesiones para determinar con mayor puntualidad las variables que afectan la severidad de las lesiones.

8. Limitaciones y recomendaciones

8.1. Limitaciones

Numerosos estudios previamente desarrollados en el área cuentan con escalas de severidad que tienen en cuenta daños de propiedad únicamente, lesiones leves, lesiones graves (que requieren atención médica) y lesiones fatales (Castro, Paleti, & Bhat, 2013; Chang & Chien, 2013; Hu & Donnell, 2011; Park et al., 2016; Zeng et al., 2017). Este estudio aplicó modelos logit binarios, es decir, se tuvo una escala de severidad que contemplaba solamente dos niveles: lesiones más severas (muertos) y lesiones menos severas (heridos), la cual también ha sido aplicada en el área y de la que hay evidencia en la literatura (Delen, Tomak, Topuz, & Eryarsoy, 2017; Gjerde, Christophersen, Normann, & Mørland, 2013). Lo anterior es un hecho a considerar si se tiene en cuenta que, al determinar la probabilidad de ocurrencia de una lesión ante la presencia de determinada variable exógena, no se tiene certeza de la gravedad de dicha lesión. Dado que la información primaria con la cual se desarrollaron los modelos estadísticos solamente incluía estos dos resultados para el registro de accidente, no se pudieron aplicar modelos que tuvieran una escala de severidad más amplia y de esa manera tener resultados que condujeran a conclusiones más precisas sobre el efecto de los regresores en la severidad de los accidentes de tránsito.

Las otras limitaciones estuvieron asociadas a la base de datos con la información primaria de los lesionados y fallecidos durante el período de registro. Por ejemplo, uno de los inconvenientes que se tuvo fue la ubicación de los afectados, ya que en muchos casos no contaba con la ubicación en coordenadas del suceso, se tenían descripciones de ubicación precarias e incluso contradictorias. Lo anterior obligó a la utilización del mapa virtual del instituto nacional

de vías (INVIAS) para determinar las ubicaciones de muchos accidentes tomando como referencia la descripción de ubicación y los postes de referencia a lo largo de la vía presentes en el recurso web. Si bien se utilizaron 5 dígitos o más para proporcionar la mayor precisión posible a la ubicación de los accidentes, existe un margen de error para el método utilizado. Otra limitante fue la hipótesis causal del accidente proporcionada en el registro. Este ítem no fue tomado en consideración pues se evidenciaba incongruencia en su estimación en algunos casos e inclusive la carencia de determinación de la conjetura que explicase el accidente en otros.

Por otra parte, si bien la entidad encargada de la recolección de datos en la escena de un accidente de tránsito recopila información referente a la hora, fecha, jurisdicción, modalidad del accidente, vehículos implicados, edad e identificación de las personas afectadas, no registra información respecto a la severidad de las lesiones sufridas por los ocupantes, características del conductor, factores que conllevaron al accidente, condiciones climatológicas, características y condiciones de la vía, tipo de vía y límites de velocidad, los cuales serían muy útiles para desarrollar un análisis más completo de los factores incidentes en la severidad de los accidentes de tránsito (Roque et al., 2015).

8.2. Recomendaciones

Para desarrollo de futuras investigaciones se sugiere que el reporte del accidente incluya una mayor cantidad de variables que provean mayor detalle sobre las condiciones del accidente y a partir de ello realizar análisis más minuciosos para identificar los factores que afectan la severidad con mayor precisión. Para ello se sugiere:

1. Modificaciones en la recolección de información *in situ*: Que la información del accidente vincule: el tipo de accidente (choque contra otro vehículo, choque contra

objeto fijo – indicando el tipo de objeto fijo –, choque contra barrera de contención, choque múltiple), el número de vehículos implicados, los tipos de vehículos implicados, las condiciones climatológicas en las que se dio el incidente e información referente al tipo de segmento de vía en el cual ocurrieron los sucesos (tramo recto, curva horizontal o intersección según tipo).

2. Determinación de la hipótesis causal del accidente: se recomienda un proceso de establecimiento de hipótesis más riguroso considerando lo mencionado anteriormente en las limitaciones
3. Información secundaria sobre el tránsito en las vías: Determinación periódica del tránsito promedio por día en las vías (TPD) – incluyendo el conteo de motocicletas – y de las velocidades de tránsito segregadas por tipología de vehículos.
4. Determinación de la severidad del accidente *in situ*: Se hace especial énfasis en la determinación, aunque fuese somera, de la severidad del accidente al momento de realizar el registro. Para ello se propone la escala: (i) sin lesiones, (ii) lesiones leves, (iii) lesiones de gravedad (requieren de atención médica) y por último (iv) fatalidad. Se sugiere la aplicación de la escala propuesta en sitio, acorde a lo que el agente de tránsito pueda observar en la escena.

Lo anterior se resume en el modelo de recolección de datos propuesto mostrado en la *Figura 50*, el cual busca satisfacer las recomendaciones planteadas en este apartado requiriendo poco tiempo para su diligenciamiento e incluyendo parámetros que pueden reconocerse por medio de inspección visual.

Figura 50.

FORMATO AUXILIAR DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO						
Indicaciones: Marque la casilla indicada acorde a lo observado en sitio con una "X" en todos los casos excepto en las categorías "Fecha", "Vía", "Sentido", Número de vehículos implicados" y "Personas" (Severidad del accidente) ". Indique la mayor información posible.						
Fecha (dd/mm/aa)		Vía		Sentido		
Tipo de accidente						
Choque entre vehículos (2)	Choque múltiple entre vehículos (+2)	Choque contra poste	Choque contra árbol	Choque contra animal	Peatón arrollado	
Número de vehículos implicados en el accidente --->						
Tipo(s) de vehículo(s) implicado(s)	Automóvil	Bicicleta	Bus - buseta	Camión	Motocicleta	Motocarro
Condiciones climatológicas de ocurrencia	Soleado	Nublado	Lluvia leve	Lluvia moderada	Lluvia intensa	
Entorno de ocurrencia del accidente						
	Curva o cercanías	Tramo recto	Intersección semaforizada	Intersección con "PARE"	Intersección con "Ceda el paso"	Intersección por prioridad
Hipótesis causal del accidente	Estado del pavimento	Exceso de velocidad	Invasión de carril	Microsueño	Monotonía de la vía	Otro
Severidad del accidente						
	Solo daños	Sin lesiones	Lesiones leves	Lesiones de gravedad	Lesiones fatales	Indeterminado
Personas afectadas						
Observaciones						

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

Además, se recomienda a largo plazo realizar un replanteamiento en el diseño de las barreras de contención metálicas usualmente emplazadas como elementos de protección en los costados de la vía, evaluando otras alternativas que puedan proporcionar mayor seguridad a los usuarios. Como acción en el corto plazo, se recomienda el empotramiento de los extremos de las barreras metálicas.

Con respecto a los objetos fijos, los árboles debido a su contribución ambiental en la producción de oxígeno, preservación de algunas especies de fauna que se albergan en ellos y otros aspectos, no pueden ser eliminados de las zonas laterales. Lo ideal sería una reubicación de los mismos a una mayor distancia de las calzadas; no obstante, esta opción es poco práctica y representaría costos muy elevados, por lo que a la luz de las circunstancias se sugiere que aquellas zonas con una elevada presencia de árboles sean protegidas por barreras de contención empotradas. Los postes presentan una situación muy similar, para la cual se realiza la misma sugerencia. Es importante mencionar que para estos últimos debe realizarse un replanteamiento serio de sus características materiales y ubicación en los costados de la vía, contemplando a futuro la vinculación del concepto de postes abatibles.

Además, se propone la realización de controles más asiduos a la demarcación horizontal y el crecimiento de vegetación que pueda obstruir la visibilidad de señalización vertical en la vía, en especial en la cercanía de las curvas, de manera que se pueda realizar mantenimiento oportuno.

En lo referente a la participación de los actores vulnerables de la vía, las medidas propuestas están enmarcadas a la utilización de los elementos de seguridad respectivos (casco protector, chaleco reflectivo y funcionamiento correcto de las luminarias del vehículo) y el respeto de las normas de tránsito. La intervención sobre la ciudadanía tiende a representar mayor

complejidad pues no existe manera de regular constantemente los comportamientos de los usuarios. Ante esto, el desarrollo de campañas de socialización de la importancia de uso de los elementos de seguridad, el respeto hacia las normas de tránsito y los demás usuarios considerando los resultados obtenidos en este estudio y los registros de accidentalidad en el departamento se presenta como la mejor alternativa para crear conciencia en la población.

Posterior a la identificación de las zonas críticas de accidentalidad en el Atlántico se proponen medidas basadas en la aplicación de políticas de prohibición de tránsito y señalización vial con el objetivo de reducir la severidad de la accidentalidad vial en el departamento. Tales recomendaciones se encuentran resumidas para cada zona crítica en la Tabla 17.

Al desarrollar cualquiera de las acciones sugeridas en esta sección con el fin de mitigar los efectos negativos que producen los accidentes de tránsito en el departamento de Atlántico, se insiste en que las intervenciones se realicen principalmente las zonas aledañas de los municipios de Baranoa, Sabanalarga, Sabanalarga, Santo Tomás y Palmar de Varela. Esto, obedeciendo lo observado en campo y todo lo expuesto en la sección 6.2, asimismo, si lo que se pretende es enfocar esfuerzo en reducir los afectadas de un usuario en específico la prioridad debe ser otorgada a las áreas mencionadas en el numeral 6.2.2.

Tabla 17.

Recomendaciones para zonas críticas de accidentalidad

Zona Crítica	Delimitación por kilometraje		Recomendaciones
Sabanalarga	K77+000	K77+370	* Impedir el tránsito de motocarros y mototaxistas sobre la vía
Baranoa	K96+510	K99+000	* Impedir el tránsito de motocarros y mototaxistas sobre la vía; * Valla informativa con el número de personas fallecidas en ese tramo durante 2014 - 2016; * valla especial de motociclistas.
Vía al Mar	K62+000	K63+000	* Empotramiento de barreras de contención; *Cierre de discontinuidad en barreras; * Señalización de límite de velocidad
Sabanagrande - Palmar	K64+860	K58+170	* Impedir el tránsito de motocarros y mototaxistas sobre la vía; * Valla informativa con el número de personas fallecidas en ese tramo durante 2014 - 2016; * valla especial de motociclistas.
Vía Oriental Puerto Giraldo – Campo de la Cruz	K34+320	K38+520	* Valla informativa con el número de personas fallecidas en ese tramo; * Señal de "Zona de choques"; * Elementos reductores de velocidad + Señalización de Vmax <60Km/h
Vía Oriental Punto Suán	K6+390	K14+580	* Cámara de velocidad o elementos reductores + señalización de Vmax <60Km/h; * Mejorar demarcación de vía y taches reflectivos

Nota: J. Bolívar, L. Llerena, (2018).

Referencias

- Abdel-Aty, M., & Keller, J. (2005). Exploring the overall and specific crash severity levels at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, *37*(3), 417–425. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2004.11.002>
- Aleman, R., Ayuso, M., & Guillén, M. (2013). Impact of road traffic injuries on disability rates and long-term care costs in Spain. *Accident Analysis and Prevention*, *60*, 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.08.016>
- Anastasopoulos, P. C., Mannering, F. L., Shankar, V. N., & Haddock, J. E. (2012). A study of factors affecting highway accident rates using the random-parameters tobit model. *Accident Analysis and Prevention*, *45*, 628–633. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.09.015>
- Anderson, T. K. (2009). Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots. *Accident Analysis and Prevention*, *41*(3), 359–364. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.12.014>
- Bambach, M. R., & Mitchell, R. J. (2015). Safe system approach to reducing serious injury risk in motorcyclist collisions with fixed hazards. *Accident Analysis and Prevention*, *74*, 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.06.002>
- Banco Mundial. (2013). América Latina: hora de poner freno a muertes en carreteras. Retrieved October 30, 2017, from <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2013/05/10/accidentes-traffic-carreteras-america-latina>
- Behnood, A., & Mannering, F. (2017). Determinants of bicyclist injury severities in bicycle-vehicle crashes: A random parameters approach with heterogeneity in means and variances. *Analytic Methods in Accident Research*, *16*, 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.amar.2017.08.001>
- Beyer, F. R., & Ker, K. (2009). Street lighting for prevention of road traffic injuries. *Injury Prevention*, *15*(4), 282–282. <https://doi.org/10.1136/ip.2009.022251>
- Castro, M., Paleti, R., & Bhat, C. R. (2013). A spatial generalized ordered response model to examine highway crash injury severity. *Accident Analysis and Prevention*, *52*, 188–203. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.009>
- Celik, A. K., & Oktay, E. (2014). A multinomial logit analysis of risk factors influencing road traffic injury severities in the Erzurum and Kars Provinces of Turkey. *Accident Analysis and Prevention*, *72*, 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.06.010>
- CEPAL. (2015). *Desempeño de América Latina y el Caribe durante los primeros años de la*

década de acción por la seguridad vial. Retrieved from http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39124/4/S1500953_es.pdf

Chang, L. Y., & Chien, J. T. (2013). Analysis of driver injury severity in truck-involved accidents using a non-parametric classification tree model. *Safety Science*, *51*(1), 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.06.017>

Chen, C., Zhang, G., Huang, H., Wang, J., & Tarefder, R. A. (2016). Examining driver injury severity outcomes in rural non-interstate roadway crashes using a hierarchical ordered logit model. *Accident Analysis and Prevention*, *96*, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.06.015>

Chen, C., Zhang, G., Tarefder, R., Ma, J., Wei, H., & Guan, H. (2015). A multinomial logit model-Bayesian network hybrid approach for driver injury severity analyses in rear-end crashes. *Accident Analysis and Prevention*, *80*, 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.03.036>

Chiou, Y. C., Hwang, C. C., Chang, C. C., & Fu, C. (2013). Reprint of “modeling two-vehicle crash severity by a bivariate generalized ordered probit approach.” *Accident Analysis and Prevention*, *61*, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.07.005>

CIFRAS Parque automotor | RUNT. (2017). Retrieved October 21, 2017, from <http://www.runt.com.co/node/53607>

Colorado State Traffic Records Advisory Committee. (2006). Investigating Officer’s Traffic Accident Reporting Manual State of Colorado, 123. Retrieved from [https://www.colorado.gov/pacific/sites/default/files/Accident Reporting Manual Rev 07-06.pdf](https://www.colorado.gov/pacific/sites/default/files/Accident%20Reporting%20Manual%20Rev%2007-06.pdf)

Czech, S., Shakeshaft, A., Sanson-Fisher, R., & Breen, C. (2011). The development and application of a proxy measure of alcohol-related traffic crashes for rural communities. *Accident Analysis and Prevention*, *43*(6), 2160–2165. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.06.007>

Daniello, A., & Gabler, H. C. (2011). Fatality risk in motorcycle collisions with roadside objects in the United States. *Accident Analysis and Prevention*, *43*(3), 1167–1170. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.12.027>

Decker, S., Otte, D., Cruz, D. L., Müller, C. W., Omar, M., Krettek, C., & Brand, S. (2016). Injury severity of pedestrians, bicyclists and motorcyclists resulting from crashes with reversing cars. *Accident Analysis and Prevention*, *94*, 46–51. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.05.010>

Decker, S., Otte, D., Leslie, D., Walter, C., Omar, M., Krettek, C., & Brand, S. (2016). Injury severity of pedestrians, bicyclists and motorcyclists resulting from crashes with reversing

cars. *Accident Analysis and Prevention*, 94, 46–51.
<https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.05.010>

Delen, D., Tomak, L., Topuz, K., & Eryarsoy, E. (2017). Investigating injury severity risk factors in automobile crashes with predictive analytics and sensitivity analysis methods. *Journal of Transport & Health*. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.01.009>

Elvik, R., Sørensen, M. W. J., & Nævestad, T. O. (2013). Factors influencing safety in a sample of marked pedestrian crossings selected for safety inspections in the city of Oslo. *Accident Analysis and Prevention*, 59, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.05.011>

Fotheringham, A., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2000). *Quantitative Geography Perspectives on Spatial Data Analysis*. Sage Publications.

Fountas, G., & Anastasopoulos, P. C. (2017). A random thresholds random parameters hierarchical ordered probit analysis of highway accident injury-severities. *Analytic Methods in Accident Research*, 15, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.amar.2017.03.002>

Gjerde, H., Christophersen, A. S., Normann, P. T., & Mørland, J. (2013). Associations between substance use among car and van drivers in Norway and fatal injury in road traffic accidents: A case-control study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 17, 134–145. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.11.004>

Gray, R. C., Quddus, M. A., & Evans, A. (2008). Injury severity analysis of accidents involving young male drivers in Great Britain. *Journal of Safety Research*, 39(5), 483–495. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2008.07.003>

Haleem, K., Alluri, P., & Gan, A. (2015). Analyzing pedestrian crash injury severity at signalized and non-signalized locations. *Accident Analysis and Prevention*, 81, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.04.025>

Haleem, K., & Gan, A. (2015). Contributing factors of crash injury severity at public highway-railroad grade crossings in the U.S. *Journal of Safety Research*, 53, 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2015.03.005>

Holdridge, J. M., Shankar, V. N., & Ulfarsson, G. F. (2005). The crash severity impacts of fixed roadside objects. *Journal of Safety Research*, 36(2), 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2004.12.005>

Hu, W., & Donnell, E. T. (2010). Median barrier crash severity: Some new insights. *Accident Analysis and Prevention*, 42(6), 1697–1704. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.04.009>

Hu, W., & Donnell, E. T. (2011). Severity models of cross-median and rollover crashes on rural divided highways in Pennsylvania. *Journal of Safety Research*, 42(5), 375–382. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2011.07.004>

- Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. (2017). *Comportamiento de las muertes y lesiones en accidentes de transporte. Colombia, año 2016. Forensis*. Bogotá. <https://doi.org/http://www.medicinalegal.gov.co/documents/88730/4023454/Forensis+2016++Datos+para+la+Vida.pdf/af636ef3-0e84-46d4-bc1b-a5ec71ac9fc1>
- Jalayer, M., & Zhou, H. (2016). Evaluating the safety risk of roadside features for rural two-lane roads using reliability analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 93, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.04.021>
- Jou, R. C., & Chen, T. Y. (2015). The willingness to pay of parties to traffic accidents for loss of productivity and consolation compensation. *Accident Analysis and Prevention*, 85, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.08.021>
- Jung, S., Jang, K., Yoon, Y., & Kang, S. (2014). Contributing factors to vehicle to vehicle crash frequency and severity under rainfall. *Journal of Safety Research*, 50, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2014.01.001>
- Kahn, C. A., & Gotschall, C. S. (2015). The economic and societal impact of motor vehicle crashes, 2010 (Revised). *Annals of Emergency Medicine*, 66(2), 194–196. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2015.06.011>
- Kim, M., Kho, S. Y., & Kim, D. K. (2017). Hierarchical ordered model for injury severity of pedestrian crashes in South Korea. *Journal of Safety Research*, 61, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2017.02.011>
- Koistinen, A. P., Halmesmäki, E. P., Iivarinen, J. T., Arokoski, J. P. A., Brama, P. A. J., Jurvelin, J. S., ... Isaksson, H. (2014). Short-term exercise-induced improvements in bone properties are for the most part not maintained during aging in hamsters. *Experimental Gerontology*, 51(1), 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2013.12.017>
- Ma, L., Wang, G., Yan, X., & Weng, J. (2016). A hybrid finite mixture model for exploring heterogeneous ordering patterns of driver injury severity. *Accident Analysis and Prevention*, 89, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.01.004>
- Manner, H., & Wunsch-Ziegler, L. (2013). Analyzing the severity of accidents on the German Autobahn. *Accident Analysis and Prevention*, 57, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.03.022>
- Manterola, C. D., & Pineda, V. N. (2008). El valor de “p” y la “significación estadística”. Aspectos generales y su valor en la práctica clínica* Interpretation of medical statistics. *Revista Chilena de Cirugía*, 60(1), 86–89. Retrieved from <http://www.scielo.cl/pdf/rhcir/v60n1/art18.pdf>
- Michalaki, P., Quddus, M. A., Pitfield, D., & Huetson, A. (2015). Exploring the factors affecting motorway accident severity in England using the generalised ordered logistic regression

- model. *Journal of Safety Research*, 55, 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2015.09.004>
- Ministerio de transporte. (2015). Plan Nacional de Seguridad Vial Colombia 2011-2021. *Ministerio de Transporte*, (Segunda Edición), 192. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ministerio de transporte. Ley 769 de 2002, 2002 § (2002).
- Ministerio de transporte. LEY 1702 de 2013 (2013). Colombia.
- National Highway Traffic Safety Administration,. (2008). *2007 Traffic Safety Annual Assessment – Highlights. NHTSA*. Retrieved from <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/811017>
- NBC. (2015). Guardrail Pierces Through Car on San Diego Highway - NBC 7 San Diego. Retrieved October 20, 2017, from <https://www.nbcsandiego.com/news/local/Guardrail-Car-San-Diego-Highway-340804232.html>
- Niebuhr, T., Junge, M., & Rosén, E. (2016). Pedestrian injury risk and the effect of age. *Accident Analysis and Prevention*, 86, 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.10.026>
- OMS. (2017). OMS | Lesiones causadas por el tránsito. Retrieved October 10, 2017, from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/es/>
- Organización Panamericana de la Salud;, & Organización Mundial de la Salud. (2015). OPS OMS | En América Latina y el Caribe, más del 50% de todas las muertes por el tránsito ocurren entre peatones, motociclistas y ciclistas. Retrieved October 30, 2017, from http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10896%3A2015-deaths-pedestrians-motorcyclists-bicyclists&Itemid=1926&lang=es
- Park, J., Abdel-Aty, M., & Lee, J. (2016). Use of empirical and full Bayes before-after approaches to estimate the safety effects of roadside barriers with different crash conditions. *Journal of Safety Research*, 58, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2016.06.002>
- Rifaat, S. M., Tay, R., & De Barros, A. (2011). Effect of street pattern on the severity of crashes involving vulnerable road users. *Accident Analysis and Prevention*, 43(1), 276–283. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.08.024>
- Rissanen, R., Berg, H.-Y., & Hasselberg, M. (2016). Quality of life following a road traffic injury: a systematic literature review. *Injury Prevention*, 22(Suppl 2), A213–A213. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.09.013>
- Roque, C., & Cardoso, J. L. (2013). Observations on the relationship between european standards for safety barrier impact severity and the degree of injury sustained. *IATSS Research*, 37(1), 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2013.04.002>

- Roque, C., Moura, F., & Lourenço Cardoso, J. (2015). Detecting unforgiving roadside contributors through the severity analysis of ran-off-road crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 80, 262–273. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2015.02.012>
- Savolainen, P. T., Mannering, F. L., Lord, D., & Quddus, M. A. (2011). The statistical analysis of highway crash-injury severities: A review and assessment of methodological alternatives. *Accident Analysis and Prevention*, 43(5), 1666–1676. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.03.025>
- Shinstine, D. S., Wulff, S. S., & Ksaibati, K. (2016). Factors associated with crash severity on rural roadways in Wyoming. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 3(4), 308–323. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2015.12.002>
- Verzosa, N., & Miles, R. (2016). Severity of road crashes involving pedestrians in Metro Manila, Philippines. *Accident Analysis and Prevention*, 94, 216–226. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.06.006>
- Washington, S. P., Karlafatis, M. G., & Mannering, F. L. (2003). *Statistical And Econometric Methods For Transportation Data Analysis*. Retrieved from https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=OZrMBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=statistical+and+econometric+methods+for+transportation+data+analysis&ots=1uuUBtTycb&sig=3t_77h6qc65kXjSeFvekeP2_Avg&redir_esc=y#v=onepage&q=statistical and econometric methods fo
- World Health Organization. (2015). Global Status Report on Road Safety 2015. *WHO Library Cataloguing-in-Publication Data Global*, 340. <https://doi.org/10.1136/injuryprev-2013-040775>
- Wu, Q., Zhang, G., Zhu, X., Liu, X. C., & Tarefder, R. (2016). Analysis of driver injury severity in single-vehicle crashes on rural and urban roadways. *Accident Analysis and Prevention*, 94, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.03.026>
- Xie, Y., Zhao, K., & Huynh, N. (2012). Analysis of driver injury severity in rural single-vehicle crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 47, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.12.012>
- Xu, X., Wong, S. C., & Choi, K. (2014). A two-stage bivariate logistic-Tobit model for the safety analysis of signalized intersections. *Analytic Methods in Accident Research*, 3–4, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.amar.2014.08.001>
- Yasmin, S., & Eluru, N. (2013). Evaluating alternate discrete outcome frameworks for modeling crash injury severity. *Accident Analysis and Prevention*, 59, 506–521. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.06.040>
- Ye, X., Pendyala, R. M., Washington, S. P., Konduri, K., & Oh, J. (2009). A simultaneous

equations model of crash frequency by collision type for rural intersections. *Safety Science*, 47(3), 443–452. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2008.06.007>

Zeng, Z., Zhu, W., Ke, R., Ash, J., Wang, Y., Xu, J., & Xu, X. (2017). A generalized nonlinear model-based mixed multinomial logit approach for crash data analysis. *Accident Analysis and Prevention*, 99, 51–65. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.11.008>

Zou, Y., & Tarko, A. P. (2016). An insight into the performance of road barriers - redistribution of barrier-relevant crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 96, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.07.022>

Zou, Y., Tarko, A. P., Chen, E., & Romero, M. A. (2014). Effectiveness of cable barriers, guardrails, and concrete barrier walls in reducing the risk of injury. *Accident Analysis and Prevention*, 72, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.06.013>

Anexos

Existe	BERMA			
	Ancho	No Existe		
Número de carriles	CARRILES			
	Ancho			
Reflectividad	SEÑALIZACIÓN VERTICAL			
	Si	No		
Pertinencia de señal				
	Bueno	Malo		
Estado	DEMARCACIÓN			
	Existe	No Existe		Cantidad
Marcas de piso	Buen Estado	Mal Estado		
	Existe	No Existe		Cantidad
Reductores de velocidad	Buen Estado	Mal Estado		
	Existe	No Existe		Cantidad
Pasos peatonales	Buen Estado	Mal Estado		
	INTERSECCIONES			
Número	Pare	Semáforo	Ceda el paso	Prioridad
	ZONAS LATERALES			
Barreras de contención	Existe	No Existe		
	Tipo			
Postes peligrosos	Concreto	Metálicas		
	Terminación			
Árboles peligrosos	Existe	No Existe		Cantidad
	Existe	No Existe		Cantidad
Paredes Box Colverts	Existe	No Existe		Cantidad
	ZONAS LATERALES			
Tipo	Flexible	Rígido		
	USO DE SUELO			
	Rural	Urbano		

	CURVAS EN EL TRAMO				
Número					
	CURVAS EN EL TRAMO				
Peralte	Si	No	Peralte inverso	Si	No
	ILUMINACIÓN				
	Existe	No Existe			
	TRÁNSITO DE OTROS AGENTES EN LA VÍA				
Peatones	Si	No	PresenciaB	PresenciaM	PresenciaB
Bicicletas					
Animales					
	DRENAJE DE LA VÍA				
Estado	Bueno	Malo			
	OBSERVACIONES				