

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**Análisis de sitios de concentración de choques viales en la Ruta Nacional
2, mediante el método de exceso de frecuencia de choques esperado**

Trabajo Final de Graduación

Que para obtener el grado de licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Marco Antonio Leiva López

Director del Proyecto de Graduación:

Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica, Junio 2016

Hoja de aprobación

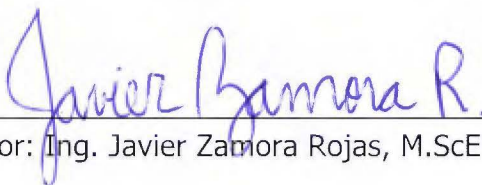
Miembros del comité asesor y Tribunal de Graduación



Director: Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D.



Asesor: Ing. Germán Valverde González, M.Sc., MBA



Asesor: Ing. Javier Zamora Rojas, M.ScE



Estudiante: Marco Antonio Leiva López

Derechos de autor

Fecha: 20 de junio de 2016

El suscrito, Marco Antonio Leiva López, cédula 1-1421-0782, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné A83427, manifiesta que es autor del "Trabajo Final de Graduación: Análisis de sitios de concentración de choques viales en la Ruta Nacional 2, mediante el método de exceso de frecuencia de choques esperado", bajo la dirección del Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D., quien en consecuencia tiene los derechos compartidos sobre los resultados de dicha investigación.

Además hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos, docencia, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo a La Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "No podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ella interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adicionales editoriales". Además el autor conserva derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra

Dedicatoria

A mis padres por su amor incondicional, apoyo, guía, ayuda y luz en los momentos de dificultad. Y principalmente por ser los responsables de que completara con éxito esta parte de mi formación académica.

A mis hermanos Esteban y Priscila, por sus consejos y ayuda.

A mi estimado director de tesis, el ingeniero Jonathan Agüero por sus consejos, supervisión y disposición durante toda la investigación.

A los asesores Germán Valverde y Javier Zamora por sus consejos y apoyo.

Al COSEVI por ayudarme en todo momento y facilitar la información requerida.

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios porque me ha proporcionado bendiciones durante todo este trayecto.

A mis papás, por estar presentes durante toda la etapa de mi formación académica. Porque me impulsaron a estudiar y me enseñaron valores como el sacrificio, el trabajo y el esfuerzo.

A todos mis amigos de la carrera y gente linda que estuvo a mi alrededor, algunos desde el comienzo siguen hasta hoy, gracias totales.

A mi amiga Viviana, por ayudarme durante el desarrollo de esta investigación, pero sobre todo por ser mi amiga.

A Ileana y a mi primo Emmanuel por ayudarme en la toma de las fotografías.

Al ingeniero Jonathan por estar siempre a disposición, por sus consejos y apoyo.

Tabla de contenidos

1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Justificación.....	2
1.1.1. El problema específico.....	2
1.1.2. Importancia	3
1.1.3. Antecedentes históricos.....	4
1.2. Objetivo	6
1.2.1. Objetivo general	6
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
1.3. Delimitación del problema.....	7
1.3.1. Alcance.....	7
1.3.2. Limitaciones	8
1.4. Descripción de la metodología a usar.....	9
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Generalidades de la ruta.....	21
2.2. Antecedentes de los choques viales	21
2.3. Métodos de estimación de choques	24
2.4. Medidas de seguridad vial.....	28
2.4.1. Generalidades	28
2.4.2. Señales y mecanismos propuestos en algunas de las soluciones	30
3. ESTADÍSTICAS DE LOS CHOQUES VIALES.....	37
3.1. Estadísticas de las boletas de los choques viales.....	37
3.2. Estadísticas de los choques viales por lesión de mayor gravedad.....	39
3.2.1. Tipo de lesión	39
3.2.2. Año	40

3.2.3.	Distrito	41
3.2.4.	Sexo y edad de los involucrados	42
3.2.5.	Día de la semana.....	43
3.2.6.	Tipo de accidente	46
3.2.7.	Rol de la persona	46
3.2.8.	Tipo de impacto	47
	Vehículo relacionado	48
3.2.9.	Estado del tiempo.....	49
3.2.10.	Tipo de calzada (vertical).....	50
3.2.11.	Tipo de calzada (horizontal)	50
3.2.12.	Tipo de intersección	51
4.	CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS	53
4.1.1.	Clima.....	53
4.1.2.	Tipo de terreno	56
4.1.3.	Ancho de la superficie de ruedo	57
4.1.4.	Tipo de alineamiento horizontal	58
4.1.5.	Número de carriles	60
4.1.6.	Ancho de espaldón	61
4.1.7.	Velocidad media por tramo.....	63
4.1.8.	Número de accesos	64
4.1.9.	Demarcación horizontal.....	66
4.1.10.	Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)	67
4.1.11.	Estadísticas descriptivas de las características de los tramos	68
5.	DETERMINACIÓN DE LOS SITIOS DE CONCENTRACIÓN DE CHOQUES	71
5.1.	Modelos binomiales para tramos	71

5.1.1.	Modelo binomial de choques totales.....	72
5.1.2.	Modelo binomial de choques equivalentes	74
5.1.3.	Modelo binomial de choques con sólo daños materiales	75
5.2.	Modelos de intersección.....	78
5.2.1.	Modelo binomial de choques totales.....	78
5.2.2.	Modelo binomial de choques sólo ilesos.....	79
5.2.3.	Modelo binomial de choques equivalentes	80
6.	DIAGNÓSTICO Y MEDIDAS DE SEGURIDAD VIAL A APLICAR	83
6.1.	Tramo 3.....	83
6.1.1.	Diagnóstico.....	83
6.1.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	87
6.2.	Tramo 13	91
6.2.1.	Diagnóstico.....	91
6.2.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	95
6.3.	Tramo 27	96
6.3.1.	Diagnóstico.....	96
6.3.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	100
6.4.	Tramos 70, 71, 72 y 73	101
6.4.1.	Diagnóstico.....	101
6.4.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	104
6.5.	Tramo 75	107
6.5.1.	Diagnóstico.....	107
6.5.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	113
6.6.	Tramo 95	114
6.6.1.	Diagnóstico.....	114

6.6.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	118
6.7.	Tramo 110	118
6.7.1.	Diagnóstico.....	118
6.7.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	122
6.8.	Tramo 111	125
6.8.1.	Diagnóstico.....	125
6.8.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	128
6.9.	Tramo 112	131
6.9.1.	Diagnóstico.....	131
6.9.2.	Medidas de mitigación	133
6.10.	Tramo 117	133
6.10.1.	Diagnóstico.....	133
6.10.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	137
6.11.	Tramo 121	138
6.11.1.	Diagnóstico.....	138
6.11.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	142
6.12.	Tramo 132	142
6.12.1.	Diagnóstico.....	142
6.12.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	147
6.13.	Intersección I-6 (Megasuper El Guarco).....	148
6.13.1.	Diagnóstico.....	148
6.13.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	151
6.14.	Intersección I-8 (Gasolinera El Guarco).....	152
6.14.1.	Diagnóstico.....	152
6.14.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	155

6.15.	Intersección I-35 (Cruce Liceo Unesco).....	156
6.15.1.	Diagnóstico.....	156
6.15.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	158
6.16.	Intersección I-44 (Cruce Santa Cecilia)	161
6.16.1.	Diagnóstico.....	161
6.16.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	165
6.17.	Intersección I-45 (Cruce Bar Brazilia)	166
6.17.1.	Diagnóstico.....	166
6.17.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	169
6.18.	Intersección I-47 (Cruce Sagrada Familia).....	170
6.18.1.	Diagnóstico.....	170
6.18.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	172
6.19.	Intersección I-60 Cruce Barrio Lourdes	173
6.19.1.	Diagnóstico.....	173
6.19.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	176
6.20.	Intersección I-69 Cruce Fernando Volio	177
6.20.1.	Diagnóstico.....	177
6.20.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	179
6.21.	Intersección I-70 (Entrada a Cajón).....	180
6.21.1.	Diagnóstico.....	180
6.21.2.	Medidas de seguridad vial propuestas	182
6.22.	Otros problemas de seguridad vial detectados.....	183
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	189
8.	BIBLIOGRAFÍA	195
9.	ANEXOS.....	199

9.1.	Salidas del programa R studio para los modelos de tramos	199
9.2.	Salidas del programa R studio para los modelos de intersección	201
9.3.	Otros modelos analizados	202

Índice de Figuras

Figura 1.1. Esquema metodológico	9
Figura 1.2. Ejemplo de ficha utilizada en la visita a los tramos e intersecciones críticas	18
Figura 2.1. Sección transversal de una carretera	24
Figura 2.2. Tipos de captaluz	31
Figura 2.3. Líneas logarítmicas reductoras de velocidad	32
Figura 2.4. Grupos de rayas alertadoras	33
Figura 3.1. Accidentes por día de la semana	43
Figura 3.2. Accidentes por mes del año	44
Figura 3.3. Accidentes por hora del día.	45
Figura 4.1. Tipo de terreno de los tramos.....	56
Figura 4.2. Fotografía de un tramo montañoso (Mayo, 2015).....	57
Figura 4.3. Ancho de la superficie de ruedo	58
Figura 4.4. Tipo de alineamiento	59
Figura 4.5. Fotografía de un tramo con alineamiento recto (Mayo, 2015)	60
Figura 4.6. Número de carriles por tramo	61
Figura 4.7. Fotografía de un segmento de dos carriles (Mayo, 2015)	61
Figura 4.8. Ancho de espaldón por tramo	62
Figura 4.9. Tramo con espaldón en el Guarco (Mayo, 2015).....	62
Figura 4.10. Velocidad por tramo.....	63
Figura 4.11. Tramo con velocidad de 50 km/h. (Mayo, 2015).....	64
Figura 4.12. Número de accesos por tramo	65
Figura 4.13. Densidad de accesos por kilómetro para los tramos homogéneos.....	65
Figura 4.14. Condición de la señalización horizontal	66
Figura 4.15. Tramo con señalización horizontal presente (Mayo, 2015).....	66

Figura 4.16. Tránsito promedio diario anual del año 2013 para los diferentes tramos	67
Figura 6.1. Inicio del tramo 3 Gasolinera El Guarco (Mayo, 2015).....	84
Figura 6.2. Doble línea amarilla en el tramo 3 "Gasolinera EL Guarco" (Mayo, 2015)	85
Figura 6.3. Tipos de lesión por accidente en el tramo 3 Gasolinera El Guarco	85
Figura 6.4. Tipos de accidente en el tramo 3 Gasolinera El Guarco	86
Figura 6.5. Tipo de impacto para los accidentes del tramo 3 Gasolinera El Guarco	86
Figura 6.6. Esquema de una intersección con vía convencional con tráfico intenso.....	90
Figura 6.7. Señal de cruce de ciclistas	90
Figura 6.8. Tipo de lesión por accidente en el tramo 13 La Cangreja.....	91
Figura 6.9. Tipo de accidente en el tramo 13 La Cangreja.....	92
Figura 6.10. Tipo de impacto en los accidentes del tramo 13	92
Figura 6.11. Doble línea amarilla en el tramo 13 La Cangreja (Mayo, 2015).....	93
Figura 6.12. Zona escolar en el tramo 13 La Cangreja (Mayo, 2015).....	94
Figura 6.13. Poca visibilidad en el tramo 13 (Mayo, 2015)	94
Figura 6.14. Tipo de lesión para los accidentes del tramo 27 El Empalme.....	97
Figura 6.15. Tipo de accidente en el tramo 27 El Empalme	97
Figura 6.16. Tipo de impacto para los accidentes del tramo 27 El Empalme.....	98
Figura 6.17. Recta en el tramo 27 El Empalme (Mayo, 2015)	99
Figura 6.18. Velocidad señalizada de 50 km/h en el tramo 27 El Empalme (Mayo, 2015).....	99
Figura 6.19. Adelantamiento indebido en el tramo 27 El Empalme (Enero, 2016).....	100
Figura 6.20. Tipo de lesión en los tramos 70-73.....	102
Figura 6.21. Tipo de accidente para los tramos 70-73.....	102
Figura 6.22. Tipo de impacto para los accidentes del tramo 70-73.....	103
Figura 6.23. Estado del tiempo para los tramos 70-73	104
Figura 6.24. Presencia de neblina en el tramo 70 (Mayo, 2015).....	104

Figura 6.25. Curva cerrada en el tramo 72 (Mayo, 2015)	105
Figura 6.26. Barrera metálica en una curva del tramo 73	105
Figura 6.27. Sección de 3 carriles antes de una curva cerrada (Mayo, 2015)	108
Figura 6.28. Fotografía de la señalización en el tramo 75 (Mayo, 2015)	108
Figura 6.29. Fotografía de un sector curvo en el tramo 75 (Mayo, 2015).....	109
Figura 6.30. Tipos de accidente por severidad en el tramo 75 Vuelta Las Monjas	109
Figura 6.31. Tipo de accidente por sentido de circulación para el tramo 75 Vuelta Las Monjas	110
Figura 6.32. Tipo de accidente en el tramo 75 Vuelta Las Monjas	111
Figura 6.33. Estado del tiempo en los choques viales del tramo 75 Vuelta Las Monjas.....	112
Figura 6.34. Choques por hora del día en el tramo 75 Vuelta Las Monjas	112
Figura 6.35. Tipo de lesión en los accidentes presentados en el tramo 95 Vuelta de Payner	114
Figura 6.36. Cantidad de accidentes por tipo de impacto en el tramo 95 Vuelta de Payner	115
Figura 6.37. Tipos de accidente en el tramo 95 Vuelta de Payner	116
Figura 6.38. Presencia de rocas en los márgenes del tramo 95 (Mayo, 2015)	116
Figura 6.39. Barrera de concreto en el tramo 95 Vuelta de Payner (Mayo, 2015)	117
Figura 6.40. Barrera metálica que no abarca toda la curva (Mayo, 2015)	117
Figura 6.41. Tipo de lesión por accidente en el tramo 110 Fersol-río Jilguero	119
Figura 6.42. Tipo de accidente en el tramo 110 Fersol-río Jilguero.....	119
Figura 6.43. Tipo de impacto para los accidentes en el tramo 110 Fersol-río Jilguero	120
Figura 6.44. Carriles de giro en el tramo 110 (Mayo, 2015).....	121
Figura 6.45. Señalización deficiente en el tramo 110 (Mayo, 2015).....	121
Figura 6.46. Ejemplo de umbral para reducir la velocidad	123
Figura 6.47. Tipo de lesión por accidente en el tramo 111	126
Figura 6.48. Tipo de accidente en el tramo 111	126

Figura 6.49. Tipo de impacto para los accidentes del tramo 111.....	127
Figura 6.50. Isla de concreto en el tramo 111 (Mayo, 2015)	127
Figura 6.51. Carriles de giro y semáforo peatonal en el tramo 111 (Mayo, 2015)	128
Figura 6.52. Accesos presentes en el tramo 111	129
Figura 6.53. Accesos que pueden unificarse debido a la existencia de una vía paralela a la ruta principal	130
Figura 6.54. Tipo de lesión en el tramo 112.....	131
Figura 6.55. Tipo de accidente en el tramo 112	132
Figura 6.56. Tipo de impacto en el tramo 112.....	132
Figura 6.57. Tipo de lesión para los accidentes del tramo 117	134
Figura 6.58. Tipos de accidente en el tramo 117.....	135
Figura 6.59. Cantidad de accidentes por tipo de impacto para el tramo 117	135
Figura 6.60. Señalización borrosa en el tramo 117 (Mayo, 2015).....	136
Figura 6.61. Salida de vehículos en la gasolinera El Rodeo (Mayo, 2015).....	136
Figura 6.62. Ejemplo de umbral para medidas de tráfico calmado	137
Figura 6.63. Tipo de lesión por accidente para el tramo 121	139
Figura 6.64. Tipo de accidente en el tramo 121	139
Figura 6.65. Tipo de impacto para los choques del tramo 121	140
Figura 6.66. Ciclista en el tramo 121 Las Juntas de Pacuar (Mayo, 2015)	140
Figura 6.67. Accesos a lo largo del tramo 121 (Mayo, 2015)	141
Figura 6.68. Poca visibilidad en el tramo 121 (Noviembre, 2015).....	141
Figura 6.69. Poca visibilidad de un acceso en el tramo 132 (Enero, 2016).....	143
Figura 6.70. Tipo de lesión en los accidentes del tramo 132.....	144
Figura 6.71. Tipo de accidente en el tramo 132	144
Figura 6.72. Tipo de impacto en los accidentes del tramo 132.....	145

Figura 6.73. Vegetación y arbustos en el tramo 132 (Enero, 2016).....	145
Figura 6.74. Presencia de vehículos pesados en el tramo 132 (Enero, 2016)	146
Figura 6.75. Sección del puente sin barrera de contención en el tramo 132 (Enero, 2016).	146
Figura 6.76. Tipo de lesión para las accidentes en la intersección Megasuper El Guarco	148
Figura 6.77. Tipo de accidentes en la intersección Megasuper El Guarco	149
Figura 6.78. Tipo de impacto para los accidentes de la intersección Megasuper El Guarco .	149
Figura 6.79. Señalización inexistente en la intersección Megasuper El Guarco.....	150
Figura 6.80. Ciclista realizando movimiento en la intersección Megasuper El Guarco	150
Figura 6.81. Tipo de lesión en la intersección Gasolinera El Guarco.....	152
Figura 6.82. Tipo de accidente en la intersección Gasolinera El Guarco	153
Figura 6.83. Tipo de impacto en la intersección Gasolinera El Guarco	153
Figura 6.84. Flujos mal canalizados a la salida de la gasolinera El Guarco (Enero, 2016) ...	154
Figura 6.85. Señalización borrosa (Enero, 2016)	155
Figura 6.86. Tipo de lesión para los accidentes en el Cruce del Liceo Unesco.....	156
Figura 6.87. Tipo de impacto para las colisiones entre vehículos en el cruce del Liceo Unesco	157
Figura 6.88. Fotografía del cruce del Liceo Unesco (Enero, 2016).....	157
Figura 6.89. Configuración actual del Cruce Liceo Unesco	158
Figura 6.90. Configuración propuesta en el acceso Norte para el cruce del Liceo Unesco...	159
Figura 6.91. Configuración propuesta para el acceso oeste del cruce Liceo Unesco	159
Figura 6.92. Configuración propuesta en el cruce del Liceo Unesco.....	160
Figura 6.93. Tipo de lesión para los accidentes en el cruce Santa Cecilia.....	161
Figura 6.94. Tipo de accidente para los choques en el cruce Santa Cecilia.....	162
Figura 6.95. Tipo de impacto para los choques del cruce Santa Cecilia.....	162
Figura 6.96. Señalización borrosa en el cruce Santa Cecilia (Enero, 2016).....	163

Figura 6.97. Autobús que invade los dos carriles para poder realizar el giro a la derecha (Enero, 2016)	164
Figura 6.98. Configuración actual del cruce Santa Cecilia	164
Figura 6.99. Configuración geométrica propuesta para el cruce Santa Cecilia	165
Figura 6.100. Tipo de lesión para los accidentes del cruce Bar Brazilia	167
Figura 6.101. Tipo de accidente para los accidentes del cruce Bar Brazilia.....	167
Figura 6.102. Tipo de impacto en los accidentes del cruce Bar Brazilia.....	168
Figura 6.103. Señalización borrosa en el cruce Bar Brazilia (Enero, 2016)	168
Figura 6.104. Canalizaciones propuestas para el cruce Brazilia	169
Figura 6.105. Tipo de lesión para los accidentes del cruce Sagrada Familia	170
Figura 6.106. Tipo de accidente en el cruce Sagrada Familia.....	171
Figura 6.107. Tipo de impacto para los accidentes del cruce Sagrada Familia	171
Figura 6.108. Señalización inexistente en el cruce Sagrada Familia (Enero, 2015)	172
Figura 6.109. Canalizaciones propuestas para el cruce Sagrada Familia.....	173
Figura 6.110. Tipo de lesión para los accidentes del cruce Barrio Lourdes	174
Figura 6.111. Tipo de accidentes presentados en el cruce Barrio Lourdes.....	174
Figura 6.112. Tipo de impacto para los accidentes del cruce Barrio Lourdes.....	175
Figura 6.113. Señalización horizontal borrosa en el cruce Barrio Lourdes (Enero, 2016)	175
Figura 6.114. Canalizaciones propuestas para el cruce Barrio Lourdes.....	176
Figura 6.115. Señalización horizontal inexistente en el cruce Fernando Volio (Enero, 2016).....	177
Figura 6.116. Tipo de lesión para los accidentes del cruce Fernando Volio.....	178
Figura 6.117. Tipo de impacto para los accidentes del cruce Fernando Volio	178
Figura 6.118. Demarcación horizontal propuesta.....	179
Figura 6.119. Tipo de lesión para los accidentes del cruce de Cajón	180
Figura 6.120. Tipo de accidente en el cruce de Cajón.....	181

Figura 6.121. Tipo de impacto para los accidentes del cruce de Cajón	181
Figura 6.122. Señalización ausente en el cruce de Cajón (Enero, 2016)	182
Figura 6.123. Señales verticales de intersección.....	182
Figura 6.124. Configuración propuesta para el cruce Cajón	183
Figura 6.125. Ausencia de barrera de contención en el tramo 11.....	184
Figura 6.126. Ausencia de barreras de contención en el tramo 30	184
Figura 6.127. Sección del tramo 46 sin barreras de contención	185
Figura 6.128. Terminal cola de pez en el tramo 47.....	185
Figura 6.129. Barrera en mal estado en el tramo 56.....	186
Figura 6.130. Terminal tipo cola de pez en el tramo 74	186
Figura 6.131. Terminal cola de pez en el tramo 83.....	187
Figura 6.132. Ausencia de sistema de contención en el tramo 124.....	187

Índice de Cuadros

Cuadro 1.1. Equivalencia de choques a sólo ilesos	15
Cuadro 2.1. Factores que inciden en los accidentes de tránsito	23
Cuadro 2.2. Sobreelevación según el tipo de carretera	23
Cuadro 2.3. Ubicación de las vialetas o Captaluz.....	31
Cuadro 2.4. Estrategias aplicables según el objetivo.....	35
Cuadro 3.1. Tipo de lesión por total de personas involucradas	37
Cuadro 3.2. Personas involucradas por año de estudio	37
Cuadro 3.3. Rol de la persona involucrada.....	38
Cuadro 3.4. Cantidad de personas involucradas por tipo de vehículo.....	38
Cuadro 3.5. Tipo de lesión por total de choques	40
Cuadro 3.6. Choques por año de estudio.....	40

Cuadro 3.7. Cantidad de accidentes por distrito para la ruta Nacional 2	41
Cuadro 3.8. Sexo de los involucrados en los choques viales	42
Cuadro 3.9. Cantidad de accidentes según el día	43
Cuadro 3.10. Cantidad de choques por mes.....	44
Cuadro 3.11. Tipo de accidente	46
Cuadro 3.12. Rol del herido de mayor gravedad.....	47
Cuadro 3.13. Cantidad de accidentes según el tipo de impacto.....	47
Cuadro 3.14. Vehículo relacionado.....	48
Cuadro 3.15. Cantidad de accidentes según estado del tiempo.....	49
Cuadro 3.16. Tipo de calzada (vertical)	50
Cuadro 3.17. Tipo de calzada (horizontal)	50
Cuadro 3.18. Tipo de intersección.....	51
Cuadro 4.1. Zonas de vida en la ruta Nacional 2	54
Cuadro 4.2. Clasificación según el tipo de terreno	56
Cuadro 4.3. Ancho de superficie y carril para los tramos.....	57
Cuadro 4.4. Categorías utilizadas para clasificar el alineamiento horizontal.....	59
Cuadro 4.5. Estadísticas descriptivas para las distintas severidades de choque	68
Cuadro 4.6. Estadísticas descriptivas de las variables a utilizar en el modelo.....	69
Cuadro 5.1. Resultados modelo binomial negativo 3 para choques totales.....	73
Cuadro 5.2. Resultados del modelo binomial negativo para choques equivalentes.....	74
Cuadro 5.3. Resultados modelo binomial para choques con sólo daños materiales	75
Cuadro 5.4. Excesos de choque para los 14 tramos más críticos según el modelo de choques equivalentes	76
Cuadro 5.5. Tramos más críticos para los diferentes modelos binomiales negativos	77
Cuadro 5.6. Modelo binomial negativo para choques totales de intersección.....	78

Cuadro 5.7. Modelo binomial negativo para choques de intersección considerando choques con ilesos	79
Cuadro 5.8. Resultados modelo binomial para choques equivalentes	80
Cuadro 5.9. Exceso de frecuencia de choques para el modelo de intersecciones	81
Cuadro 5.10. Posiciones de las intersecciones más peligrosas según distintos modelos.....	81
Cuadro 6.1. Características del Tramo 3 (Gasolinera El Guarco).....	83
Cuadro 6.2. Inclinación Longitudinal máxima en una ciclovía.....	89
Cuadro 6.3. Características del tramo 13 La Cangreja.....	91
Cuadro 6.4. Características del tramo 27	96
Cuadro 6.5. Características de los tramos 70, 71, 72 y 73.....	101
Cuadro 6.6. Características del tramo 75	107
Cuadro 6.7. Características del tramo 95	114
Cuadro 6.8. Características del tramo 110 Fersol-Puente río Jilguero.....	118
Cuadro 6.9. Características del tramo 111- Puente río Jilguero-Villa Ligia	125
Cuadro 6.10. Características del tramo 112 Villa Ligia-Barrio Lourdes.....	131
Cuadro 6.11. Características del tramo 117	134
Cuadro 6.12. Características del tramo 121	138
Cuadro 6.13. Características del tramo 132.	142
Cuadro 6.14. Características de la intersección I-6 (Megasuper El Guarco)	148
Cuadro 6.15. Características de la Intersección Gasolinera El Guarco	152
Cuadro 6.16. Características del cruce Liceo Unesco.....	156
Cuadro 6.17. Características del cruce Santa Cecilia	161
Cuadro 6.18. Características del cruce Bar-Brazilia	166
Cuadro 6.19. Características de la intersección cruce Sagrada Familia.....	170
Cuadro 6.20. Cruce Barrio Lourdes	173

Cuadro 6.21. Características de la intersección cruce Fernando Volio	177
Cuadro 6.22. Características de la intersección cruce de Cajón	180
Cuadro 9.3.1. Resultado modelo binomial negativo para choques totales utilizando solo la variable de TPDA	203
Cuadro 9.3.2. Resultados modelo binomial negativo para choques totales, solo TPDA y accesos por kilómetro.....	204
Cuadro 9.3.3. Resultados modelo binomial 2 utilizando TPDA, accesos por kilómetro, 3 categorías de carriles.....	205

Leiva López, Marco Antonio

Análisis de sitios de concentración de choques viales en la Ruta Nacional 2, mediante el método de exceso de frecuencia de choques esperado

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José. C.R.

M. Leiva L., 2016

xxi, 221, [7]h; ils. col. – 29 refs.

RESUMEN

La Ruta Nacional 2 también conocida como Interamericana Sur es una de las carreteras más importantes del país. Es la principal vía de comunicación entre el cantón de Pérez Zeledón y el Valle Central.

Debido a la importancia, características y a la concentración de choques viales a lo largo de la ruta se realizó un análisis de sitios de concentración de choques viales. Para el análisis se utilizó el método de exceso de frecuencia de choques esperado ajustado con Bayes empírico.

Se ubicaron los choques a lo largo de la ruta después de ser clasificados según la severidad. Posteriormente se dividió la ruta en segmentos homogéneos considerando su alineamiento, tipo de zona, número de carriles, TPDA, entre otros.

Después de aplicar el método se determinaron los excesos de frecuencia de choques, para los 138 tramos homogéneos y las 90 intersecciones, de los cuales se eligió el 10% con mayor exceso de frecuencia. Se estudiaron las características de los choques en estos sitios, así como el entorno de estos, con la finalidad de generar recomendaciones que permitieran disminuir la ocurrencia o severidad de los mismos.

Las principales recomendaciones fueron: aumentar el ancho de espaldón, métodos de tráfico calmado, implementar rayas logarítmicas y sonoras, propuesta geométrica de varias intersecciones y colocación de señalización horizontal. ML (2016)

Palabras clave: Ruta Nacional 2, choques viales, exceso de frecuencia de choques, seguridad vial, segmentos homogéneos, intersecciones, severidad, Bayes empírico.

Director: Ing. Jonathan Agüero Valverde Ph.D

Escuela de Ingeniería Civil

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

1.1.1. El problema específico

Los choques viales son un problema grave en nuestro país, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), solo en el año 2013 se presentaron 605 muertes por accidentes de tránsito, esto representa aproximadamente el 3% del total de defunciones de ese año.

Además de la pérdida de vidas humanas, los accidentes de tránsito generan importantes costos económicos. Solo en la última década el costo de atención médica de los accidentes en carretera se incrementó en un 62%, es decir, pasó de 19.221 millones de colones en el año 2004 a 31.175 millones en 2013 (Fernández, 2014).

Para entender la ocurrencia de los choques viales, es necesario conocer cuáles factores o elementos pueden causarlos. Por citar algunos ejemplos tenemos: el exceso de velocidad, irrespeto a las señales de tránsito, invasión del carril contrario, fatiga, entre otros.

La combinación de estos factores más las deficiencias en las carreteras de nuestro país, como lo son una señalización borrosa o inexistente, radios de diseño inadecuados y carreteras montañosas, propician las condiciones idóneas para que ocurran los accidentes.

Un caso concreto es el de la Ruta Nacional 2, carretera montañosa en gran parte de su extensión y que cuenta con condiciones adversas del clima, curvas cerradas y poca visibilidad en algunos sectores. Adicionalmente la ruta atraviesa un poblado importante como lo es San Isidro del General, esto contribuye a que se favorezca la ocurrencia de choques viales, ya que durante este trayecto existen condiciones problemáticas en materia de seguridad vial.

Algunos de los problemas se generaron a partir de la ampliación a 4 carriles del tramo que une los pueblos de San Isidro del General y Palmares de Daniel Flores. No existen vías marginales, no hay consolidación de accesos y el nuevo diseño propicia altas velocidades, aun cuando el límite es de 40 km/h (Zamora, 2007). Sin embargo el problema principal es la

necesidad de cruce de las personas, pues el pueblo quedó dividido en dos sectores por la carretera.

Debido a las razones ya expuestas, es necesario identificar los factores que inciden en la ocurrencia de choques viales, así como los lugares donde suceden con más frecuencia y de esta manera proponer medidas que disminuyan la probabilidad de ocurrencia de accidentes, así como las lesiones en carretera.

1.1.2. Importancia

En el informe titulado "Auditoría en Seguridad Vial en la Ruta Nacional 2, km 102, 120 y 133", realizado por el Consejo de Seguridad Vial (COSEVI) en el año de 2013, se expone la necesidad de investigar más a fondo los accidentes de tránsito en la zona de Pérez Zeledón.

Una limitante de este informe es que solo se analizaron tres tramos de la ruta; el km 102 conocido como "Vuelta las Monjas", el km 120 o "Vuelta de Payner" y el km 133, en el cruce de la gasolinera "Gasotica". Se escogieron estos tramos debido a la alta concentración de choques que presentaban.

Por otro lado en otras investigaciones se habla de la problemática existente en el cantón de Pérez Zeledón (Zamora, 2007), en esta investigación se hizo un análisis de 825 accidentes ubicados en los distritos de San Isidro y Daniel Flores.

Como se observa las investigaciones realizadas en esta ruta son muy focalizadas, es decir se concentran en la zona urbana del cantón de Pérez Zeledón y en algunos puntos del sector montañoso de la ruta.

La importancia de esta investigación es que pretende analizar un trayecto mucho mayor y por consiguiente, más tramos de la Ruta Nacional 2. Permitiendo primero, generar las variables que inciden en la ocurrencia de choques viales, para posteriormente, calibrar el modelo e identificar los sitios con mayor concentración de choques.

Identificar los tramos críticos es de suma importancia, pues este trabajo pretende servir de instrumento para generar recomendaciones en materia de seguridad vial, con el objetivo de que sean implementadas por las autoridades pertinentes para disminuir la ocurrencia y gravedad de los choques viales en esta ruta.

1.1.3. Antecedentes históricos

A continuación se desglosan las principales fuentes bibliográficas consultadas, en materia de seguridad vial, que sirvieron de sustento y referencia para la elaboración de esta investigación.

- 1) Análisis de tramos de concentración de choques viales en la Ruta Nacional 32, utilizando el método de exceso de frecuencia de choques esperado con el ajuste de Bayes empírico, trabajo realizado por Esteban Alberto Castro Estrada. En este trabajo final de graduación se describe la problemática presente en la ruta Nacional 32 en cuanto a ocurrencia y severidad de choques se refiere.

Se hizo un análisis por tramos de concentración de choques viales utilizando el método de exceso de frecuencia de choques esperado, además se analizaron los 15 tramos con mayor frecuencia de choques.

Los principales problemas encontrados en esos tramos como lo son la señalización, baja iluminación, gestión de accesos inadecuada. Por último el autor propone medidas de mitigación.

- 2) Modelos estadísticos de gravedad de choques viales en las rutas nacionales de Costa Rica, elaborado por Berny Madriz Mesén. Se describe que los choques viales son la primera causa de muerte en el país para personas con edades entre los 0 y 44 años. Se establece que a mayor Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), número de carril y ancho de carril, menor es la gravedad del choque. También se menciona que la presencia de espaldones de mayor ancho, ayuda a disminuir la gravedad de los choques viales.
- 3) Distribución espacial de choques de accidentes de tránsito en el cantón de Pérez Zeledón, periodo 2009-2010, elaborado por Consejo de Seguridad Vial: Se analizan los accidentes de tránsito en el cantón de Pérez Zeledón, el cual es uno de los 10 cantones con mayor

riesgo en cuanto a accidentes. Se menciona además que el distrito de San Isidro del General es el que presenta la mayor cantidad de accidentes, concentrándose estos en los kilómetros 134, 135, 136 y 137.

- 4) Auditoría de seguridad vial, elaborada por el Consejo de Seguridad Vial. Se hizo un análisis de los tramos con mayor cantidad de choques, específicamente en los kilómetros 102 (vuelta de las monjas), km 120 (curva del río Payner) y el km 133 (frente a Gasotica y el cruce hacia Liceo Unesco).

Se encontró que las principales deficiencias en los tramos eran las siguientes: falta de mantenimiento en la demarcación horizontal, señalamiento vertical deficiente y sistemas de contención vehicular inexistentes. También se encontraron irregularidades en la carpeta asfálticas y ausencia de espaldones y aceras para los peatones.

- 5) Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional de Costa Rica años 2012-2013. Realizado por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. En este informe se hace una evaluación del estado de la red vial nacional, en específico se evalúa la regularidad superficial, la resistencia estructural y el coeficiente de rozamiento de la red vial nacional pavimentada. La red vial fue subdividida por categorías, en el caso de la ruta 2, ésta se encuentra ubicada dentro de la región Brunca. Los resultados obtenidos reflejan que parte importante de la ruta presenta una regularidad superficial mala o deficiente.
- 6) Análisis de ocurrencia de diferentes tipos de choques viales en el cantón de Pérez Zeledón, trabajo realizado por Javier Zamora. En este trabajo se realizó un análisis estadístico de 825 choques viales, ubicados en el cantón de Pérez Zeledón. El análisis se hizo dividiendo por tramos la carretera que une San Isidro del General con Daniel Flores. Se identificaron además los puntos críticos de concentración de choques viales para posteriormente emitir recomendaciones.
- 7) Análisis epidemiológico de la ocurrencia de diversos tipos de accidentes viales, elaborada por el Programa de Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS). Se analizaron 24.367 boletas

de partes de tránsito distribuidas en 26 cantones del país, determinándose que la ebriedad y el exceso de velocidad ocasionan más muertos y heridos graves los fines de semana que el resto de días de la semana. Se determinó además que el distrito de Alfaro Ruiz es el que presenta un mayor índice de accidentes viales por cada 1.000 habitantes, le siguen el distrito oriental de Cartago y Guadalupe de Goicochea. Otra de las conclusiones del estudio es que los distritos más peligrosos son aquellos en los que una carretera nacional atraviesa la ciudad.

- 8) Identificación de zonas de riesgo de accidentes, Rutas 1, 2, 32 y 34 (Lanamme UCR). En este informe del Laboratorio Nacional de Materiales y de Modelos Estructurales se hace un análisis de seguridad vial en la Ruta Nacional 2, tomando en cuenta características como precipitaciones, alineamiento, intersecciones, demarcación horizontal, semáforos, entre otros.

Las principales conclusiones de esta investigación son las siguientes: las especificaciones que garantizan la calidad de las pinturas y durabilidad no son suficientes, además existe un riesgo potencial de incumplimiento de las regulaciones de velocidad. Existe un alto riesgo en la capacidad de frenado para condiciones lluviosas, hay problemas de barreras de contención, zonas de despeje lateral y anchos de carril.

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo general

Realizar un análisis de sitios de concentración de choques viales en la Ruta Nacional 2 (Interamericana Sur) entre San Isidro del Guarco y San Pedro de Pérez Zeledón, utilizando el método de exceso de frecuencia de choques esperado con el ajuste de Bayes empírico.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir las principales características físicas, climatológicas, geométricas de los tramos homogéneos de la Ruta Nacional 2 (Interamericana Sur) entre San Isidro del Guarco y San Pedro de Pérez Zeledón.

- Caracterizar los choques viales ocurridos por severidad en la Ruta Nacional 2 entre San Isidro del Guarco y San Pedro de Pérez Zeledón, para el periodo comprendido entre 2011 y 2013.
- Determinar una función de desempeño que permita establecer una relación entre las condiciones existentes en los tramos con la ocurrencia de choques viales.
- Utilizar el método de exceso de frecuencia de choques esperados ajustado con Bayes empírico para hacer una comparación de los resultados modelados con los datos reales.
- Identificar los sitios con mayor concentración de choques viales considerando la exposición.
- Proponer recomendaciones en materia de seguridad vial para disminuir la cantidad o severidad de choques viales en los tramos más conflictivos.

1.3. Delimitación del problema

1.3.1. Alcance

- El análisis se hizo únicamente para la Ruta Nacional 2 conocida como la "Interamericana Sur" comprendida entre San Isidro del Guarco y San Pedro de Pérez Zeledón (límite con el cantón de Buenos Aires de Puntarenas).
- Se trabajó con datos de choques viales proporcionados por el Consejo de Seguridad Vial (COSEVI) y corresponderán al periodo de 2011 a 2013.
- La descripción de la ruta se hizo mediante las características de los tramos del inventario de la red vial nacional y el uso de fotografías para corroborar la información.
- Los resultados de esta investigación no pueden ser extrapolados a otras rutas pues todas presentan condiciones y características diferentes.

- Las recomendaciones emitidas son generales y para los tramos e intersecciones que se consideraron como críticos, además no se incluyen planos constructivos o diseños geométricos.
- Solo se trataron las muertes reportadas en el sitio del accidente, debido a que no se conoce las personas que murieron de manera posterior al evento.

1.3.2. Limitaciones

- Algunas de las ubicaciones de los puntos no son exactas pues los oficiales de tránsito dan las referencias por medio de direcciones o el kilómetro en el que ocurrió el choque.
- No se realizó un levantamiento topográfico.
- Algunos choques ocurridos no son reportados al tránsito, es decir se llama directamente a una grúa, por lo que es posible que en la realidad sean más choques de los reportados en la base de datos.
- El Ministerio de Obras Públicas no cuenta con planos del diseño vial de la ruta, por lo que algunas características del diseño no se conocerán con tanto detalle.
- Las variables como tipo de alineamiento y ancho de espaldón se revisaron con las fotografías tomadas en campo.

1.4. Descripción de la metodología a usar

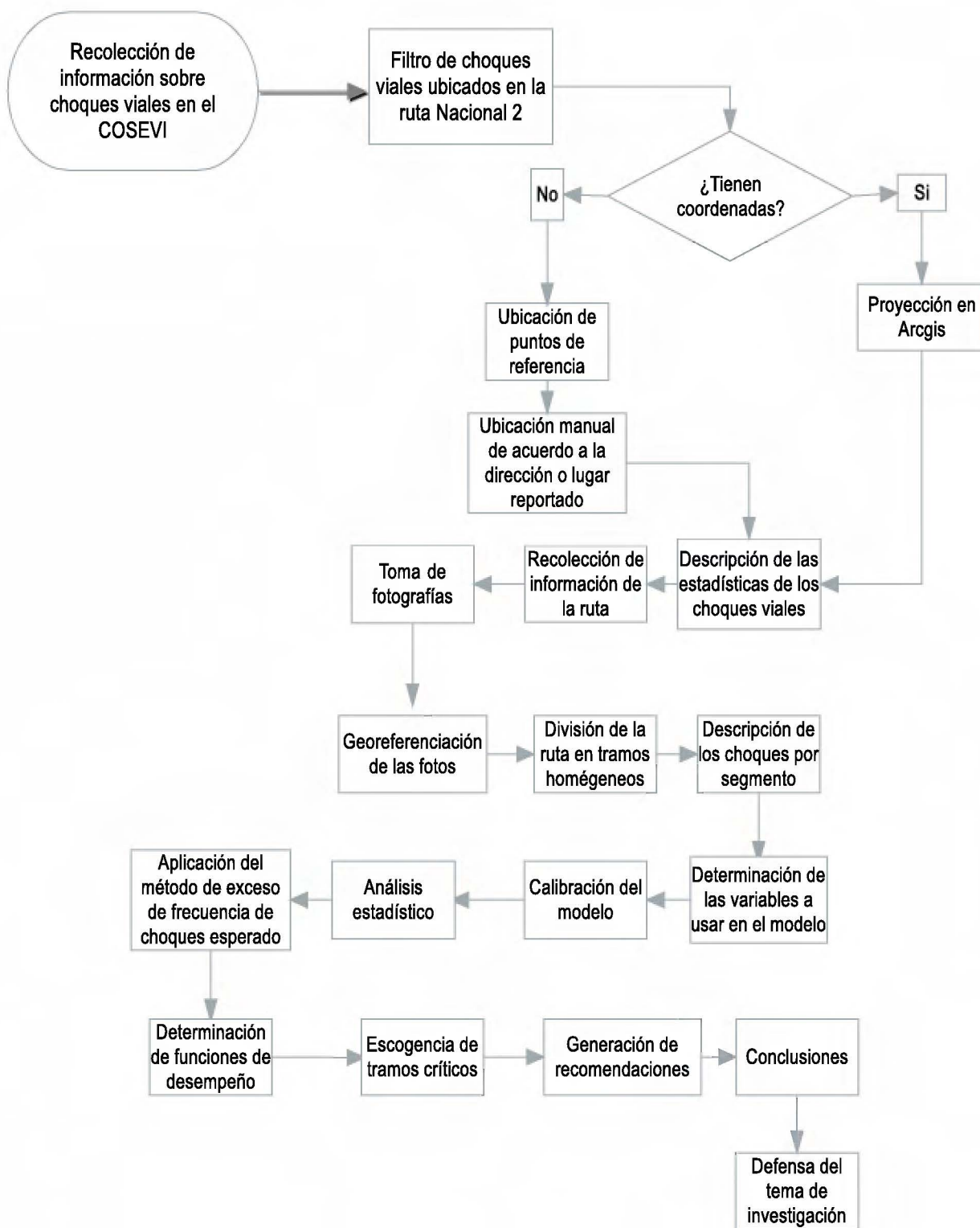


Figura 1.1. Esquema metodológico

Metodología

La metodología aplicada en este trabajo sigue el proceso de gestión de seguridad en la carretera del Manual de Seguridad de Carreteras (AASHTO, 2010), en el cual se describen los pasos para la gestión de la seguridad, esta incluye evaluación de la red, diagnóstico y selección de medidas que permitan disminuir la ocurrencia de accidentes.

1. Evaluación de la red: en este paso se clasifica e identifica tramos o sitios de una red que presenten características similares.
2. Diagnóstico: se estudian las estadísticas de las colisiones, las condiciones de los tramos y la historia del sitio para identificar patrones de choques.
3. Selección de medidas de mitigación: después de identificar las posibles causas que inciden en la ocurrencia de choques se generan recomendaciones que permitan reducir la frecuencia de choques en cada sitio.

A grandes rasgos estos procesos fueron los utilizados para determinar los sitios de concentración de choques viales. Cada uno de estos procesos lleva implícitos una serie de pasos previos como lo son la ubicación de los choques, la división de la ruta en segmentos, la clasificación de los tipos de choques, el análisis de variables, entre otros. A continuación se da una descripción más detallada de cada paso seguido.

Recolección de información preliminar

Se solicitó ayuda al Consejo de Seguridad Vial (COSEVI) para tener acceso a la base de datos de choques viales, en específico para los años de 2011, 2012 y 2013. Para tener acceso a los distritos de interés se elaboró un mapa con la ayuda del programa de información geográfica ArcGIS 10.1.

Se utilizó la capa de calles nacionales, a la que previamente se le hizo un filtro para que solo mostrara la Ruta Nacional 2. Posteriormente se superpuso una capa con distritos, se generó

una intersección de ambas capas para obtener los distritos exactos por los que pasa el tramo de la ruta que se analizó en esta investigación.

Esta lista con los distritos de interés fue enviada a los encargados de Estadística del COSEVI, para que enviaran la información solicitada. Los encargados de esta unidad reenviaron una base de datos con los choques correspondientes a los años de 2011, 2012 y 2013, sin embargo esta base de datos no siempre indicaba el número de ruta donde se presentó el choque, por lo que fue necesaria una revisión detallada.

Ubicación de los choques en la Ruta Nacional 2

Primero se ubicaron los choques que contaban con coordenadas geográficas, sin embargo se revisó que dicha ubicación tuviera sentido. De la revisión se obtuvo que algunos de los puntos presentaban problemas en su localización espacial. Esta ubicación fue corregida mediante la dirección del choque.

Los puntos que no se pudieron ubicar sobre la ruta debido a falta de información o poca claridad en la dirección del choque, fueron eliminados del análisis. Se referenciaron e identificaron puntos de referencia claves a lo largo de la ruta. Esto tenía como objetivo referenciar aquellos choques que no contaran con coordenadas geográficas y cuya dirección estaba dada por direcciones según un punto en específico, por ejemplo "500 metros sur de la soda El Trailero". En estos casos se midió la distancia con ayuda del software Arcgis, utilizando herramientas del mismo se calculó la distancia a lo que se hacía referencia para posteriormente ubicar el choque.

Los puntos de referencia fueron ubicados con ayuda del programa Google Earth, se eligieron lugares representativos a lo largo de toda la ruta, para poder localizar con más facilidad los choques.

También fue necesaria la división de la ruta en tramos de 1 kilómetro de longitud, pues muchas de las direcciones solo mencionaban el kilómetro en el que ocurrió el choque y no

una dirección más precisa. Cabe aclarar que por este motivo algunas de las ubicaciones de los choques no son completamente exactas.

Clasificación de los choques

Posteriormente se hizo una clasificación de los choques viales según la severidad de los mismos, es decir se dividieron en las siguientes categorías:

- Choques con ilesos o lesión ignorada
- Choques con heridos leves
- Choques con heridos graves
- Choques con muertos

Esta clasificación se hizo por medio de filtros con el programa Microsoft Excel. Cabe destacar que en la base de datos se reportaban choques con ilesos y sin lesión reportada, ambas se tomaron como un sólo tipo de choque.

Recolección de información de la ruta

Se realizó un inventario fotográfico a lo largo de la ruta, este proceso tenía como objetivo facilitar la división de la ruta en segmentos, se tomaron fotos cada 100 metros aproximadamente. Las fotografías se tomaron en dos días diferentes, primero se hizo el recorrido del tramo comprendido entre Cartago y el centro de San Isidro del General y posteriormente el tramo que une San Isidro del General con San Pedro de Pérez Zeledón.

Adicionalmente se hizo un archivo de puntos o "tracklog" de la ruta por medio de un GPS, este proceso tenía la finalidad de georeferenciar las fotos a los puntos donde estas fueron tomadas.

División de la ruta en segmentos

La ruta se dividió en segmentos que compartieran características similares, esta parte de la investigación se hizo mediante la ayuda del inventario de la Red Vial Nacional del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT, 2013).

El inventario cuenta con información para las secciones de control sobre distintas variables como lo son: ancho de calzada, número de carriles, TPDA, condición del drenaje, tipo de terreno, tipo de alineamiento, tipo de espaldón, tipo de calzada, entre otros.

Sin embargo las secciones de control pueden ser muy extensas y los valores asociados representan el promedio de las condiciones a lo largo del segmento. Para contrarrestar esto cada sección de control se subdividió en tramos de menor longitud, esto se hizo con la ayuda de las fotografías tomadas en campo.

La variable de Tránsito Promedio Diario Anual no venía completa en la base de datos, de manera que fue necesario buscar las estaciones de conteo más cercanas a los tramos de interés.

Como los datos de los choques son de 3 años, fue necesario buscar la tasa de crecimiento para cada segmento para calcular el TPDA correspondiente a los años de 2011 y 2012, esto se hizo mediante la fórmula de valor futuro.

Luego se sumaron los valores del TPDA de los 3 años de estudio para su posterior análisis. Adicionalmente se añadieron 2 variables más, las correspondientes a la señalización horizontal y el número de accesos presentes en el tramo. La señalización horizontal se clasificó en dos categorías: existente o inexistente.

La variable "número de accesos" se dividió entre la longitud del tramo con el objetivo de homogenizarla, por lo que se obtuvo una densidad de accesos por kilómetro.

Determinación de variables a considerar en los modelos

Esta parte del trabajo pretendía identificar los factores que afectan la ocurrencia de choques viales en los tramos e intersecciones. Para los tramos se analizaron las siguientes variables:

- Longitud del tramo
- Ancho de vía
- Ancho de espaldón
- Número de carriles
- Tipo de alineamiento
- Velocidad
- Tipo de terreno
- Tránsito promedio diario anual (TPDA) correspondiente a la suma de los años 2011, 2012 y 2013
- Señalización horizontal
- Densidad de accesos por kilómetro

En cuanto a las intersecciones las variables analizadas fueron las siguientes:

- Tipo de ruta de la vía secundaria
- Geometría de la intersección
- Tipo de zona
- Ángulo de la intersección con respecto a la vía principal
- Carriles en la vía principal.

Determinación de las funciones de desempeño

Después de establecer cuáles variables se iban a analizar en los modelos, se utilizó el programa estadístico R Studio. Este es un programa fácil de manejar, gratuito y además permite hacer regresiones binomiales negativas. Para esto era indispensable cumplir con ciertas condiciones, por lo que se verificó que todos los campos de las variables tuvieran un valor ya que estas no podían quedar vacías.

También fue necesario reclasificar algunas de las variables, por ejemplo se categorizó la variable ancho de espaldón en 3 categorías, la variable ancho de carril en 2 categorías y la variable densidad de accesos en 4 categorías.

Al hacer esta categorización es indispensable tomar una de las categorías como base; para el ancho de espaldón se tomó como base el ancho mayor a 0,90 metros, en el caso de la variable ancho de carril se tomó como base la categoría que va de los 3,30 a 3,60 metros y para la variable de densidad de accesos se tomó como base una densidad de accesos por kilómetro menor a 1.

Se determinaron la cantidad de choques por tramo, se contabilizaron los choques con ilesos, heridos leves, heridos graves y muertos. Se corrieron modelos de choques equivalentes, choques con sólo daños materiales y choques totales. Al tener pocos choques con heridos leves, graves y muertos, estos modelos no convergieron.

Una forma de incluir estas variables en el modelo es calculando los choques equivalentes que consideran todos los tipos de choques según el daño, de manera que se asocia una equivalencia en la cual 1 choque con muertos equivale a varios choques con ilesos, de la misma manera los choques de heridos graves y leves se convierten a choques equivalentes.

Normalmente esta comparación se hace por medio de costos, sin embargo, uno de los problemas es que no hay datos sobre los costos por tipo de choques en Costa Rica, se decidió utilizar las mismas tasas empleadas en el trabajo final de graduación de Esteban Castro (2013), en el cual se definen las siguientes equivalencias:

Cuadro 1.1. Equivalencia de choques a sólo ilesos

Tipo de choque	Equivalencia choques sólo ilesos
Muertos	40
Heridos Graves	12
Heridos Leves	3
Ilesos	1

Fuente: Castro, 2013.

Método de exceso de frecuencia de choques esperado

Una vez determinadas las funciones desempeño se calculó la frecuencia de choques promedio, AAHSTO indica en su metodología que se debe hacer una corrección anual de esta función, sin embargo al trabajarse el TPDA y los choques como la suma de los 3 años no es necesario hacer esa corrección.

Posteriormente se hizo un ajuste por peso utilizando la Ecuación 6, con el objetivo de determinar la confiabilidad de la función encontrada.

Después se procedió a calcular los choques esperados por medio de la Ecuación 7, estos choques serán función de los choques previstos por el modelo y de los observados o reales según la base de datos del COSEVI.

Finalmente se calculó el exceso de frecuencia de choques esperados con ayuda de la Ecuación 8, este paso permitió identificar la diferencia entre los choques esperados y los previstos por el modelo. De esta manera se pueden clasificar los tramos para encontrar cuales son los más críticos.

Escogencia de tramos más críticos

Después de utilizar el método y ajustarlo mediante Bayes empírico, se establecieron los tramos de la Ruta Nacional 2 más críticos, esto se hizo mediante la ayuda del software de información geográfica Arcgis 10.1, pues se categorizaron los tramos por orden de exceso de frecuencia de choques.

Para identificar estos tramos, se ordenaron las frecuencias de mayor a menor para los 3 modelos analizados.

Una vez identificados los tramos e intersecciones que presentaban mayor exceso de frecuencia de choques, se analizaron los tipos de accidentes y sus condiciones específicas. Luego se procedió a identificar las posibles causas de la ocurrencia de choques.

Para el modelo de tramos se eligieron los 14 más críticos, correspondientes al 10% más peligroso. En el caso de las intersecciones se eligieron las 8 con mayor exceso de frecuencia de choques.

Después de establecer los tramos e intersecciones críticas se realizó una gira a campo para observar el comportamiento del tránsito y las características en estos sitios. Se elaboró una ficha con las principales características del sitio y el tipo de accidentes que se presentaron en cada uno. En la Figura 1.2 se muestra un ejemplo de las fichas utilizadas.

En la parte superior de la ficha se indica la fecha en que se realizó la visita, el número del tramo, estos se numeraron de forma consecutiva del número 1 al número 138, en las intersecciones de la I-1 a la I-90. Se muestra además la ubicación del sitio, ya sea el kilómetro en el que ocurre o la dirección usando poblados o lugares.

La ficha indica además si la zona es rural o urbana, así como el tipo de alineamiento según el inventario de la red vial nacional, en este inventario se definen 5 categorías de alineamiento, como se explicará en secciones posteriores.

Se tiene un espacio dedicado a las observaciones donde se hicieron las anotaciones respectivas para cada tramo o intersección. Por último se muestran los tipos de choques presentes en el tramo, así como el tipo de lesión según severidad.



Fecha visita			
Tramo	75	Zona	Rural
Ubicación	km 103	Tipo de alineamiento	Curvas cerradas
Longitud	1060		
Accesos	0		
Observaciones:			
			
Tipo de lesión	Cantidad	Porcentaje	
Accidentes con Muertos	1	2%	
Accidente con Herido grave	5	9%	
Accidente con Herido leve	14	25%	
Accidentes con Ilesos	36	64%	
Total general	56	100%	
Tipo de impacto	Cantidad	Porcentaje	
Lateral en sentido contrario	2	4%	
Ángulo recto	4	7%	
Por detrás	7	13%	
De frente	9	16%	
De Costado	16	29%	
Otro o desconocido	18	32%	
Total general	56	100%	
Tipo accidente	Cantidad	Porcentaje	
Salió de la vía o vuelco	20	36%	
Colisión entre vehículos	36	64%	
Total general	56	100%	

Figura 1.2. Ejemplo de ficha utilizada en la visita a los tramos e intersecciones críticas

Generación de recomendaciones

Después de identificar los tramos más críticos se generaron recomendaciones generales en materia de seguridad vial, dichas recomendaciones abarcan situaciones como señalización horizontal y vertical, ampliación de ancho de espaldón, propuestas de configuración geométrica en algunas intersecciones, reductores de velocidad, entre otros.

Con esto se pretende que el trabajo sirva de insumo para eventuales mejoras en el tramo analizado de esta carretera, las recomendaciones viales emitidas son para los tramos e intersecciones más críticas.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades de la ruta

El tramo analizado en esta investigación corresponde a un segmento de la carretera Interamericana Sur o Ruta Nacional 2, específicamente entre los sectores de San Isidro del Guarco y San Pedro de Pérez Zeledón (límite con el cantón de Buenos Aires de Puntarenas), como su nombre lo indica esta carretera es parte de la Ruta Interamericana que atraviesa parte del continente americano, desde Texas hasta Panamá.

Esta carretera estuvo en construcción durante más de 30 años, iniciando los trabajos en 1941 en la ciudad de Cartago (Obregón, 2005). Una de las particularidades de esta ruta es que atraviesa sectores montañosos.

Para el año de 1945 ya se contaba con una superficie de base y drenaje entre Cartago y Villa Mills, mientras que entre Villa Mills y San Isidro del General el avance era del 95%, sin embargo fue hasta el año de 1973 que finalizó la construcción de esta carretera.

Como la ruta fue construida hace más de 45 años no se cuenta con diseños geométricos. El trazado de esta ruta no ha sufrido grandes variaciones, a excepción de cuando se han presentado derrumbes en algunos puntos.

Debido a que la ruta se construyó hace casi medio siglo, es probable que no se tomaran en cuenta consideraciones de seguridad vial para su diseño. Esta investigación pretende identificar esas deficiencias y proponer soluciones para los tramos considerados como críticos.

2.2. Antecedentes de los choques viales

Los choques viales son una de las principales causas de muerte a nivel mundial, por ejemplo en el año 2012 en Estados Unidos la cantidad de muertes fue superior a las 33.000 (Luchemos.org.ar, 2014).

En nuestro país según datos del COSEVI se presentaron 676 muertes en el 2014. Revisando otras estadísticas se encuentra que este número no ha sido inferior a las 585 muertes desde

el año 2003. La clasificación de los accidentes de tránsito por tipo de colisión permite entender que puede estar generando el choque. Estos pueden clasificarse de la siguiente manera (Hernando, 1999):

- Choques frontales: Como su nombre lo indica se produce cuando dos vehículos chocan de forma frontal ocasionando que los ocupantes del vehículo se desplacen hacia adelante por un efecto de inercia, en este tipo de accidentes las lesiones más comunes son: fracturas en rótulas, piernas, lesiones cervicales.
- Choques Laterales: se producen por la colisión de lado de uno de los vehículos impulsando al otro lejos del punto de impacto, en este tipo de choques las lesiones suelen ser más peligrosas que en una frontal.
- Colisiones por detrás: se producen cuando un vehículo impacta por la parte trasera a otro, ya sea porque no llevaba la suficiente distancia y el delantero frenó de forma súbita dándole poco margen de reacción.
- Vuelco: se produce cuando un vehículo pierde el control y sale de la vía.
- Atropello: se refiere a la colisión contra un peatón.
- Atropello a ciclista: se producen cuando un vehículo colisiona a un ciclista.

Estas clasificaciones serán de importancia cuando se analicen los tramos e intersecciones críticas, pues analizando el tipo de colisión y las características del sitio es posible identificar los factores que están generando estos accidentes.

Como ya se mencionó son diferentes los factores que inciden en la ocurrencia de accidentes de tránsito, estas se pueden clasificar según lo mostrado en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Factores que inciden en los accidentes de tránsito

Tipo	Ejemplos
Factor Humano	Estado de ebriedad, fatiga, sueño, ingestión de medicamentos, etc.
Factor Vehículo	Defectos de funcionamientos, antigüedad del vehículo.
Factor Climatológico	Neblina, humedad, derrumbes, zonas inestables
Factor Carretera	Estado del pavimento, intersecciones, señalización, sección transversal.

Fuente: CNS, 2013

Como se aprecia en el cuadro anterior un factor es el de la carretera, este es particularmente importante, pues es uno de los puntos de análisis de este trabajo de investigación. Para entenderlo bien es necesario estar familiarizado con los componentes de la carretera.

En el manual de diseño geométrico de AASHTO se definen algunas de las características de una carretera como lo son:

- Pavimento: estructura compuesta de diferentes capas que sirve de soporte o superficie de ruedo a los vehículos.
- Peralte: inclinación transversal de la vía en los tramos curvos para contrarrestar las fuerzas centrífugas. En el Manual Centroamericano de Diseño se definen los siguientes valores de sobreelevación:

Cuadro 2.2. Sobreelevación según el tipo de carretera

Tasa de sobreelevación e (%)	Tipo de carretera
10	Rural o Montañosa
8	Rural Plana
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: SIECA, 2004.

- Sección transversal: corte de la carretera perpendicular a la dirección de la misma. En la siguiente figura se muestra la sección trasversal típica de una carretera

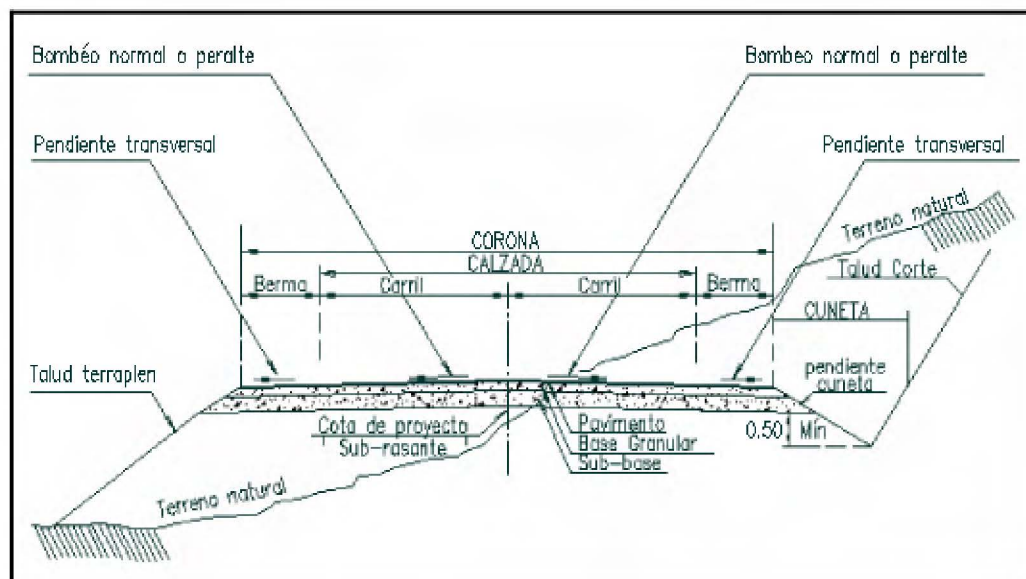


Figura 2.1. Sección transversal de una carretera

Fuente: SIECA, 2011.

- Tramo: distancia comprendida entre dos secciones transversales.
- Carril: parte de la carretera destinada al tránsito de vehículos en una fila.
- Cunetas: zanjas construidas para ayudar a drenar la carretera.
- Curva horizontal: trayectoria que une dos tangentes horizontales consecutivas.
- Curva vertical: trayectoria que une dos pendientes determinadas.
- Señalización: elementos que sirven de prevención, ayuda o información al usuario.
- Velocidad de diseño: velocidad que permite definir las características geométricas de un tramo en particular.

2.3. Métodos de estimación de choques

Para analizar la ocurrencia de los choques viales debe considerarse que la ocurrencia de accidentes tiene un componente aleatorio, de modo que para realizar este análisis será

necesario utilizar métodos probabilísticos. A continuación se describe el método de exceso de frecuencia de choques esperado así como el ajuste con Bayes empírico.

Se eligió el método de exceso de frecuencia de choques esperado porque es un método preciso, confiable y que toma en cuenta la disponibilidad de datos, el sesgo de regresión a la media y el umbral de desempeño (AASHTO, 2010).

Como las frecuencias de choques varían a lo largo del tiempo, es decir estas pueden ser más altas o más bajas sin que se implementen medidas de seguridad vial. De modo que para un mismo tramo puede suceder que las frecuencias de choque sean altas en un año y al siguiente estas bajen acercándose más a la media, este fenómeno se conoce como sesgo de regresión a la media (Everitt, B. & Skron dall, 2010).

El ajuste de Bayes empírico considera estas variaciones, de manera que la tasa de valores observados no tiene el sesgo de regresión a la media. La diferencia entre el valor ajustado y el obtenido por la función de desempeño es el exceso de frecuencia de choques buscado.

Para determinar la función de desempeño se siguió el procedimiento expuesto en el Manual de Seguridad de Carreteras (AASHTO, 2010). Lo que se busca el procedimiento es relacionar la suma de choques totales con las variables de los tramos e intersecciones.

El análisis se hizo mediante una regresión binomial negativa en el programa R-Studio, se eligió este modelo porque representa de manera adecuada la ocurrencia de choques viales (Lord, D. & Mannering, F., 2010). El modelo binomial negativo puede describirse como una distribución de Poisson con media λ , a continuación se muestra la ecuación que la describe:

$$\ln \lambda_i = X_i \beta + \varepsilon_i \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde ε_i es el error, X el vector de covariables y β el vector de coeficientes.

La distribución de probabilidad marginal utilizada es de la forma:

$$Pr(z) = \int_0^{\infty} \frac{e^{-\lambda} * \lambda^z}{z!} * \frac{\beta^u * \lambda^{u-1} * e^{-\lambda * \beta}}{\Gamma(u)} d\lambda = \frac{\Gamma(z+u)}{z! \Gamma(u)} \left(\frac{\beta}{\beta+1} \right)^u * \left(1 - \frac{\beta}{\beta+1} \right)^z; z = 0, 1, 2, \dots \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

Γ : Es la función gamma

(u, z) : Son parámetros aleatorios de la variable gamma

Después de utilizar varias variables y correr diferentes modelos para los tramos se determinó la siguiente ecuación de choques previstos:

$$\ln(\text{choques}) = \beta_0 + \beta_1 * 3 \text{ carriles} + \beta_2 * 4,5 \text{ carriles} + \beta_3 * \frac{\text{accesos}}{\text{km}} + \ln(\text{longitud}) \quad \text{Ecuación 3}$$

Despejando para obtener los choques previstos se obtiene la siguiente ecuación:

$$N_{prev} = e^{\beta_0} * e^{(\beta_1 * 3 \text{ carriles})} * e^{(\beta_2 * 4,5 \text{ carriles})} * e^{(\beta_3 * \frac{\text{accesos}}{\text{km}})} * \text{Longitud} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

N_{prev} : Choques previstos

β_0 : Constante del modelo

β_1, β_2 : Constantes que dependen del número de carriles del tramo.

(Si el segmento tiene 2 carriles estas variables son cero)

β_3 : Constante de densidad de accesos

Longitud : longitud del tramo

Adicionalmente se elaboró un modelo de choques de intersección, como es de esperar las variables que intervienen en estos choques son diferentes a los de tramos. Para el modelo de intersecciones se obtuvo la siguiente ecuación:

$$N_{prev} = e^{\beta_0} * e^{(\beta_1, \beta_2)} * e^{(\beta_3)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

N_{prev} : Choques previstos

β_0 : Constante del modelo

β_1, β_2 : Constantes que dependen del número de carriles en la vía principal.

β_3 : Constante que depende del tipo de ruta secundaria: primaria, terciaria, cantonal

Según establece la AASHTO a los modelos hay que realizarles una corrección anual y otra por peso. La corrección anual no se realizó pues se está trabajando con la suma del TPDA y de los choques totales.

La corrección por peso indica qué tan confiable es la función de desempeño, este factor se llama peso de Bayes empírico y se calcula con la Ecuación 6:

$$w = \frac{1}{1 + k(N_{prev})} \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

k : parámetro de sobredispersión

N_{prev} : choques promedio previstos

Después de calcular los choques previstos se obtiene un promedio ponderado de los choques obtenidos con el método y los que ocurrieron en los 3 años analizados. Esto se hace utilizando la siguiente ecuación:

$$N_{esperados} = w * N_{prev} + (1 - w)N_{reales} \quad \text{Ecuación 7}$$

Finalmente se determina el exceso de frecuencia de choques esperado por medio de la Ecuación 8:

$$\Delta = N_{esperados} - N_{prev} \quad \text{Ecuación 8}$$

Determinar el exceso de frecuencia de choques esperado permite clasificar los tramos y por consiguiente definir cuáles son los más críticos, con el objetivo de emitir recomendaciones que ayuden a disminuir la ocurrencia o severidad de los accidentes.

2.4. Medidas de seguridad vial

2.4.1. Generalidades

Después de identificar los tramos de concentración de choques viales se propusieron medidas correctivas en materia de seguridad vial. Para esto se tomaron en cuenta las especificaciones del Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito en su edición de 2014.

Dicho manual es elaborado por el SIECA y en él se establecen los requerimientos básicos para cada tipo de señalización. Además se dan las siguientes recomendaciones para colocar cualquier dispositivo de control:

- **Diseño:** debe funcionar de tal manera que sus colores, formas, visibilidad llame la atención de los usuarios.
- **Localización:** la ubicación del dispositivo debe ser la adecuada, de manera que llame la atención del usuario, esté dentro de su campo visual y permita una lectura tomando en cuenta la velocidad a la que viaja el vehículo.
- **Operación:** se refiere a que los dispositivos deben ser colocados según las demandas y necesidades de un sitio dado.
- **Uniformidad:** significa que una misma señal debe ser uniforme con el objetivo de facilitar el entendimiento de la misma de parte de los usuarios.
- **Mantenimiento:** el mantenimiento debe ser constante, de modo que el dispositivo siempre esté luminoso, visible, etc.

El SIECA (2014) establece también una clasificación de las señales de tránsito según su colocación, por lo que son agrupadas en dos grandes grupos:

1. Señales verticales: como su nombre lo indica son por lo general placas fijadas en postes que se ubican en la vía o adyacentes a la misma y que mediante símbolos o textos pretenden advertir a los usuarios sobre algún peligro o informarlo sobre alguna situación en particular.

Dentro de estas señales podemos encontrar subdivisiones o clasificaciones de acuerdo a la información que brindan, en este caso estas pueden clasificarse en señales de:

- Reglamentación: pueden indicar prioridad de paso, prohibición de paso, restricción en el uso de la vía.
 - Prevención: advierten al conductor de un peligro potencial en la vía.
 - Información: guían al conductor sobre la ubicación o distancias de lugares, servicios, puntos de interés, etc.
2. Señales horizontales: Este tipo de demarcación está compuesta por líneas, flechas, palabras y símbolos que se pintan sobre el pavimento o sus márgenes. Estas señales se clasifican según su uso en:

2.1. Demarcación de pavimentos

- Líneas de centro
- Líneas de carril
- Líneas de barrera
- Líneas de borde de pavimento
- Transiciones en el ancho del pavimento
- Líneas de canalización
- Aproximaciones a obstáculos
- Marcas de giros
- Líneas de parada
- Pasos para peatones

- Aproximaciones a pasos a nivel con vías férreas
- Zonas de estacionamiento
- Palabras y símbolos sobre el pavimento
- Marcas para regular el uso de la vía
- Otros dispositivos y marcas auxiliares

2.2. Demarcaciones para indicar restricción de estacionamiento

- Línea de borde amarilla
- Línea de borde roja
- Línea de borde verde
- Línea de borde azul

2.4.2. Señales y mecanismos propuestos en algunas de las soluciones

Debido a la gran variedad de señales y mecanismos que se utilizan para el control del tránsito se explican con más detalle algunos de los que se proponen en las soluciones para los tramos críticos.

Captaluces o vialetas

Un tipo de señalización horizontal de demarcación son los captaluces o vialetas, estos dispositivos se colocan en el centro y en los bordes de la calle para mejorar la visibilidad. Cuando se tienen condiciones adversas del clima, como es el caso de la Ruta Nacional 2 es indispensable su colocación.

La principal función de estos dispositivos es complementar la señalización horizontal existente, se usan en la línea central para vías de 2 sentidos, en líneas de carriles para vías en el mismo sentido, así como en los bordes de la calle.



Figura 2.2. Tipos de captaluz

Fuente: SIECA, 2014.

La separación de estos elementos varía de acuerdo al tipo de marca, es decir si esta es una línea de borde, una línea de centro o un lugar de transición. En el siguiente cuadro se especifican las distancias para colocar estos dispositivos:

Cuadro 2.3. Ubicación de las vialetas o Captaluz

Tipo de marca	Ubicación	Cara reflectiva
Líneas de borde de pavimento	Cada 6,0 m	Monodireccional
Líneas de transición en el ancho del pavimento	Cada 8,0 m	Monodireccional o bidireccional
Líneas de aproximación a obstrucciones centrales con tránsito en un solo sentido	Cada 6,0 m	Monodireccional
Líneas de aproximación a obstrucciones centrales con tránsito en ambos sentidos	Cada 6,0 m	Bidireccional
Líneas para carriles de contraflujo	Cada 3,0 m	Bidireccional

Fuente: SIECA, 2014.

Líneas reductoras de velocidad

El Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito indica que se pueden usar los siguientes tipos de reductores de velocidad:

- Rayas logarítmicas: producen una ilusión óptica al conductor que provoca que disminuya su velocidad: Se colocarán en forma transversal al eje de la carretera y sólo deben abarcar el carril de circulación respectivo; serán siempre de color blanco reflejante de 0.60 m de anchura, pintadas o adheridas al pavimento.

El uso de estas líneas se recomienda en vías rurales o como complemento de otros reductores de velocidad. En la Figura 2.3 se muestra un ejemplo.

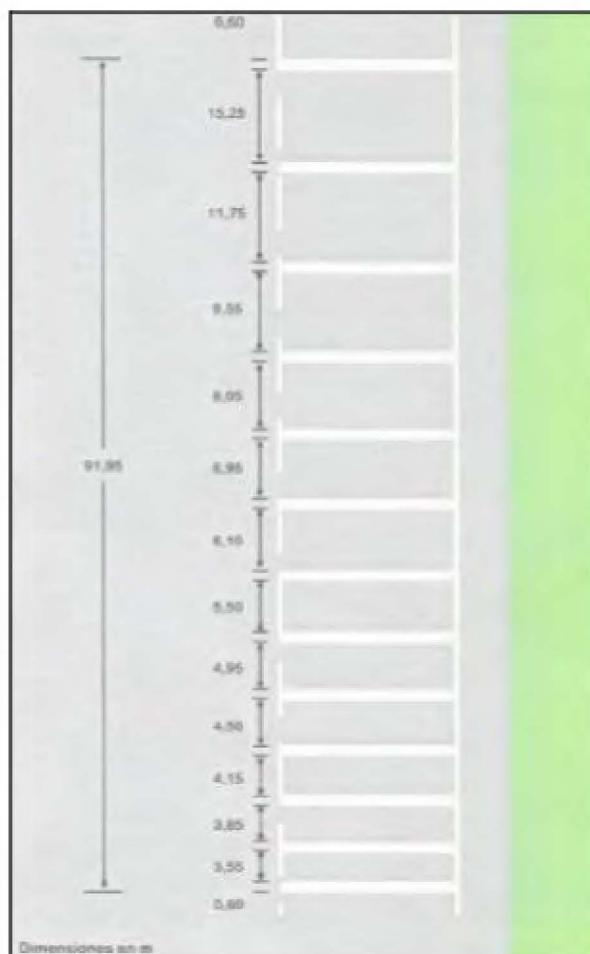


Figura 2.3. Líneas logarítmicas reductoras de velocidad

Fuente: SIECA, 2014

- Rayas alertadoras: grupos de franjas transversales que se colocan en la carretera y producen un efecto vibratorio que alerta a los conductores.

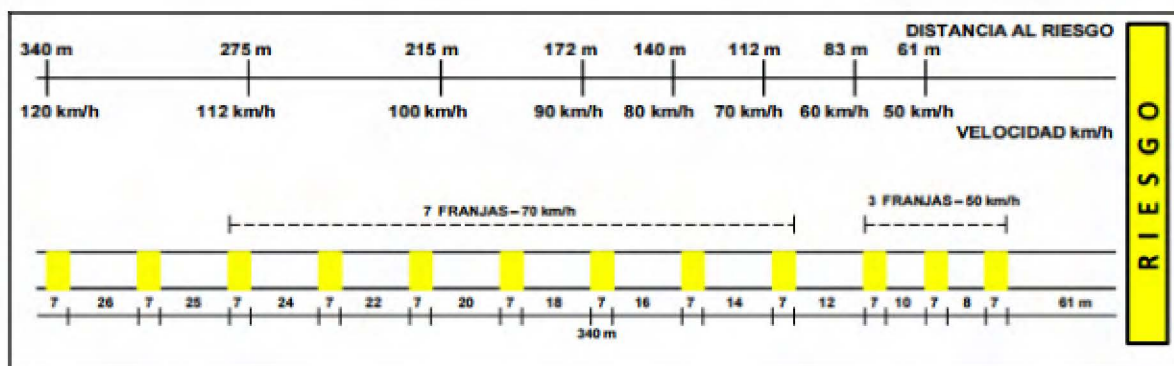


Figura 2.4. Grupos de rayas alertadoras

Fuente: SIECA, 2014

Algunos de los criterios para colocar estas bandas son los siguientes:

- Las bandas alertadoras deben instalarse en series de grupos para que sean más eficientes. El número de grupos dependerá de las características de la ruta, el SIECA recomienda que se deje un espacio irregular entre grupos, para ayudar a romper el patrón de ruidos generados de manera que no genere tantas molestias en los vecinos cercanos al sitio.
- Cada banda debe tener al menos diez franjas para que produzca un efecto notorio. No es apropiado instalar las franjas en forma individual.
- El espacio entre las franjas individuales será de 0.40 m para vías con velocidades menores a 65 km/h. En vías con velocidades mayores se recomienda dejar 0.50 m. entre las bandas individuales.
- Se sugiere como regla general una distancia de 50 m desde la primera banda hasta donde está la zona de riesgo.

Sistemas de contención

En el tramo montañoso de la ruta analizada muchos de los choques son ocasionados por salidas de vía, de manera que se hace indispensable conocer mejor los sistemas de contención que existen en la actualidad.

En el Manual SCV. Guía para el análisis y diseño de seguridad vial (Valverde, 2011) se define que un sistema de contención es un dispositivo que se instala en las márgenes de la carretera con la finalidad de retener y redireccionar los vehículos que se salen de la vía, limitando los daños y lesiones.

En ese sentido los sistemas de contención no disminuyen la cantidad de choques pero si disminuyen la gravedad del mismo. Las salidas de vía se pueden producir por diferentes motivos, en el Manual SCV mencionan los siguientes:

- Demarcación deficiente
- Mala condición del pavimento
- Falta de iluminación
- Maniobras inseguras
- Exceso de velocidad
- Cansancio, fatiga, etc.
- Malas condiciones del clima

Estos sistemas de contención pueden ser de varios tipos, clasificándose según su función y ubicación:

- Barreras de seguridad
- Atenuador de impacto
- Pretil de puente
- Terminal de barrera
- Lechos de frenado

En este manual también se definen técnicas o estrategias para cumplir ciertos objetivos, ya sea evitar que los vehículos se salgan de la vía o reducir la severidad de un accidente, a continuación se detallan las principales estrategias:

Cuadro 2.4. Estrategias aplicables según el objetivo

Medida	Estrategia
Evitar salidas de vía	Instalar bandas sonoras, ensanchar carriles, darle mantenimiento al pavimento, ampliar el espaldón.
Minimizar probabilidad de colisión con un objeto fijo	Implementar elementos traspasables y seguros, remover obstáculos peligrosos,
Reducir severidad del accidente	Disponer de sistemas de contención vehicular, postes fusibles o quebradizos.

Fuente: Valverde, 2011.

CAPÍTULO 3

3. ESTADÍSTICAS DE LOS CHOQUES VIALES

3.1. Estadísticas de las boletas de los choques viales

La base de datos de los choques viales fue suministrada por el Consejo de Seguridad Vial COSEVI, esta contiene información de los años 2011, 2012 y 2013. Para este análisis se realizó un filtro con el objetivo de verificar aquellos choques que si estaban sobre la Ruta Nacional 2.

Se determinó que en la Ruta Nacional 2 se presentaron 3770 boletas (las boletas están dadas por los implicados en el accidente), en el Cuadro 3.1 se aprecia con más detalle el tipo de lesión para cada uno de los implicados.

Cuadro 3.1. Tipo de lesión por total de personas involucradas

Tipo de lesión	Cantidad	Porcentaje
Lesión ignorada o ilesos	3061	81,2%
Herido leve	568	15,1%
Herido grave	126	3,3%
Muerte	15	0,4%
Total general	3770	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

De las 3770 boletas que se tienen, 3061 corresponden a solo daños materiales, es decir los involucrados no resultaron heridos, en 568 de los casos se presentaron heridos leves, en 126 boletas se reportaron heridos graves y en 15 se presentaron muertes.

Se analizó también las boletas por año de estudio, en este caso se tienen cantidades similares para los tres años, siendo el año 2012 donde hay más boletas reportadas como se muestra en el Cuadro 3.2

Cuadro 3.2. Personas involucradas por año de estudio

Año	Cantidad	Porcentaje
2011	1195	31,7%
2012	1281	34,0%
2013	1294	34,3%
Total general	3770	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

También se determinaron las estadísticas del rol de las personas involucradas, para esto se hace referencia al Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3. Rol de la persona involucrada

Rol de la persona	Cantidad	Porcentaje
Conductor	3099	82,2%
Pasajero Carro	395	10,5%
Motociclista	120	3,2%
Peatón	62	1,6%
Dueño de Propiedad	22	0,6%
Pasajero Moto	21	0,6%
Ciclista	27	0,7%
Otro	16	0,4%
Pasajero Bus	5	0,1%
Pasajero Bicicleta	3	0,1%
Total general	3770	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

Como es de esperar la mayoría de los implicados en los choques son los conductores con el 82%, seguido de los pasajeros del carro o acompañantes (10,5%), en tercer lugar tenemos los motociclistas con 3% del total de boletas.

Analizando las personas involucradas por tipo de vehículo tenemos que en el 35% de las boletas esta información no se menciona. Es preocupante que este valor sea tan alto, pues, implica que no se está llenando adecuadamente la información de los partes de tránsito. En el Cuadro 3.4 se detalla la cantidad de personas involucradas según el tipo de vehículo.

Cuadro 3.4. Cantidad de personas involucradas por tipo de vehículo

Tipo de vehículo	Cantidad	Porcentaje
Otros	1318	35,0%
Automóvil	1384	36,7%
Pick up	383	10,2%
Motocicleta	287	7,6%
Camión	112	3,0%
Cabezal con remolque	87	2,3%

Tipo de vehículo	Cantidad	Porcentaje
Autobús	75	2,0%
Microbús	56	1,5%
Cabecal sin remolque	14	0,4%
Taxi	26	0,7%
Vagoneta	12	0,3%
Ambulancia	7	0,2%
Vehículo con remolque	4	0,1%
Cisterna	3	0,1%
Grúa	2	0,1%
Total general	3770	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

3.2. Estadísticas de los choques viales clasificados por gravedad de lesión

Se contabilizaron un total de 1799 choques viales después de clasificar las boletas según el herido de mayor gravedad. A continuación se presentan las estadísticas de los choques analizados.

3.2.1. Tipo de lesión

Como su nombre lo indica esta variable define la gravedad del accidente, para el análisis de los tramos de concentración de choques se analizaron los implicados de mayor gravedad en cada accidente.

En esta variable se tienen 4 categorías, la primera corresponde a los accidentes en que no se reportaron heridos, la segunda a los accidentes con heridos leves, la tercera a heridos graves y la cuarta categoría a accidentes con muertos (Ver Cuadro 3.5).

Cuadro 3.5. Tipo de lesión por total de choques

Tipo de accidente	Cantidad	Porcentaje
Accidente con lesión ignorada o ilesos	1358	75,5%
Accidente con heridos leves	331	18,4%
Accidentes con heridos graves	97	5,4%
Accidentes con muertos	13	0,7%
Total general	1799	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

Para el total de choques se presentaron 13 accidentes con muertes (0,7%), es decir en un mismo accidente se presentaron 2 o más muertes, 331 con heridos leves (18%), 97 con heridos graves y en un 75% de los accidentes no se reportaron heridos.

3.2.2. Año

Se determinó la cantidad de accidentes presentes en cada año de estudio, en el Cuadro 3.6 se presentan los resultados.

Cuadro 3.6. Choques por año de estudio

Año	Cantidad	Porcentaje
2011	570	32%
2012	604	34%
2013	625	35%
Total general	1799	100%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

De esta revisión se determinó que hay una cantidad de datos similar para cada uno de los tres años de análisis, siendo el año con mayor cantidad de choques el 2013, cabe aclarar que esto no necesariamente indica que aumentaron los choques para este año, si no que se contaba con una mejor descripción en la ubicación de los mismos.

3.2.3. Distrito

Para la variable de distritos se determinó que la mayoría de los accidentes ocurrieron en San Isidro del General. Para observar estos datos con mayor claridad se hace referencia al Cuadro 3.7.

Cuadro 3.7. Cantidad de accidentes por distrito para la ruta Nacional 2

Distrito	Cantidad	Porcentaje
San Isidro del General	769	42,7%
Daniel Flores	446	24,8%
Páramo	258	14,3%
El Tejar	205	11,4%
Cajón	62	3,4%
San Pedro	24	1,3%
Rivas	13	0,7%
Jardín	3	0,2%
San Cristóbal	6	0,3%
Orosi	6	0,3%
Copey	7	0,4%
Total general	1799	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

Como se puede observar en el Cuadro 3.7, hay 4 distritos donde se concentran la mayor cantidad de choques, estos son los distritos de Daniel Flores, Tejar, Páramo y San Isidro del General, este último con un 43% es el que presenta mayor cantidad de accidentes.

Es evidente que la zona urbana del cantón de Pérez Zeledón concentra gran cantidad de choques, de hecho si se suman los distritos de Daniel Flores y San Isidro del General se tiene que más del 67% de los choques ocurridos, se presentaron en esta zona.

3.2.4. Sexo

Otro de los aspectos a tener en cuenta es el sexo de las personas involucradas, para observar estos datos se hace referencia al Cuadro 3.8.

Cuadro 3.8. Sexo de los involucrados en los choques viales

Sexo	Cantidad	Porcentaje
Masculino	1331	74,0%
Femenino	195	10,8%
Desconocido	273	15,2%
Total general	1799	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

Si hacemos la división por sexo, tenemos que la mayoría de los involucrados corresponden a hombres con aproximadamente el 74% del total, seguido de aquellos partes en los que no se anotó el sexo del involucrado (15%), en último lugar tenemos que apenas el 11% corresponden a mujeres.

Los rangos de edades se desestimaron pues la gran mayoría de los choques no cuentan con esta información. Como observación sería importante que los oficiales de tránsito completaran toda la información de los partes, esto con el objetivo de tener bases de datos más completas.

3.2.5. Día de la semana

Se identificó cuales días de la semana tenían una mayor concentración de choques, en el Cuadro 3.9 se muestran los datos para cada día de la semana.

Cuadro 3.9. Cantidad de accidentes según el día

Día de la semana	Cantidad	Porcentaje
Domingo	230	12,8%
Lunes	295	16,4%
Martes	228	12,7%
Miércoles	231	12,8%
Jueves	238	13,2%
Viernes	296	16,5%
Sábado	281	15,6%
Total general	1799	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

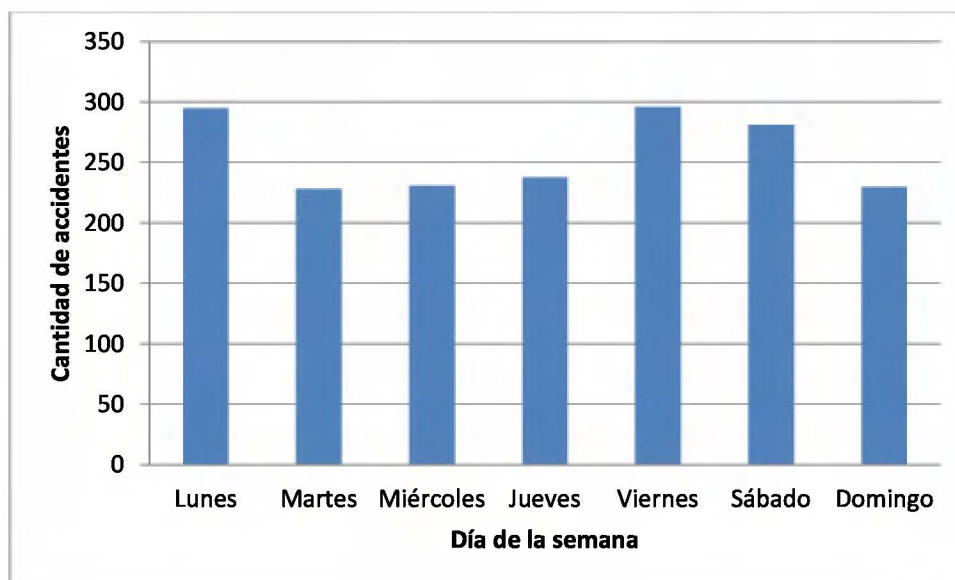


Figura 3.1. Accidentes por día de la semana

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

Los días que presentaron un mayor número de accidentes son el lunes y el viernes, coincidiendo con los días en que más gente viaja por la Ruta Nacional 2. Se determinó también la cantidad de accidentes según el mes (Ver Cuadro 3.10).

Cuadro 3.10. Cantidad de choques por mes

Mes	Cantidad	Porcentaje
Enero	129	7,2%
Febrero	156	8,7%
Marzo	159	8,8%
Abril	186	10,3%
Mayo	141	7,8%
Junio	136	7,6%
Julio	114	6,3%
Agosto	167	9,3%
Setiembre	152	8,4%
Octubre	140	7,8%
Noviembre	146	8,1%
Diciembre	173	9,6%
Total general	1799	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

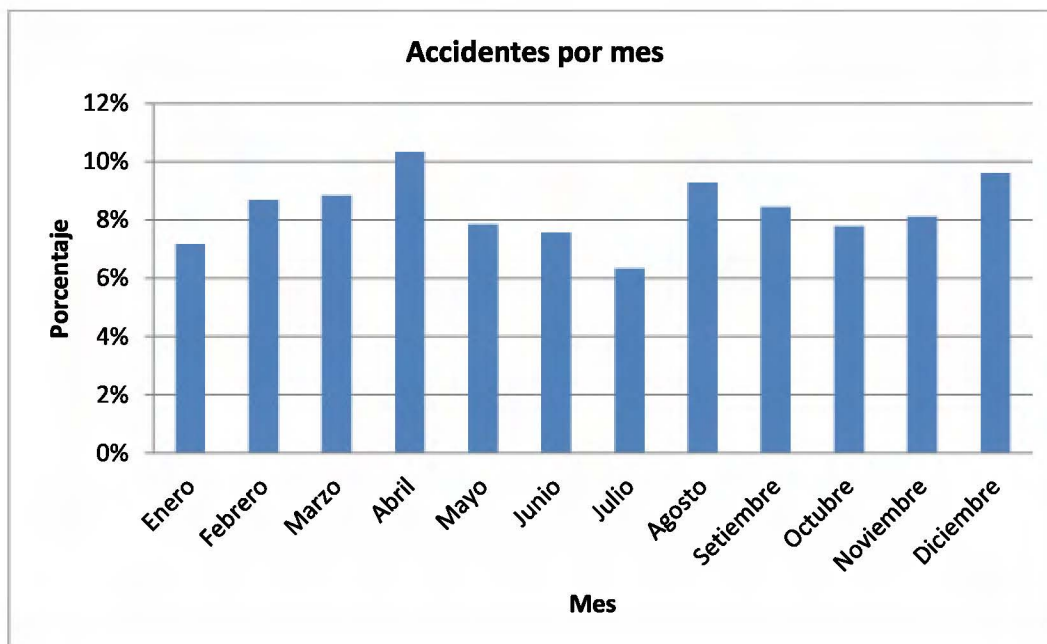


Figura 3.2. Accidentes por mes del año

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

Este dato se complementó al buscar las horas del día en la que había más accidentes, para lo que se graficó el número de choques para cada hora, como se muestra en la Figura 3.3.

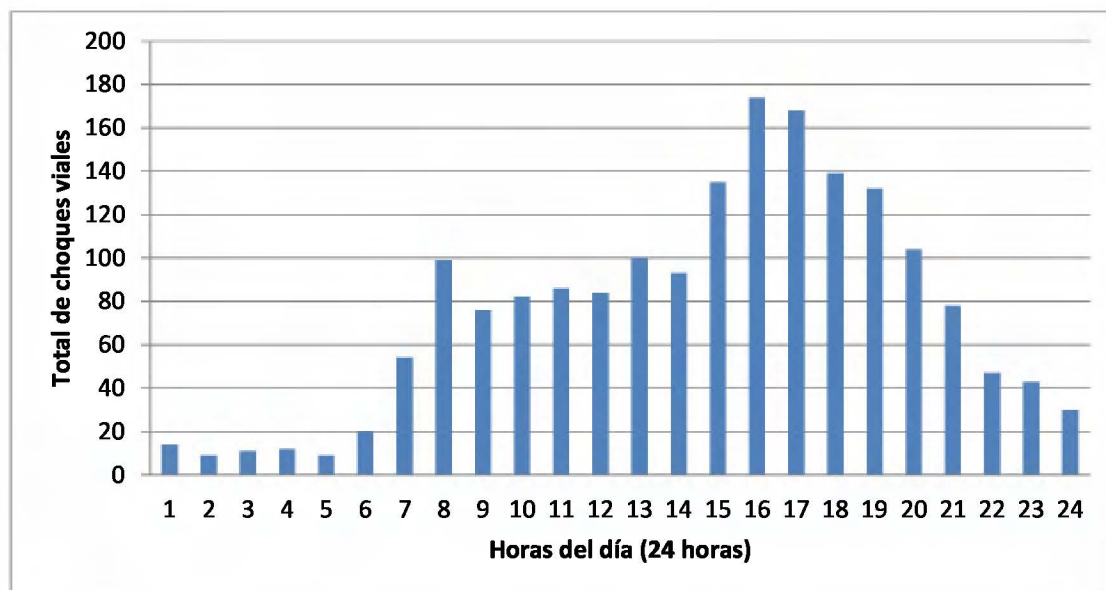


Figura 3.3. Accidentes por hora del día.

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

En la figura anterior se observa que la mayor parte de los choques se presentan durante la tarde, siendo más evidente esto después de las 2 p.m. y alcanzando un máximo a las 4 p.m. La cantidad de choques en la madrugada es baja, ocasionado sobre todo por el poco tráfico que circula por la ruta a estas horas.

3.2.6. Tipo de accidente

También se hizo la división por tipo de accidente, esta variable indica cómo fue el accidente, es decir si fue un choque entre vehículos, atropello, vuelco o salida de la vía, entre otros. A continuación se muestran los resultados.

Cuadro 3.11. Tipo de accidente

Tipo de accidente	Cantidad	Porcentaje
Colisión entre vehículos	1409	78,3%
Salió de la vía, vuelco	257	14,3%
Atropello a persona	51	2,8%
No especificado	39	2,2%
Colisión con bicicleta	29	1,6%
Atropello a animal	8	0,4%
Objeto sobre vehículo	3	0,2%
Caída de algún ocupante	3	0,2%
Total general	1799	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

Del cuadro anterior se aprecia que el 78% de los accidentes presentados en los 3 años de estudio fueron colisiones entre vehículos, seguido de vuelcos o salidas de la vía con un 14%. En tercera posición se ubican los atropellos con 2,8%.

Llaman particularmente la atención que en 3 casos se produjo la caída de algún ocupante del vehículo, así como 8 atropellos a algún animal.

3.2.7. Rol de la persona

Si clasificamos los choques por el rol de la persona tenemos que un 85% de los casos estos eran los que conducían al momento del percance, seguido de 6,5% que eran pasajeros del carro, en tercera posición se ubican los motociclistas con un 4,4%.

Cuadro 3.12. Rol del herido de mayor gravedad

Rol de la persona	Cantidad	Porcentaje
Conductor	1537	85,4%
Pasajero Carro	117	6,5%
Motociclista	79	4,4%
Peatón	35	1,9%
Ciclista	15	0,8%
Pasajero Moto	6	0,3%
Pasajero Bicicleta	2	0,1%
Dueño de Propiedad	2	0,1%
Otro	6	0,3%
Total general	1799	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

3.2.8. Tipo de impacto

Si analizamos los choques por tipo de impacto tenemos que la mayoría de los choques que se presentaron colisiones de costado con 528, seguido de colisiones por detrás con 422, en tercer lugar tenemos el choque en ángulo recto con un total de 289.

Cuadro 3.13. Cantidad de accidentes según el tipo de impacto.

Tipo de impacto	Cantidad	Porcentaje
De Costado	528	29,3%
Por detrás	422	23,5%
Ángulo recto	289	16,1%
Otro o desconocido	246	13,7%
De frente	219	12,2%
Lateral en sentido contrario	42	2,3%
Lateral igual sentido	42	2,3%
Objeto Fijo	11	0,6%
Total general	1799	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

Vehículo relacionado

En los 1799 choques viales intervinieron 3230 vehículos, a continuación se detalla el tipo de vehículo. En cuanto al tipo de vehículo se tiene que el 62% eran automóviles o vehículos livianos, llama especialmente la atención que en muchos de los casos no se cuenta con la información correspondiente a esta variable.

Cuadro 3.14. Vehículo relacionado

Tipo vehículo	Cantidad	Porcentaje
Automóvil	1313	40,7%
Pick up	343	10,6%
Motocicleta	258	8,0%
Camión	107	3,3%
Cabezal con remolque	81	2,5%
Autobús	62	1,9%
Microbús	35	1,1%
Cabezal sin remolque	14	0,4%
Taxi	26	0,8%
Vagoneta	11	0,3%
Ambulancia	7	0,2%
Vehículo con remolque	4	0,1%
Cisterna	3	0,1%
Grúa	2	0,1%
Sin información	964	29,8%
Total general	3230	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

3.2.9. Estado del tiempo

Otro aspecto importante son las condiciones del tiempo, es decir el estado reportado en el momento del accidente. En el Cuadro 3.15 se detallan los accidentes según el estado del tiempo.

Cuadro 3.15. Cantidad de accidentes según estado del tiempo

Estado del tiempo	Cantidad de accidentes	Porcentaje
Buen tiempo	1142	63,0%
Lluvia escasa	201	11,2%
Oscuro	139	7,7%
Lluvia mediana	152	8,4%
Lluvia intensa	68	3,8%
Otro	41	2,3%
Neblina intensa	18	1,0%
Neblina escasa	26	1,4%
Neblina media	12	0,7%
Total general	1799	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

Del Cuadro 3.15 se observa que en un 63% de los casos había buen tiempo, por lo que no fue un factor que influyera en el accidente, seguido de los casos dónde había lluvia escasa, en tercer lugar con un 8% se presentaba lluvia media.

Para los tramos que se identifiquen como peligrosos se analizarán las condiciones del tiempo al momento del accidente, esto con el objetivo de estudiar si las condiciones en los mismos son adversas.

3.2.10. Tipo de calzada (vertical)

Esta variable indica si en el lugar donde ocurrió el accidente era plano o con pendiente, en 50% de los casos se tiene que la calzada era plana, seguida de un 31% de casos en que existía pendiente, en tercer lugar se ubican los choques que no mencionan esta variable con un 19% del total.

Cuadro 3.16. Tipo de calzada (vertical)

Tipo de calzada (vertical)	Cantidad	Porcentaje
Plano	892	50%
Pendiente	566	31%
Desconocida	341	19%
Total general	1799	100%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

3.2.11. Tipo de calzada (horizontal)

El tipo de calzada horizontal indica si el accidente se dio en una recta, en una curva o en un cruce. En este caso la mayoría de los accidentes ocurrieron en rectas (42%), seguidas de los accidentes en curvas (24%), en tercer lugar el 18% de los accidentes se presentaron en un cruce, sin embargo al revisar la variable de tipo de intersección se encontró que había más accidentes de intersección.

Cuadro 3.17. Tipo de calzada (horizontal)

Tipo de calzada (horizontal)	Cantidad	Porcentaje
Recta	760	42%
Curva	424	24%
Cruce	321	18%
Desconocida	294	16%
Total general	1799	100%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

3.2.12. Tipo de intersección

Otro aspecto a tener en cuenta es el tipo de intersección (en caso de que exista), donde se dio el evento, esta variable fue de mucha utilidad pues permitió separar los choques de segmento y los choques de intersección (Ver Cuadro 3.18). Se determinó que 1376 de los choques no son de intersección y 426 si corresponden a esta condición.

Cuadro 3.18. Tipo de intersección

Tipo de intersección	Cantidad	Porcentaje
Ninguna	1376	76,5%
Tipo T	223	12,4%
Tipo +	115	6,4%
Entrada/carretera privada	50	2,8%
Tipo Y	26	1,4%
Entrando a rampa	3	0,2%
Saliendo de rampa	6	0,3%
Total general	1799	100,0%

Fuente: Base de datos COSEVI (2011-2013)

CAPÍTULO 4

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAMOS HOMOGÉNEOS

Se hizo una división de la ruta en tramos homogéneos, para esto se tomaron los datos del anuario de información de tránsito del año 2013 del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Originalmente se tenían 13 tramos según la división del MOPT, sin embargo estos eran muy amplios, por lo que se decidió subdividirlos en tramos más pequeños.

Esta división se hizo con la ayuda de las fotografías tomadas en campo a lo largo de la ruta, de manera que se revisaban las condiciones mediante la fotografía, para comprobar el número de carriles, accesos, si existía o no señalización, la existencia de espaldones o no, etc.

Después de la revisión quedaron 138 tramos, a continuación se detallan las variables analizadas.

4.1.1. Clima

Un aspecto muy importante en la Ruta Nacional 2 son las condiciones climáticas, al ser una carretera tan extensa esta atraviesa diferentes condiciones del clima, para hacer esta división se consideraron las zonas de vida de Holdridge (Quesada, 2007), este sistema de clasificación es uno de los más utilizados en el mundo, en nuestro país podemos encontrar 12 zonas de vida y 12 zonas de transición.

Para delimitar que zonas de vida están presentes en el tramo analizado, esto con el objetivo de dar una descripción de las condiciones climáticas imperantes a lo largo de la ruta se utilizó el software ArcGIS 10.1, en el mismo se sobrepuso una capa de zonas de vida y el de la ruta analizada, en el Cuadro 4.1 se aprecia con más detalle las zonas de vida presentes.

Cuadro 4.1. Zonas de vida en la ruta Nacional 2

Zona de Vida	Longitud (km)	Porcentaje
Bosque húmedo montano bajo	8,3	5,8%
Bosque húmedo premontano	9,5	6,6%
Bosque húmedo tropical, transición premontano	10,0	7,0%
Bosque muy húmedo montano bajo	24,2	16,8%
Bosque muy húmedo premontano	29,4	20,4%
Bosque muy húmedo premontano transición basal	0,6	0,4%
Bosque muy húmedo premontano transición pluvial	0,6	0,4%
Bosque muy húmedo tropical transición a premontano	2,3	1,6%
Bosque pluvial montano	42,2	29,3%
Bosque pluvial montano bajo	12,9	9,0%
Bosque pluvial premontano	4,0	2,8%
Total general	144,1	100,0%

Fuente: Elaboración propia con datos del Inventario de la Red Vial Nacional (MOPT, 2014) y zonas de vida de Holdridge (Quesada, 2007)

Bosque húmedo montano bajo

Con una precipitación entre 1400 y 2000 mm y un periodo seco de entre 2 y 4 meses, estas condiciones se ubican en la ruta, entre los kilómetros 33 y 40 aproximadamente, entre ese tramo se encuentran poblados como La Cangreja y Casamata.

Bosque húmedo premontano

La precipitación anual en esta zona varía entre los 1200 y 2200 mm, con una época seca cercana a los 3,5 meses. Este clima se encuentra al inicio de la ruta 2, específicamente entre los kilómetros 17 y 26 aproximadamente, es decir entre los poblados de La Lima y Cruz de Mis, cerca del tajo del Guarco.

Bosque muy húmedo montano bajo

La precipitación en esta zona de vida es de entre 1850 y 4000 mm anuales, una característica de esta zona es que presenta neblina durante largos periodos, ya sea durante el día o la noche. Está presente en varios tramos a lo largo de la ruta, el más extenso entre los kilómetros 41 y el 60 (Macho Gaff).

Bosque muy húmedo premontano

Esta zona de vida la precipitación es superior a los 2000 mm, pero menor a los 4000 mm, esta se extiende sobre todo a lo largo de las cordilleras, este tipo de clima se encuentra entre los kilómetros 26 y 29, cerca del poblado de Casablanca. También podemos encontrar este clima entre los kilómetros 125 y 137, abarcando los poblados de San Rafael Norte y Los Ángeles de Daniel Flores.

Bosque pluvial montano

Rangos de precipitación entre los 2200 y los 4500 mm anuales, la mayor parte de la ruta se encuentra en esta zona de vida, específicamente entre los kilómetros 65 (Madreselva) y 103.

Bosque pluvial montano bajo

La precipitación promedio anual supera los 8000 mm, es una zona donde se presenta también mucha neblina, hay un periodo relativamente seco de 3 meses. Presente entre los kilómetros 107 y 120.

Bosque pluvial premontano

Con una precipitación superior a los 4000 mm anuales, sin embargo en algunas zonas del país esta supera los 7000 mm. Se da entre los kilómetros 121 y 124.

En general la Ruta Nacional 2 atraviesa zonas de vida con condiciones lluviosas y de neblina, estas situaciones pueden representar un riesgo para los conductores. Para mayor detalle de las zonas de vida presentes en el segmento analizado se puede consultar el Mapa 4.1 Zonas de Vida, que se muestra al final de este capítulo.

Adicionalmente en el capítulo 5 y en los tramos considerados como críticos se hace un análisis de si las condiciones del clima son un factor a tener en cuenta en las recomendaciones de seguridad vial propuestas.

4.1.2. Tipo de terreno

Esta variable indica el tipo de relieve en las cercanías del tramo, es decir depende de las curvas de nivel en los alrededores de la ruta, en el siguiente cuadro se presentan los criterios de esta calificación según el inventario de la red vial nacional.

Cuadro 4.2. Clasificación según el tipo de terreno

1=Llano	Pendientes naturales del terreno entre 0 y 5%
2=Ondulado	Pendientes naturales del terreno entre 6 y 14%
3=Muy Ondulado	Pendientes naturales del terreno entre 15 y 25%
4=Montañoso	Pendientes naturales del terreno entre mayores a 25%

Fuente: MOPT, 2013

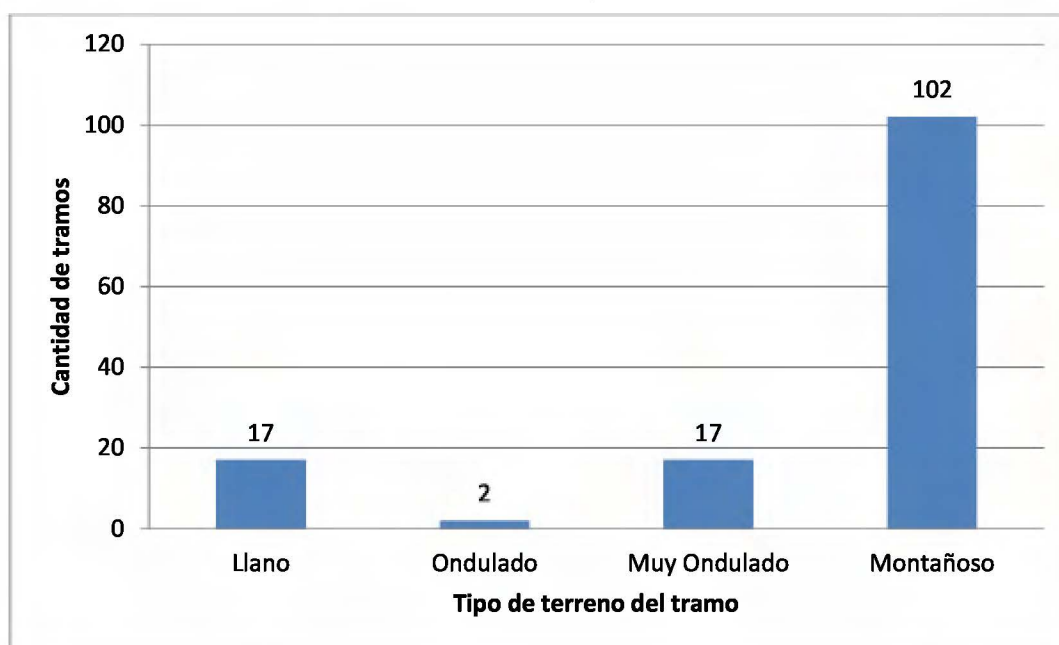


Figura 4.1. Tipo de terreno de los tramos

Fuente: MOPT, 2013

En la Figura 4.1 se observa que la gran mayoría de los tramos son montañosos (102), situación que es de esperar pues la ruta Nacional atraviesa el Cerro de La Muerte, 17 de ellos son tramos muy ondulados, que no califican como montañosos pero tienen una topografía quebrada, 17 de los tramos son llanos, esto se da al inicio de la ruta, en Cartago y en las zonas de San Isidro del General, Cajón y San Pedro, por último 2 de los tramos presentan un terreno ondulado.



Figura 4.2. Fotografía de un tramo montañoso (Mayo, 2015)

4.1.3. Ancho de la superficie de ruedo

Para medir esta variable se toman al menos dos medidas del ancho de la carretera en una distancia no mayor a un kilómetro, esta variable como tal no es relevante, sin embargo es necesaria para determinar el ancho de carril. El procedimiento es dividir este ancho entre el número de carriles para obtener un ancho de carril promedio, variable que se espera sea de importancia en el modelo estadístico.

Cuadro 4.3. Ancho de superficie y carril para los tramos

Número de tramos	Ancho superficie (m)	Ancho carril (m)
31	6,0	3,00
48	6,2	3,10
11	6,3	3,15
17	6,4	3,20
23	7,0	3,50
2	7,2	3,60
6	16,5	3,30
Promedio		3,26

Fuente: MOPT, 2013

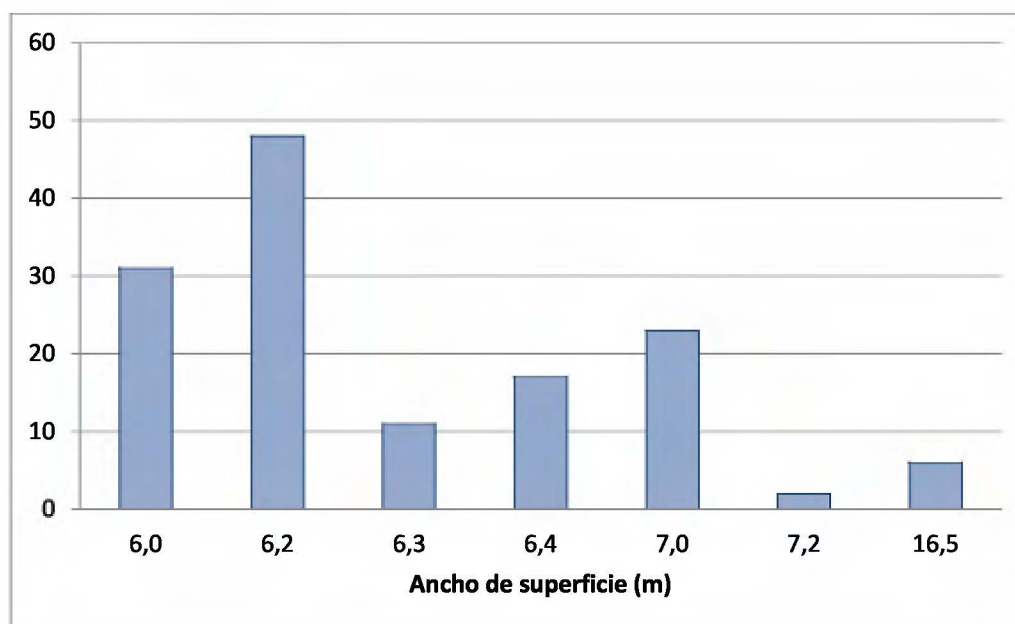


Figura 4.3. Ancho de la superficie de ruedo

Fuente: MOPT, 2013

Como se aprecia en la Figura 4.3, 31 tramos tienen un ancho de vía de 6 metros, es decir los carriles son de 3 metros, 48 de los tramos tienen 6,2 metros de ancho, por lo que cada carril es de 3,1 metros, 28 tramos tienen un ancho de carril entre los 3,15 y 3,2 metros, 23 tienen el ancho de 3,5 metros, solo 2 tramos tienen el ancho de carril de 3,6 metros. El ancho promedio de carril en la ruta es de 3,26 metros, el promedio de ancho de carril está por debajo del recomendado, que es de 3,6 metros.

4.1.4. Tipo de alineamiento horizontal

Esta característica describe que el alineamiento horizontal, se definen 5 categorías en el inventario de la Red Vial Nacional, 5 corresponde a un tramo recto y 1 significa curvas pronunciadas o muy sinuoso. Esta característica se determinó para cada tramo con la ayuda del "shape" de la Ruta Nacional 2 y con las fotografías tomadas en campo.

Cuadro 4.4. Categorías utilizadas para clasificar el alineamiento horizontal

Categoría	Tipo de alineamiento
5	Recto o con curvas suaves
4	Algunas curvas
3	Algo sinuoso con curvas cerradas
2	Curvas cerradas frecuentes
1	Alineamiento muy sinuoso

Fuente: MOPT, 2013

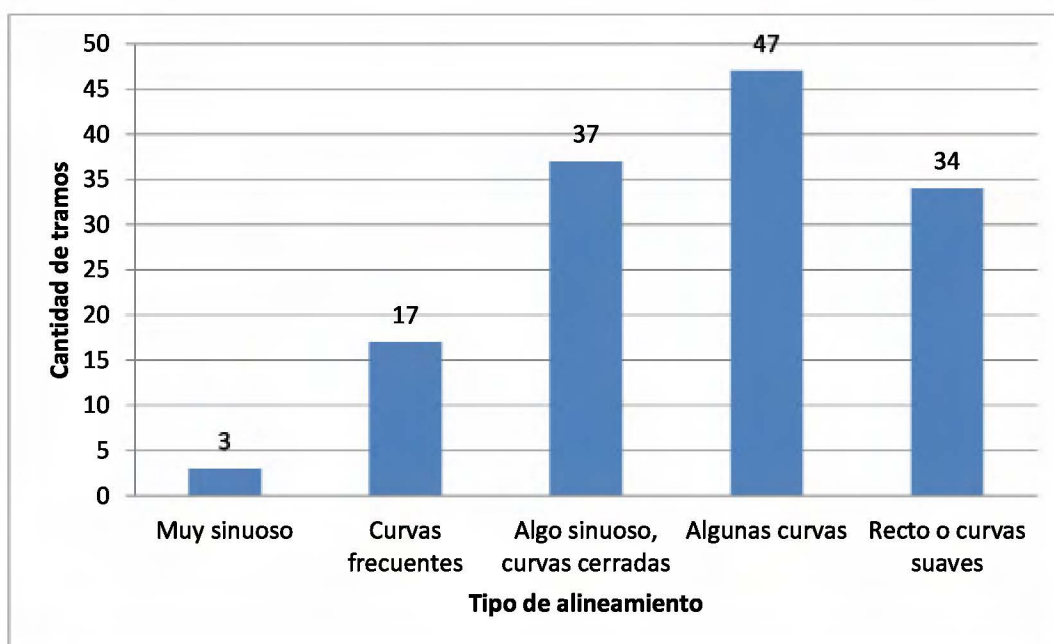


Figura 4.4. Tipo de alineamiento

Fuente: MOPT, 2013

En la Figura 4.4 podemos observar que solo tres de los tramos se clasifican como muy sinuosos, 17 de ellos presentan curvas cerradas frecuentes, 37 un alineamiento sinuoso, 47 de los tramos son en su mayoría rectos pero con algunas curvas que hacen que los conductores disminuyan la velocidad, por último 34 de los tramos son rectos, estos tramos se ubican sobre todo entre las zonas de San Isidro del General y San Pedro de Pérez Zeledón.



Figura 4.5. Fotografía de un tramo con alineamiento recto (Mayo, 2015)

4.1.5. Número de carriles

Es una característica que varía a lo largo de la carretera, si bien es cierto gran parte de la ruta cuenta con sólo 2 carriles, también presenta tramos de 3, 4 y 5 carriles. 130 de los tramos son de 2 carriles, 2 tramos cuentan con carriles de ascenso, existe 1 tramo de 4 carriles y 6 tramos de 5 carriles.

Los tramos de 5 carriles se ubican en San Isidro del General, son aproximadamente 8 kilómetros los que presentan esta condición. Son dos carriles por sentido más uno para realizar giros, hay que aclarar este carril era continuo al inicio, sin embargo se decidió añadir islas de concreto para disminuir los accidentes pues los conductores lo utilizaban como carril de adelantamiento.

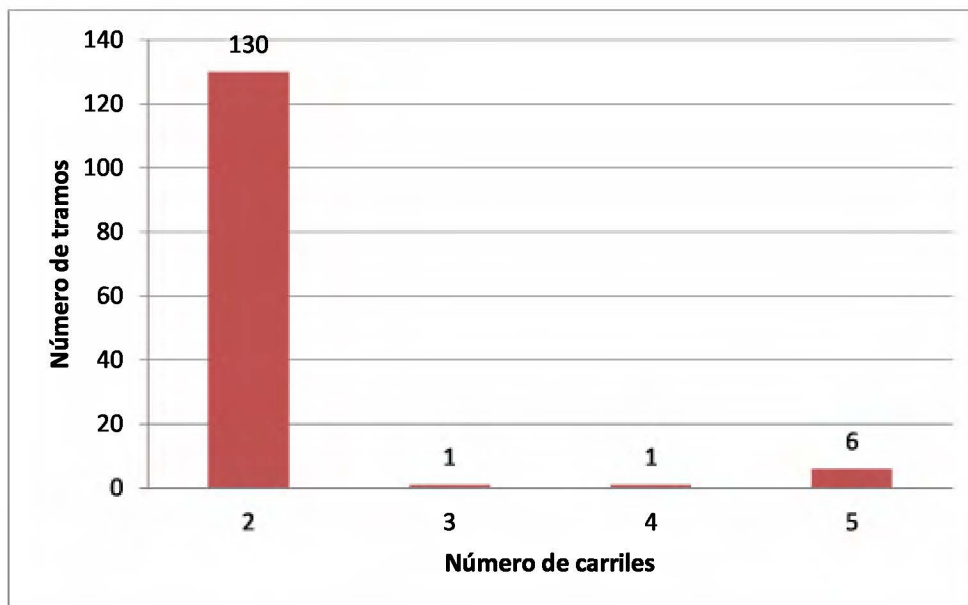


Figura 4.6. Número de carriles por tramo



Figura 4.7. Fotografía de un segmento de dos carriles (Mayo, 2015)

4.1.6. Ancho de espaldón

Según la literatura revisada se recomienda que un espaldón tenga un ancho mínimo de 1,8 metros. Esta variable fue revisada con ayuda de las fotografías, en 84 de los tramos el espaldón no estaba presente y sólo 25 tramos cuentan con espaldón mayor a 1 m. En la Figura 4.9 se observa un tramo con espaldón.

En esta variable también se hizo una categorización, siendo la categoría base aquellas con un espaldón mayor a 1,0 metro.

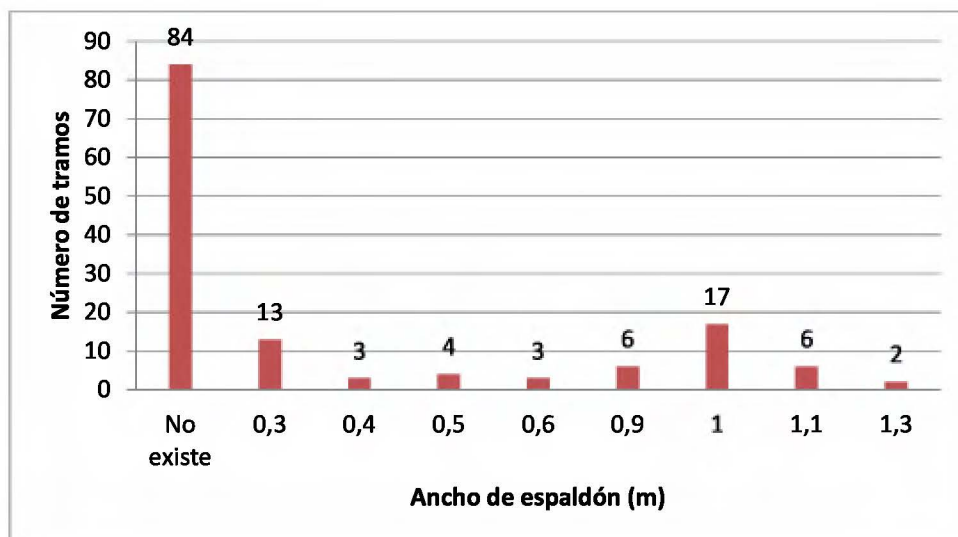


Figura 4.8. Ancho de espaldón por tramo

Fuente: MOPT, 2013

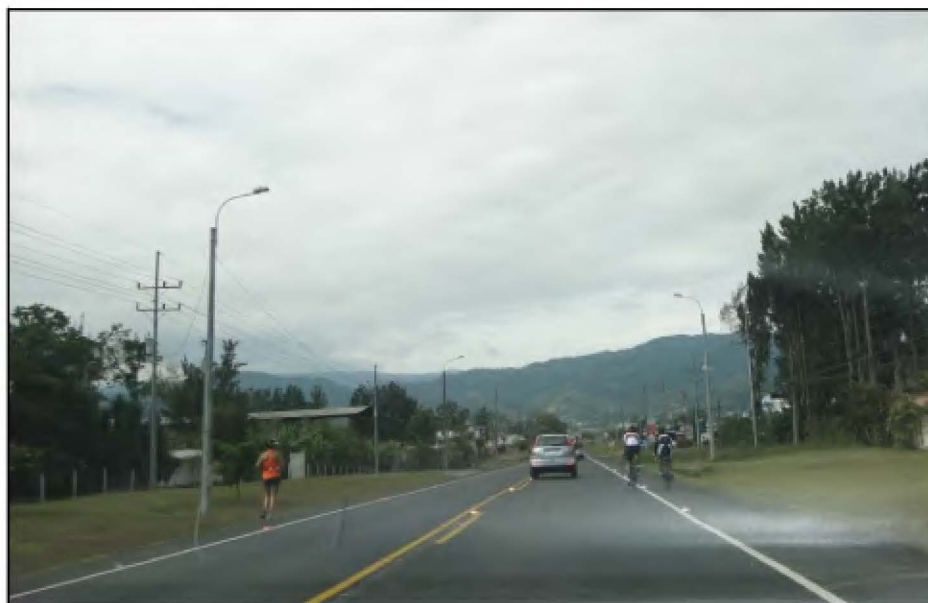


Figura 4.9. Tramo con espaldón en el Guarco (Mayo, 2015)

4.1.7. Velocidad media por tramo

Esta variable indica la velocidad promedio en km/hora para los vehículos livianos, en la ruta solo hay 4 velocidades, 40, 50, 60 y 70 km/h, esta variable se revisó con las fotografías. En caso de que existiera señalización horizontal o vertical que indicara la velocidad se anotaba esta para el tramo, en los casos que esta no estaba presente se dejó la velocidad que indicaba el inventario de la Red Vial Nacional.

La mayoría de los tramos (74) presentan velocidades permitidas de 50 km/h, en segundo lugar están los tramos donde las velocidades son de 60 km/h. A pesar de que algunos de los tramos presentan velocidades mayores solo se anotó la velocidad permitida.

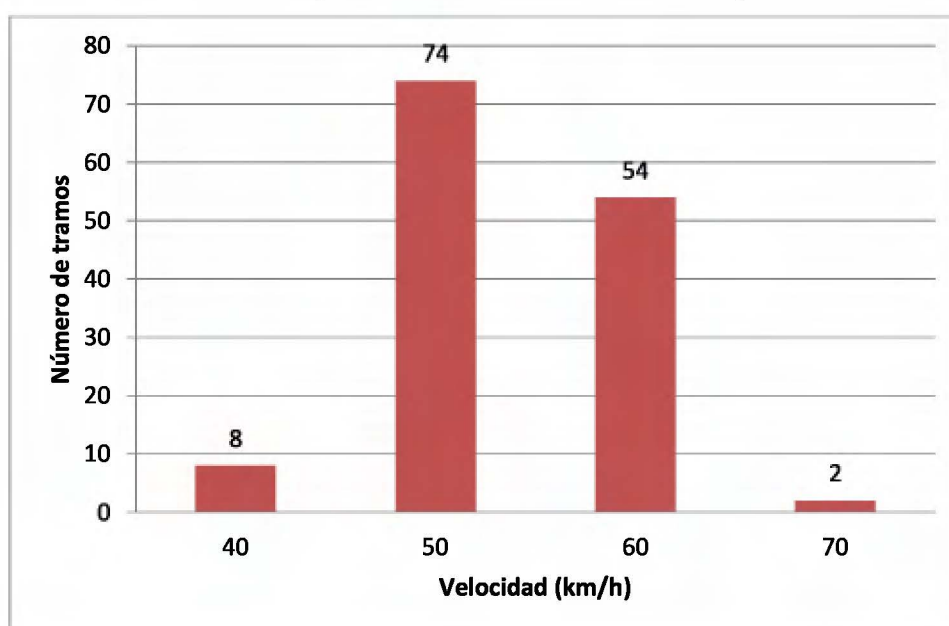


Figura 4.10. Velocidad por tramo

Fuente: MOPT, 2013

En la Figura 4.11 se muestra una fotografía de uno de los tramos donde la velocidad señalizada es de 50 km/h.



Figura 4.11. Tramo con velocidad de 50 km/h. (Mayo, 2015)

4.1.8. Número de accesos

Esta variable no se indicaba en el inventario de tránsito del MOPT, por lo que se determinó con la ayuda del "shape" de la Red Vial Nacional, el programa google Earth y las fotografías tomadas en campo. Se contabilizaron los accesos a ambos lados de cada tramo.

Como se observa en la siguiente Figura 4.12, en 45 de los tramos no hay accesos, 23 de los tramos tienen al menos 1 acceso. El promedio para la ruta es de 3 accesos por tramo, este valor se incrementa en las zonas urbanas, que son las correspondientes a Pérez Zeledón y a San Isidro del Guarco.

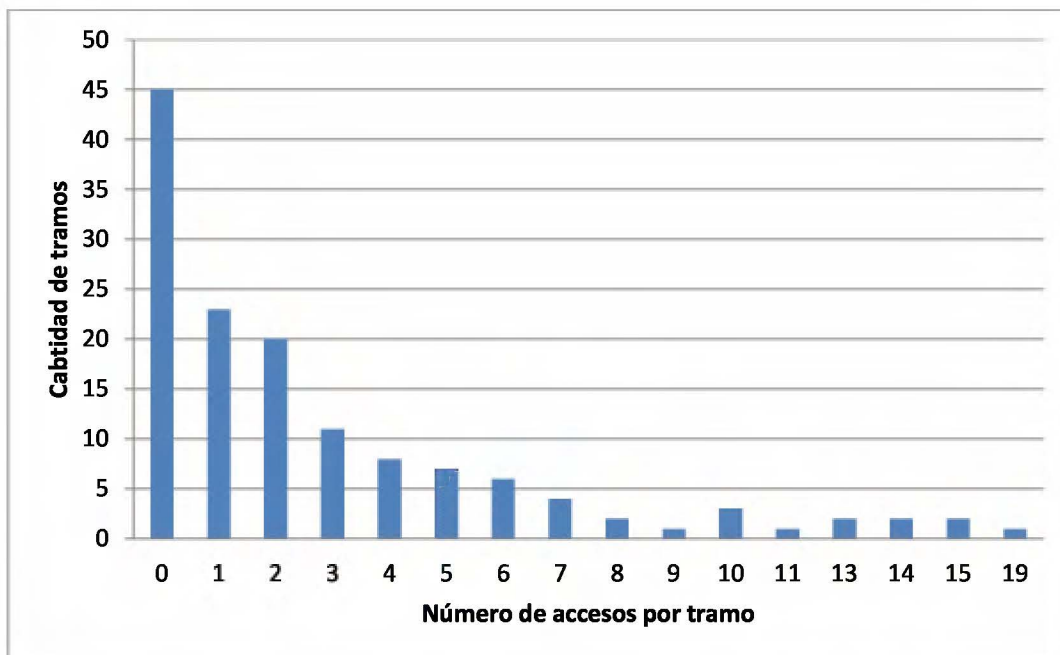


Figura 4.12. Número de accesos por tramo

Sin embargo esta variable por sí sola no proporciona mucha información, pues los segmentos son de distinta longitud, de manera que se decidió sacar la densidad de accesos por kilómetro para homogenizar esta variable, esto se hizo dividiendo el número de accesos entre la longitud del tramo.

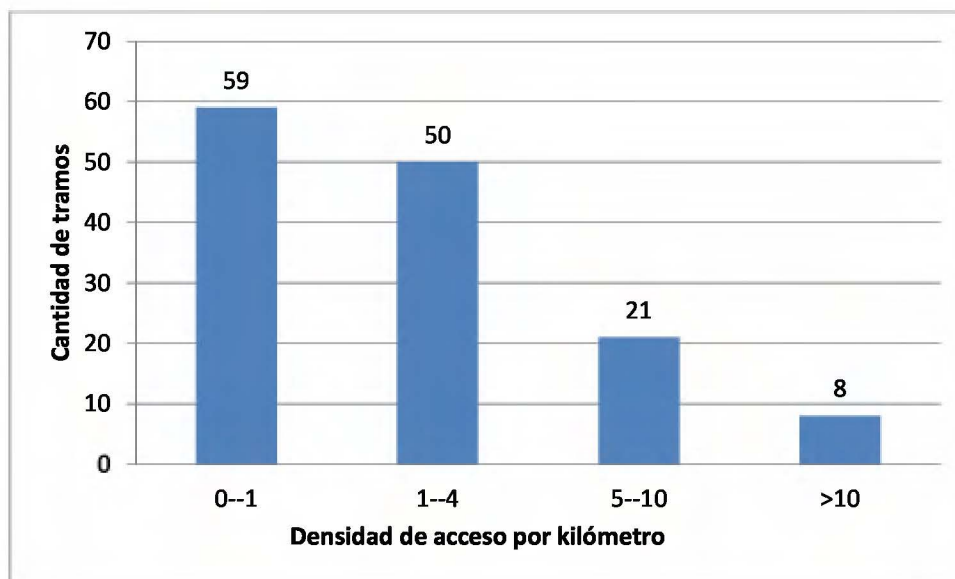


Figura 4.13. Densidad de accesos por kilómetro para los tramos homogéneos

4.1.9. Demarcación horizontal

Para la señalización horizontal se hizo una clasificación de si estaba presente o no, esto se realizó por medio de las fotografías tomadas en campo a lo largo de la ruta. Se revisó principalmente si estaban presentes las líneas que demarcan los carriles y el borde de la carretera.

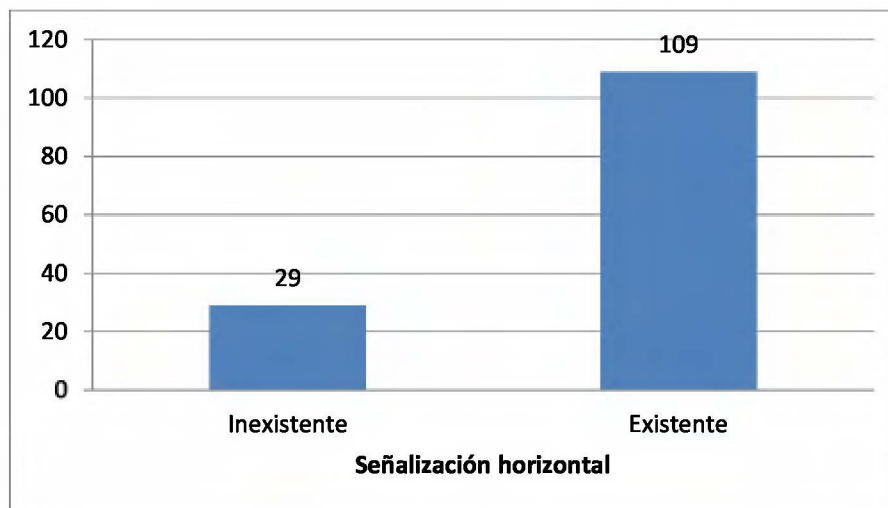


Figura 4.14. Condición de la señalización horizontal

En este caso se encontró que la gran mayoría de los tramos si presentan señalización horizontal (109). Por otro lado 29 tramos no cuentan con señalización.

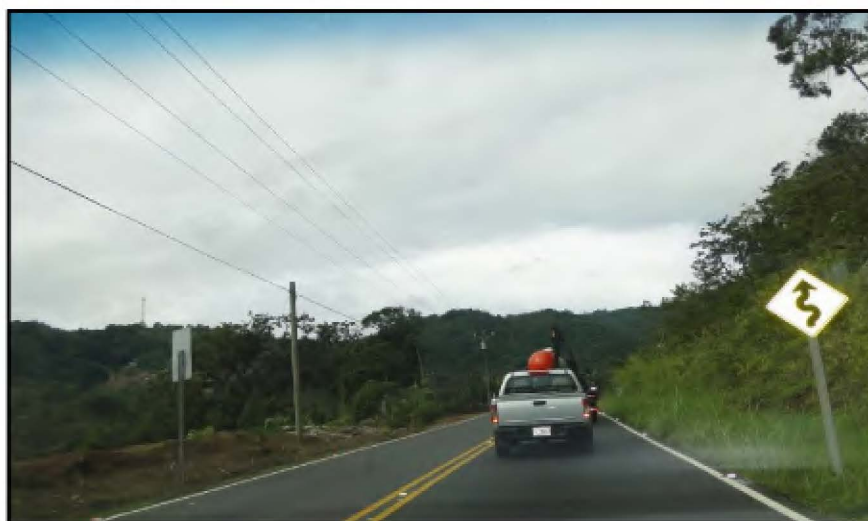


Figura 4.15. Tramo con señalización horizontal presente (Mayo, 2015)

4.1.10. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Se tomó como base el TPDA del año 2013, esta variable es importante pues indica la cantidad de vehículos que circulan por los diferentes sectores de la ruta, en este caso esto varía de acuerdo a la zona, para aquellas zonas o tramos donde no se indicaba el valor de TPDA, se tomaba el valor del segmento anterior o de la estación más cercana. El promedio del TPDA es de 5005 vehículos, mientras que la desviación estándar es de 4223 vehículos.

En la Figura 4.16 se observa con más detalle el TPDA para el año de 2013 en los 138 tramos analizados. En general los valores más altos de TPDA se dan en las zonas urbanas del cantón de Cartago y de Pérez Zeledón.

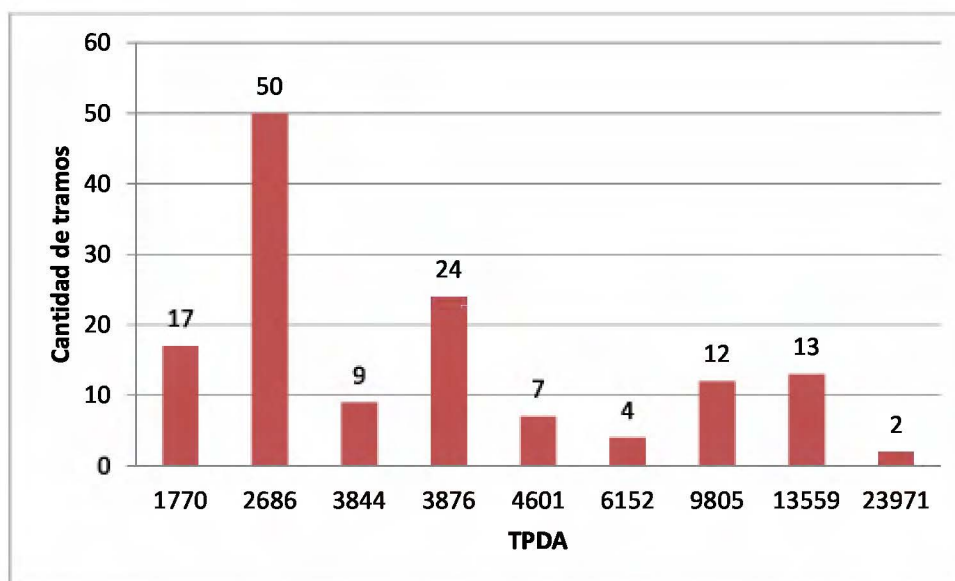


Figura 4.16. Tránsito promedio diario anual del año 2013 para los diferentes tramos

Fuente: MOPT, 2014

Se calculó además el TPDA para los años de 2011 y 2013, esto se hizo mediante la utilización de las tasas de crecimiento vehicular de cada tramo y fórmula de valor futuro:

$$TPDA\ 2011 = \frac{TPDA\ 2013}{(1 + i)^2}$$

Los valores de TPDA de estos años son importantes ya que en el modelo final se hace una suma de los 3 años de estudio.

4.1.11. Estadísticas descriptivas de las características de los tramos

Se hizo un análisis de las estadísticas de los tramos y se calculó el primer cuartil, la mediana, el promedio, el tercer cuartil y la desviación estándar. El análisis se hizo para las distintas categorías de choques según el tipo de lesión.

Además se calcularon estas estadísticas para las siguientes variables:

- TPDA
- Longitud del tramo
- Ancho de carril
- Ancho de espaldón
- Número de carriles
- Densidad de accesos
- Tipo de alineamiento

Cuadro 4.5. Estadísticas descriptivas para las distintas severidades de choque

	Choques Totales	Choques con Ilesos	Choques con Heridos Leves	Choques con Heridos Graves	Choques con Muertos
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 Cuartil	1,75	1,00	0,00	0,00	0,00
Mediana	4,00	3,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	9,97	7,70	1,67	0,55	0,06
3 Cuartil	8,00	6,00	2,00	1,00	0,00
Máximo	135,00	108,00	22,00	8,00	1,00
Desviación estándar	19,96	16,63	3,24	1,20	0,23

Fuente: Elaboración propia con datos del COSEVI (2011-2013)

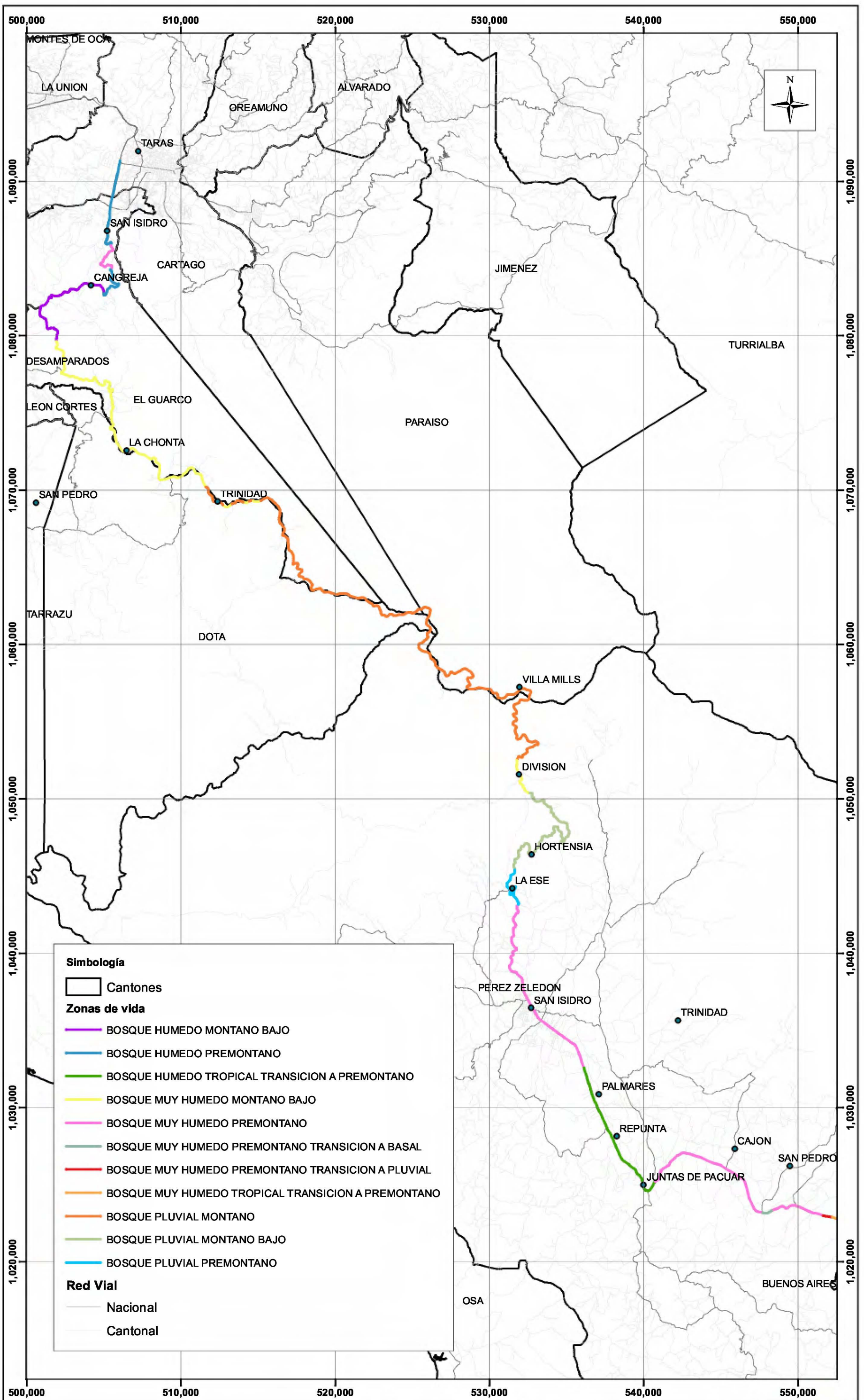
Cuadro 4.6. Estadísticas descriptivas de las variables a utilizar en el modelo

Resumen	Ancho carril	Ancho espaldón	Número carriles	Velocidad	TPDA 2013	Longitud	SUMA TPDA	Densidad accesos
Mínimo	3,00	0,00	2,00	40,00	1770	549,00	5188	0,00
1 Cuartil	3,10	0,00	2,00	50,00	2686	818,25	7867	0,00
Mediana	3,10	0,00	2,00	50,00	3844	1043,00	11268	1,53
Promedio	3,18	0,29	2,15	53,62	5005	1055,04	14626	2,55
3 Cuartil	3,20	0,53	2,00	60,00	4601	1235,25	13521	3,63
Máximo	3,60	1,30	5,00	70,00	23971	1854,00	70869	13,54
Desviación estándar	0,17	0,42	0,64	6,15	4223	281,62	12338	3,15

Fuente: Elaboración propia con datos del MOPT (2013)

La desviación estándar está por debajo del promedio para casi todas las variables analizadas, la excepción se da en la variable "ancho de espaldón", esto se debe a que la mayoría de los tramos no cuentan con espaldón por lo que el promedio es bajo.

Para la variable de TPDA del año 2013 y para la suma de los TPDA de los distintos años se tiene una desviación muy alta, en este caso uno de los problemas es que se cuenta con pocos datos de TPDA, ya que se utiliza el valor promedio de la sección de control original para cada uno de los subtramos en que fueron divididas estas.



Mapa 4.1. Zonas de vida en la Ruta Nacional 2

Fuente: Hojas IGN 1:50.000;
COSEVI 2011-2013;
MOPT, ProDUS 2015.

Escala: 1:230,000



CAPÍTULO 5

5. DETERMINACIÓN DE LOS SITIOS DE CONCENTRACIÓN DE CHOQUES

5.1. Modelos binomiales para tramos

Como se explicó en la metodología el modelo utilizado para hacer las regresiones fue el binomial negativo, la corrida de los mismos se hizo para diferentes variables mediante el programa R Studio.

La cantidad de choques totales, choques con ilesos y choques equivalentes se correlacionó con el resto de variables presentes en los tramos, se analizaron si las variables eran significativas o no para descartarlas o incluirlas en los modelos finales.

Finalmente se determinó que las variables más significativas correspondían a la densidad de accesos y número de carriles, la variable de número de carriles se clasificó como categórica, es decir se estableció que un tramo de 2 carriles era la base y a los otros se les asignó una categoría. Esto se hizo primero sin agrupar los tramos de 4 y 5 carriles y luego uniéndolos en una sola categoría.

Cabe aclarar que al incluir la variable de número de carril la variable de TPDA total no era significativa, sin embargo se hizo la prueba de radio de verosimilitud para identificar si efectivamente era de esta manera.

La prueba dio como resultado que no debía mantenerse la variable de TPDA en todos los modelos, esto se dio probablemente porque se hicieron estimaciones utilizando tasas de crecimiento en lugar de mediciones recientes. Otro de las limitaciones es que solo se tenían mediciones en 9 estaciones o puntos.

La prueba de radio de verosimilitud es una prueba de hipótesis que compara la bondad de ajuste en dos modelos, en uno de los modelos se incluyen todos los parámetros y en el otro no se incluye la variable que se piensa no es significativa (en este caso TPDA), así se compara cual ofrece un mejor ajuste para los datos de muestra.

Para esta prueba las hipótesis son las siguientes:

H0: Coeficiente de TPDA es 0

H1: Coeficiente de TPDA es diferente de 0

En esta prueba se calcula el estadístico de prueba D:

$$D = -2 * \left(\frac{\text{Verosimilitud modelo nulo}}{\text{Verosimilitud modelo alternativo}} \right) \quad \text{Ecuación 9}$$

$$D = -2 * \left(\frac{-797,525}{-797,055} \right) = 0,470$$

Luego se calcula el estadístico con la distribución Chi-Cuadrado

$$\Delta = 0,493$$

Como $0,493 > 0,470$, no se rechaza la hipótesis nula y la variable de TPDA se descartó del modelo.

5.1.1. Modelo binomial de choques totales

Las salidas del programa después de correr cada modelo indican el valor de la constante, el error estándar, el valor de z , la probabilidad y la significancia. En la columna de las constantes se indica si la variable afecta de forma positiva o negativa la ocurrencia de choques viales, de modo que si la constante es positiva la variable aumenta la ocurrencia de choques.

En la columna de significancia se indica que tan relevante es la variable, para esto se dispone de una categorización hecha por el programa. El símbolo "****" representa que la variable es muy significativa, por lo que a menor cantidad de estos símbolos la significancia disminuye.

Para este modelo se tienen 3 categorías de número de carriles, la categoría base son los tramos de 2 carriles, la categoría 2 corresponde a los tramos de 3 carriles (1 de ascenso) y la categoría 3 corresponde a los tramos de 4-5 carriles. En el Cuadro 5.1 se observan los coeficientes, valores de z y la significancia de las variables analizadas.

Cuadro 5.1. Resultados modelo binomial negativo 3 para choques totales

Coefficiente	Estimación	Error estándar	Valor de z	Pr(> z)	Significancia
(Constante)	-5,50911	0,11457	-48,086	2,0E-16	***
Accesos por km	0,10829	0,03159	3,428	0,000608	***
Número carriles (3; 1 carril ascenso)	2,70912	0,91939	2,947	0,003212	**
Número carriles (4 y 5 carriles)	1,73627	0,43080	4,030	0,0000557	***

Códigos significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Parámetro de dispersión para binomial negativo (1.2869) se asume como 1)

Desviación nula: 288,56 en 137 grados de libertad

Desviación residual: 154,16 en 134 grados de libertad

AIC: 806,81

Número iteraciones de Fisher: 1

Theta: 1,235

Error Estadístico: 0,185

2xlog-likelihood: -796,809

La columna de significancia del Cuadro 5.1 muestra que todas las variables de este modelo son significativas, esto se concluye luego de analizar los símbolos de significancia y los valores de z.

Como era de esperar se obtuvo que el número de choques previstos se incrementa conforme aumentan los accesos, además si el número de carriles aumenta también crece el número de choques previstos.

En la columna titulada "Estimación" se detallan los coeficientes para cada una de las variables del modelo. Utilizando estos coeficientes y las ecuaciones dadas en el Capítulo 2 es posible calcular el número de choques previstos para cada tramo. A continuación se detalla la ecuación para este modelo:

$$N_{prev} = e^{-5,50911} * Longitud\ tramo * e^{\left(0,10829 * \frac{Accesos}{km}\right)} * e^{2,70912 (3carr)} * e^{1,73627 (4-5carr)}$$

Dónde:

N prev: Choques previstos

$\frac{\text{Accesos}}{\text{km}}$: Número de accesos por kilómetro para el tramo correspondiente

3 carr, 4 – 5 carr: Esta variable es categórica por lo que si el tramo es de 2 carriles la constante es "0"

Para representar mejor este modelo se adjunta el Mapa 5.2., en el cual se muestran los 14 tramos con mayor exceso de frecuencia de choques.

5.1.2. Modelo binomial de choques equivalentes

Se corrió el modelo con las mismas variables del modelo anterior pero para choques equivalentes, como ya se explicó esto se hizo para considerar la gravedad de los accidentes, debido a que por la poca cantidad de datos de heridos graves y muertos estos modelos no convergían. Los resultados de la salida del programa se detallan en el Cuadro 5.2.

Cuadro 5.2. Resultados del modelo binomial negativo para choques equivalentes

Coefficiente	Estimación	Error estándar	Valor de z	Pr(> z)	Significancia
(Constante)	-4,66294	0,14324	-32,554	2e-16	***
Accesos por km	0,13002	0,04093	2,939	0,00149	**
Número carriles (3: Carril de ascenso)	2,79912	1,24516	2,196	0,02840	*
Número carriles (4 y 5 carriles)	1,18345	0,57813	1,980	0,04065	*

Códigos significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Parámetro de dispersión para binomial negativo (0,6576) se asume como 1)

Desviación nula: 218,19 en 137 grados de libertad

Desviación Residual: 159,97 en 134 grados de libertad

AIC: 1022,6

Número de iteraciones de Fisher: 1

Theta: 0,6576

Error Estadístico: 0,0805

2 x log-likelihood: -1012,6180

En este modelo se observa como la variable "accesos por kilómetro" es la más significativa de todas las analizadas, esto implica que al aumentar el número de accesos por kilómetro es de esperar que aumente el número de choques.

El número de carriles también es un factor importante en la ocurrencia de choques, de manera que en los tramos con carril de ascenso y con más de 4 carriles el número de choques previstos es mayor.

Al igual que en el modelo anterior se determinó la ecuación que describe los choques previstos:

$$N_{prev} = e^{-4,66294} * Longitud\ tramo * e^{(0,13002 * \frac{Accesos}{km})} * e^{2,79912(3carr)} * e^{1,18345*(4-5carr)}$$

En el Mapa 5.1 se pueden observar los tramos más críticos y su ubicación a lo largo de la Ruta Nacional 2.

5.1.3. Modelo binomial de choques con sólo daños materiales

En este modelo se correlacionaron las mismas variables de los modelos anteriores con aquellos accidentes que solo presentaban daños materiales.

Al igual que en los modelos de choques totales y choques equivalentes las variables de accesos por kilómetro y más de dos carriles son significativas e implican un aumento en los choques previstos.

Cuadro 5.3. Resultados modelo binomial para choques con sólo daños materiales

Coefficiente	Estimación	Error estándar	Valor de z	Pr(> z)	Significancia
(Constante)	-5,86576	0,11767	-49,847	2,0E-16	***
Accesos por km	0,11927	0,03175	3,756	0,000172	***
Número carriles (3, 1 de ascenso)	2,72484	0,90674	3,005	0,002655	**
Número carriles (4 y 5 carriles)	1,80252	0,42584	4,233	0,0000231	***

Códigos significancia: 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 . 0.1 ' 1

(Parámetro de dispersión para binomial negativo (1,1885) se asume como 1)

Desviación nula: 309,47 en 137 grados de libertad

Desviación residual: 152,71 en 134 grados de libertad

AIC: 726,31

Número de iteraciones de Fisher: 1

Theta: 1,287

Error Estadístico: 0,213

2 x log-likelihood: -716,312

Utilizando los coeficientes de las variables analizadas se obtuvo la siguiente ecuación para choques previstos:

$$N_{prev} = e^{-5,86576} * Longitud\ tramo * e^{\left(0,11927 * \frac{Accesos}{km}\right)} * e^{2,7248 * 3carr} * e^{1,8025 * 4 - 5carr}$$

En el Mapa 5.3 se observa con mayor detalle la ubicación de cada uno de los tramos críticos según este modelo.

Finalmente se compararon los resultados de los distintos modelos, utilizando como modelo base el de choques equivalentes. Para observar mejor esto se elaboró un cuadro comparativo con los tramos ordenados según su exceso de frecuencia de choque esperado.

Cuadro 5.4. Excesos de choque para los 14 tramos más críticos según el modelo de choques equivalentes

Número de tramo	Exceso de choques, modelo choques equivalentes	Exceso de choques, modelo choques totales	Exceso de choques, Modelo choques sólo daños materiales
75	157,53	40,68	23,60
95	106,23	44,89	26,69
117	62,38	9,77	6,83
13	55,35	3,50	0,32
121	51,3	4,42	0,19
111	45,92	36,76	28,05
132	43,77	2,09	0,74
3	37,02	23,94	22,74
110	35,44	39,07	35,97
71	26,92	6,12	2,55
73	24,85	3,09	0,14
27	22,83	6,10	4,93
70	16,82	0,60	-1,18
112	16,19	6,24	7,19

Se ordenaron los tramos utilizando como base el modelo de choques equivalentes, para identificar la variación en la peligrosidad del tramo en el modelo de choques totales y de choques sólo daños materiales.

Cuadro 5.5. Tramos más críticos para los diferentes modelos binomiales negativos

Tramo	Modelo choques equivalentes	Modelo choques totales	Modelo choques sólo daños materiales
75	1	2	4
95	2	1	3
117	3	7	9
13	4	17	40
121	5	15	42
111	6	4	2
132	7	23	28
3	8	5	5
110	9	3	1
71	10	10	16
73	11	19	44
27	12	11	10
70	13	35	86
112	14	9	8

Como se observa en el Cuadro 5.5, sólo 4 de los tramos no aparecen dentro del 10% más crítico de los otros modelos, estos son el tramo 13 (La Cangreja), el tramo 132 (San Pedro), los tramos 70 y 73 (La Auxiliadora).

Esto probablemente se debe a que son tramos con pocos choques, sin embargo estos eventos si fueron de gravedad, razón por la cual si están en el 10% más crítico del modelo de choques equivalentes.

5.2. Modelos de intersección

Debido a la gran cantidad de choques de intersección se realizó un modelo de choques para las intersecciones. Después de analizar varias variables se determinó que las que mejor se correlacionaban con la ocurrencia de choques eran el número de carriles de la vía principal y el tipo de ruta secundaria.

Para la variable de número de carriles en la vía principal se elaboraron dos categorías:

- Categoría 1: 2 carriles en la vía principal
- Categoría 2: 4 y 5 carriles en la vía principal

Para la variable "tipo de ruta secundaria" también se definieron categorías y se eligió como base la Ruta Nacional secundaria:

- Categoría 1: Ruta Nacional secundaria
- Categoría 2: Ruta Nacional terciaria
- Categoría 3: Ruta cantonal, red urbana y entrada a calle privada.

De la misma forma que en el análisis hecho para los tramos se corrieron modelos para los choques totales, equivalentes y de sólo daños materiales.

5.2.1. Modelo binomial de choques totales

En el primer modelo se correlacionaron las variables mencionadas con la cantidad de choques totales, en el Cuadro 5.6 se detallan los resultados.

Cuadro 5.6. Modelo binomial negativo para choques totales de intersección

Coefficiente	Estimación	Error estándar	Valor de z	Pr(> z)	Significancia
(Constante)	2,0818	0,4396	4,735	2,19e-6	***
Ruta terciaria	-0,7009	0,5700	-1,230	0,218825	
Ruta cantonal	-1,5516	0,4599	-3,374	0,000741	***
Más de 2 carriles en la vía principal	1,5081	0,2381	6,333	2,41e-10	***

Códigos significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Parámetro de dispersión para binomial negativo (1.1773) se asume como 1)

Desviación nula: 142.279 en 88 grados de libertad

Desviación residual: 95.809 en 85 grados de libertad

AIC: 441.47

Número de iteraciones de Fisher: 1

Theta: 1.177

Error Estadístico: 0.242

2 x log-likelihood: -431.469

Como se observa en el Cuadro 5.6 la categoría de Ruta Nacional Terciaria no es significativa, una posible explicación es que posiblemente se tengan muy pocas intersecciones con esta condición.

En el caso de las rutas cantonales si dieron significativas y como es de esperar el coeficiente es negativo, por lo que un menor volumen de tránsito en la vía secundaria implica que se presenten choques en esa intersección.

En cuanto al número de carriles en la vía principal se obtuvo que si estos aumentan se incrementa la cantidad de choques en la intersección. Para más detalles de la ubicación de las intersecciones críticas según este modelo se hace referencia al Mapa 5.5.

5.2.2. Modelo binomial de choques sólo ilesos

En el modelo de choques de sólo ilesos se utilizaron las mismas categorías que en el modelo de choques totales. En el Cuadro 5.7 se pueden observar los resultados.

Cuadro 5.7. Modelo binomial negativo para choques de intersección considerando choques con ilesos

Coefficiente	Estimación	Error estándar	Valor de z	Pr(> z)	Significancia
(Constante)	1,7841	0,4642	3,844	0,000121	***
Ruta Terciaria	-0,9279	0,6114	-1,518	0,129059	
Ruta Cantonal	-1,7678	0,4888	-3,616	0,000299	***
Más de 2 carriles en la vía principal	1,6992	0,2665	6,472	9,67e-11	***

Códigos significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Parámetro de dispersión binomial negativa (1.0836) se asume como 1)

Desviación nula: 138.363 en 88 grados de libertad
 Desviación residual: 89.615 en 85 grados de libertad
 AIC: 379.65
 Número de iteraciones de Fisher: 1
 Theta: 1.084
 Error Estadístico: 0.236
 2 x log-likelihood: -369.650

Las categorías de ruta terciaria y ruta cantonal y no son significativas en este modelo. En el caso de los carriles en la vía principal si es significativo, por lo que al aumentar los carriles se espera que aumenten los choques. En el mapa 5.6 se pueden observar con más detalle las intersecciones críticas y su ubicación.

5.2.3. Modelo binomial de choques equivalentes

Finalmente se corrió el modelo para choques equivalentes, a continuación se presentan los resultados obtenidos de la regresión binomial negativa:

Cuadro 5.8. Resultados modelo binomial para choques equivalentes

Coefficiente	Estimación	Error estándar	Valor de z	Pr(> z)	Significancia
(Constante)	2,65363	0,63072	4,207	0,0000258	***
Ruta Terciaria	0,07328	0,80012	0,092	0,92702	
Ruta Cantonal	-0,78956	0,65230	-1,210	0,22611	
Más de 2 carriles en la vía principal	0,96088	0,31472	3,053	0,00226	**

Códigos significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Parámetro de dispersión binomial negativa (0.5244) se asume como 1)

Desviación nula: 112.82 en 88 grados de libertad
 Desviación residual: 101.58 en 85 grados de libertad
 AIC: 597.99
 Número de iteraciones de Fisher: 1
 Theta: 0.5244
 Error Estadístico: 0.0831
 2 x log-likelihood: -587.9890

Para este modelo en particular la variable de tipo de ruta secundaria no dio significativa en ninguna de sus categorías, caso contrario al de más de 2 carriles en la vía principal. Se decidió finalmente que el modelo definitivo para determinar las intersecciones más críticas era el de choques totales, a continuación se muestran las frecuencias de choque de intersección para los 3 modelos.

Cuadro 5.9. Exceso de frecuencia de choques para el modelo de intersecciones

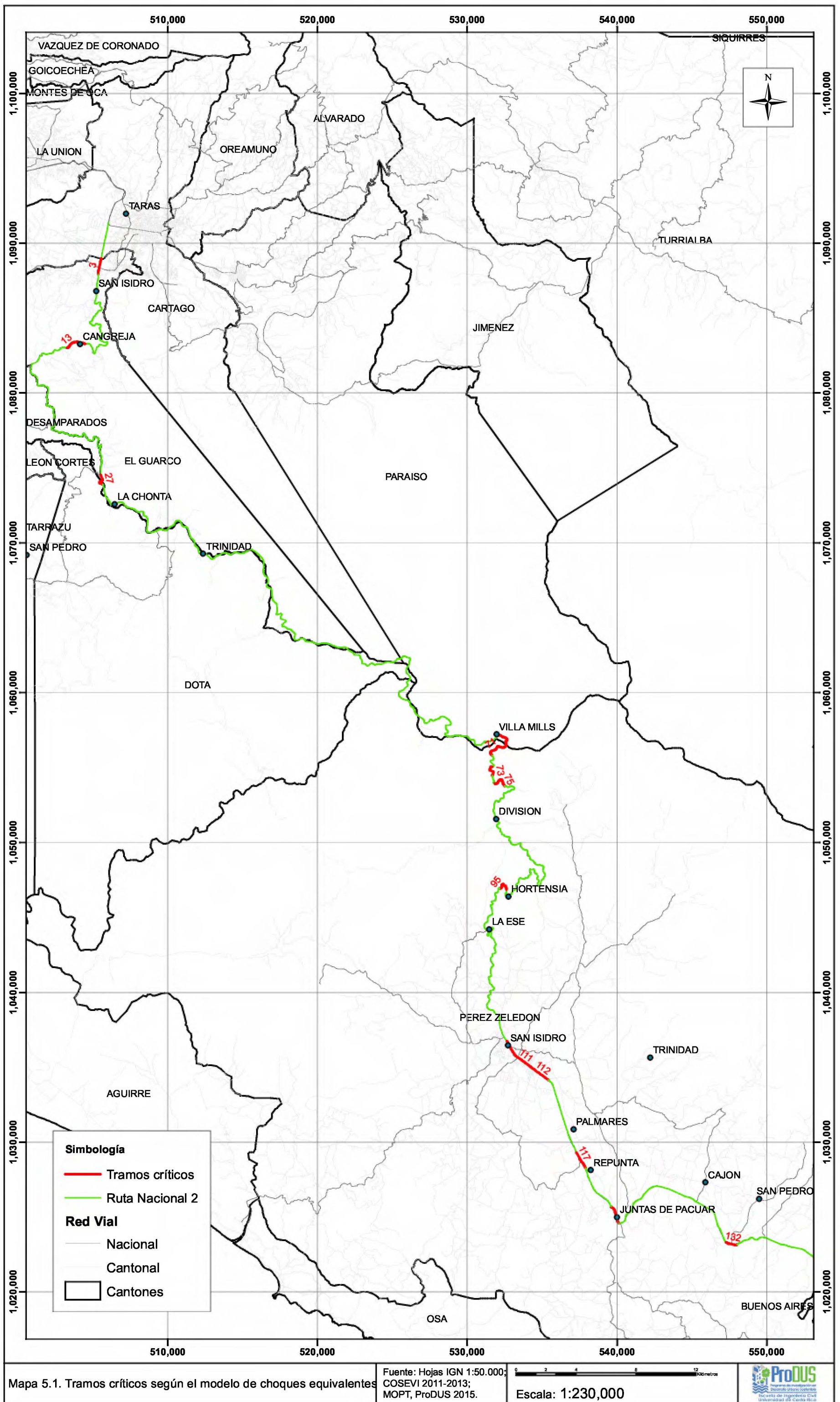
Nombre	Exceso de frecuencia choques equivalentes	Exceso de frecuencia choques totales	Exceso de frecuencia, choques sólo daños materiales
I-76	56,77	7,73	3,18
I-35	46,69	8,95	6,23
I-69	39,35	2,54	0,96
I-6	37,50	1,36	-0,01
I-47	36,99	10,68	8,74
I-8	23,91	18,30	15,27
I-44	23,41	14,15	12,08
I-60	23,41	-1,45	-2,98

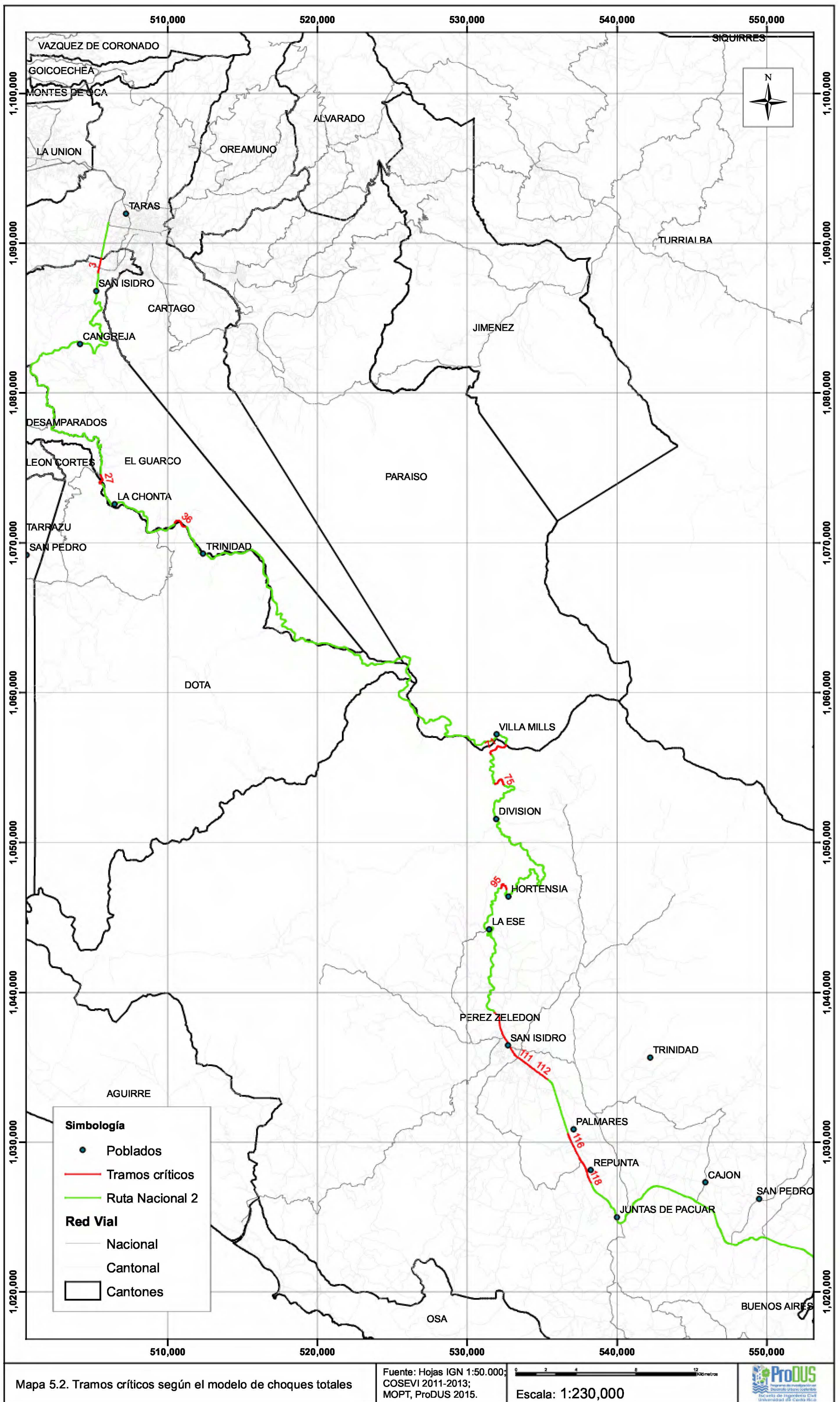
Al igual que en los modelos de tramos se elaboró un cuadro comparativo para representar la posición de la intersección según el modelo. Se presentan los resultados en el Cuadro 5.10.

Cuadro 5.10. Posiciones de las intersecciones más peligrosas según distintos modelos

Nombre	Modelo choques equivalentes	Modelo choques totales	Modelo sólo daños materiales
I-76	1	9	11
I-35	2	7	7
I-69	3	14	17
I-6	4	17	38
I-47	5	6	5
I-8	6	1	1
I-44	7	3	3
I-60	8	66	72

Como es de esperar en aquellas intersecciones con pocos choques estas aparecen fuera del 10% más crítico para los modelos de choques totales y de sólo daños materiales, estos casos son: cruce Megasuper El Guarco (I-6), cruce Barrio Lourdes (I-60) y cruce Fernando Volio (I-69).



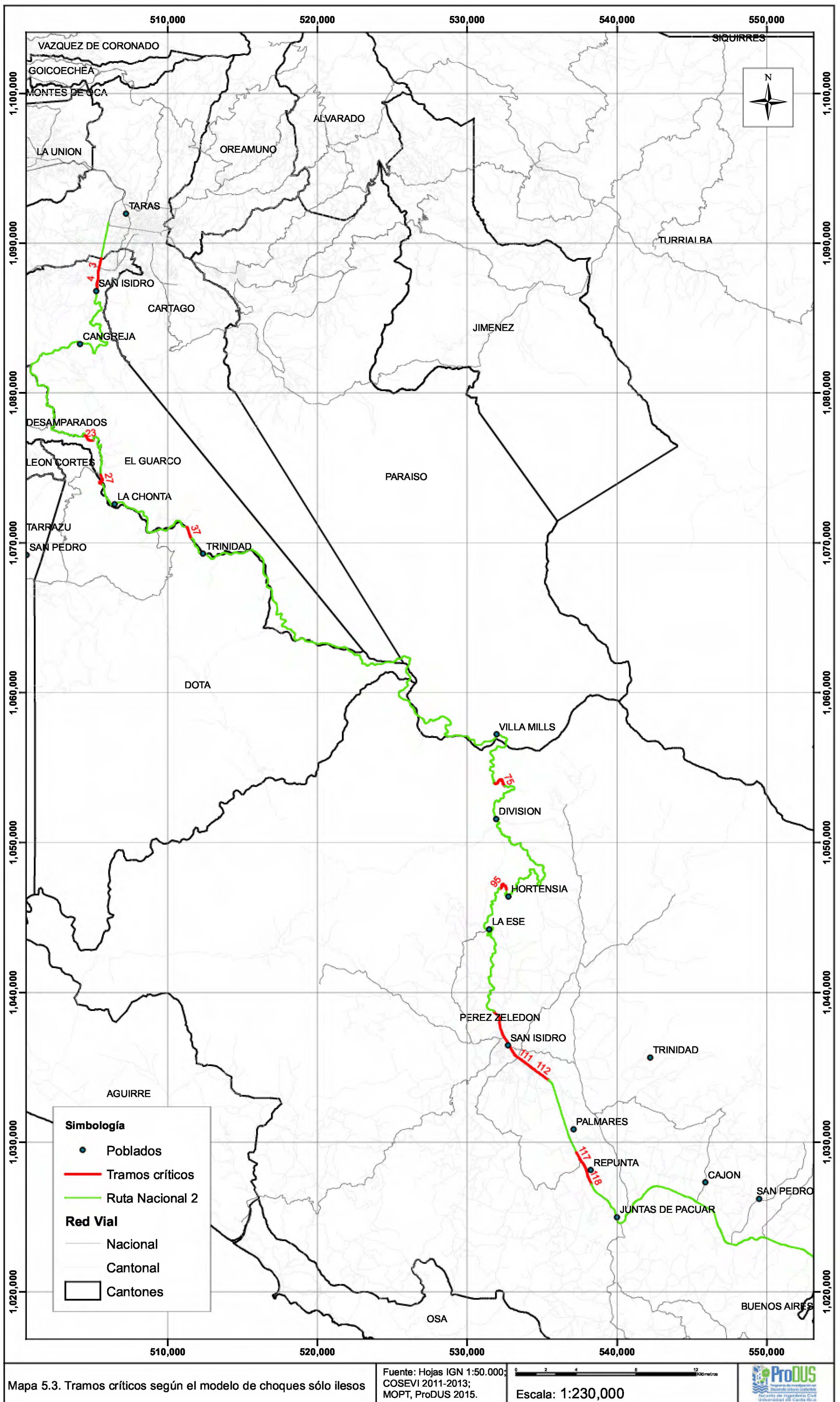


Mapa 5.2. Tramos críticos según el modelo de choques totales

Fuente: Hojas IGN 1:50.000;
COSEVI 2011-2013;
MOPT, ProDUS 2015.

Escala: 1:230,000



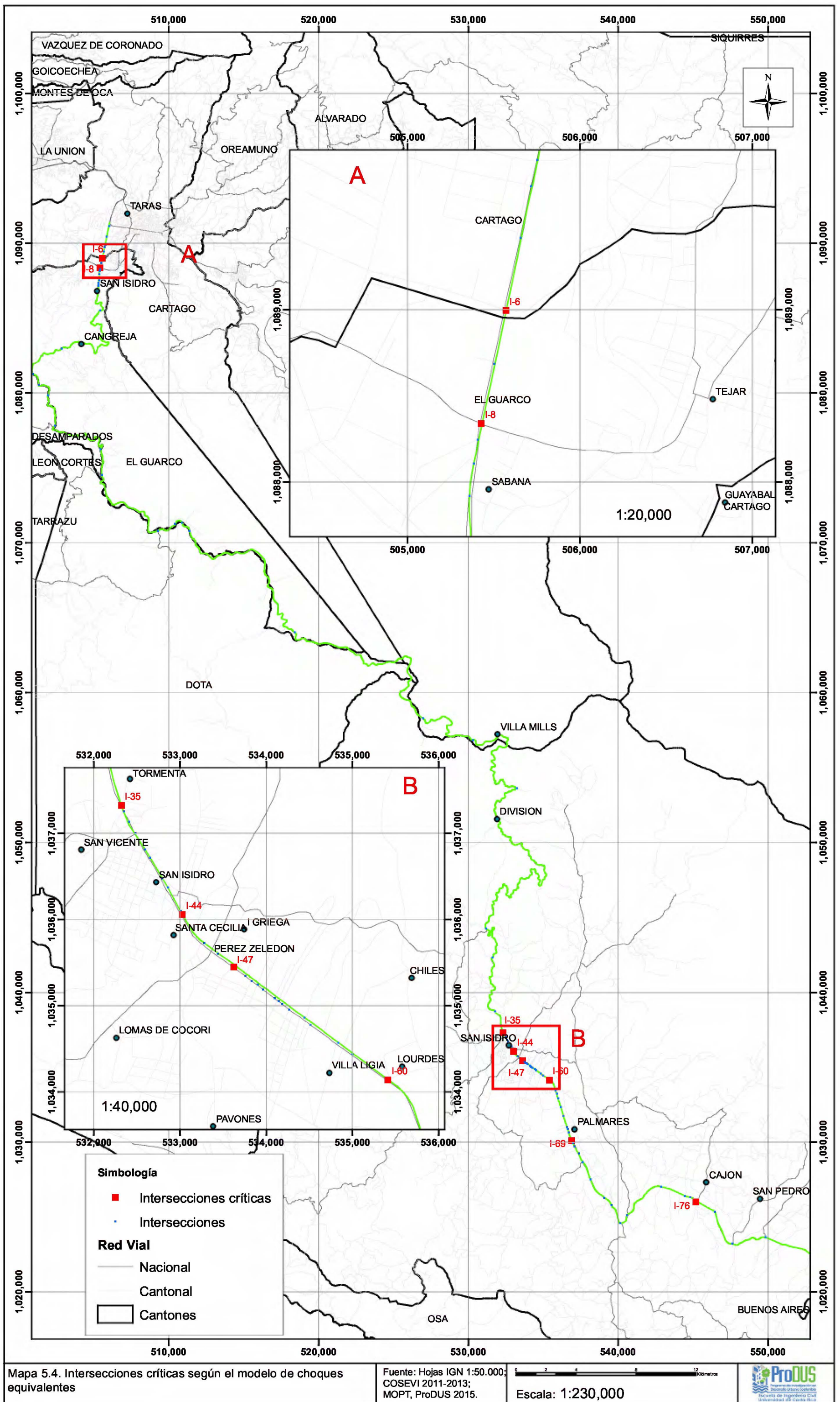


Mapa 5.3. Tramos críticos según el modelo de choques sólo ilesos

Fuente: Hojas IGN 1:50.000;
COSEVI 2011-2013;
MOPT, ProDUS 2015.

Escala: 1:230,000



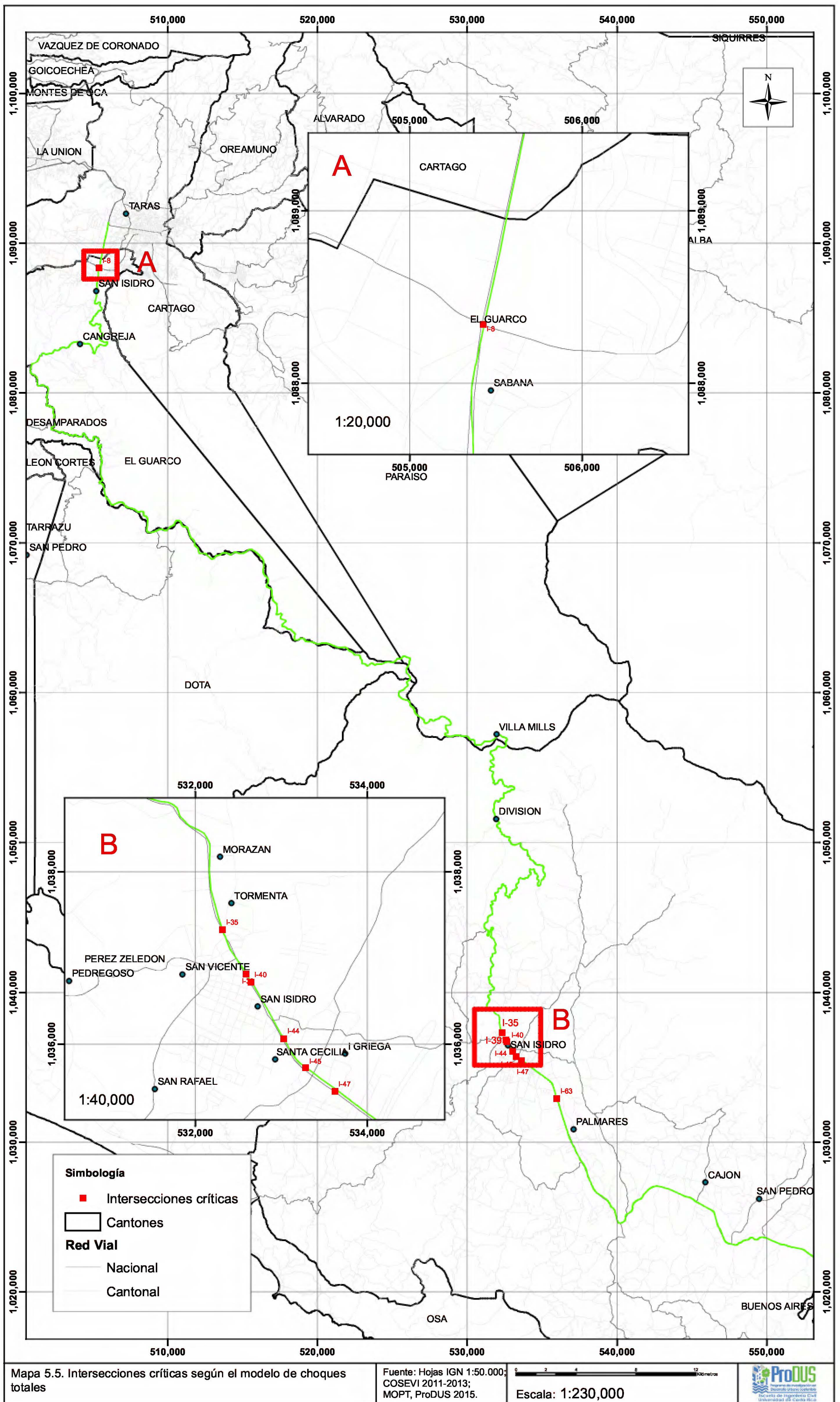


Mapa 5.4. Intersecciones críticas según el modelo de choques equivalentes

Fuente: Hojas IGN 1:50,000; COSEVI 2011-2013; MOPT, ProDUS 2015.

Escala: 1:230,000



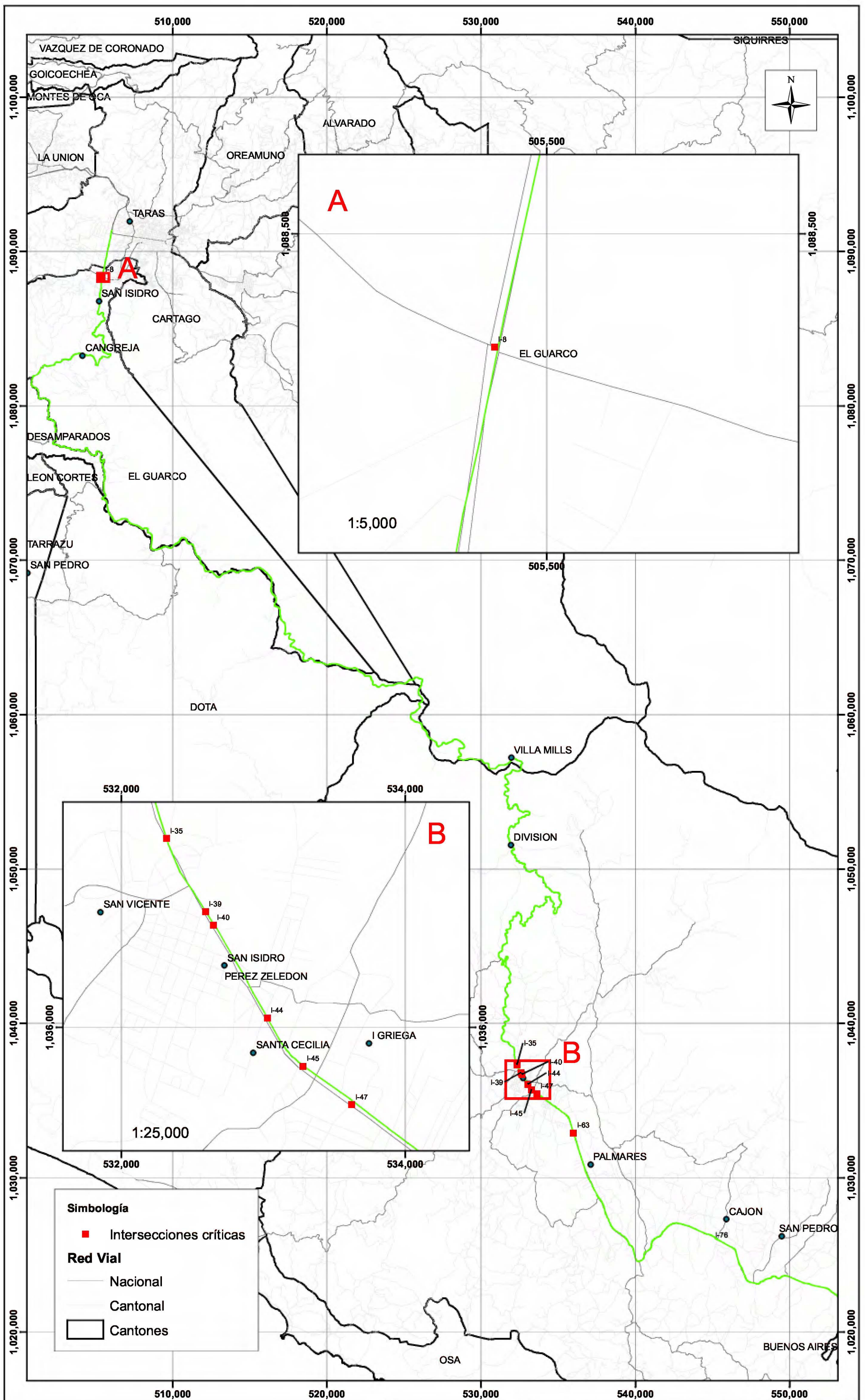


Mapa 5.5. Intersecciones críticas según el modelo de choques totales

Fuente: Hojas IGN 1:50,000; COSEVI 2011-2013; MOPT, ProDUS 2015.

Escala: 1:230,000





Mapa 5.6. Intersecciones críticas según el modelo de choques sólo ilesos

Fuente: Hojas IGN 1:50,000; COSEVI 2011-2013; MOPT, ProDUS 2015.

Escala: 1:230,000



CAPÍTULO 6

6. DIAGNÓSTICO Y MEDIDAS DE SEGURIDAD VIAL A APLICAR

Las medidas de seguridad vial a implementar dependen de las características de cada tramo e intersección. Se analizaron además los tipos de accidentes con el objetivo de determinar qué factores pueden estar incidiendo en la ocurrencia de los mismos. Las medidas propuestas en dicha investigación son generales, por lo que no se hicieron planos o diseños geométricos detallados.

Los tramos e intersecciones críticas están ordenados según su ubicación geográfica en sentido de avance San José-San Pedro de Pérez Zeledón y no en el orden de exceso de frecuencia de choques.

6.1. Tramo 3

6.1.1. Diagnóstico

El tramo 3 inicia cerca de la Gasolinera El Guarco ubicada en el distrito de Tejar, cantón del Guarco. Es un tramo con alineamiento recto en sus 1053 metros de longitud y cuenta además con numerosos accesos.

Cuadro 6.1. Características del Tramo 3 (Gasolinera El Guarco)

Característica	
Longitud (m)	1053
Cantidad accesos	13
Densidad accesos	12,3
Zona	Urbano
Alineamiento	Recto



Figura 6.1. Inicio del tramo 3 Gasolinera El Guarco (Mayo, 2015)

Es un tramo de dos carriles que presenta espaldones a ambos lados de la vía, según el inventario de la red vial Nacional este es mayor a 1 metro, sin embargo esta medida es menor al ancho recomendado por el SIECA (1,8 metros).

Los carriles se encuentran debidamente demarcados, además hay presencia de captaluces y postes de iluminación a ambos lados de la vía. La condición de la calzada es buena pues no se aprecian grietas o zonas de parches. Este segmento cuenta con doble línea amarilla por lo que no es permitido adelantar.

Se observó en campo ciclistas que circulan por la ruta, estas personas trabajan en la zona industrial y demás negocios ubicados a lo largo del tramo, situación que genera que tengan que cruzar en sitios peligrosos, pues no se dispone de una ciclo vía.

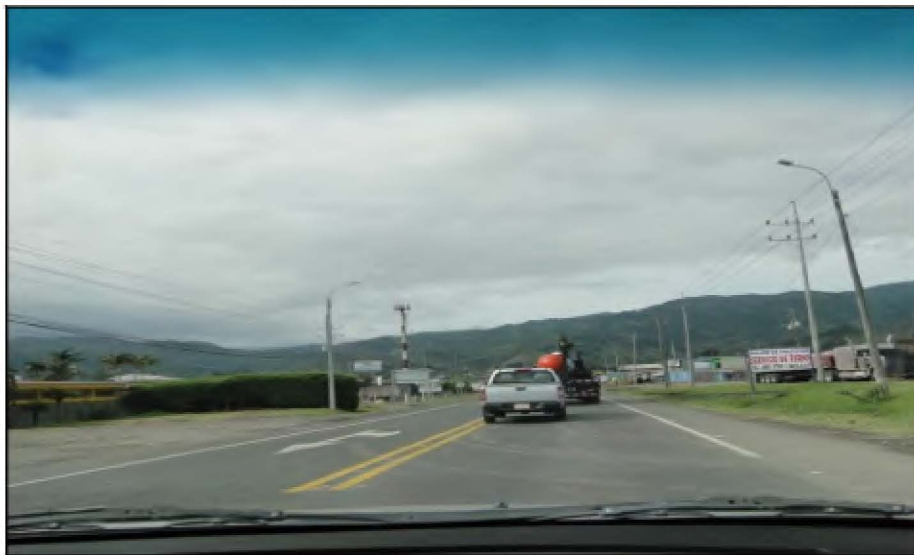


Figura 6.2. Doble línea amarilla en el tramo 3 "Gasolinera EL Guarco" (Mayo, 2015)

Analizando los tipos de lesión para los accidentes se encontró 1 accidente fatal, 3 accidentes con heridos leves y en 37 casos no se reportaron lesiones. En cuanto al tipo de accidentes se tiene que 38 de los 41 corresponden a choques entre vehículos, 2 son atropellos a ciclistas y 1 atropello a peatón.

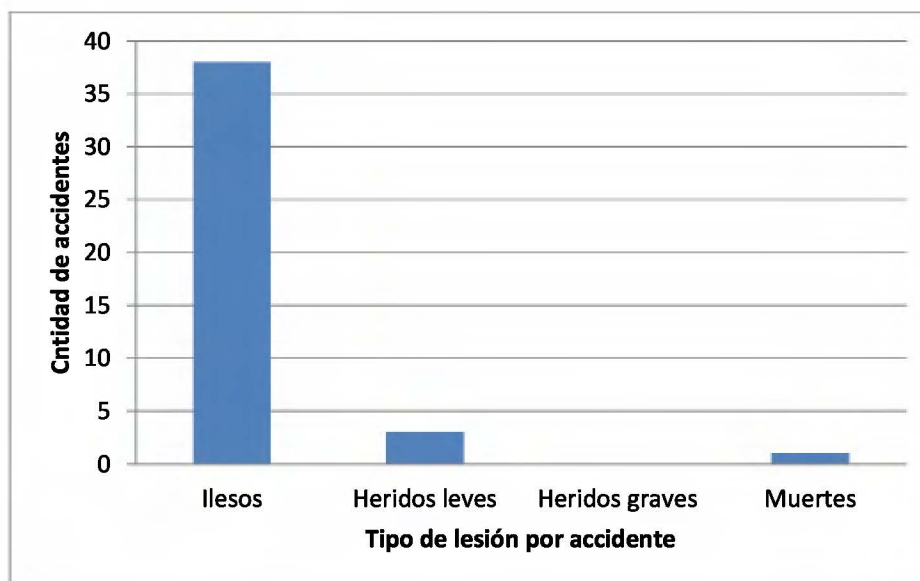


Figura 6.3. Tipos de lesión por accidente en el tramo 3 Gasolinera El Guarco

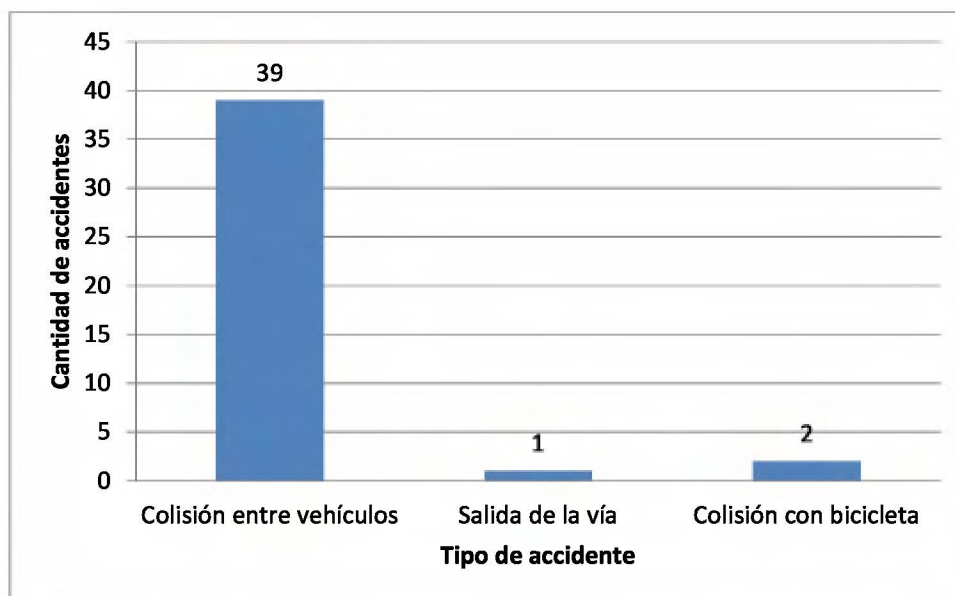


Figura 6.4. Tipos de accidente en el tramo 3 Gasolinera El Guarco

El tipo de impacto más común es el choque en ángulo recto, es decir debido a la salida de vehículos de los distintos accesos, siguen los choques por detrás con 11 ocasionados por no tener tiempo suficiente para detener el vehículo.

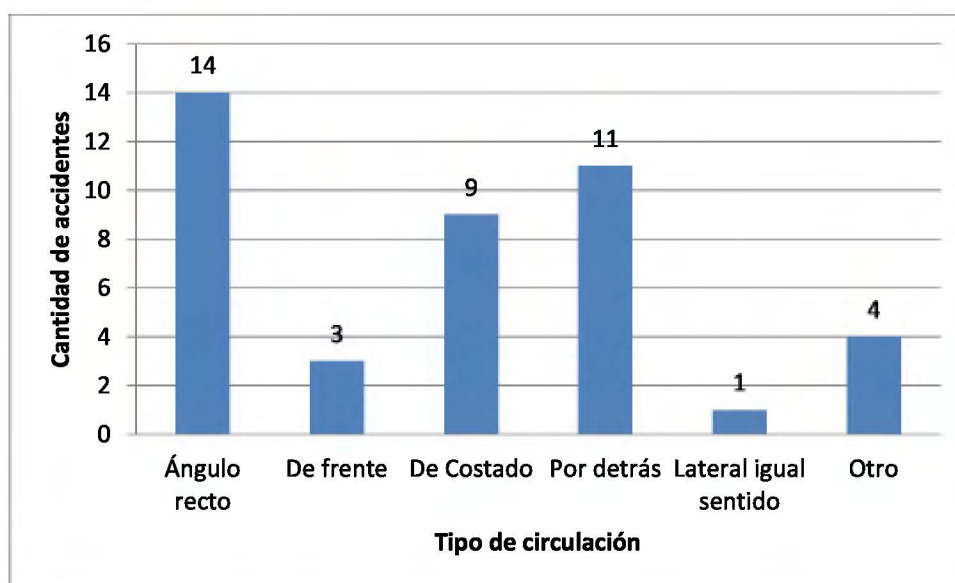


Figura 6.5. Tipo de impacto para los accidentes del tramo 3 Gasolinera El Guarco

6.1.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Es necesaria mejorar la demarcación en las intersecciones que se encuentran a lo largo del tramo, además se recomienda hacer un estudio que evalúe la posibilidad de colocar semáforos en algunas de las intersecciones por razones de seguridad vial.

Se deben implementar canalizaciones mediante islas en la intersección contigua a la gasolinera El Guarco para obligar a los conductores a que respeten la señalización. Este tipo de demarcación dirige de forma eficiente y segura al conductor por el carril apropiado.

El SIECA define que las islas se pueden delimitar de acuerdo a los siguientes métodos:

- Elevadas sobre el pavimento
- Marcas sobre el pavimento
- Vialitas, botones o boyas

Por las características de la intersección se recomienda señalar mediante marcas elevadas con el objetivo de que los usuarios respeten las canalizaciones.

En cuanto a la presencia de ciclistas en las cercanías del tramo se recomienda construir infraestructura adecuada para que circulen con seguridad. Se tienen datos de que diariamente circulan más de 900 ciclistas en la Ruta Nacional 2 (Torres, 2016).

Se recomienda revisar con mayor detalle el trabajo final de graduación del ingeniero Mauricio Torres titulado: "Estudio de la movilidad ciclista en los distritos de San Francisco, Guadalupe y Quebradilla del cantón de Cartago, y los distritos de Tobosi y Tejar del cantón de El Guarco". En esta investigación se hace una propuesta de la infraestructura a intervenir así como los tramos que merecen mayor atención.

En cuanto a las especificaciones que tiene que cumplir una ciclo vía se hizo la consulta a distintos manuales y guías de diseño.

Una de las fuentes consultadas fue el Manual para diseño de ciclovías de Cataluña (2008), en este documento se hace énfasis en que para construir una ciclovía deben de estudiarse además las siguientes condiciones:

- Datos de tráfico
- Existencia de otros medios de transporte
- Accidentes
- Características estructurales
- Existencia de universidades, escuelas, centros de trabajo, zonas turísticas.
- Características geométricas de la zona

En este caso particular se cumplen características como lo son: la ubicación de centros de trabajo cerca (Parque Industrial de Cartago, supermercados, bancos, etc.) y la presencia de accidentes que involucran a ciclistas.

Este Manual también define que la ciclovía está limitada por ciertas características como lo son:

- La distancia que puede recorrer un ciclista no puede superar como norma de desplazamiento diario los 7 u 8 km.
- Las pendientes deben ser menores al 5 % en general, a excepción de tramos cortos donde sí se puede exceder ese valor.
- El comportamiento del ciclista dentro del tráfico es diferente al del peatón y al del automovilista, aunque se acerca más al primero que al segundo.
- Velocidad media de un ciclista entre 25 y 30 km/h.
- El ancho de la ciclovía debe de ser de al menos 2 metros si es para sentido bidireccional.
- El pavimento debe tener una buena adherencia.

Se dan también las pendientes y longitudes máximas a considerar en el diseño de una ciclo vía, en el siguiente cuadro se pueden observar las longitudes máximas aceptadas de acuerdo al tipo de pendiente.

Cuadro 6.2. Inclinación Longitudinal máxima en una ciclo vía

INCLINACIÓN LONGITUDINAL %	LONGITUD MÁXIMA EN m
entre 5% i 6%	240
entre 6% i 7%	120
entre 7% i 8%	90
entre 8% i 9%	60
entre 9% i 10%	30
más del 10%	15

Fuente: Departamento de Política Territorial y Obras Públicas de Cataluña, 2008

Se debe tener en cuenta también los cruces de la ciclo vía con la calle principal, en este caso el Departamento de Política Territorial y Obras Públicas de Cataluña define la configuración de la intersección para permitir el paso a ciclistas.

En la Figura 5.6 se aprecia mejor los cruces propuestos en este manual, básicamente lo que se hace es reducir el ancho de carril cerca del cruce para que los usuarios disminuyan la velocidad de forma gradual antes de que lleguen al cruce.

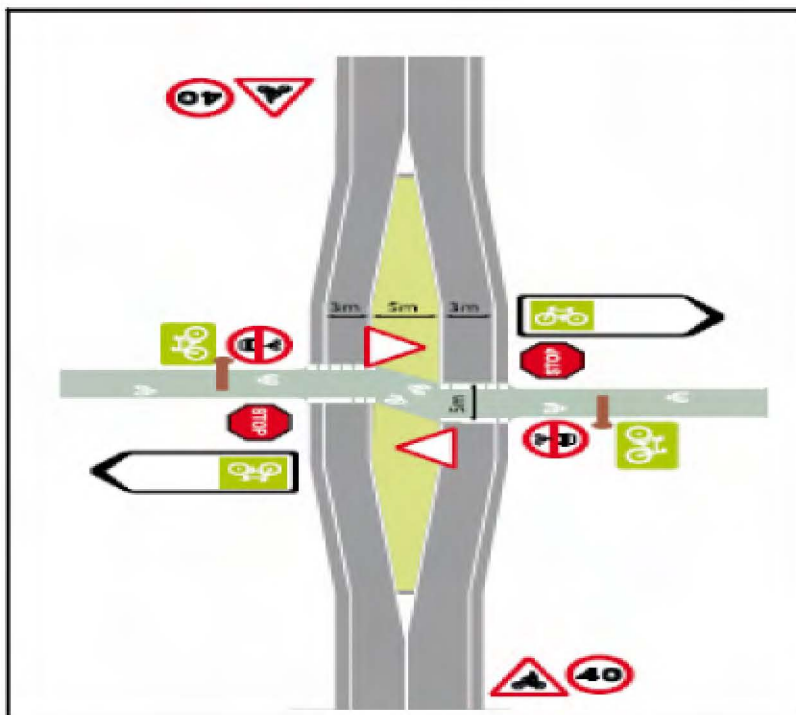


Figura 6.6. Esquema de una intersección con vía convencional con tráfico intenso

Fuente: Departamento de Política Territorial y Obras Públicas de Cataluña, 2008

Una medida preliminar que debe implementarse cuanto antes es la colocación de rótulos que indiquen a los conductores que hay cruces o presencia de ciclistas en la vía, esta se debe colocar 75 metros antes de la intersección. A continuación se muestra el tipo de señal a colocar.

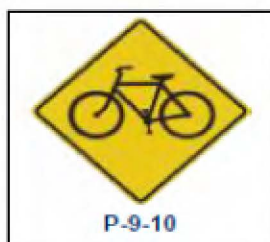


Figura 6.7. Señal de cruce de ciclistas

Fuente: SIECA, 2014

6.2. Tramo 13

6.2.1. Diagnóstico

Este tramo se ubica cerca del pueblo de La Cangreja, aproximadamente en el kilómetro 34 de la Ruta Nacional 2. Se presentaron 13 accidentes en los 3 años de estudio, de los cuales uno tuvo consecuencias fatales, razón por la cual este tramo es el cuarto con mayor exceso de frecuencia de choques equivalentes.

Cuadro 6.3. Características del tramo 13 La Cangreja

Característica	
Longitud (m)	1401
Cantidad accesos	3
Densidad accesos	2,1
Zona	Rural
Alineamiento	Recto con curvas suaves

Clasificando los choques según la gravedad de la lesión se obtuvieron las siguientes estadísticas: 1 accidente con muertos, 2 con heridos graves, 3 con heridos leves y en 7 casos no se reportaron lesiones. En la Figura 6.8 se observan estos resultados

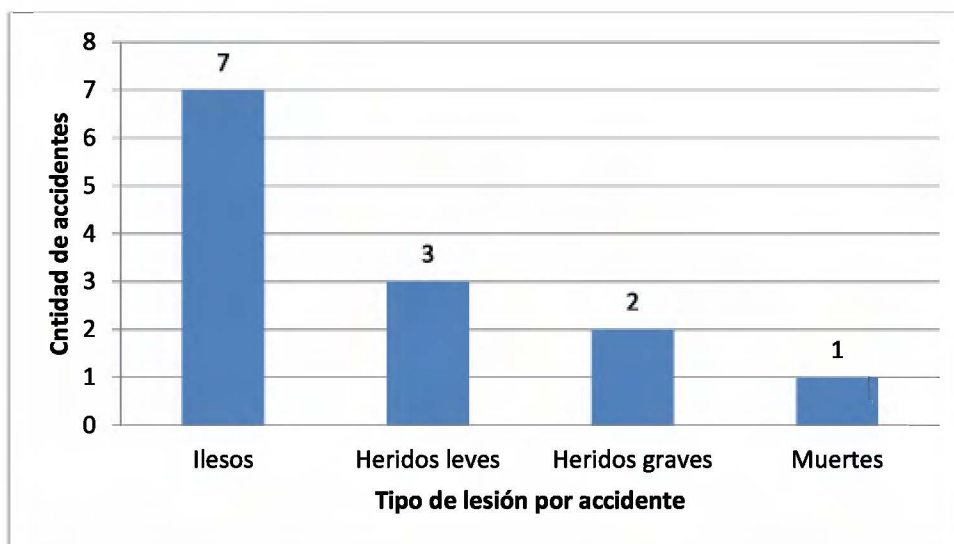


Figura 6.8. Tipo de lesión por accidente en el tramo 13 La Cangreja

El alineamiento horizontal favorece altas velocidades y los adelantamientos, se llegó a esta conclusión luego de analizar los tipos de accidentes para este sector. El tipo de accidente que

predomina son las colisiones entre vehículos, con 10 accidentes, los otros 4 choques corresponden a salidas de la vía.

Analizando el tipo de impacto se encontró que prevalecen los choques de costado, seguido de los choques por detrás con 4, se tiene además 1 choque de frente y 1 choque lateral en sentido contrario.

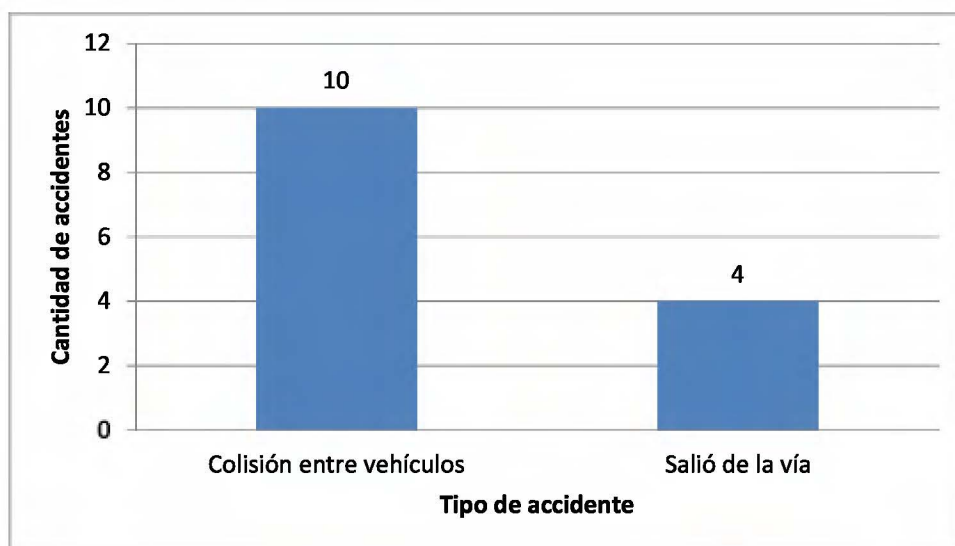


Figura 6.9. Tipo de accidente en el tramo 13 La Cangreja

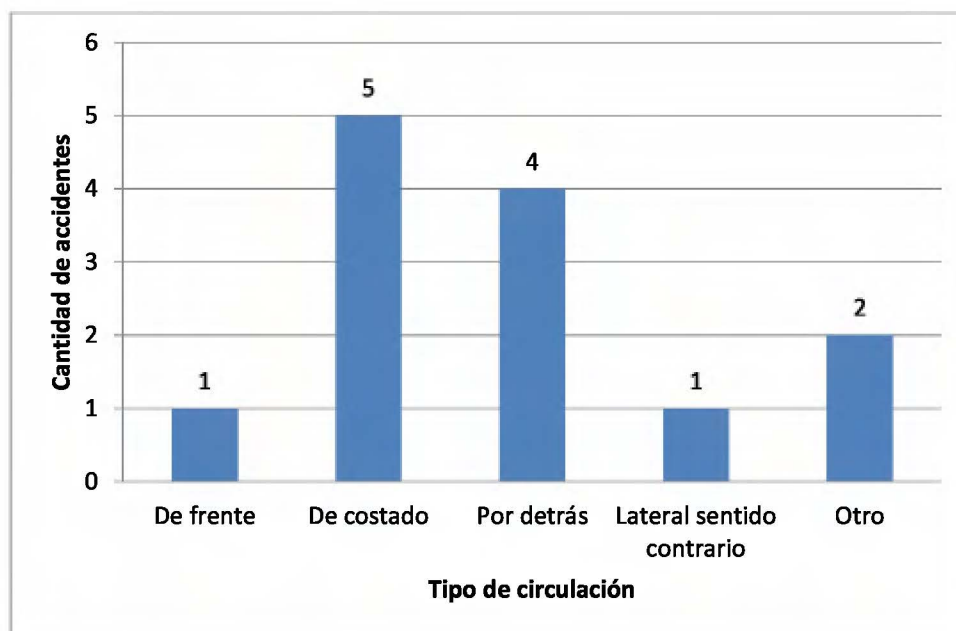


Figura 6.10. Tipo de impacto en los accidentes del tramo 13

En este tramo la mayoría de choques parece que se generan por adelantamientos indebidos, como consecuencia predominan las colisiones laterales, por detrás y de costado. Como se trata de un tramo recto los conductores hacen adelantamientos a pesar de existir doble línea amarilla.

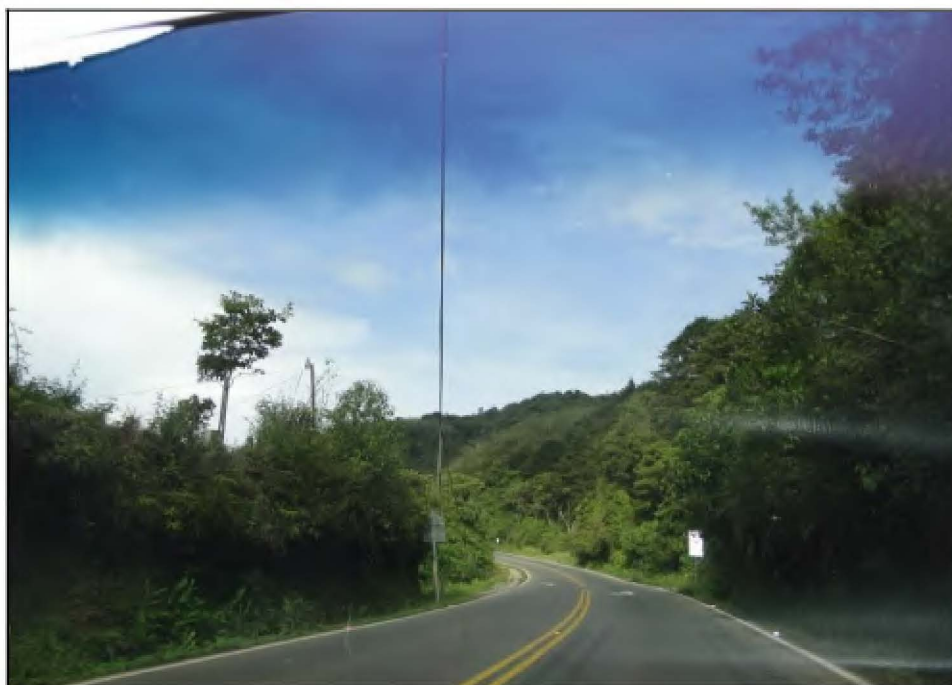


Figura 6.11. Doble línea amarilla en el tramo 13 La Cangreja (Mayo, 2015)

Al igual que en los otros tramos e intersecciones se realizó una visita para determinar las condiciones del sitio. El tramo no cuenta con espaldón, los captaluces se encuentran en muy mal estado situación que dificulta la visibilidad pues se trata de una zona con presencia de neblina. Adicionalmente existe una zona escolar. En la Figura 6.12 se observa la señalización de la zona escolar.

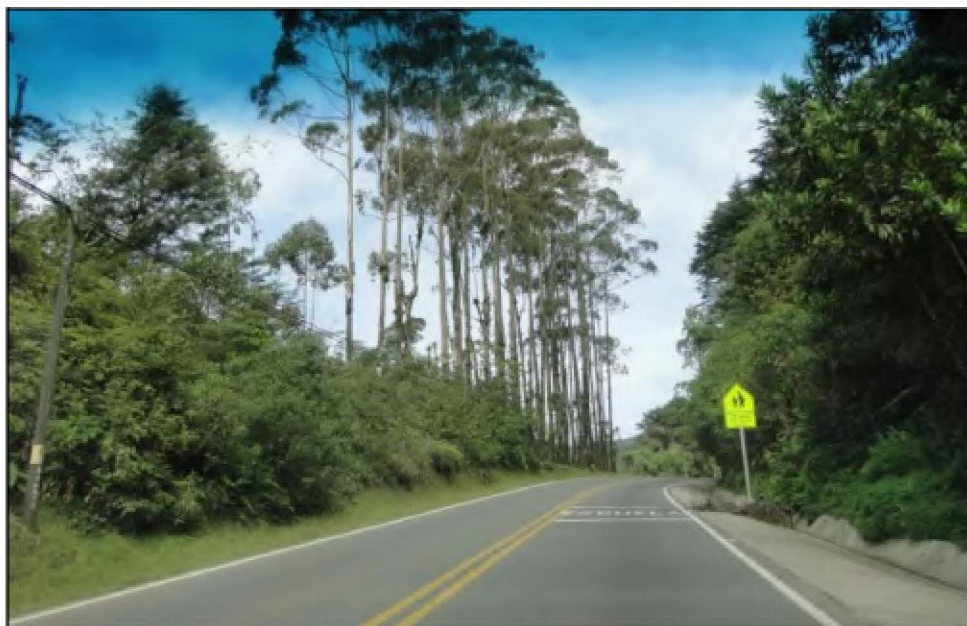


Figura 6.12. Zona escolar en el tramo 13 La Cangreja (Mayo, 2015)

En la Figura 6.13 se puede observar la poca visibilidad ante la presencia de neblina pues no existen captaluces o vialetas.



Figura 6.13. Poca visibilidad en el tramo 13 (Mayo, 2015)

6.2.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Para disminuir la velocidad se deben implementar franjas o bandas sonoras antes de la zona escolar, estas se deben colocar de acuerdo a las especificaciones definidas por el SIECA (2014):

- Colocar bandas compuestas por al menos 10 franjas individuales
- Colocar franjas separadas a 0,40 metros, pues la velocidad es menor a los 65 km/h.
- No es apropiado instalar las franjas en forma individual.
- Colocar la primera franja a 50 metros de distancia de la zona de riesgo.

Otra forma de evitar adelantamientos y de controlar la velocidad es realizar operativos de tránsito cerca de la zona con mucha más frecuencia.

Se recomienda hacer los estudios pertinentes para determinar aquellos puntos donde se puedan construir carriles de ascenso en sentido San José-San Isidro, que permitan a los conductores rebasar vehículos pesados sin tener que hacer maniobras ilegales.

El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico (2004) establece que para construir un carril de ascenso deben cumplirse 3 criterios:

- Volumen ascendente mayor a 200 vehículos por hora: se proponer hacer conteos vehiculares para verificar que se cumpla esta condición, aunque tratándose de una ruta nacional es probable que este volumen sea mayor.
- Tránsito ascendente de camiones mayor a 20 vehículos por hora: la ruta es atravesada por gran cantidad de camiones y autobuses, pues se trata de una Ruta Nacional, además si los vehículos se dirigen a Limón o al Valle Central pasan por esta ruta y no por la Costanera.
- Que la velocidad del camión se reduzca en 20 km/h, o que el nivel de servicio sea de E o F en la zona de pendiente.

El carril de ascenso debe tener una longitud de transición de 25 a 1, aunque no debe ser menor a 50 metros, además debe extenderse de 30-90 metros después de la cresta y tener una transición al final no menor a 60 metros.

Se deben buscar zonas que tengan el espacio suficiente para colocar carriles de ascenso a lo largo de la ruta, estas zonas deben tener espacio para añadir un carril procurando hacer el menor movimiento de tierras posible.

Por último se recomienda recortar malezas y arbustos a lo largo del tramo que impiden la visibilidad, así como colocar captaluces a cada 6 metros en los bordes y a cada 3 metros en la línea de centro, para que se mejore la visibilidad en la noche y en presencia de neblina.

6.3. Tramo 27

6.3.1. Diagnóstico

Se ubica en la entrada a La Sierra y tiene una longitud de 878 metros. El alineamiento horizontal es recto en su mayoría aunque presenta algunas curvas. En este tramo se presentaron 12 accidentes en el periodo 2011-2013. Las características se detallan en el Cuadro 6.4.

Cuadro 6.4. Características del tramo 27

Característica	
Longitud (m)	878
Cantidad accesos	1
Densidad accesos	1,1
Zona	Rural
Alineamiento	Recto con algunas curvas

En 10 de los accidentes no se reportaron heridos, en 2 casos hubo heridos graves y no se presentaron muertos o heridos leves. Para evidenciar esto se hace referencia a la Figura 6.14.

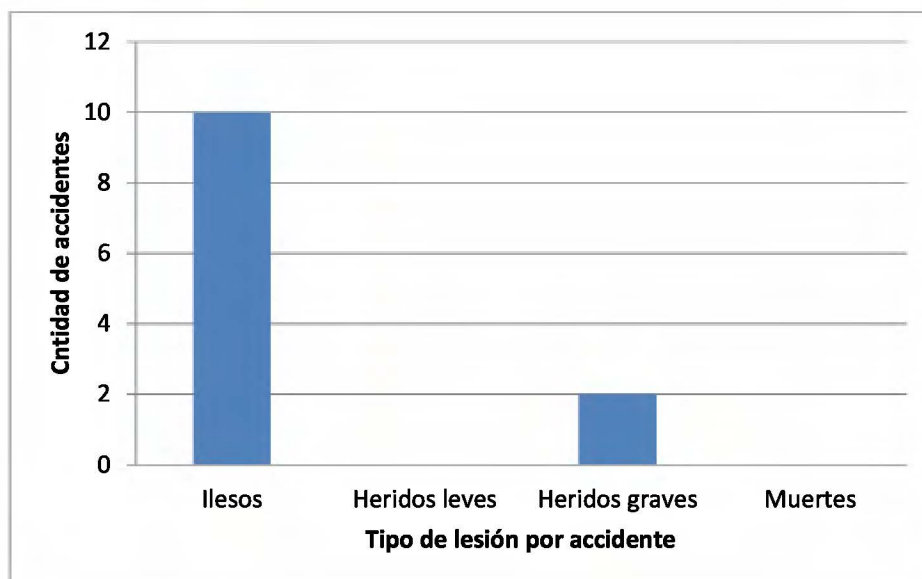


Figura 6.14. Tipo de lesión para los accidentes del tramo 27 El Empalme

En este tramo 10 de los 12 accidentes fueron colisiones entre vehículos y sólo se presentaron 3 salidas de vía.

Analizando el tipo de impacto se tiene que en 3 casos el choque fue de costado, se presentaron también 3 choques de frente y 2 colisiones por detrás. En las figuras 6.15 y 6.16 se observan mejor estos resultados.

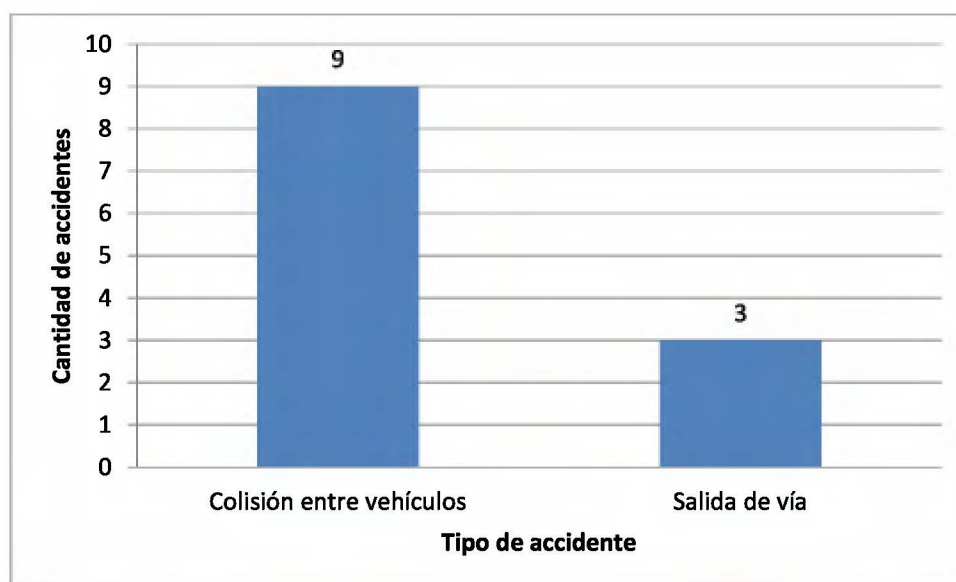


Figura 6.15. Tipo de accidente en el tramo 27 El Empalme

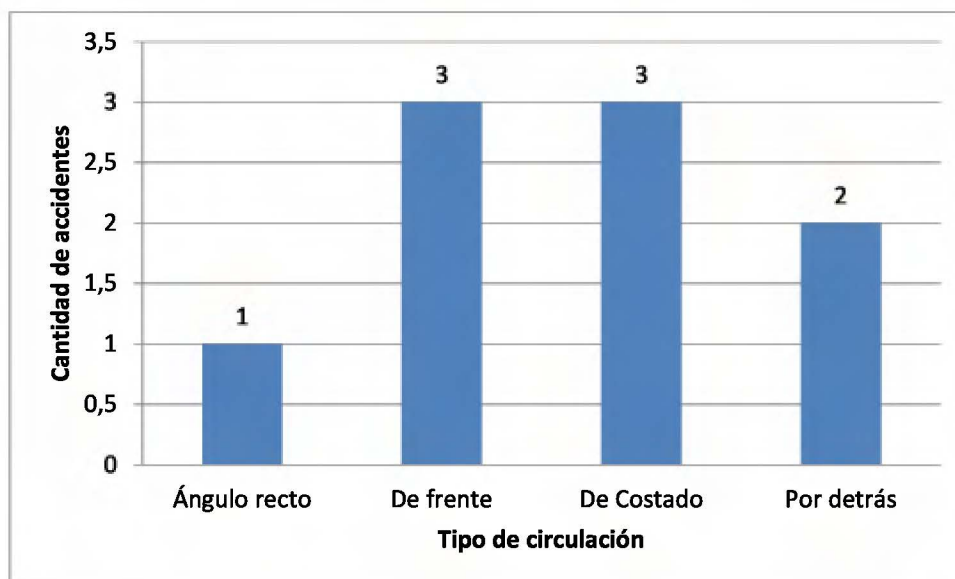


Figura 6.16. Tipo de impacto para los accidentes del tramo 27 El Empalme

Se encontraron varias deficiencias en este sector, el primero es que la calzada presenta una superficie irregular, además hay un cruce con Ruta Nacional, así como varios establecimientos y comercios a lo largo del mismo por lo que salen y entran gran cantidad de vehículos.

Al ser un tramo con alineamiento recto los conductores hacen adelantamientos indebidos, aun cuando la señalización indica que está prohibido. El espaldón es inexistente en este tramo, por lo que si algún vehículo sufre algún desperfecto y se ve en la obligación de detenerse ocupará el espacio del carril generando una situación de peligro.



Figura 6.17. Recta en el tramo 27 El Empalme (Mayo, 2015)

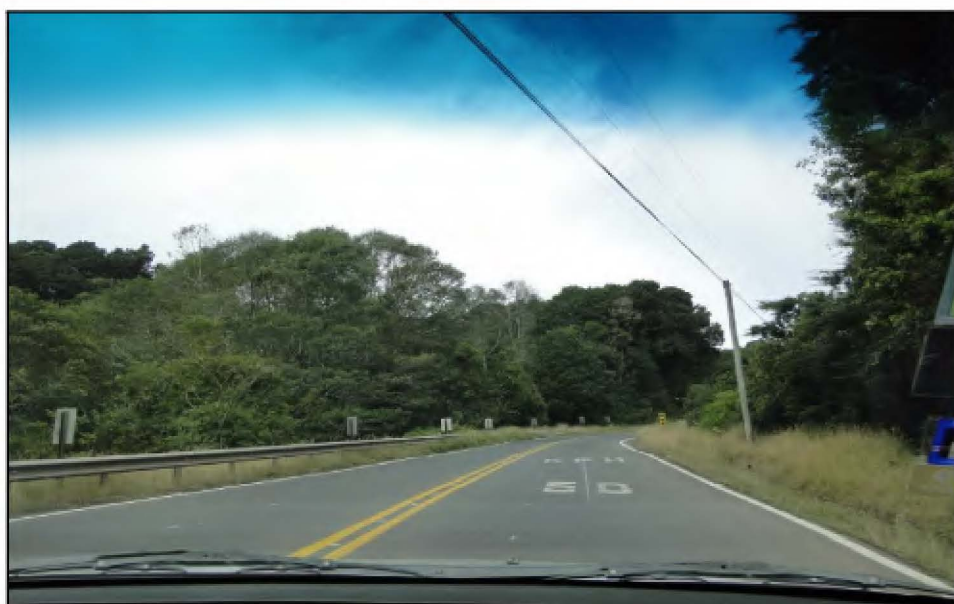


Figura 6.18. Velocidad señalizada de 50 km/h en el tramo 27 El Empalme (Mayo, 2015)

En la siguiente figura se observa como un conductor hace un adelantamiento indebido, a pesar de que la doble línea amarilla indica que esta maniobra no es permitida.



Figura 6.19. Adelantamiento indebido en el tramo 27 El Empalme (Enero, 2016)

6.3.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Es necesario implementar carriles de ascenso a lo largo de la ruta en sentido San José-San Isidro, en aquellos lugares donde haya espacio suficiente para añadir un tercer carril y que no existan intersecciones o zonas escolares cerca.

Es indispensable colocar postes abatibles que permitan mejorar la visibilidad e impedir que se den adelantamientos peligrosos.

Debe demarcarse nuevamente la señalización horizontal, así como mejorar la capa de rodadura del pavimento. Se deben colocar nuevos captaluces porque los actuales ya perdieron la superficie reflectora o en el peor de los casos no existen.

Por último se recomienda ampliar el espaldón y construir una acera para que los peatones que viven cerca de la zona puedan circular por un área más segura.

6.4. Tramos 70, 71, 72 y 73

6.4.1. Diagnóstico

Se tomó la decisión de analizar estos tramos juntos pues se encuentran de forma continua, en principio el tramo 72 no se ubica dentro de los tramos críticos, pero se encuentra en medio de tramos que sí lo son, es por eso que este sector de la carretera se analizó como uno solo. Se detallan las longitudes y características de los tramos.

Cuadro 6.5. Características de los tramos 70, 71, 72 y 73

Característica	
Longitud tramo 70 (m)	1176
Longitud tramo 71 (m)	1557
Longitud tramo 72 (m)	1125
Longitud tramo 73 (m)	857
Cantidad accesos	6
Zona	Rural
Alineamiento	Sinuoso

Al igual que en los tramos anteriores también se analizó el tipo de lesión en los choques, el tipo de accidente, el sentido de circulación y las condiciones del tiempo reportado al momento del accidente. En las Figuras 6.20, 6.21 y 6.23 se observa con más detalle estas estadísticas.

Los datos de estos choques se montaron en fichas como la mostrada en la descripción metodológica, la idea era tener una idea de qué tipo de choque era el más común para cada segmento y así identificar las posibles causas.

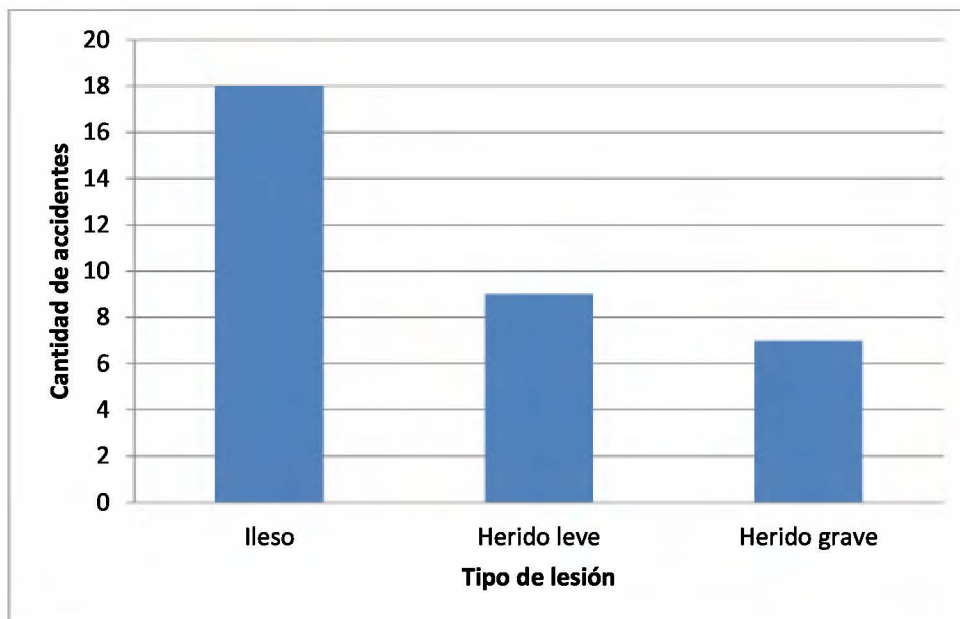


Figura 6.20. Tipo de lesión en los tramos 70-73

Como se observa en la Figura 6.20 para estos tramos se tienen un total de 34 accidentes, de los cuales en 9 casos se presentaron heridos leves y en 7 heridos graves. No se reportaron muertes en sitio.

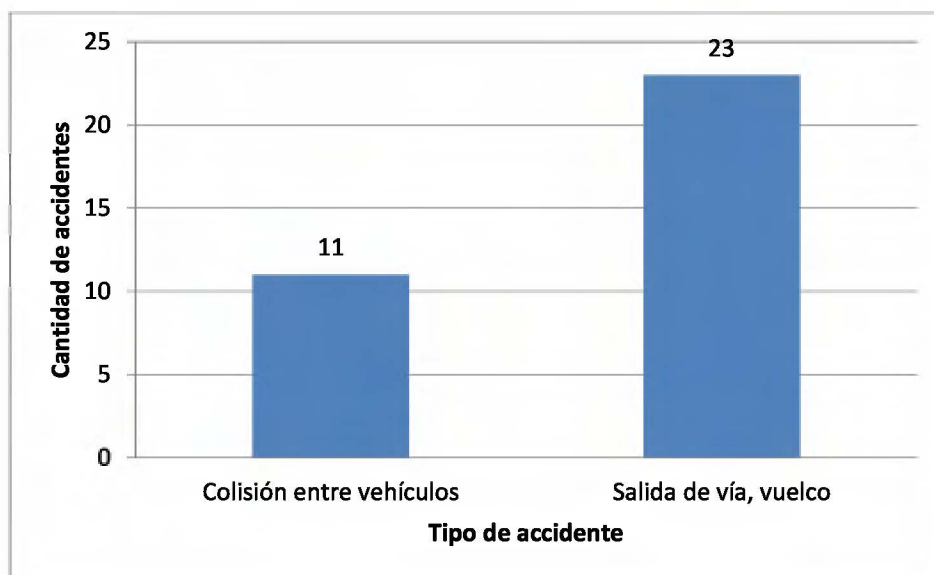


Figura 6.21. Tipo de accidente para los tramos 70-73

El tipo de accidente que predomina es la salida de la vía o vuelco pues 23 de los 34 accidentes que se presentaron son de este tipo. Los restantes 11 accidentes son colisiones entre vehículos.

En cuanto al tipo de impacto según la circulación de los vehículos el más común es el choque de frente con 16 casos, en segundo lugar se ubican los choques de costado y en tercera posición aquellos en que no se especifica.

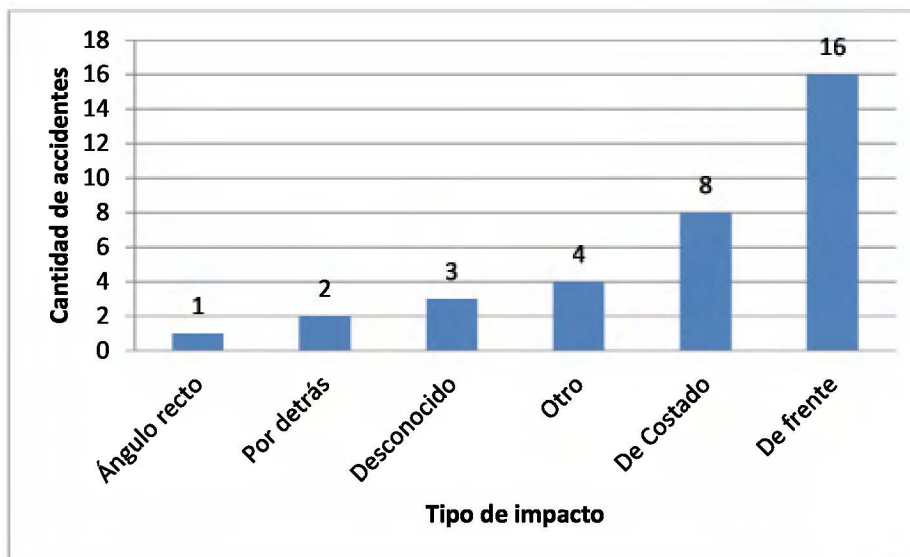


Figura 6.22. Tipo de impacto para los accidentes del tramo 70-73

Después de hacer el recorrido por la ruta se observó que estos segmentos presentan curvas frecuentes y cerradas, sin embargo si se respeta la velocidad no deberían generarse problemas.

Se analizó por esta razón las condiciones del tiempo al momento del accidente con el objetivo de identificar si los choques en estos tramos fueron generados por malas condiciones del tiempo.

Como se aprecia en la Figura 6.23 en 24 de los 34 accidentes las condiciones eran lluviosas o nubladas, en 8 casos se reportó buen tiempo y en 2 estaba oscuro. Analizando el tipo de accidentes pareciera que los eventos ocurridos en este tramo se deben sobre todo a malas condiciones del tiempo.

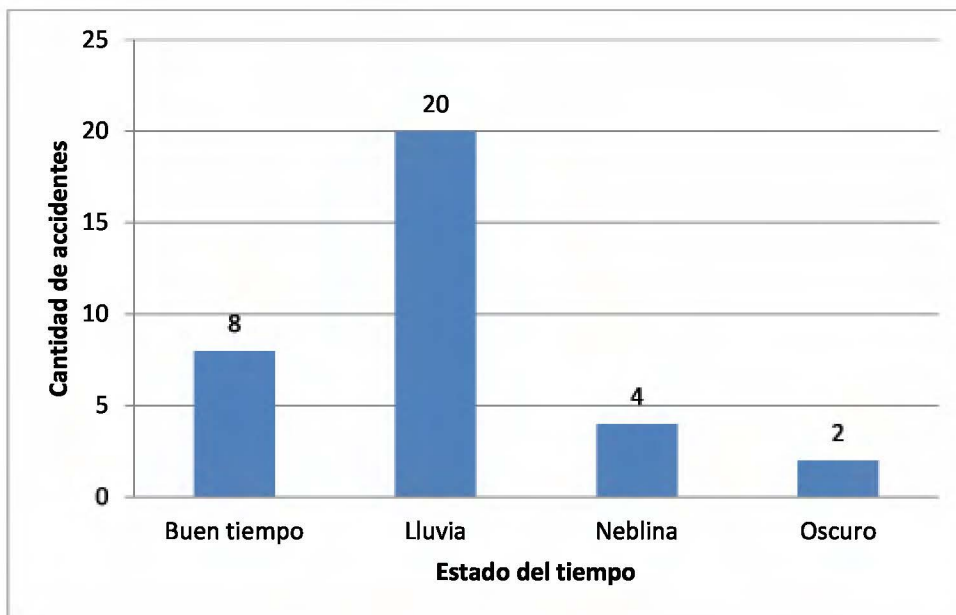


Figura 6.23. Estado del tiempo para los tramos 70-73



Figura 6.24. Presencia de neblina en el tramo 70 (Mayo, 2015)

Como ya se mencionó estos tramos presentan un alineamiento horizontal sinuoso. En la Figura 6.25 se muestra un segmento curvo del tramo 72.

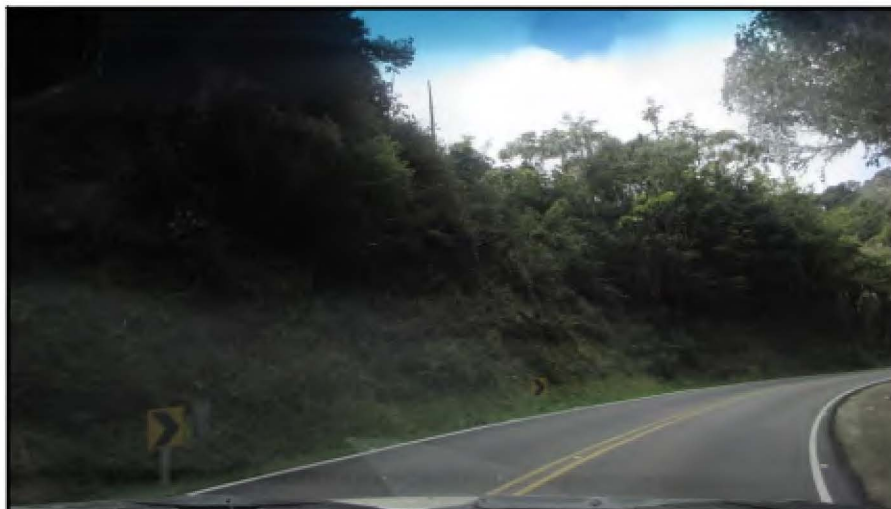


Figura 6.25. Curva cerrada en el tramo 72 (Mayo, 2015)

Otro de los problemas que se observaron es la presencia de terminales tipo cola pez en las barreras metálicas. Este tipo de terminales representan un peligro para los vehículos que salgan de la vía.



Figura 6.26. Barrera metálica en una curva del tramo 73

6.4.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Para contrarrestar las condiciones adversas del tiempo se deben colocar captaluces siguiendo las especificaciones que da el Manual Centroamericano de señales de Tránsito. El SIECA recomienda que sean de color rojo.

Se deben colocar siguiendo las siguientes especificaciones:

- En la línea central de la vía a cada 3 metros
- En los bordes de la calle a cada 6 metros.

Se pueden colocar postes abatibles para dar una mayor visibilidad a los conductores en condiciones de neblina y lluvia.

Las barreras metálicas a lo largo de la vía, no cubren la totalidad de los segmentos curvos, por lo que es necesario colocar barreras que abarquen la totalidad de la curva. Es indispensable reemplazar las terminales tipo "cola de pez" por unas menos bruscas y que no representen un peligro para los conductores.

6.5. Tramo 75

6.5.1. Diagnóstico

Se ubica en el sector conocido como "vuelta las monjas", en el kilómetro 102 de la Ruta Nacional 2. Se presentaron 56 choques en los tres años de estudio, en 36 de los choques no se reportaron heridos, en 14 casos heridos leves, en 5 heridos graves y en 1 caso una muerte.

Este tramo es montañoso y en sus 1060 metros de longitud no existen accesos. Una de las particularidades de este tramo es que el segmento anterior (sentido San José-San Isidro) presenta un carril de ascenso, razón por la cual algunos vehículos hacen maniobras ilegales o ingresan con mucha velocidad a la curva.

En el Cuadro 6.6 se detallan las principales características del tramo "vuelta las monjas":

Cuadro 6.6. Características del tramo 75

Característica	Cantidad
Longitud (m)	1060
Cantidad accesos	0
Densidad accesos por kilómetro	0
Zona	Rural
Tipo de Alineamiento	Curvas cerradas frecuentes

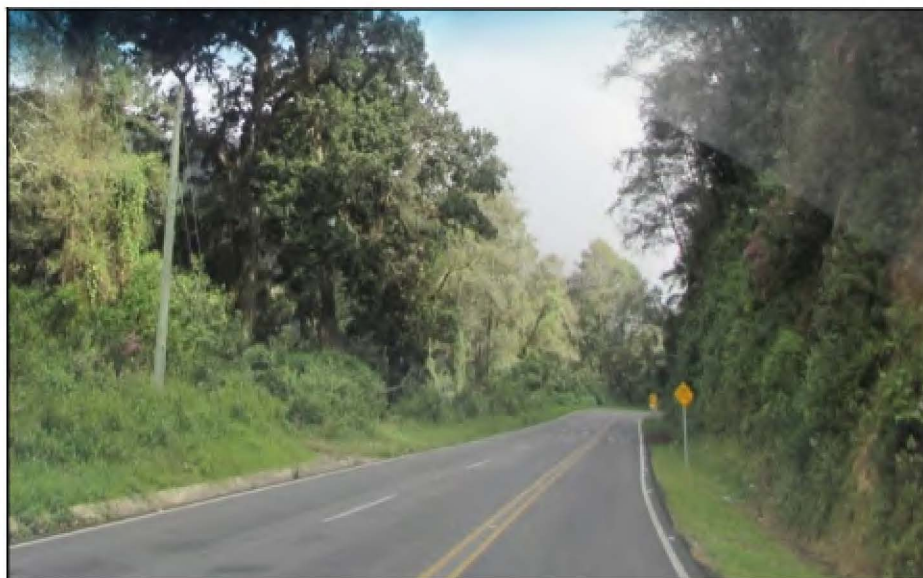


Figura 6.27. Sección de 3 carriles antes de una curva cerrada (Mayo, 2015)

En las Figuras 6.27 y 6.28 se observa el segmento con carril de ascenso así como la señalización horizontal y vertical.

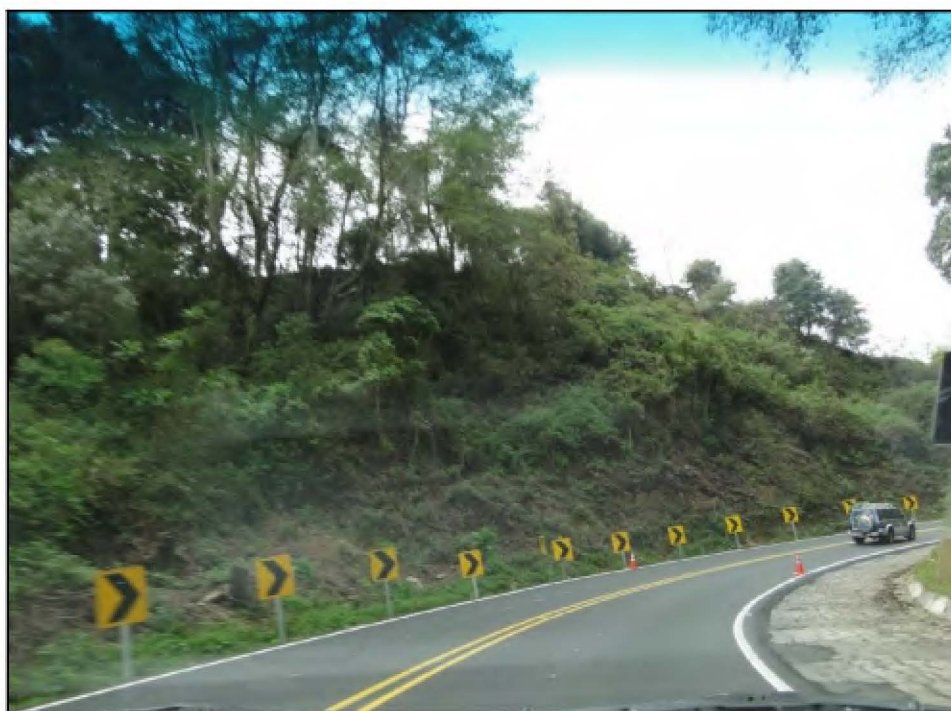


Figura 6.28. Fotografía de la señalización en el tramo 75 (Mayo, 2015)



Figura 6.29. Fotografía de un sector curvo en el tramo 75 (Mayo, 2015)

Para complementar las fotografías y demás información recolectada en campo, se hizo un análisis del tipo de accidentes y características de los mismos en el tramo, a continuación se describen los resultados.

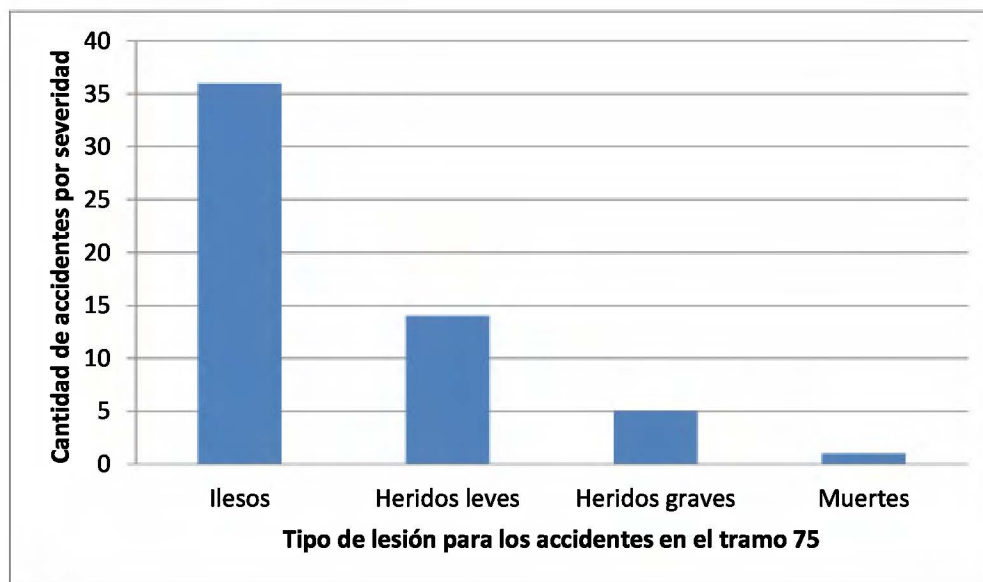


Figura 6.30. Tipos de accidente por severidad en el tramo 75 Vuelta Las Monjas

Como ya se mencionó en el tramo "vuelta las monjas" se tienen 56 accidentes, 1 de los cuales fue con muertos, en dicho accidente fallecieron 3 personas. Se tienen además 5 accidentes con heridos graves y 14 con heridos leves.

En cuanto al tipo de impacto del vehículo predominan los vuelcos o salidas de vía. En segundo lugar se encuentran los choques de costado, situación que se podría generar por adelantamientos ilegales. El tercer tipo de impacto más común es el choque frontal, que es un claro indicador de invasión de carril.

Para observar mejor el tipo de impacto al momento del choque se hace referencia a la Figura 6.31.

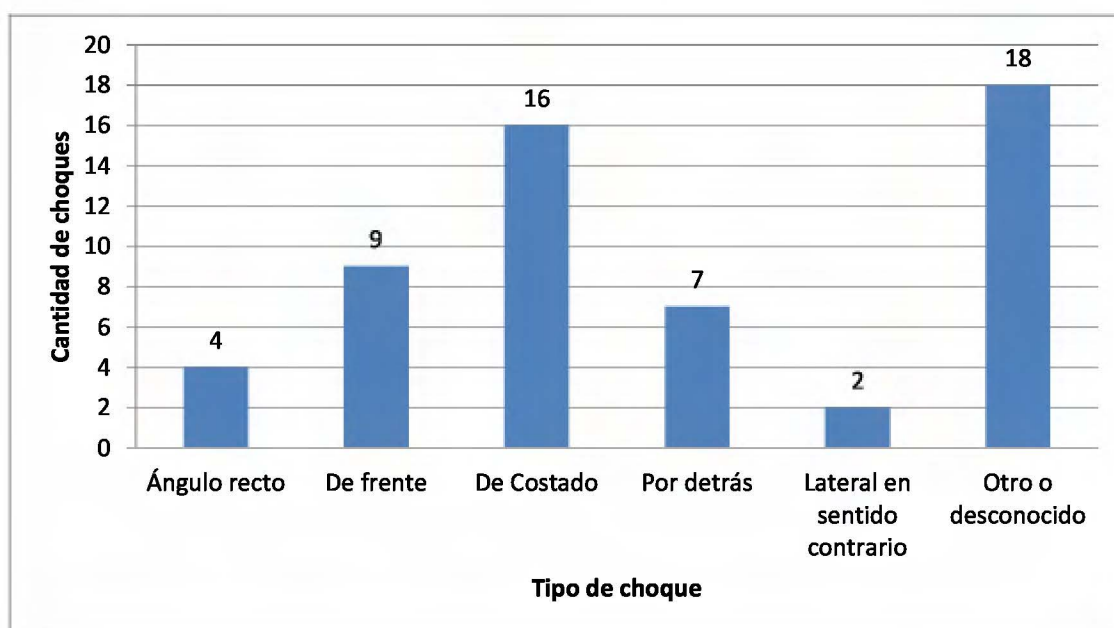


Figura 6.31. Tipo de accidente por sentido de circulación para el tramo 75 Vuelta Las Monjas

El tipo de accidente que predomina son las colisiones ente vehículos con un total de 36, los otros 20 accidentes son vuelcos o salidas de la vía, situación que es de esperar pues se trata de un tramo montañoso y con una curva cerrada.

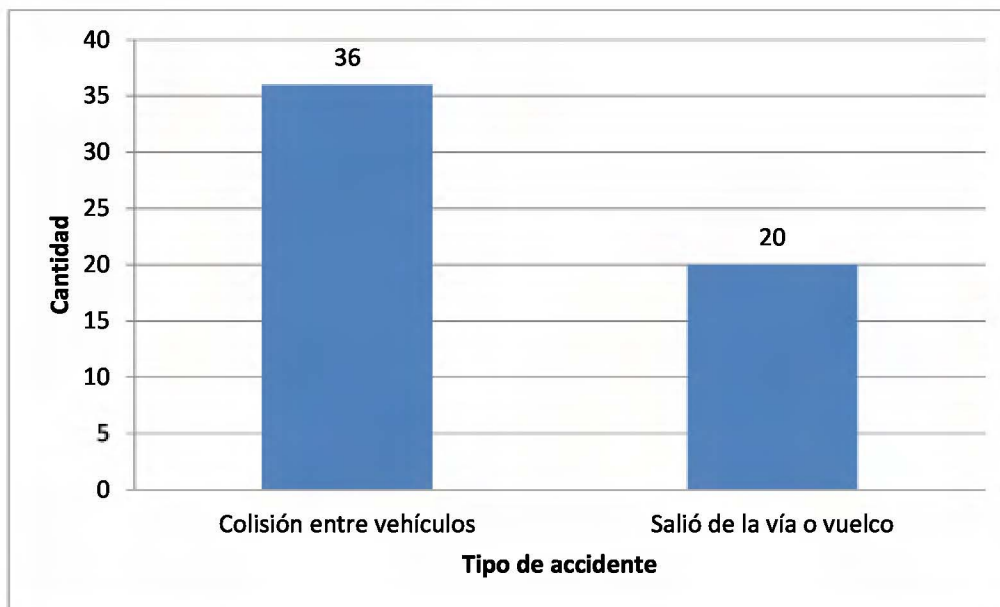


Figura 6.32. Tipo de accidente en el tramo 75

En cuanto al estado del tiempo en 29 de los 56 accidentes se reportaron condiciones lluviosas, en 8 de estos estaba oscuro y en 4 había neblina, analizando estas estadísticas pareciera que existe una relación directa entre las condiciones del tiempo y los accidentes, pues en más de la mitad de ellos, las condiciones eran adversas.

Al parecer la iluminación no es un problema en este tramo, pues sólo 9 de los 56 choques se presentaron bajo esas condiciones. Además este segmento cuenta con captaluces y guías verticales reflectivas.

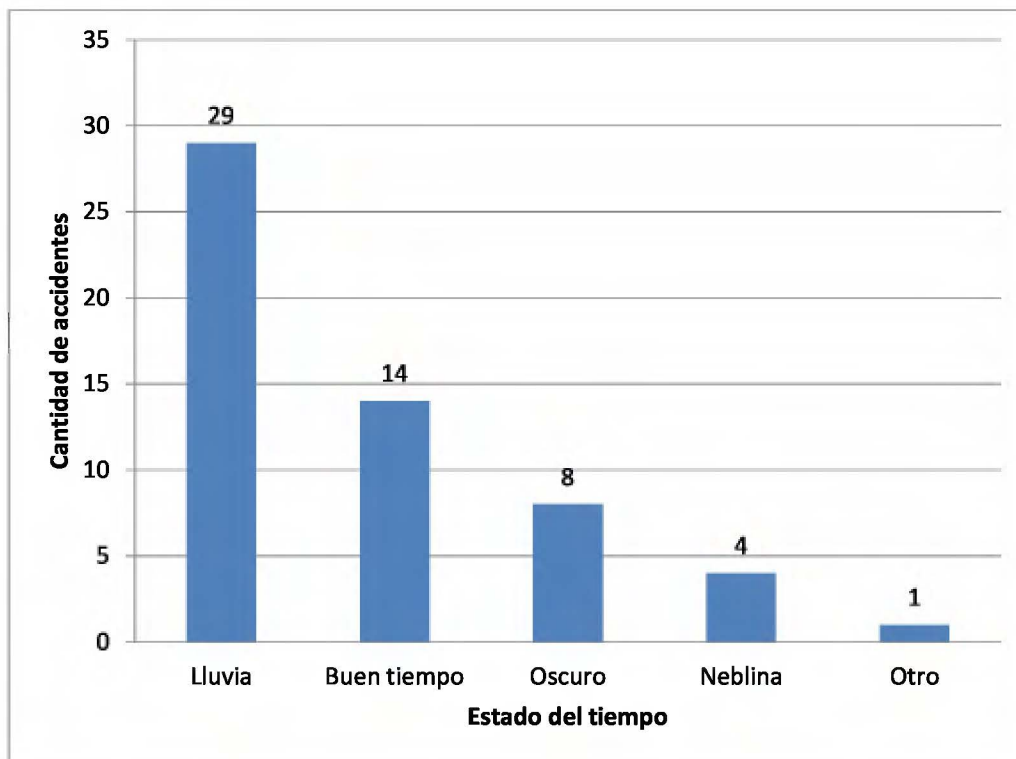


Figura 6.33. Estado del tiempo en los choques viales del tramo 75

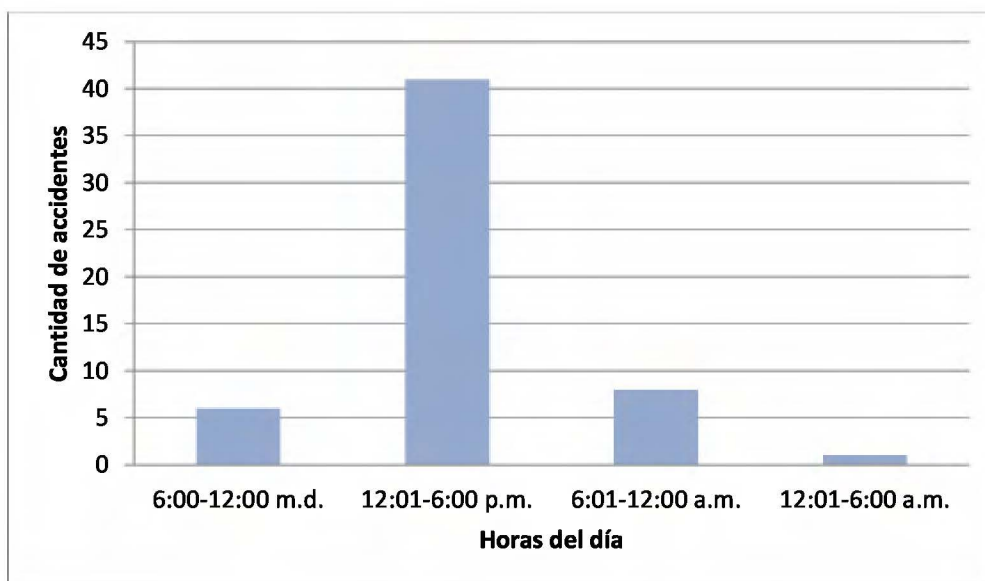


Figura 6.34. Choques por hora del día en el tramo 75

6.5.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Al ser un problema de velocidad, es necesario colocar reductores como lo son las rayas logarítmicas, para que los vehículos ingresen a la curva con velocidades bajas. Estos reductores, generan una alerta que trata de modificar el comportamiento de los conductores e incitar que disminuyan la velocidad.

El SIECA establece que deben ser de color blanco y de 0,6 metros de ancho, además deben estar pintados sobre el pavimento. La cantidad de líneas que se necesitan y su distancia varía de acuerdo a la diferencia de velocidad.

Se recomienda hacer mediciones en este sector con el objetivo de conocer las velocidades de los vehículos que viajan en ambos sentidos y así poder definir de manera correcta las distancias entre las franjas o bandas.

También se puede optar por la colocación de bandas sonoras, como se hizo énfasis en el capítulo 2 de esta investigación, las bandas que se instalen deben de seguir ciertas especificaciones:

- Las bandas alertadoras deben instalarse en series de grupos para que sean más eficientes.
- Cada banda debe tener al menos diez franjas para que produzca un efecto notorio.
- El espacio entre las franjas individuales será de 0,40 m para vías con velocidades menores a 65 km/h, como es el caso de este tramo.
- Colocar la primera banda al menos 50 metros antes, de donde está la zona de riesgo.

Se pueden colocar postes abatibles con el objetivo de dar mayor visibilidad a la curva, ya que más de la mitad de los 56 accidentes ocurrieron en condiciones lluviosas o de neblina.

6.6. Tramo 95

6.6.1. Diagnóstico

El tramo 95 se ubica en el sector conocido como Vuelta de Payner a la altura del kilómetro 120, es el segundo tramo con mayor exceso de frecuencia de choques equivalentes. En los 3 años de análisis se presentaron 63 accidentes.

Cuenta con una longitud de 963 metros, no posee accesos y se ubica en la zona montañosa o rural de la carretera, este tramo presenta una curva bastante cerrada en el paso sobre la quebrada Payner y la velocidad demarcada es de 60 km/h.

Cuadro 6.7. Características del tramo 95

Características del tramo	
Longitud (m)	963
Cantidad accesos	0
Densidad accesos	0,0
Zona	Rural
Alineamiento	Curva cerrada

En este tramo no se presentaron accidentes fatales en los 3 años de estudio, sin embargo si se contabilizaron 2 accidentes con heridos graves, 19 con heridos leves y en 42 casos no se reportó lesión alguna.

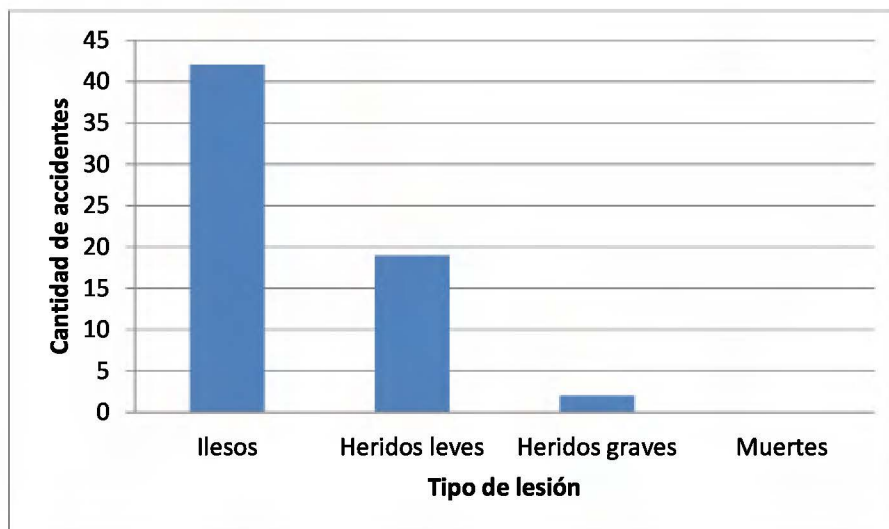


Figura 6.35. Tipo de lesión en los accidentes presentados en el tramo 95

Se analizó además el tipo de accidente y el sentido de circulación en este tramo, en cuanto al sentido de circulación, en 17 casos el choque fue de frente, seguido por aquellos accidentes en los que no se identificó el tipo con 15, en tercer lugar se encuentran los choques de costado con 12.

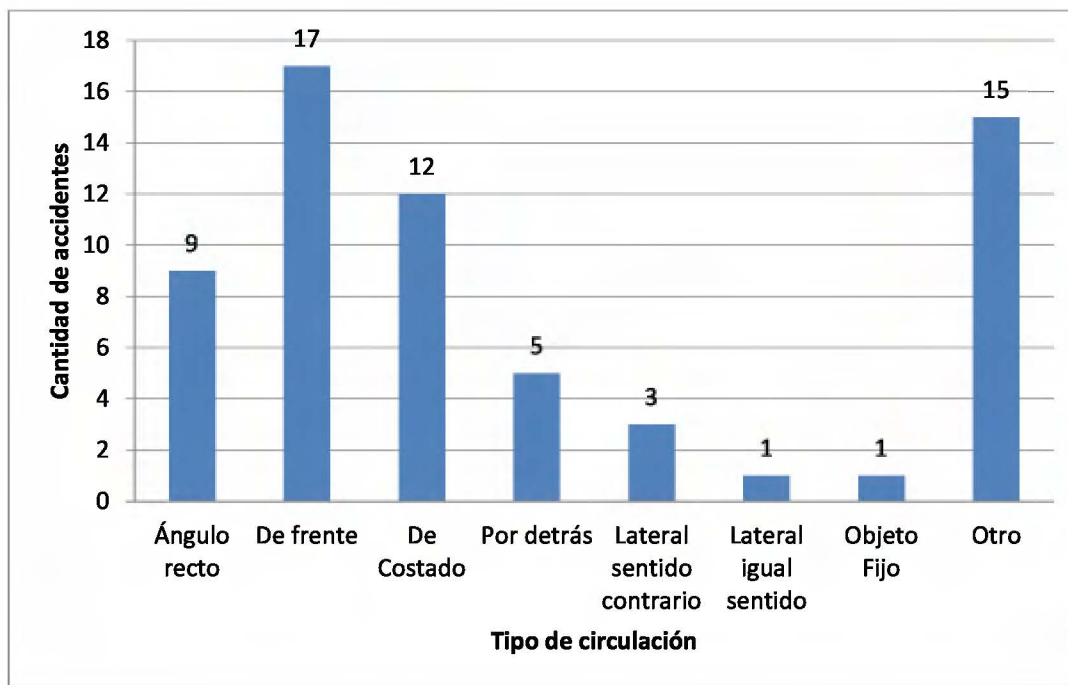


Figura 6.36. Cantidad de accidentes por tipo de impacto en el tramo 95

En cuanto al tipo de accidente en este tramo, en 42 casos se trata de colisiones entre vehículos, seguido de salidas de la vía o vuelcos con 19. En 2 de los accidentes no se especificó el tipo.

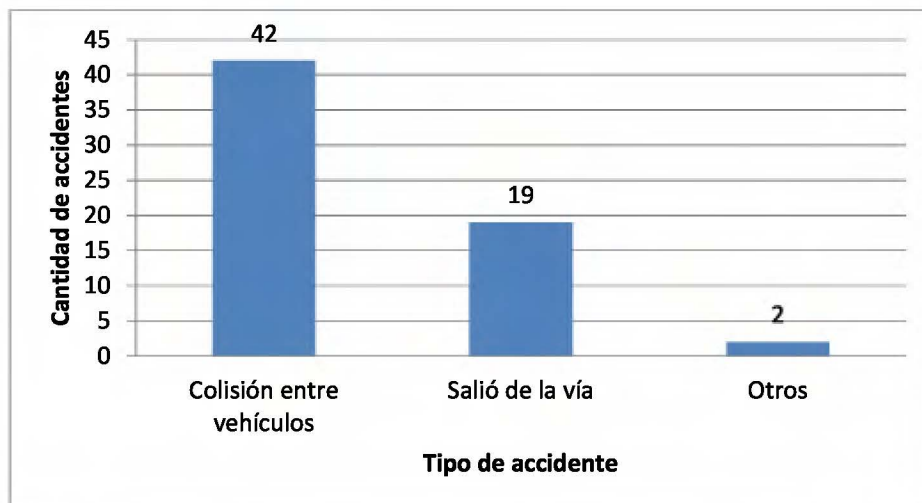


Figura 6.37. Tipos de accidente en el tramo 95 Vuelta de Payner

Por último se muestran algunas de las fotografías recolectadas en campo, en la Figura 6.38 se observa que existen objetos de gran tamaño a un costado de la vía. Esta situación representa un peligro en caso de que un vehículo se salga de la vía.



Figura 6.38. Presencia de rocas en los márgenes del tramo 95 (Mayo, 2015)

En la Figura 6.40 se observa una barrera de concreto en la zona izquierda de la curva en sentido San José-San Isidro, por otro lado en el margen derecho se tiene una barrera de placa metálica.

Uno de los problemas de estas barreras es que no abarcan toda la curva, por lo que un vehículo al salirse podría colisionar con la punta de la barrera generando que esta se incruste dentro del vehículo, deben de modificarse ambas para que abarquen toda la zona curva.



Figura 6.39. Barrera de concreto en el tramo 95 (Mayo, 2015)

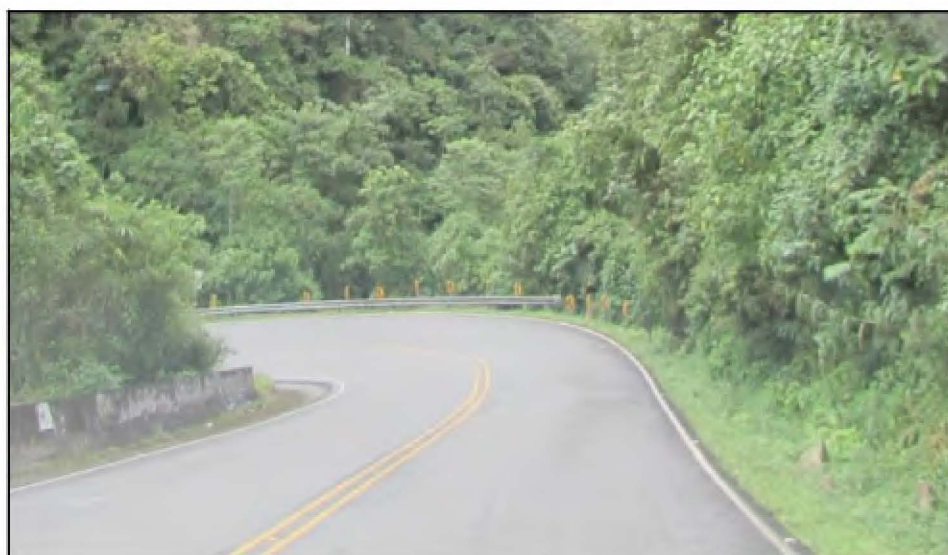


Figura 6.40. Barrera metálica que no abarca toda la curva (Mayo, 2015)

6.6.2. Medidas de seguridad vial propuestas

En este tramo el problema principal son las colisiones entre vehículos, deben aplicarse reductores de velocidad sobre todo en sentido San José-San Isidro, pues es el tramo con pendiente negativa.

Al igual que en el tramo "vuelta las monjas" debe realizarse un estudio de consistencia de velocidades y verificar si el radio de curvatura actual es el adecuado o si por el contrario es necesario ampliarlo.

Una medida eficaz sería colocar postes abatibles, para dar mayor visibilidad a los conductores y evitar que estos invadan el carril contrario.

Además deben de colocarse barreras de contención que abarquen toda la curva, pues aunque este tramo cuenta con una barrera de concreto y otra metálica, las mismas no cubren su totalidad.

Es necesario remover cuanto antes las rocas, que se ubican en uno de los márgenes del tramo, pues representan un peligro potencial para los vehículos que se salgan de la vía.

6.7. Tramo 110

6.7.1. Diagnóstico

Este tramo se encuentra ubicado en San Isidro del General, cuenta con 4 carriles, inicia en la gasolinera "Fersol" y finaliza en el puente del río Jilguero, los carriles están separados por una medianera, sin embargo hay algunos sectores con carriles de giro a la izquierda. El tramo cuenta con gran cantidad de accesos y sólo presenta un semáforo peatonal.

Cuadro 6.8. Características del tramo 110 Fersol-Puente río Jilguero

Características	
Longitud (m)	1028
Cantidad accesos	11
Densidad accesos	10,70
Zona	Urbana
Alineamiento	Recto

Llama la atención la gran cantidad de accidentes que se presentaron en los tres años de estudio, en total fueron 115 accidentes, si bien es cierto la mayor parte son accidentes sin mayores consecuencias, en 13 ocasiones se reportaron heridos leves y en 2 heridos graves.

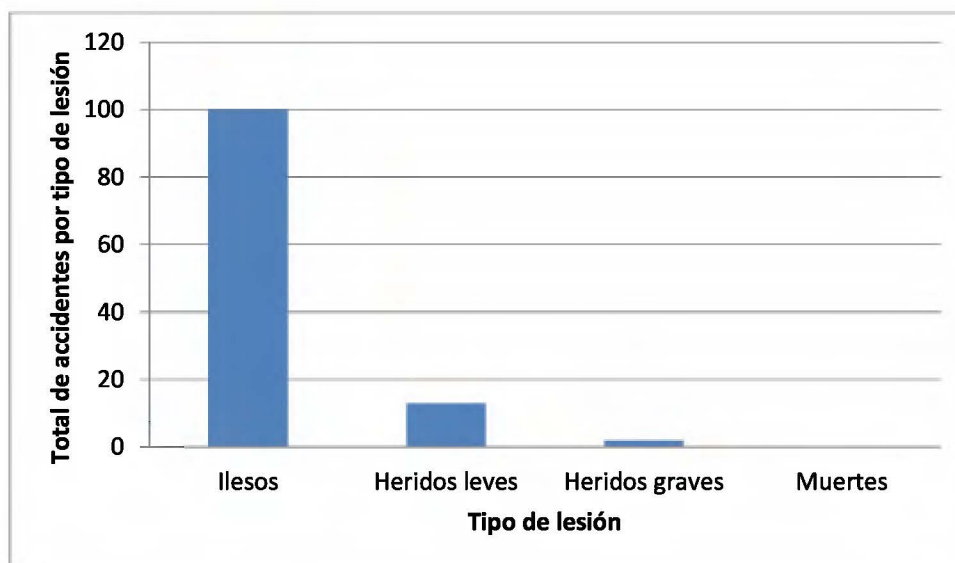


Figura 6.41. Tipo de lesión por accidente en el tramo 110 Fersol-río Jilguero

Como es de esperar el tipo de choque que predomina es la colisión entre vehículos con 95 accidentes, en segundo lugar se ubican las salidas de vía. Se tienen además 5 atropellos a personas y 2 atropellos a ciclistas.

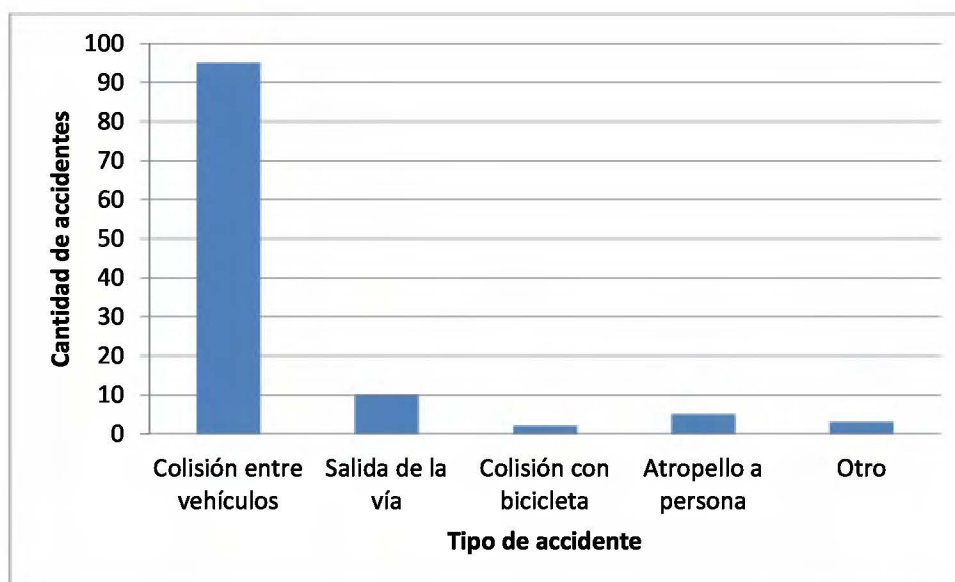


Figura 6.42. Tipo de accidente en el tramo 110 Fersol-río Jilguero

En cuanto al tipo de impacto predominan los choques por detrás con 43, seguido de los choques de costado con 34, en tercer lugar se ubican los choques de frente con 11. Probablemente sea una señal de que un vehículo se detiene a girar y el que va atrás circula a gran velocidad por lo que no le da suficiente tiempo para frenar y evitar la colisión.

El problema de esta carretera, es que no se pensó en la gran cantidad de accesos al momento de construirla; es por esta razón, que cada casa o comercio tiene un acceso perpendicular a la vía principal. Esta situación es sumamente peligrosa, pues una mayor cantidad de accesos aumenta el exceso de frecuencia de choques esperados.

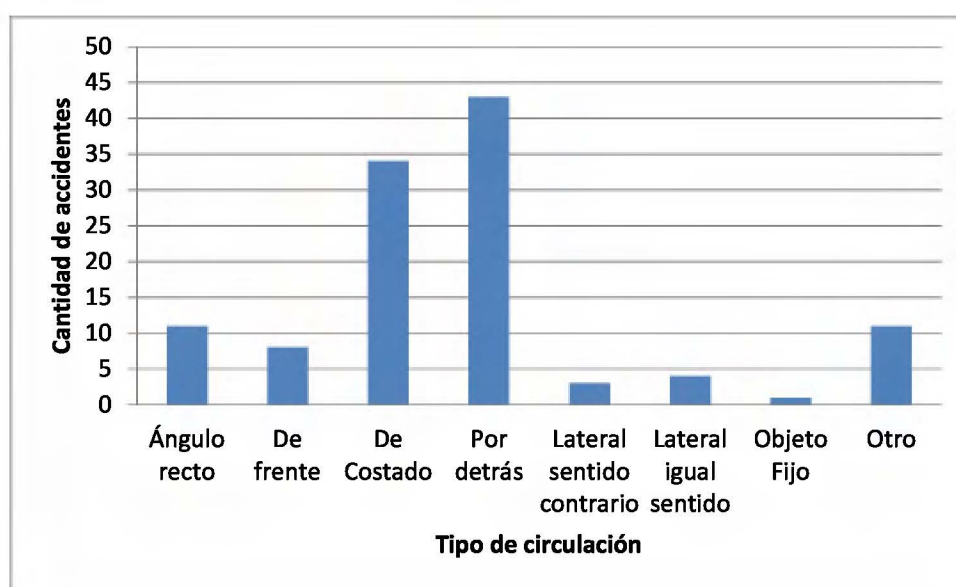


Figura 6.43. Tipo de impacto para los accidentes en el tramo 110 Fersol-río Jilguero

En las Figuras 6.44 y 6.45 se observa con mayor detalle la presencia de carriles de giro izquierdo así como la poca visibilidad en la señalización horizontal.



Figura 6.44. Carriles de giro en el tramo 110 (Mayo, 2015)



Figura 6.45. Señalización deficiente en el tramo 110 (Mayo, 2015)

6.7.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Para este tramo las recomendaciones son demarcar los carriles y poner captaluces de manera que en la noche no se den problemas de visibilidad, el SIECA recomienda que en carreteras de 4 carriles (2 por sentido) y velocidades menores a 60 km/h se deben colocar de la siguiente forma:

- Captaluces amarillos: por cada 10 metros sobre la doble línea continua amarilla.
- Captaluces blancos: por cada 10 metros sobre la línea intermitente blanca que divide los carriles.

Además se debe mejorar la señalización horizontal, pues es borrosa o inexistente. Además, mejorar la configuración del cruce Santa Cecilia (dicha medida se explica con mayor detalle en el diagnóstico del cruce Santa Cecilia).

Se deben establecer medidas de control de velocidad, para cumplir este objetivo se pueden seguir las pautas establecidas en la guía de medidas de tráfico calmado, elaborado por la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito de Chile. En esta guía se establecen 4 tipos de reductores de velocidad (CONASET, 2010):

- Medidas con deflexiones verticales: en estas medidas entran los denominados muertos, cojines, aceras continuas.
- Medidas con deflexiones horizontales: por ejemplo chicanas, estrechamientos, mini-rotondas.
- Medidas con elementos que inciden en la percepción: son medidas que involucran cambiar algunos elementos estéticos de la carretera con el objetivo de captar la atención del conductor y disminuir la velocidad. En esta categoría se ubican los umbrales, las demarcaciones alertadoras y cambios de textura y colores.

- Medidas de gestión del tránsito: incluyen modificación de prioridades en intersecciones, sistemas de un sentido y rotondas.

Analizando las condiciones de este sector de la Ruta Nacional 2, las medidas de tráfico calmado que mejor se ajustan son las medidas de percepción, es decir se pueden incorporar umbrales o demarcaciones alertadoras antes de las intersecciones principales.

Los umbrales son elementos que hacen que el conductor perciba el ingreso a un lugar con características diferentes, lo que hace que disminuya la velocidad, los criterios definidos por para su colocación son los siguientes:

- No deben instalarse a menos de 20 metros de una intersección.
- No deben interferir con accesos vehiculares ni elementos de servicios tales como.
- No deben instalarse a menos de 35 m de una línea de ferrocarril.



Figura 6.46. Ejemplo de umbral para reducir la velocidad

Fuente: CONASET, 2010

Cabe resaltar que estas medidas de control de velocidad deben implementarse antes de ingresar a la zona urbana. El tramo 110 es el primero en la zona de San Isidro del General, por lo que cualquier medida de este tipo, debe colocarse antes del mismo.

Otra de las medidas que puede implementarse son las rayas alertadoras, estas hacen que el conductor perciba que se moviliza a una velocidad mayor de la que realmente viaja y disminuya su velocidad.

Las bandas deben colocarse previo al cruce Santa Cecilia, es necesario hacer mediciones para determinar la velocidad real de los vehículos en este tramo con el objetivo de establecer el diferencial de velocidad con respecto a la velocidad permitida (40 km/h) y de esta manera colocar las bandas necesarias.

6.8. Tramo 111

6.8.1. Diagnóstico

Este tramo inicia de forma posterior al puente del río Jilguero. Cuenta con una longitud de 1313 metros, se ubica en una zona urbana, el alineamiento es recto y existen una gran cantidad de accesos.

Cuadro 6.9. Características del tramo 111- Puente río Jilguero-Villa Ligia

Característica	
Longitud (m)	1313
Cantidad accesos	14
Densidad accesos	10,7
Zona	Urbana
Alineamiento	Recto

Del 2011 al 2013 se presentaron 133 accidentes, es el tramo con el mayor número de choques de los 138 en que fue dividida la carretera, 109 de los 133 accidentes fueron de sólo daños materiales, 21 presentaron heridos leves y 3 heridos graves.

En cuanto al tipo de accidente predominan las colisiones entre vehículos como es de esperar, con 113 choques de este tipo, seguido de 9 atropellos y en tercer lugar tenemos las salidas de vía.

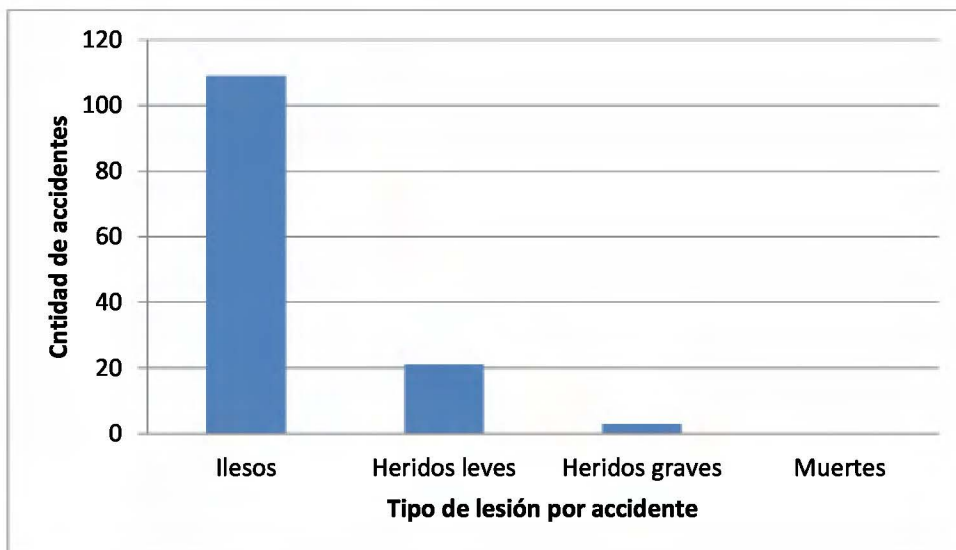


Figura 6.47. Tipo de lesión por accidente en el tramo 111

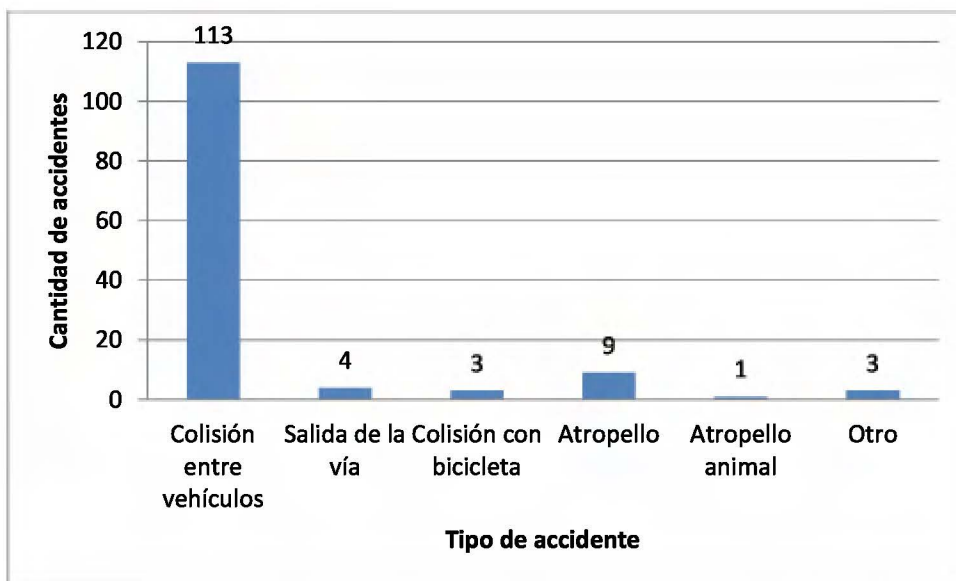


Figura 6.48. Tipo de accidente en el tramo 111

El sentido de circulación que predomina es el choque por detrás con 48 casos, seguido de 38 choques de costado, en tercer lugar se ubican los choques en ángulo recto con 19. En este tramo se ubican 2 de las intersecciones categorizadas como críticas según el modelo de intersecciones, sin embargo el análisis de estas se hará más adelante.

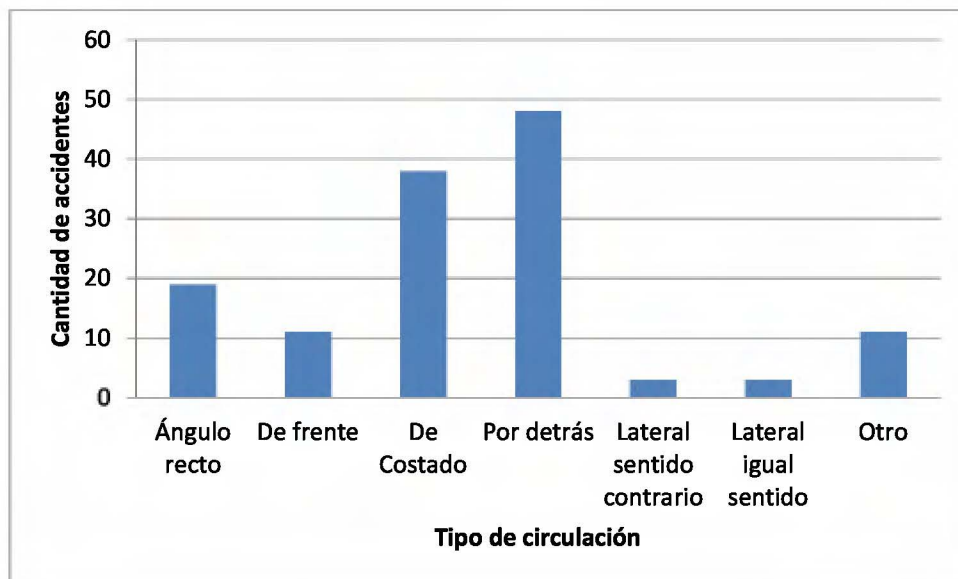


Figura 6.49. Tipo de impacto para los accidentes del tramo 111



Figura 6.50. Isla de concreto en el tramo 111 (Mayo, 2015)



Figura 6.51. Carriles de giro y semáforo peatonal en el tramo 111 (Mayo, 2015)

6.8.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Es indispensable mejorar la señalización horizontal, así como colocar captaluces para mejorar la visibilidad en la noche. Al igual que en el tramo anterior los captaluces se deben colocar según las especificaciones que establece el SIECA:

- Captaluces amarillos: colocarlos cada 10 metros sobre la doble línea continua amarilla.
- Captaluces blancos: cada 10 metros sobre la línea intermitente blanca que divide los carriles en un mismo sentido.

En este tramo pueden unificarse algunos accesos, como se muestra en las Figuras 6.52 y 6.53.

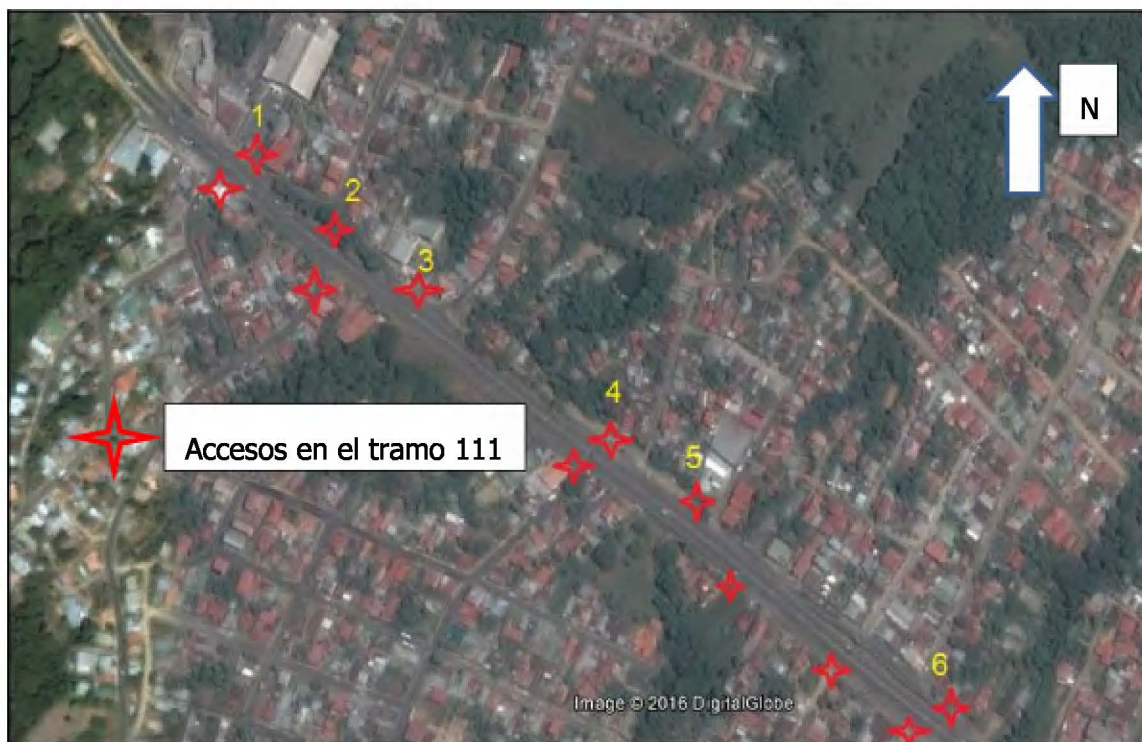


Figura 6.52. Accesos presentes en el tramo 111

Como se observa en la Figura 6.52 los accesos que tienen numeración pueden concentrarse en uno solo mediante la unión de una calle paralela a la vía principal, lo ideal sería hacer esto en todos los tramos y no sólo en los catalogados como críticos.

La ventaja de este tramo es que sí existe una vía paralela, aunque no está asfaltada en toda su extensión, esta puede ser ampliada para que sirva de vía marginal y conecte estos 6 accesos



Figura 6.53. Accesos que pueden unificarse debido a la existencia de una vía paralela a la ruta principal

En el resto de la ruta es difícil unificar accesos debido a que no existen vías paralelas o espacio suficiente para hacer una marginal, por lo que se tendrían que hacer expropiaciones.

Para este tramo también deben colocarse bandas sonoras o rayas alertadoras con el objetivo de disminuir la velocidad en la vía principal, el SIECA recomienda que se instalen en series de grupos de al menos diez franjas. Además para estas franjas deben tener 0,40 metros de ancho y la primera se debe colocar 50 metros antes de la zona de riesgo.

6.9. Tramo 112

6.9.1. Diagnóstico

El tramo 112 inicia en Villa Ligia y termina después del cruce de Barrio Lourdes, en el kilómetro 138. Cuenta con un alineamiento horizontal recto en sus 1529 metros de longitud, al igual que todos los tramos de San Isidro del General existen muchos accesos a lo largo del mismo.

Cuadro 6.10. Características del tramo 112 Villa Ligia-Barrio Lourdes

Característica	
Longitud (m)	1529
Cantidad accesos	15
Densidad accesos	9,8
Zona	Rural
Alineamiento	Recto con curvas suaves

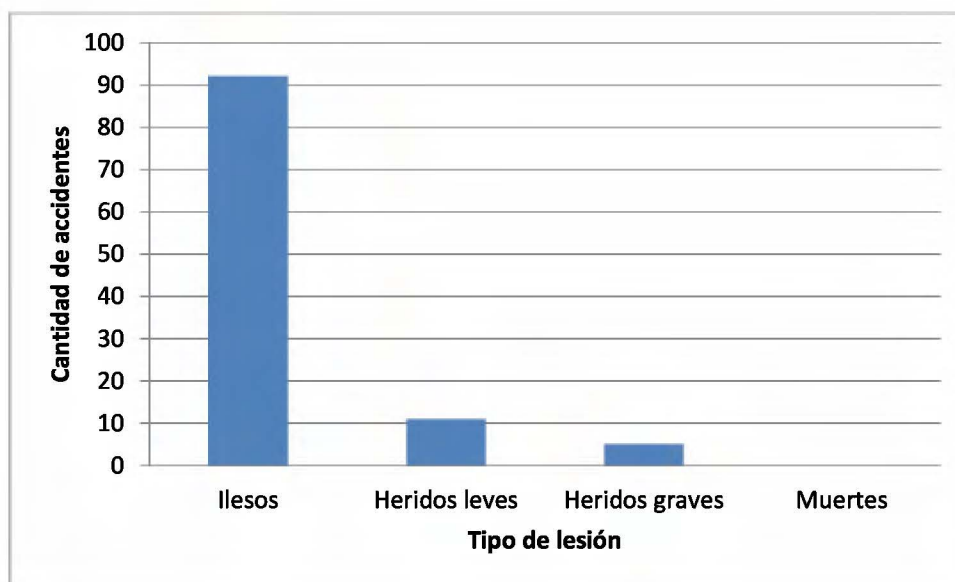


Figura 6.54. Tipo de lesión en el tramo 112

De los 108 accidentes ocurridos en el tramo, 92 corresponden solo a daños materiales, sin embargo en 11 casos hubo heridos leves y en 5 heridos graves. El tipo de choque que predomina es la colisión entre vehículos con 95, seguido de 8 salidas de vía, en tercer lugar se encuentran las colisiones a ciclistas.

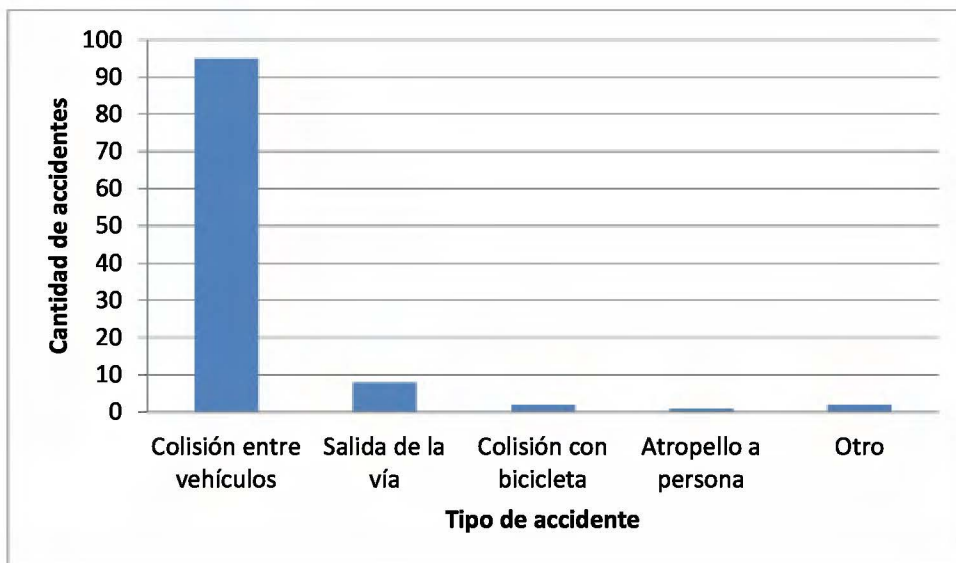


Figura 6.55. Tipo de accidente en el tramo 112

El tipo de impacto para que predomina es el choque por detrás, con un total de 43, seguido de los choques de costado con 32, en tercer lugar están las colisiones frontales con 15.

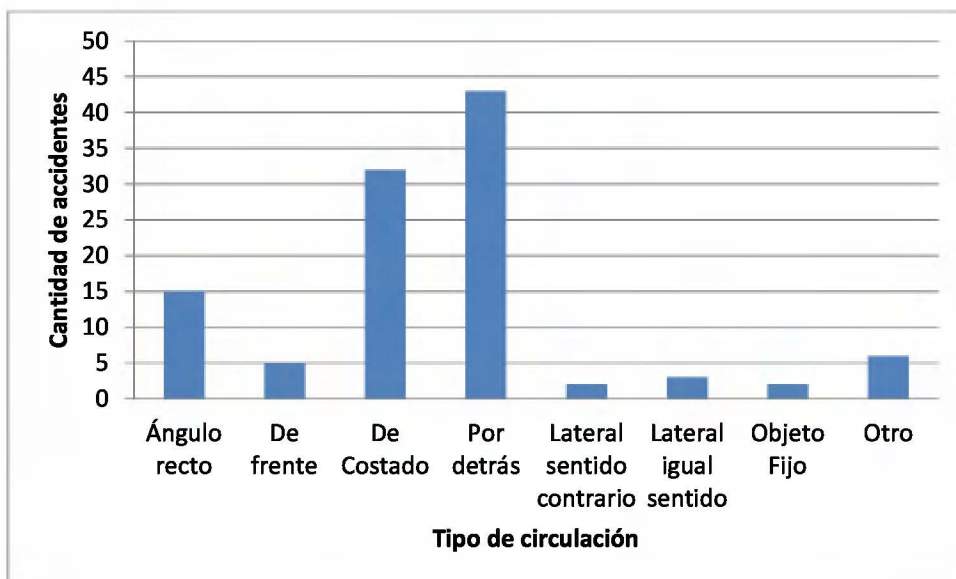


Figura 6.56. Tipo de impacto en el tramo 112

6.9.2. Medidas de mitigación

En este tramo se debe mejorar la señalización horizontal, pues en la actualidad esta es borrosa o inexistente.

Es indispensable concentrar la mayor cantidad de accesos a lo largo de una vía marginal y que esta ingrese a la ruta principal por un solo punto.

Debido a la poca visibilidad en la noche es necesario colocar captaluces amarillos cada 10 metros sobre la línea amarilla y captaluces blancos a cada 10 metros en las líneas que dividen los carriles.

Al igual que en los dos tramos anteriores, también deben colocarse rayas o bandas alertadoras antes de las intersecciones principales y que cuentan con mayor tránsito en la vía secundaria.

6.10. Tramo 117

6.10.1. Diagnóstico

Se ubica en Palmares de Pérez Zeledón, el mismo inicia después del ingreso al colegio Fernando Volio Jiménez, en este tramo se presentaron en tres años un total de 19 accidentes. De los cuales 1 accidente fue con muertos, 2 con heridos graves, 2 con heridos leves y en 14 de los casos no se reportaron lesiones.

En el siguiente cuadro se muestran las principales características del tramo, la longitud es mayor a 1 kilómetro y el alineamiento es recto, se contabilizan 5 accesos en el mismo. Una de las particularidades de este tramo es que cuenta con una gasolinera, por lo que hay una importante cantidad de vehículos que ingresan y salen de este acceso

Cuadro 6.11. Características del tramo 117

Característica	
Longitud (m)	1206
Cantidad de accesos	5
Densidad accesos	4,1
Zona	Rural
Alineamiento	Recto

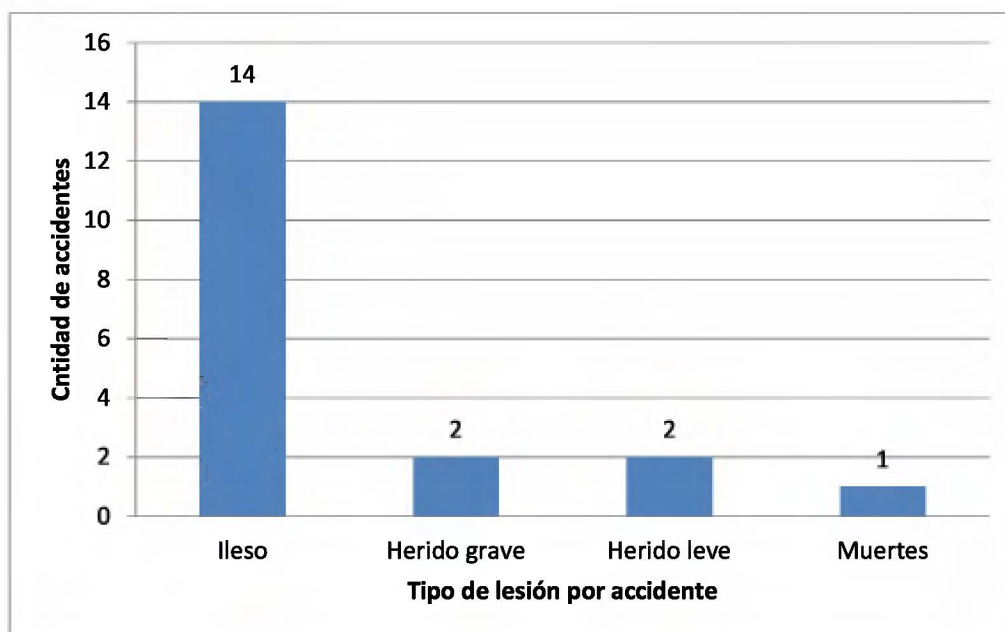


Figura 6.57. Tipo de lesión para los accidentes del tramo 117

En cuanto a los tipos de accidentes que se presentaron en este tramo tenemos que en 14 de los casos fueron colisiones entre vehículos, en segundo lugar se ubican las salidas de vía, este dato llama la atención pues se trata de un tramo recto, por último se tiene un accidente con caída de pasajeros.

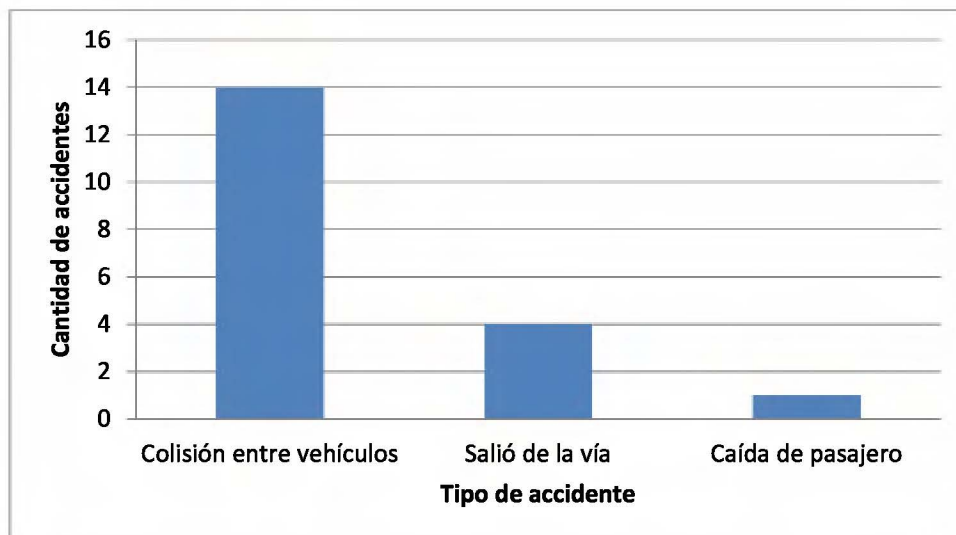


Figura 6.58. Tipos de accidente en el tramo 117

El tipo de impacto predominan los choques por detrás con un total de 5, se tienen también choques de costado, de frente y laterales. En este aspecto no predomina ningún tipo de impacto sobre las otras, sin embargo se puede concluir que los choques son por adelantamientos o invasiones de carril.

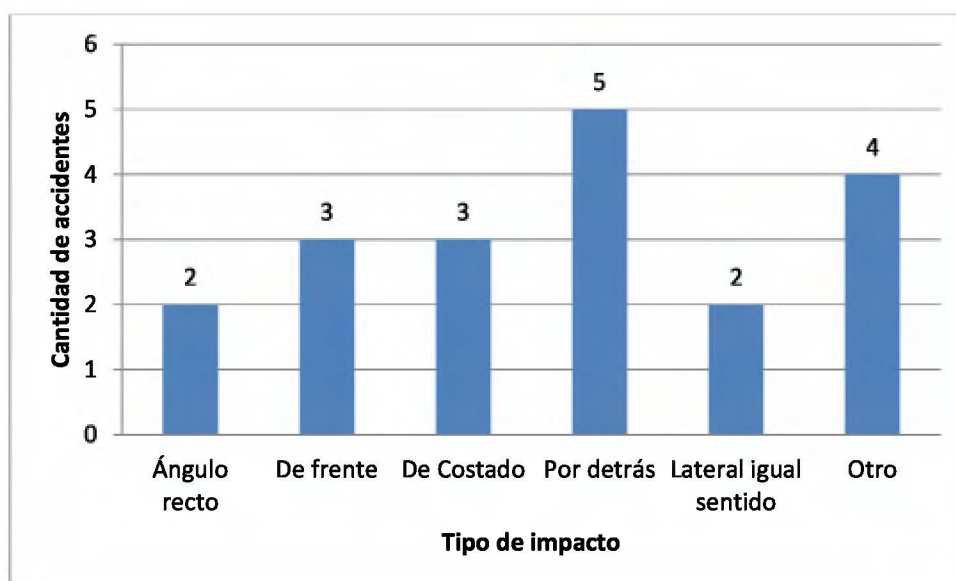


Figura 6.59. Cantidad de accidentes por tipo de impacto para el tramo 117

En este segmento la señalización horizontal es bastante borrosa, si existen espaldones aunque este no es mayor a 1 metro a los lados de la vía, el ingreso a la gasolinera si

presenta carril de giro, pero este es muy corto, la velocidad demarcada es de 40 km/h sin embargo los vehículos circulan a velocidades mucho mayores.

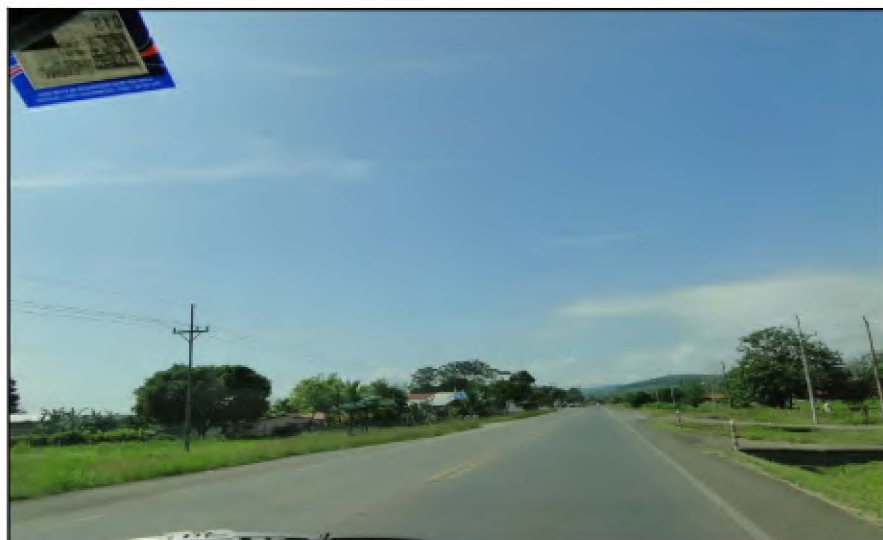


Figura 6.60. Señalización borrosa en el tramo 117 (Mayo, 2015)

En la siguiente figura se aprecia mejor la condición del acceso a la Gasolinera, este establecimiento genera que continuamente entren y salgan vehículos, por lo que es necesario disminuir la velocidad en la vía principal.



Figura 6.61. Salida de vehículos en la gasolinera El Rodeo (Mayo, 2015)

6.10.2. Medidas de seguridad vial propuestas

El señalamiento horizontal debe demarcarse pues al momento de la visita a campo este era muy borroso. Se deben colocar captaluces a lo largo del tramo y reemplazar aquellos que se encuentren en mal estado o hayan perdido las partes reflectoras.

Es necesario colocar bandas sonoras o rayas logarítmicas de forma posterior al cruce Fernando Volio, pues al ser este sector recto los vehículos viajan a grandes velocidades aún cuando la demarcación indica 40 km/h.

Otra medida que se puede implementar es un umbral, este se puede colocar después del cruce del Liceo Fernando Volio y antes de llegar a la gasolinera El Rodeo, con el objetivo de que estos lleguen a ese punto con una velocidad menor. En la Figura 6.62 se muestra un tipo de umbral que puede colocarse en esta zona.



Figura 6.62. Ejemplo de umbral para medidas de tráfico calmado

Fuente: CONASET, 2010

6.11. Tramo 121

6.11.1. Diagnóstico

Se ubica en Las Juntas de Pacuar de Pérez Zeledón, es un tramo recto en su mayoría, aunque presenta una curva suave al final. La velocidad señalizada es de 40 km/h. Este tramo cuenta con un paso peatonal, que permite el paso seguro de los habitantes de la zona. Existe además un cruce con carretera nacional.

También hay presencia de maquinaria agrícola, esto se intensifica en periodo de la zafra de caña entre los meses de enero y abril. La señalización es borrosa y los captaluces no están presentes.

Cuadro 6.12. Características del tramo 121

Característica	
Longitud (m)	1272
Cantidad accesos	4
Densidad accesos	3,1
Zona	Rural
Alineamiento	Recto

En este tramo se presentaron 13 accidentes, de los cuales 1 fue con víctimas mortales, 1 con heridos graves, 5 con heridos leves y en 6 casos sólo daños materiales. A pesar de que son pocos accidentes más del 50% de los mismos son con algún tipo de herido.

Se observó en campo que los vehículos que transitan por la ruta lo hacen a gran velocidad, aún cuando se tiene demarcada la ruta en 40 km/h. El accidente más común es el choque entre vehículos, pues en 10 de los 13 casos fue de este tipo.

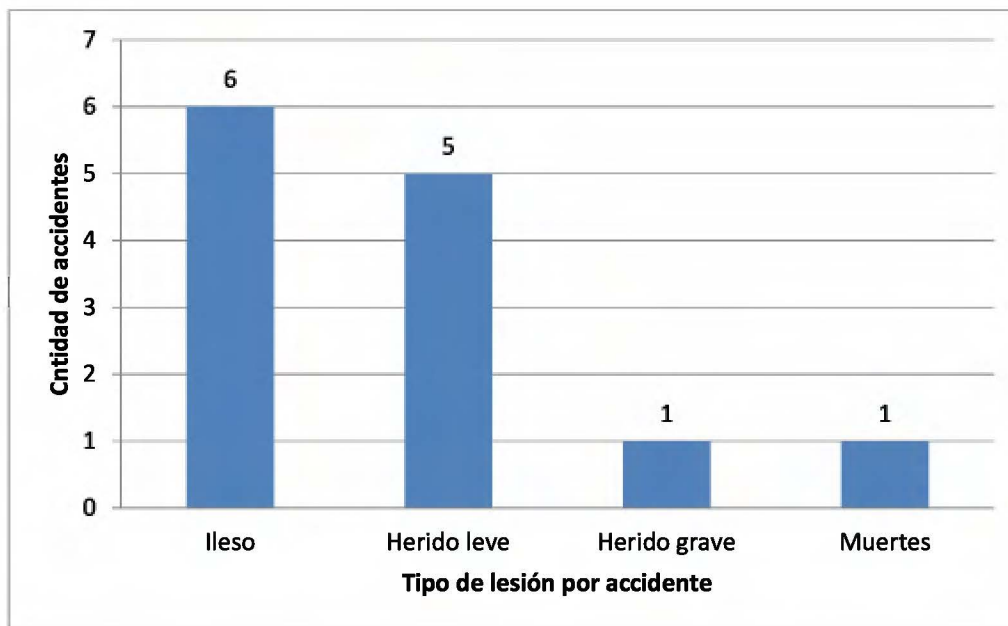


Figura 6.63. Tipo de lesión por accidente para el tramo 121

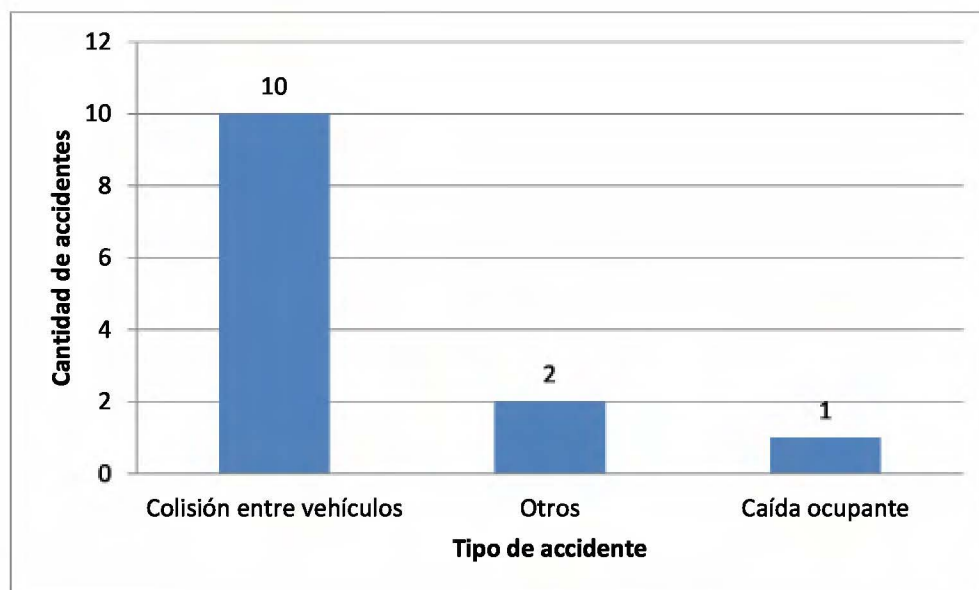


Figura 6.64. Tipo de accidente en el tramo 121

En el tipo de impacto predominan los choques por detrás con 6 casos, en 4 de los accidentes no se especifica el tipo de colisión. Se tiene también 1 choque en ángulo recto, 1 choque de costado y otro de frente.

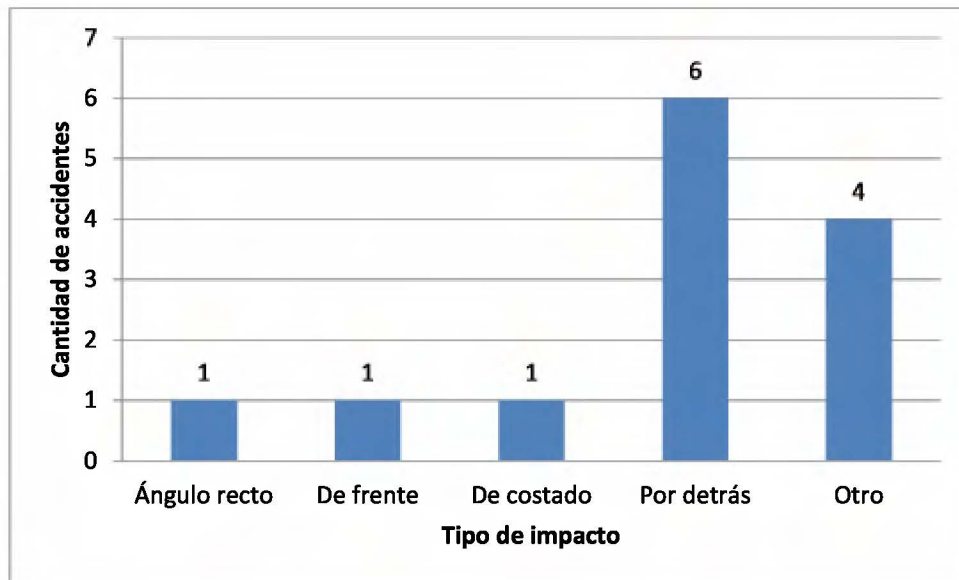


Figura 6.65. Tipo de impacto para los choques del tramo 121



Figura 6.66. Ciclista en el tramo 121 (Mayo, 2015)



Figura 6.67. Accesos a lo largo del tramo 121 (Mayo, 2015)

La señalización horizontal puede mejorarse, pues en algunos puntos es bastante borrosa, es necesario colocar captaluces en el tramo debido a que en la noche hay poca visibilidad, pues no hay lámparas o iluminación alrededor de la vía. Para ilustrar mejor esta situación se tomaron fotografías en la noche.



Figura 6.68. Poca visibilidad en el tramo 121 (Noviembre, 2015)

Como se aprecia en la Figura 6.68 no existe visibilidad de los carriles o del borde de la carretera debido a la ausencia de elementos retro-reflectivos.

6.11.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Es recomendable que se hagan controles de tránsito con mayor frecuencia para controlar la velocidad a la que circulan los conductores, ya que circulan a más velocidad de la señalizada.

También es necesario implementar reductores de velocidad antes del ingreso a la zona escolar, esto con el objetivo de que los vehículos circulen a velocidades bajas por dicho tramo. Se puede demarcar la velocidad a 40 km/h y poner transiciones y elementos que disminuyan la velocidad de forma gradual.

Al igual que en otros tramos se pueden colocar umbrales o rayas alertadoras para que los conductores disminuyan la velocidad, esto debe de hacerse antes de la zona escolar y la intersección con la Ruta Nacional 234.

6.12. Tramo 132

6.12.1. Diagnóstico

El tramo 132 se ubica al final del segmento estudiado en este trabajo de investigación, inicia poco antes de la entrada a San Pedro de Cajón y termina después del puente sobre el río San Pedro. Hay presencia de espaldón aunque es de ancho insuficiente.

Cuadro 6.13. Características del tramo 132.

Característica	
Longitud (m)	757
Cantidad accesos	4
Densidad accesos	5,3
Zona	Rural
Alineamiento	Recto con curvas suaves

En este tramo se presentaron 8 accidentes, de los cuales un evento tuvo consecuencias fatales, 1 presentó heridos graves, 1 heridos leves y en 5 ocasiones no se reportaron heridos, este tramo es relativamente corto y su alineamiento es en su mayoría recto.

La velocidad señalizada es de 40 km/h en algunas zonas y de 60 km/ en otras, en medio del mismo se localiza una escuela, además también se tiene la presencia de un puente y un acceso con poca visibilidad. Los vehículos que circulan en sentido Paso Canoas-San Pedro no tienen buena visibilidad, de que hay acceso inmediatamente posterior al puente.



Figura 6.69. Poca visibilidad de un acceso en el tramo 132 (Enero, 2016)

Se analizó el tipo de lesión para los accidentes contabilizados en el tramo 132, para más detalle se hace referencia a la Figura 6.70.

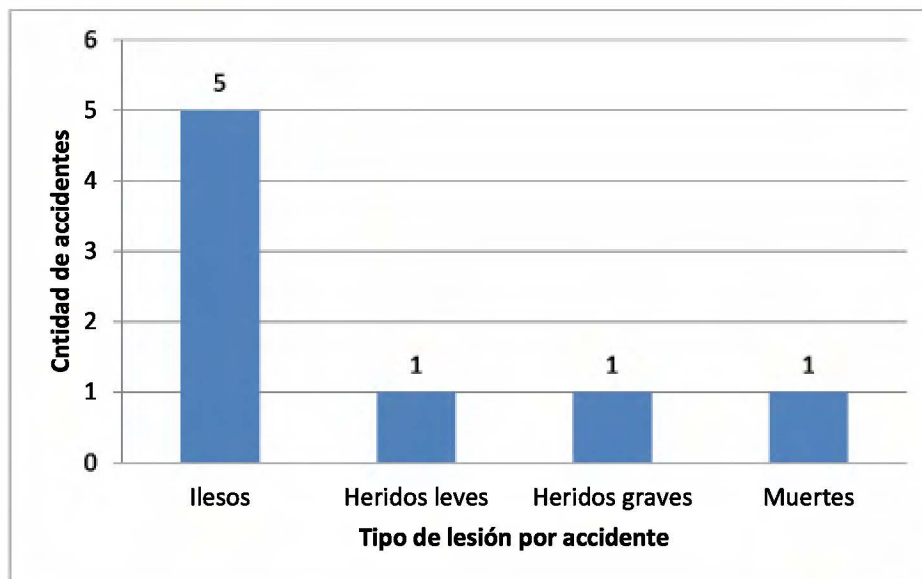


Figura 6.70. Tipo de lesión en los accidentes del tramo 132

En la Figura 6.71 se describen los tipos de accidente, en este tramo predominan las colisiones entre vehículos con 5.

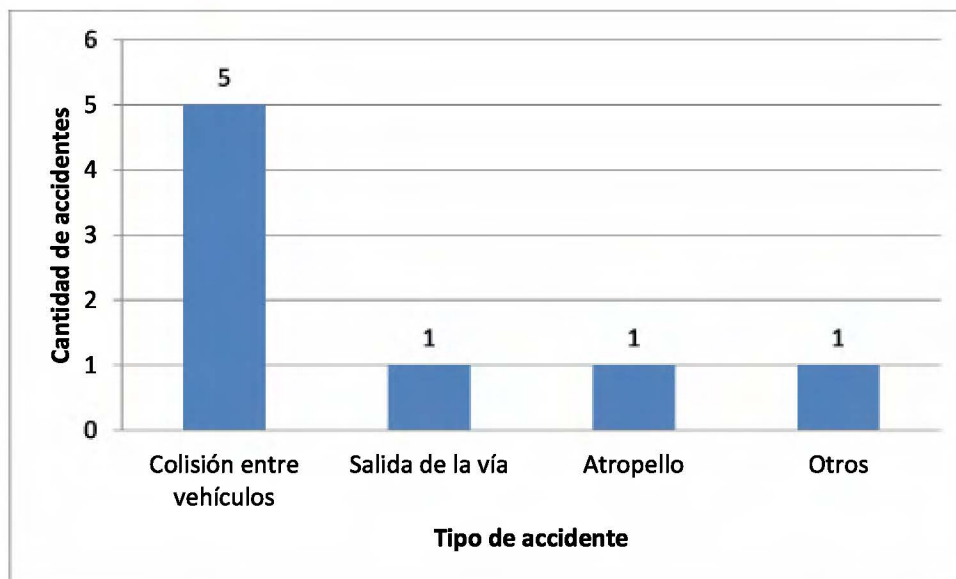


Figura 6.71. Tipo de accidente en el tramo 132

En este caso la mayoría de los choques son colisiones entre vehículos, se contabiliza además 1 atropello, 1 salida de vía y en 1 caso no se detalla el tipo. Analizando el tipo de impacto para los vehículos se encontró que en 3 casos la circulación no se menciona (corresponden a la salida de vía, atropello y otros), en 2 casos la circulación fue por detrás.

Como la intersección está oculta por el puente y los arbustos, los conductores que viajan por la ruta principal no detectan a los vehículos que salen o ingresan de este cruce, de manera que se producen colisiones entre vehículos.

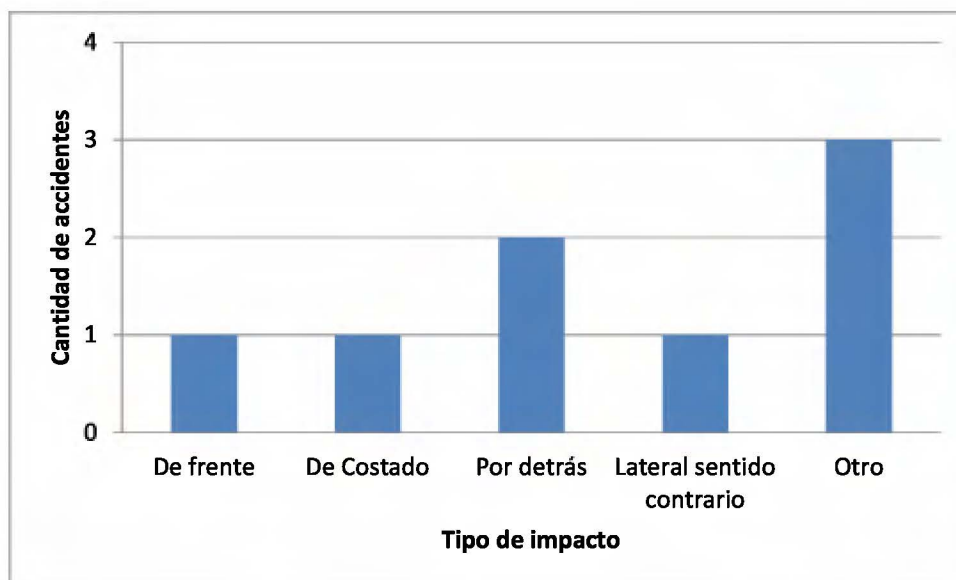


Figura 6.72. Tipo de impacto en los accidentes del tramo 132



Figura 6.73. Vegetación y arbustos en el tramo 132 (Enero, 2016)

En esta ruta también existe mucho tránsito de vehículos pesados y de maquinaria agrícola, ya que cerca de la zona se ubican plantaciones de piña, palma aceitera y café. Ver Figura 6.74.



Figura 6.74. Presencia de vehículos pesados en el tramo 132 (Enero, 2016)



Figura 6.75. Sección del puente sin barrera de contención en el tramo 132 (Enero, 2016)

6.12.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Más del 60% de los choques son colisiones entre vehículos, por lo que el factor que puede estar generando esta situación, es la ubicación del cruce después del puente. Como ya se mencionó esta intersección no tiene visibilidad, por lo que es necesario alertar a los conductores de la presencia de esta mediante una señal de tránsito vertical.

Reforzar la presencia de los oficiales de tránsito, para controlar las velocidades de circulación de los usuarios de la vía.

En cuanto a la intersección se puede pensar en añadir un carril de incorporación para el giro derecho de este cruce, con el objetivo de mejorar los virajes de los vehículos.

Por último debe repararse la sección del puente que no cuenta con barrera de contención, esto debe solucionarse rápidamente para evitar una fatalidad, en caso de que un vehículo se salga de la vía.

6.13. Intersección I-6 (Megasuper El Guarco)

6.13.1. Diagnóstico

Esta intersección se ubica a un costado del Megasuper en El Guarco de Cartago, es una intersección tipo Cruz, con vía principal en la Ruta Nacional 2, el acceso norte proviene de Cartago y el sur comunica con una calle de lastre a un costado del Megasuper. En la misma se pueden hacer todos los movimientos y en el sentido principal la velocidad es muy alta.

Cuadro 6.14. Características de la intersección I-6 (Megasuper El Guarco)

Intersección	I-6	Zona	Urbana
Ubicación	Contiguo a Megasuper EL Guarco	Tipo señalización	Alto y CEDA
Carriles vía principal	2	Configuración	Cruz
Accesos	4		

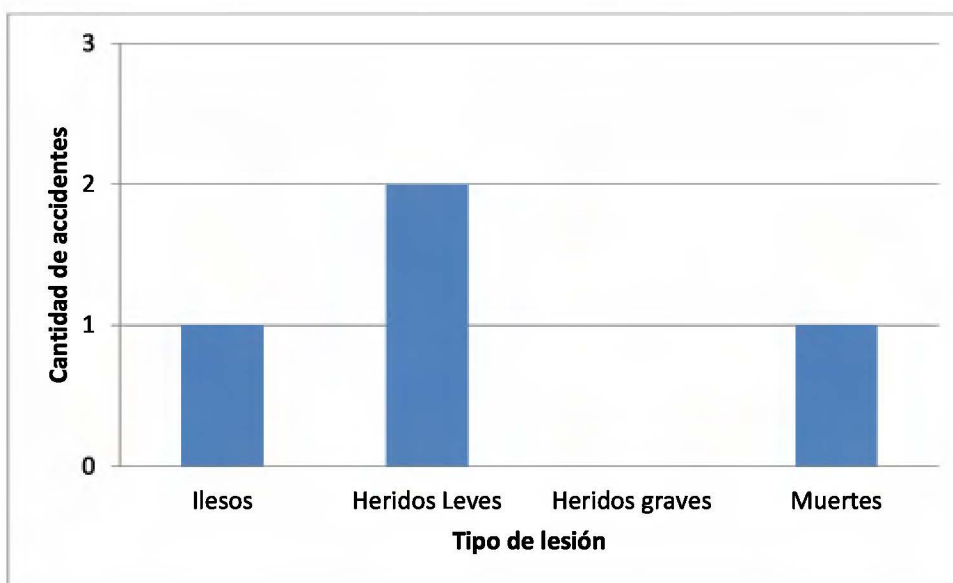


Figura 6.76. Tipo de lesión para las accidentes en la intersección Megasuper El Guarco

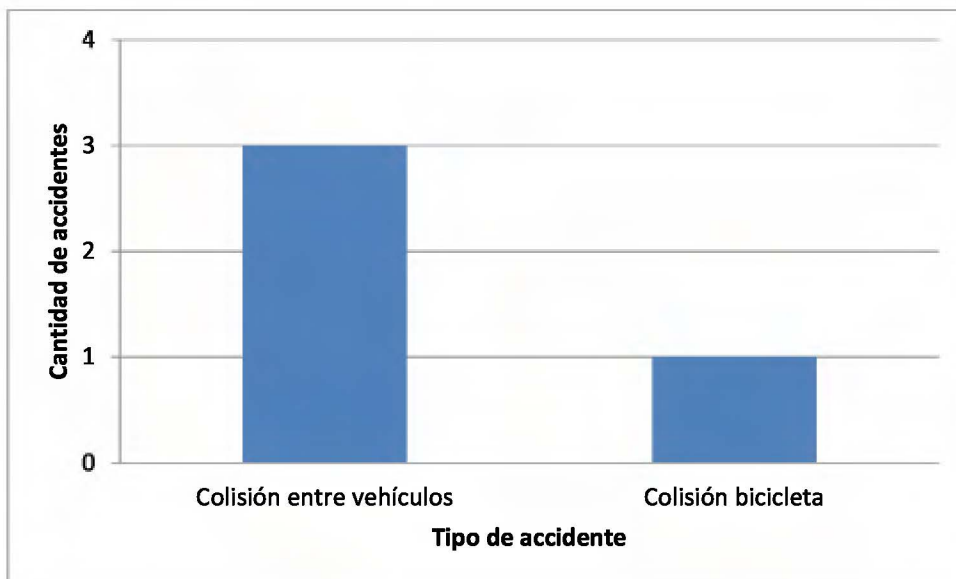


Figura 6.77. Tipo de accidentes en la intersección Megasuper El Guarco

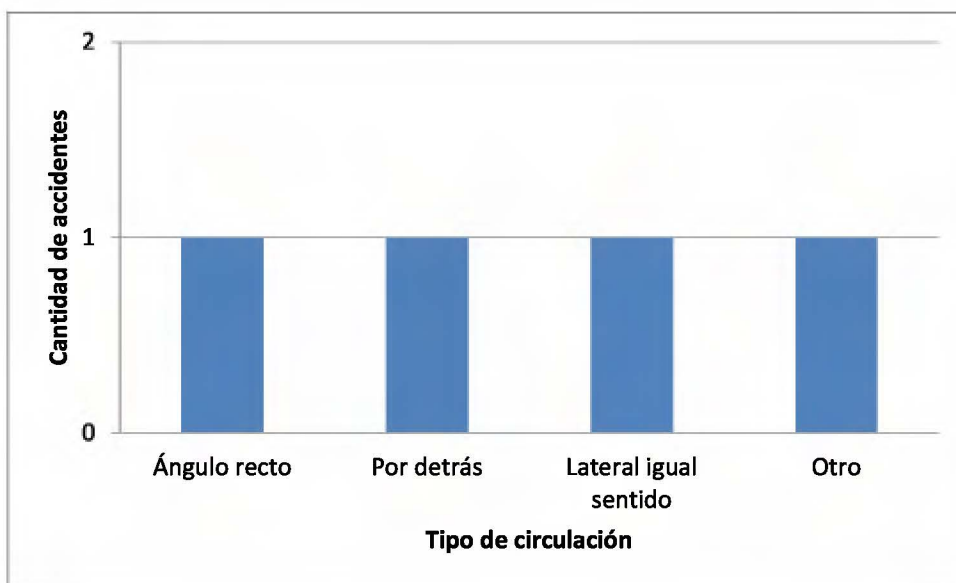


Figura 6.78. Tipo de impacto para los accidentes de la intersección Megasuper El Guarco

En la intersección contigua a Megasuper El Guarco se encontraron algunas deficiencias importantes, la primera es que la señalización es borrosa o inexistente, como se aprecia en la siguiente figura.



Figura 6.79. Señalización inexistente en la intersección Megasuper El Guarco

Se observó además ciclistas que salen de la intersección y se dirigen al parque industrial de Cartago, los mismos no disponen de la infraestructura adecuada para circular. En la Figura 6.80 se observa a uno tratando de realizar su maniobra.



Figura 6.80. Ciclista realizando movimiento en la intersección "Megasuper El Guarco"

6.13.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Debe mejorarse la señalización horizontal en esta intersección pues la misma es inexistente, además es necesario canalizar los giros y colocar señales verticales. Se deben realizar los estudios correspondientes con el objetivo de determinar si es necesario colocar un semáforo en esta intersección. El criterio que aplicaría para su colocación es la seguridad vial pues permitiría el movimiento de los vehículos de forma más segura.

Es necesario implementar una ciclo vía de forma paralela a la calle, pues en la actualidad los ciclistas no disponen de la infraestructura adecuada generando una situación de peligro. En el trabajo final de graduación del ingeniero Mauricio Torres se hace la propuesta de una ciclo vía para este sector de la Ruta Nacional 2.

6.14. Intersección I-8 (Gasolinera El Guarco)

6.14.1. Diagnóstico

Se ubica a un costado de la Gasolinera El Guarco, es una intersección semaforizada de 4 accesos.

Cuadro 6.15. Características de la Intersección Gasolinera El Guarco

Intersección	I-8	Zona	Urbana
Ubicación	Contiguo a Gasolinera EL Guarco	Tipo señalización	Con semáforo
Carriles vía principal	2	Configuración	Cruz
Accesos	4		

Para esta intersección se reportan 29 choques en 3 años, 24 de los cuales fueron de sólo daños materiales, 5 accidentes con heridos leves y no se presentaron heridos de gravedad o fallecidos en sitio.

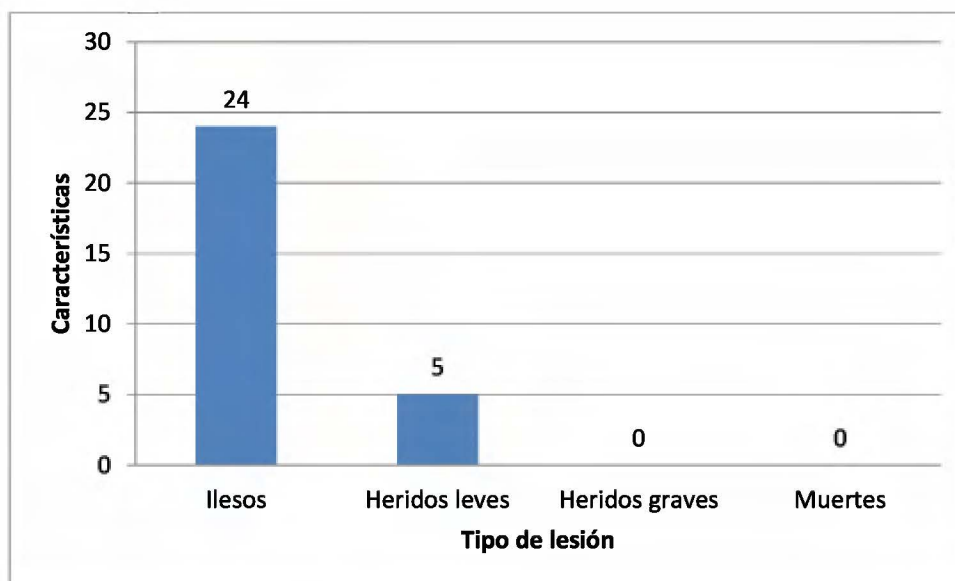


Figura 6.81. Tipo de lesión en la intersección Gasolinera El Guarco

En esta intersección el accidente más común es la colisión entre vehículos con 29 casos, además se presentó 1 colisión con bicicleta.

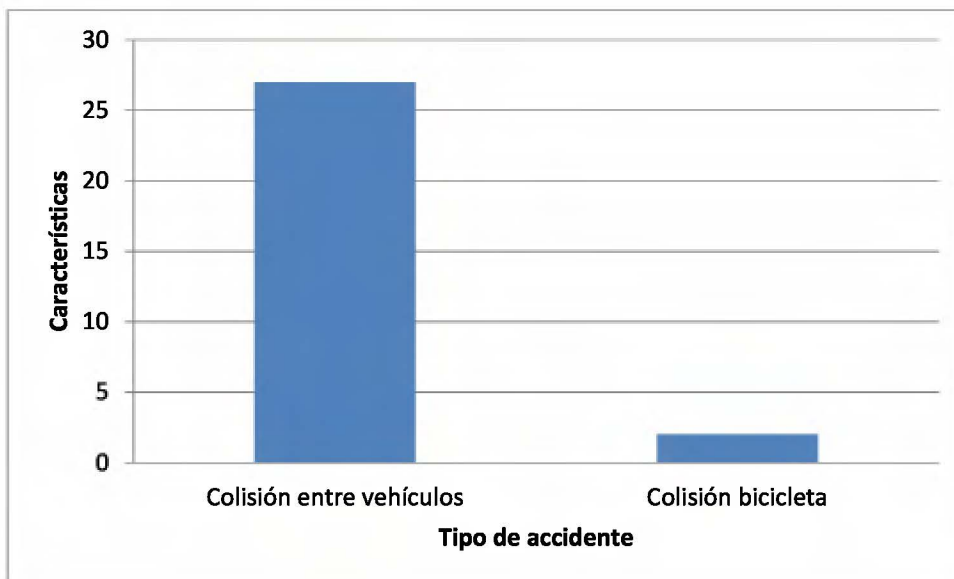


Figura 6.82. Tipo de accidente en la intersección Gasolinera El Guarco

Po último si se analiza el tipo de impacto tenemos que los choques que más se dan son de costado, con 10 casos. En segundo lugar se ubican los choques por detrás con 7.

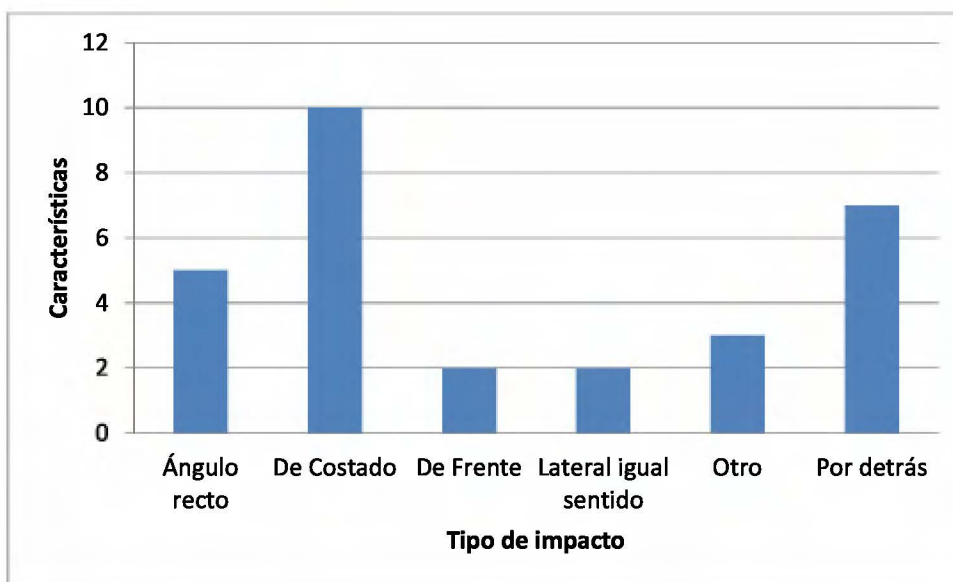


Figura 6.83. Tipo de impacto en la intersección Gasolinera El Guarco

En la intersección Gasolinera El Guarco se encontraron varias deficiencias:

- La señalización horizontal es borrosa o inexistente.
- No se respeta el semáforo.

- Los vehículos que salen de la bomba no lo hacen por la intersección, de modo que hacen algunos movimientos indebidos.
- Presencia de ciclistas que no disponen de infraestructura adecuada para circular.

En la Figura 6.84 se observa con más detalle las maniobras de los vehículos que salen de la gasolinera el Guarco y necesitan incorporarse a la vía principal.



Figura 6.84. Flujos mal canalizados a la salida de la gasolinera El Guarco (Enero, 2016)

Por otro lado en la Figura 6.85 se aprecia que la señalización es borrosa, pues no se distingue el paso peatonal.



Figura 6.85. Señalización borrosa (Enero, 2016)

6.14.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Se recomienda mejorar la señalización horizontal y colocar las señales de "ALTO", movimientos permitidos, pasos peatonales, líneas de división de carriles y línea de centro.

Es indispensable canalizar los flujos en esta intersección de manera que se guíe los movimientos de los conductores. Esta canalización debe hacerse mediante botones o vialetas pues en la actualidad no se respeta la señalización horizontal.

Los flujos que salen de la gasolinera, deben canalizarse mediante la colocación de barreras que obliguen a los usuarios a no hacer movimientos indebidos.

6.15. Intersección I-35 (Cruce Liceo Unesco)

6.15.1. Diagnóstico

Se encuentra al inicio de San Isidro del General, es un cruce con una geometría complicada, la señalización es borrosa y los vehículos que giran a la derecha en el acceso Sur tienen poca visibilidad.

Cuadro 6.16. Características del cruce Liceo Unesco

Intersección	I-35	Zona	Urbana
Ubicación	Cruce Liceo Unesco, San Isidro	Tipo señalización	Alto-Ceda
Carriles vía principal	2	Configuración	T
Accesos	3		

En esta intersección se presentaron 18 accidentes en los 3 años, en 13 de los casos no se reportaron lesiones, en 4 se reportaron heridos leves y hubo un accidente con muertos. En esta intersección no hay atropellos y todas las colisiones son entre vehículos.

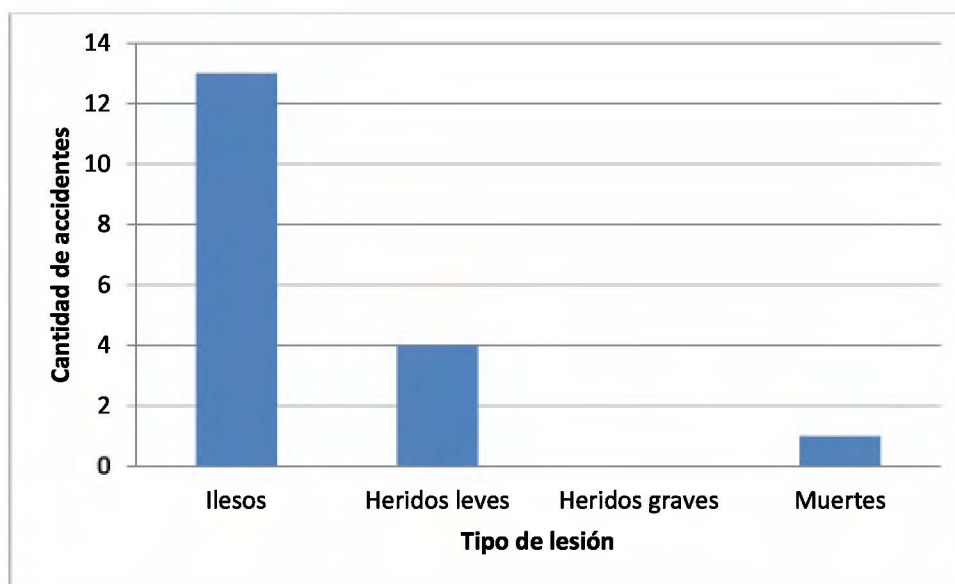


Figura 6.86. Tipo de lesión para los accidentes en el Cruce del Liceo Unesco

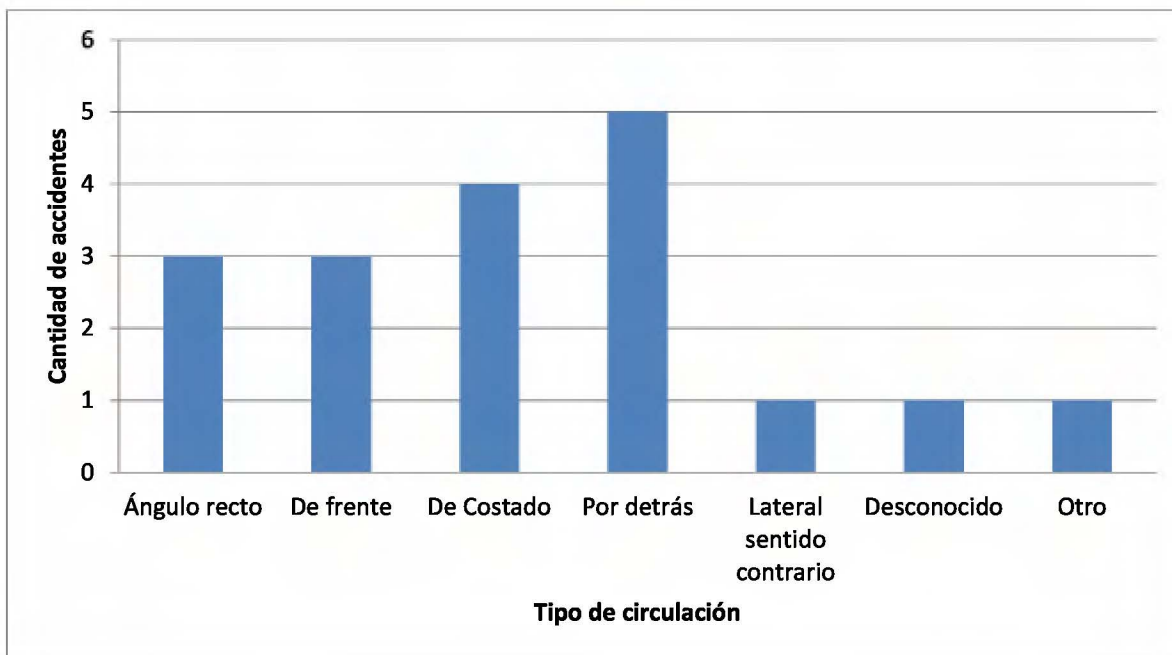


Figura 6.87. Tipo de impacto para las colisiones entre vehículos en el cruce del Liceo Unesco

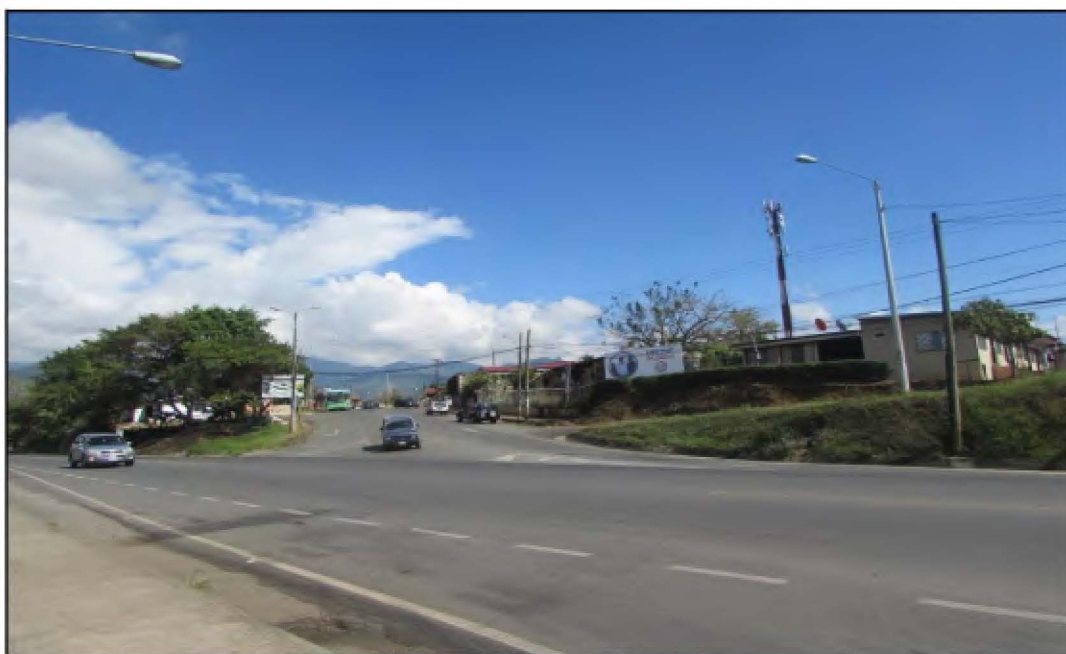


Figura 6.88. Fotografía del cruce del Liceo Unesco (Enero, 2016)

6.15.2. Medidas de seguridad vial propuestas

En este cruce se debe demarcar la señalización horizontal, pues la misma está borrosa. Además los vehículos que giran a la derecha cuentan con poca visibilidad y el movimiento de giro se dificulta para los vehículos pesados.

Adicionalmente deben colocarse señales de velocidad de velocidad máxima permitida (40 km/h), así como una señal de intersección adelante, esta se debe ubicar antes de la intersección en sentido San José-San Isidro.

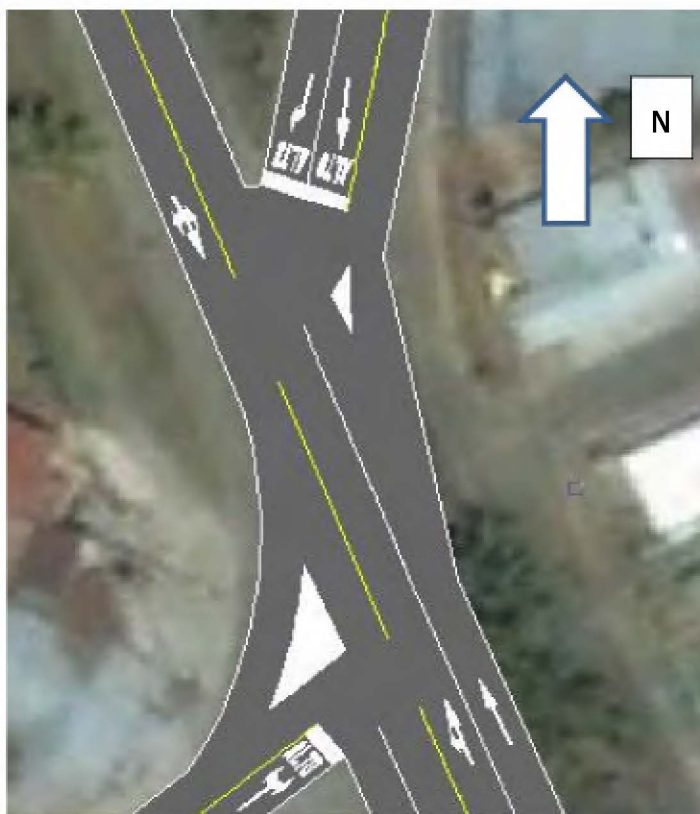


Figura 6.89. Configuración actual del Cruce Liceo Unesco

Para esta intersección se propone mejorar la geometría de los giros a la derecha, pues los radios de giro son muy pequeños y por lo tanto la incorporación de los vehículos a la vía principal se dificulta.

La propuesta es aumentar los radios de giro a la derecha en los accesos Norte y Oeste, como se aprecia en la siguiente Figura 6.90. Además se incorporaría un carril de giro izquierdo para los vehículos de la vía principal que ingresan al acceso Norte.

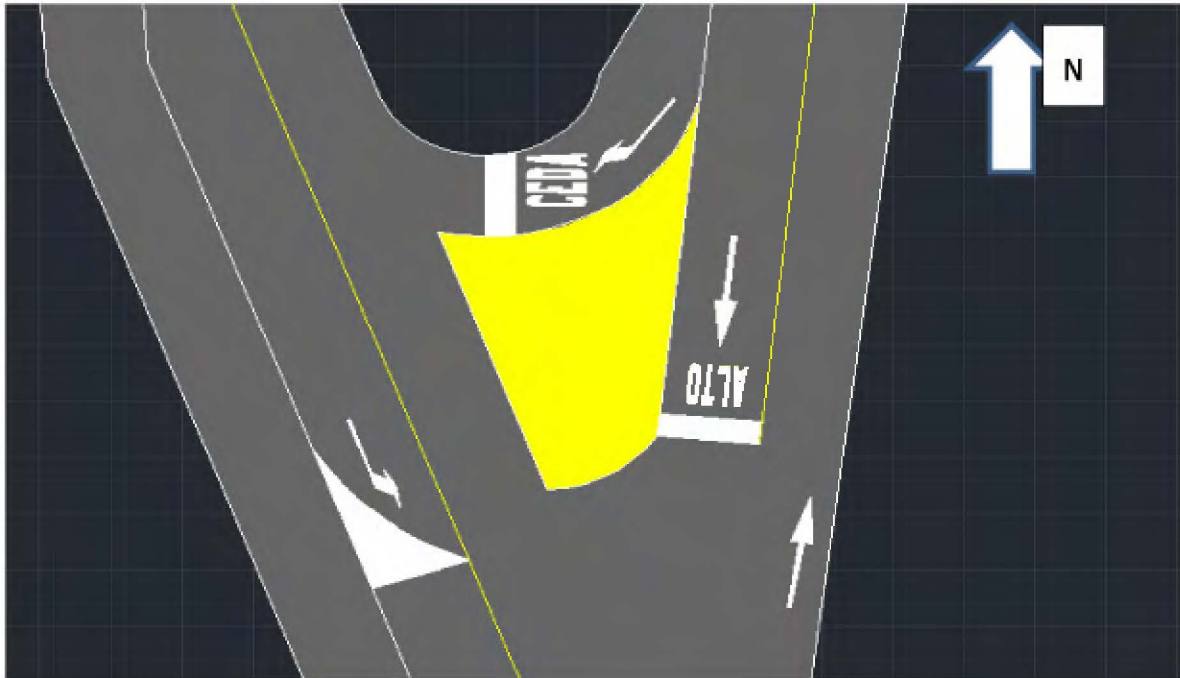


Figura 6.90. Configuración propuesta en el acceso Norte para el cruce del Liceo Unesco

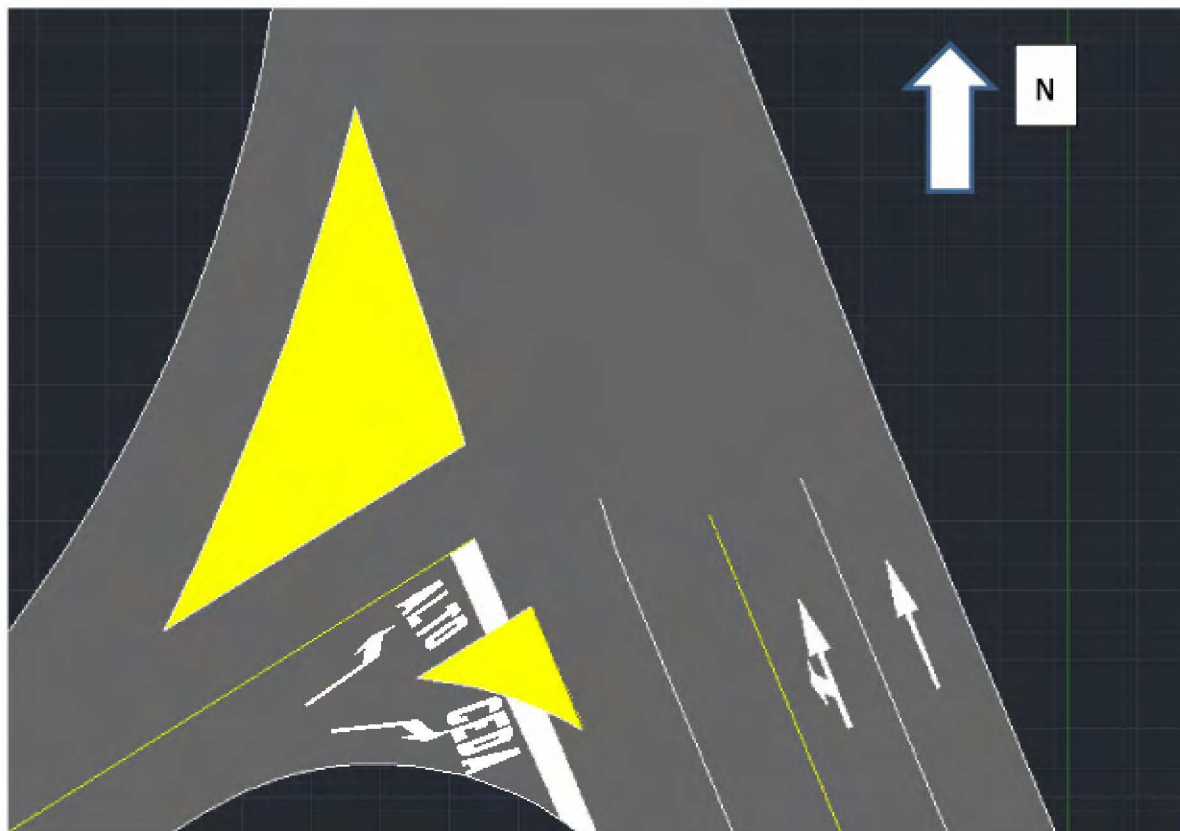


Figura 6.91. Configuración propuesta para el acceso oeste del cruce Liceo Unesco

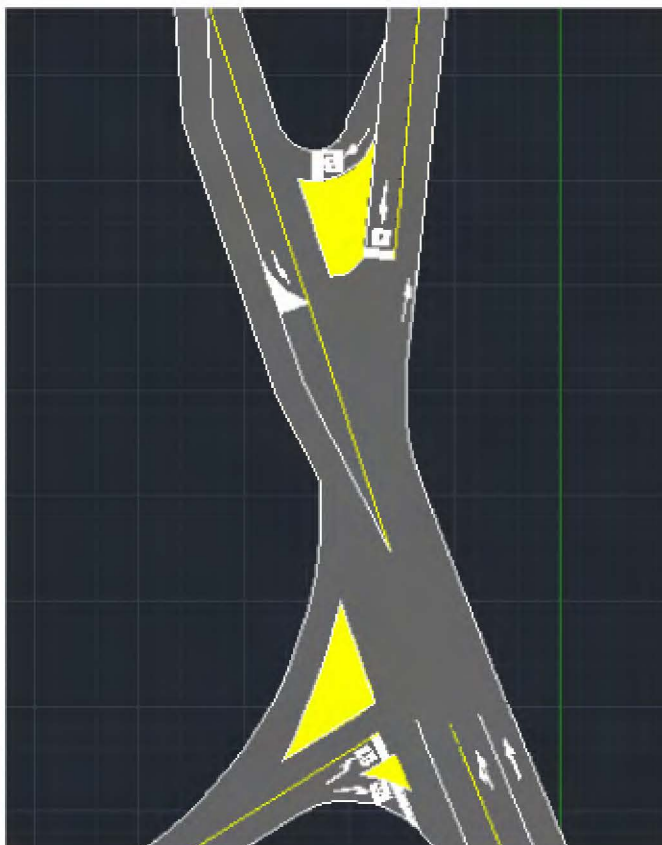


Figura 6.92. Configuración propuesta en el cruce del Liceo Unesco

Cabe aclarar que las soluciones propuestas para las intersecciones críticas son preliminares, por lo que para un diseño final se deben hacer estudios más detallados.

6.16. Intersección I-44 (Cruce Santa Cecilia)

6.16.1. Diagnóstico

Este cruce se ubica en la zona de San Isidro del General, después del puente del río San Isidro, la vía principal tiene 4 carriles, dos por sentido y uno central para giros izquierdos. Las altas velocidades en la vía principal, dificultan el movimiento del giro a la derecha de los vehículos del acceso sur.

Cuadro 6.17. Características del cruce Santa Cecilia

Intersección	I-44	Zona	Urbana
Ubicación	Cruce Santa Cecilia	Tipo señalización	Alto-Ceda
Carriles vía principal	4	Configuración	T
Accesos	3		

En esta intersección se tienen una total de 24 choques, en 20 de estos no se reportaron lesiones, sin embargo en 3 casos se presentaron heridos leves y en 1 caso un herido grave, en cuanto al tipo de colisión se tienen 23 colisiones entre vehículos y 1 atropello.

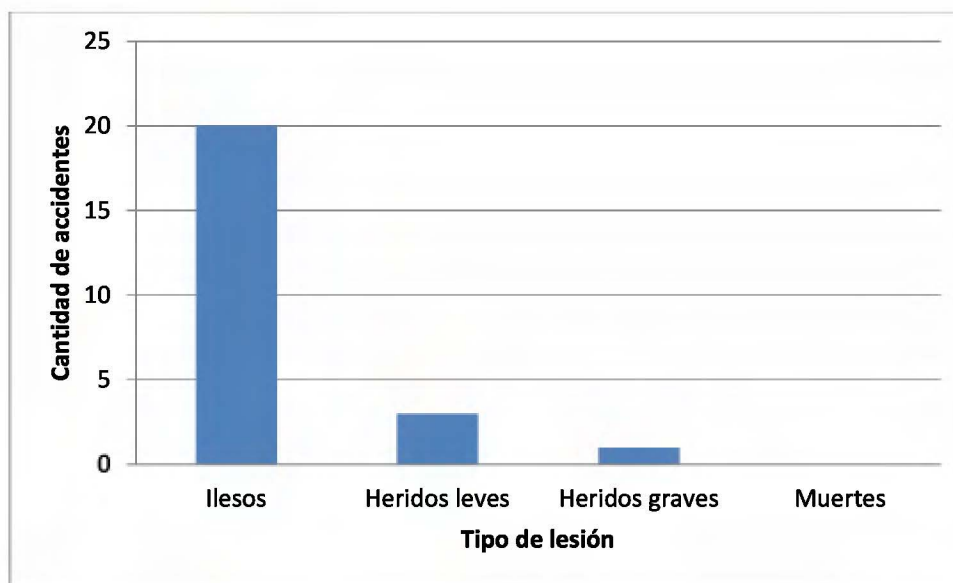


Figura 6.93. Tipo de lesión para los accidentes en el cruce Santa Cecilia

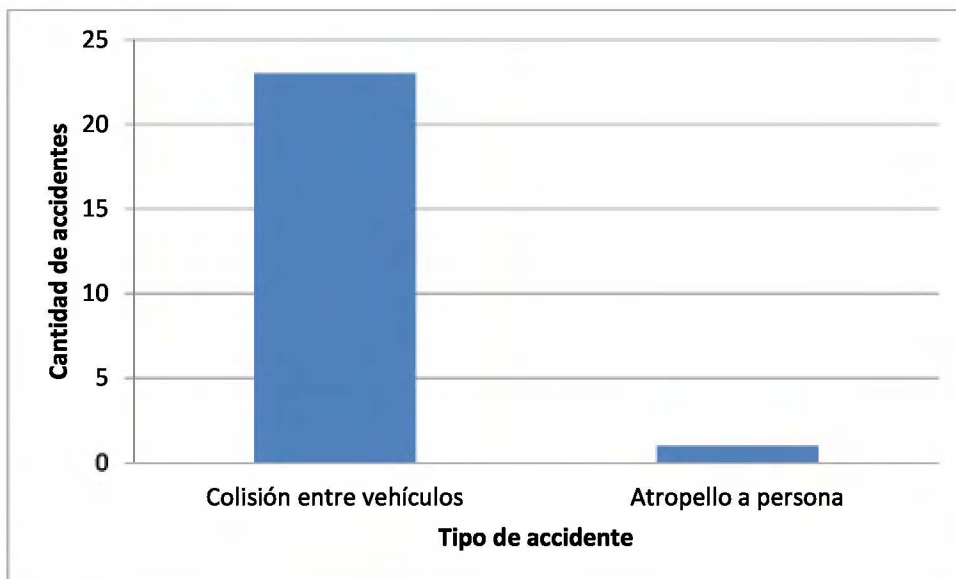


Figura 6.94. Tipo de accidente para los choques en el cruce Santa Cecilia

En cuanto al tipo de impacto predominan los choques de costado, pues se contabilizaron un total de 11, en segundo lugar se encuentran los choques en ángulo recto con 9 en total, en tercer lugar se ubican las colisiones laterales en sentido contrario.

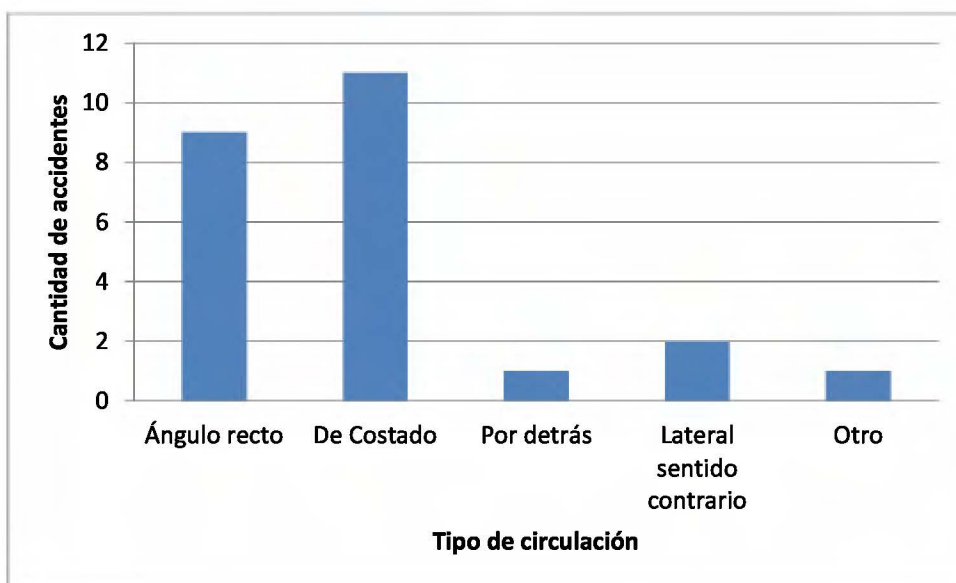


Figura 6.95. Tipo de impacto para los choques del cruce Santa Cecilia

En la gira de campo realizada se encontraron varios problemas en esta intersección, la actual geometría dificulta la visibilidad de los vehículos que salen del acceso sur y tienen que virar a

la derecha. Esta salida cuenta con una pendiente positiva por lo que se dificulta aún más la salida de vehículos pesados.

Otro de los problemas observados es que hay un importante flujo de vehículos pesados, específicamente autobuses que salen por el acceso Sur, al tener una configuración tan deficiente el autobús invade los 2 carriles en sentido San Isidro-Palmare para poder realizar el giro a la derecha.



Figura 6.96. Señalización borrosa en el cruce Santa Cecilia (Enero, 2016)



Figura 6.97. Autobús que invade los dos carriles para poder realizar el giro a la derecha (Enero, 2016)

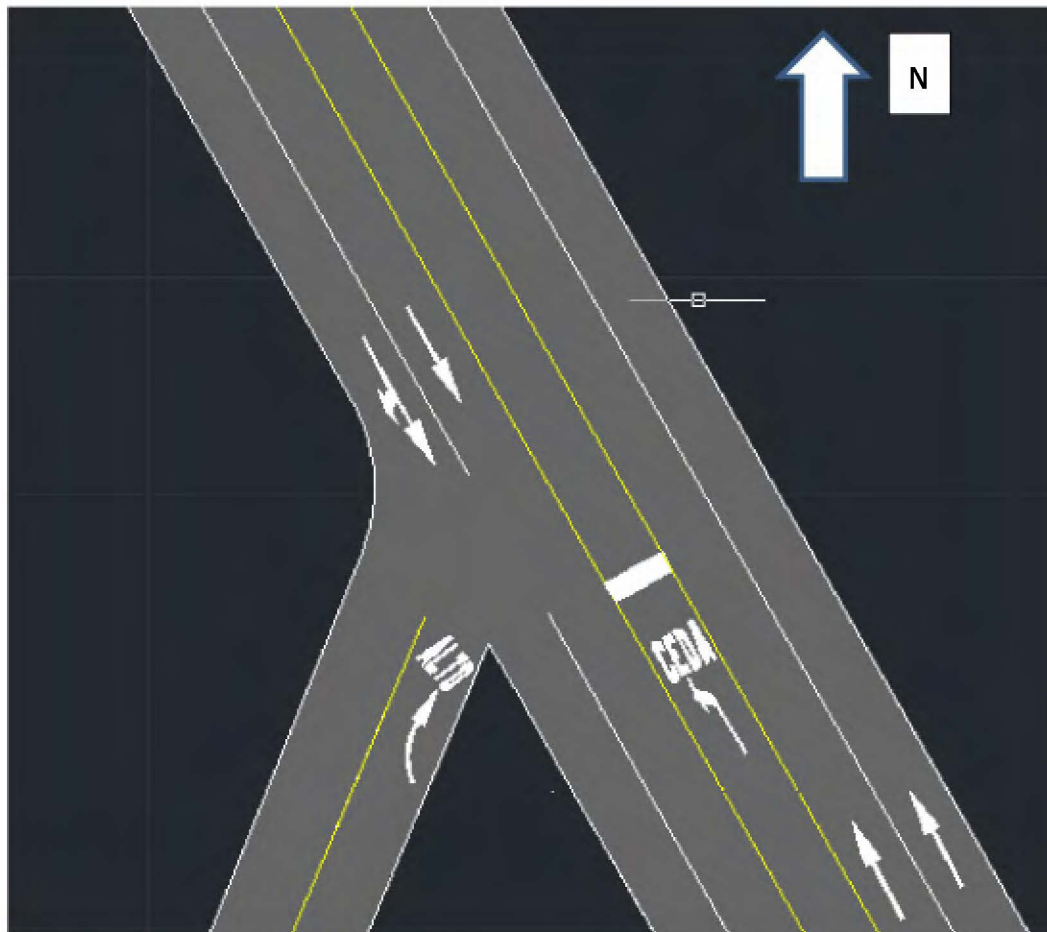


Figura 6.98. Configuración actual del cruce Santa Cecilia

6.16.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Se propone mejorar la geometría de la intersección añadiendo un radio de giro a la derecha mayor como se puede observar en la Figura 5.98. Además es importante demarcar horizontalmente la intersección mediante flechas, señales de "ALTO" y "CEDA", así como las canalizaciones de las islas.

Como ya se mencionó en el alcance las propuestas geométricas para las intersecciones son preliminares y se necesitan estudios más detallados para determinar la factibilidad de los mismos.

En el caso particular de esta intersección es indispensable realizar un levantamiento topográfico y determinar si existe el derecho de vía suficiente para hacer la modificación. En caso contrario deberán hacerse expropiaciones o colocar un semáforo para facilitar la salida de vehículos de este acceso.

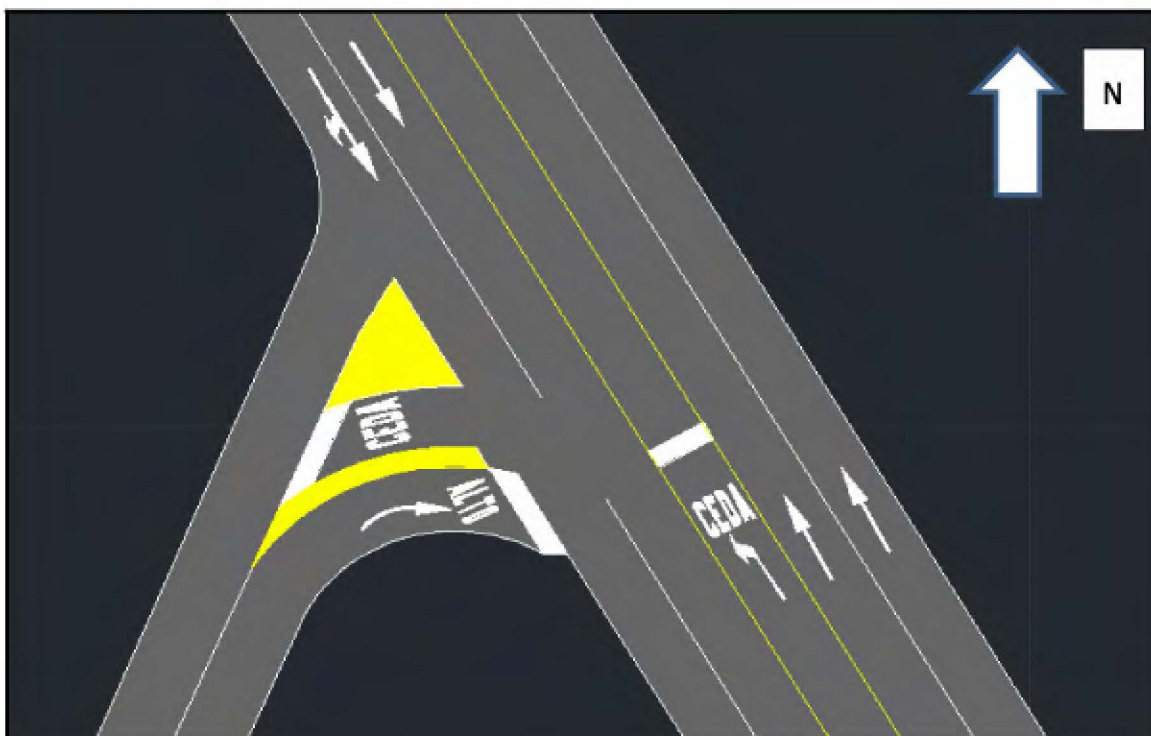


Figura 6.99. Configuración geométrica propuesta para el cruce Santa Cecilia

6.17. Intersección I-45 (Cruce Bar Brazilia)

6.17.1. Diagnóstico

Se ubica después del puente sobre el río Jilguero, es una intersección bastante complicada porque cuenta con varios accesos incluyendo la entrada a un supermercado, originalmente la intersección no contaba con semáforos, sin embargo la geometría del mismo y velocidad en la vía principal hacía muy difícil las maniobras de los vehículos en la vía secundaria.

Cuadro 6.18. Características del cruce Bar-Brazilia

Intersección	I-45	Zona	Urbana
Ubicación	Cruce Bar Brazilia	Tipo señalización	Semáforo
Carriles vía principal	5	Configuración	Cruz
Accesos	6		

La señalización es borrosa, hay muchos accesos (incluso hay una entrada a un supermercado), hay que tener en cuenta que los datos de los que se dispone son previos a la implementación del semáforo en esta intersección, por lo que hay que analizar si dicha medida redujo la cantidad de choques.

En esta intersección se presentaron 36 accidentes, en 27 de estos no se reportaron lesiones, en 8 hubo heridos leves y en 1 caso heridos graves.

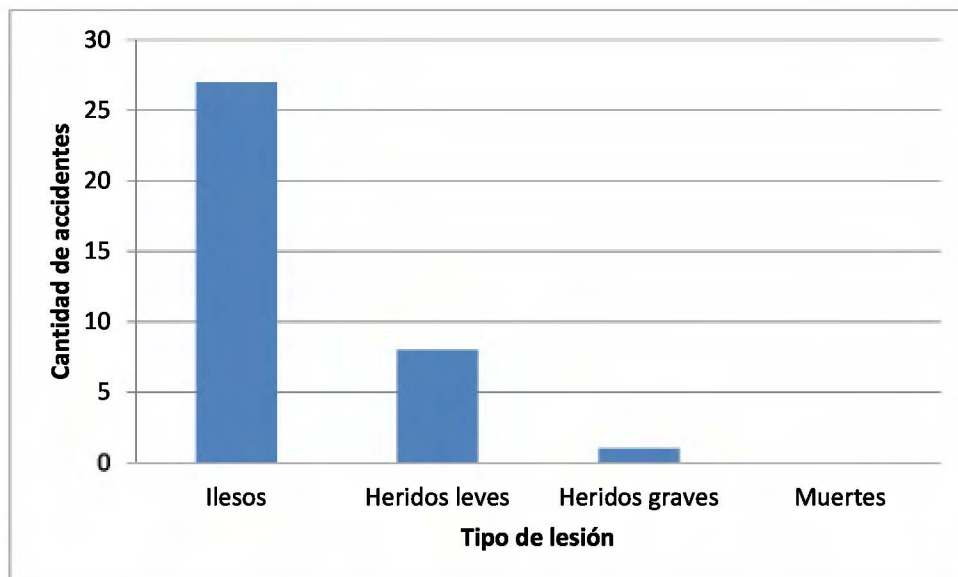


Figura 6.100. Tipo de lesión para los accidentes del cruce Bar Brazilia

En cuanto al tipo de accidente, predominan las colisiones entre vehículos como es de esperar en choques de intersección, sin embargo llama la atención 3 atropellos a personas y una colisión con ciclista, como se mencionó, los datos que se tienen son previos a la implementación del semáforo.

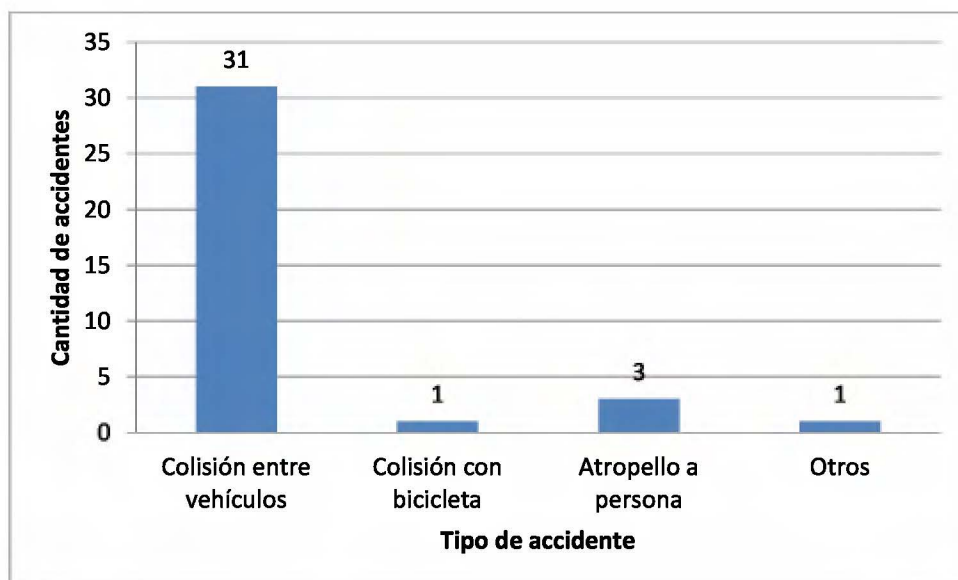


Figura 6.101. Tipo de accidente para los accidentes del cruce Bar Brazilia

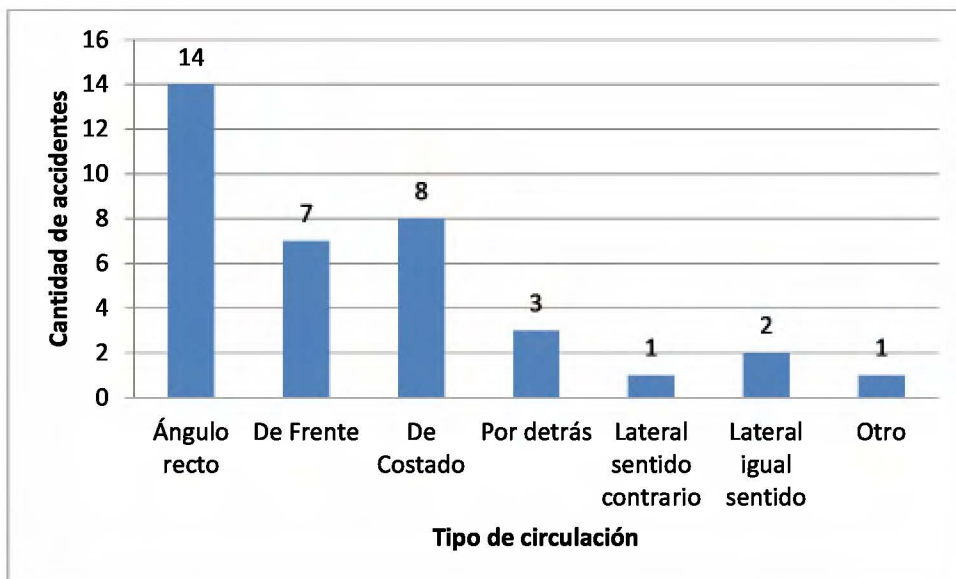


Figura 6.102. Tipo de impacto en los accidentes del cruce Bar Brazilia

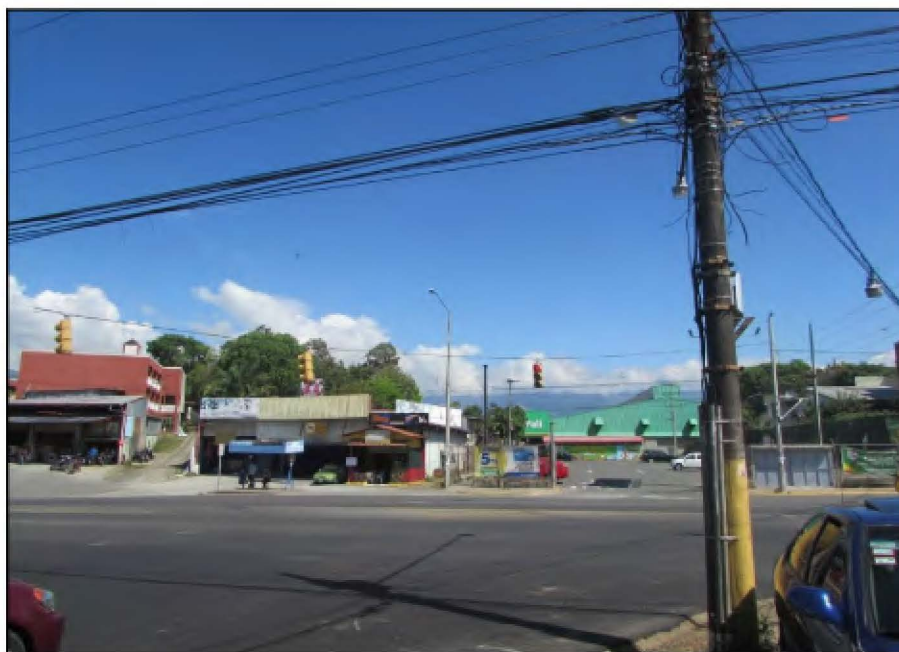


Figura 6.103. Señalización borrosa en el cruce Bar Brazilia (Enero, 2016)

Los datos con los que se cuenta son de un periodo anterior a la colocación del semáforo, pues los choques son del periodo 2011-2013. El semáforo se colocó en mayo de 2014 (www.perezzeledon.net, 2014) por lo que se debe analizar si dicha medida disminuyó la cantidad de choques viales en esta intersección.

Este semáforo, cuenta con 3 fases, la primera corresponde a los movimientos directos de la vía principal, así como el giro a la derecha de los vehículos que viajan en sentido San Isidro-Palmares.

La segunda fase permite los giros a la derecha e izquierda de los flujos que salen del cruce de Brazilia, por último se tiene la fase para el giro a la izquierda (sentido San Isidro-UNA) y movimiento directo de los vehículos que salen del acceso de la Universidad Nacional.

6.17.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Como ya se hizo énfasis esta intersección cuenta con una geometría poco favorable así como una señalización borrosa. Una de las principales recomendaciones sería mejorar la demarcación horizontal.

Se deben colocar captaluces o vialitas que proporcionen mayor visibilidad en la noche, así como canalizar mejor los giros, a continuación se muestra una propuesta de canalización.

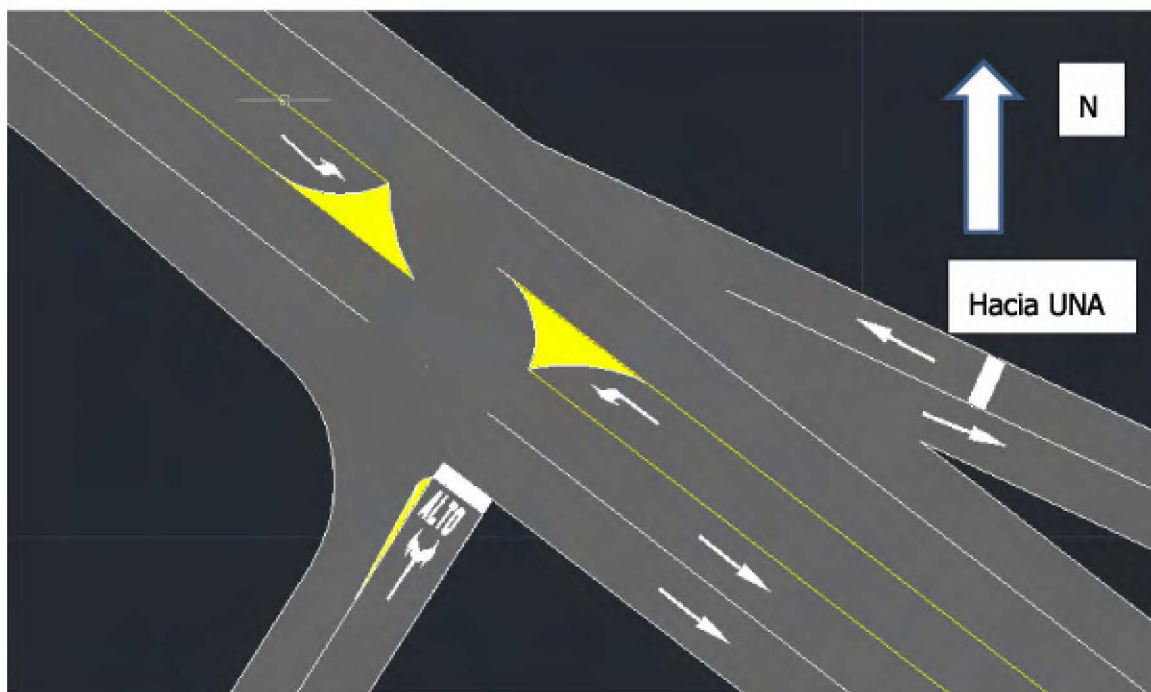


Figura 6.104. Canalizaciones propuestas para el cruce Brazilia

6.18. Intersección I-47 (Cruce Sagrada Familia)

6.18.1. Diagnóstico

Se ubica a un costado del supermercado San Luis, es una intersección tipo cruz, además cuenta con un semáforo peatonal. En esta intersección la fase peatonal es activada por los peatones mediante un botón.

Cuadro 6.19. Características de la intersección cruce Sagrada Familia

Intersección	I-47	Zona	Urbana
Ubicación	Cruce Sagrada Familia	Tipo señalización	Alto-Ceda y Peatonal
Carriles vía principal	5	Configuración	T
Accesos	3		

Para esta intersección se tienen un total de 20 accidentes, no se reportaron muertes en sitio, sin embargo si se tiene 1 herido grave y 3 heridos leves. El tipo de accidente más común es la colisión entre vehículos con 17 casos, el resto fueron atropellos a ciclistas.

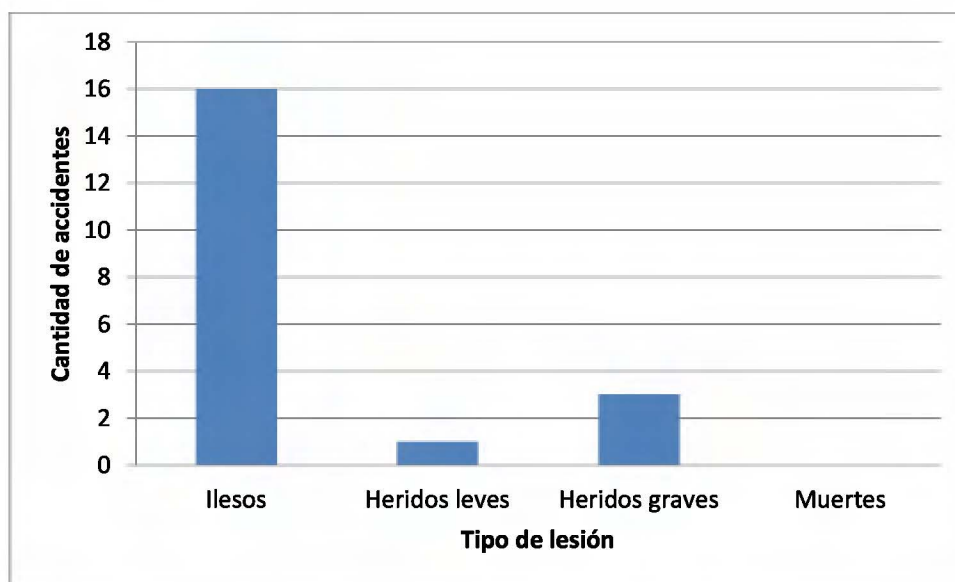


Figura 6.105. Tipo de lesión para los accidentes del cruce Sagrada Familia

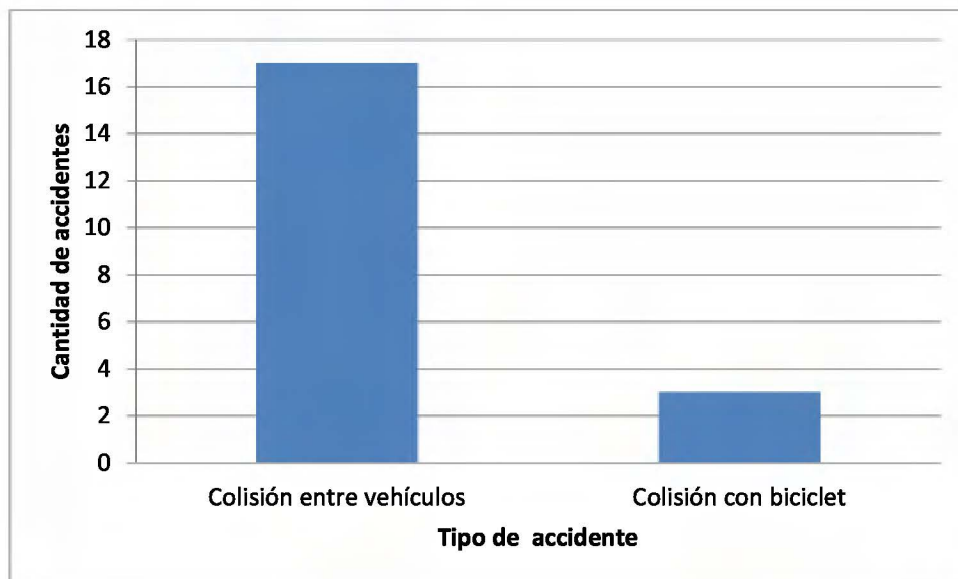


Figura 6.106. Tipo de accidente en el cruce Sagrada Familia

El tipo de impacto más común es el choque por detrás con un total de 5 accidentes, seguido de los choques en ángulo recto y de costado. Una posible solución para esta intersección sería implementar fases vehiculares sobre todo para que los vehículos que giran a la izquierda puedan salir con más facilidad.

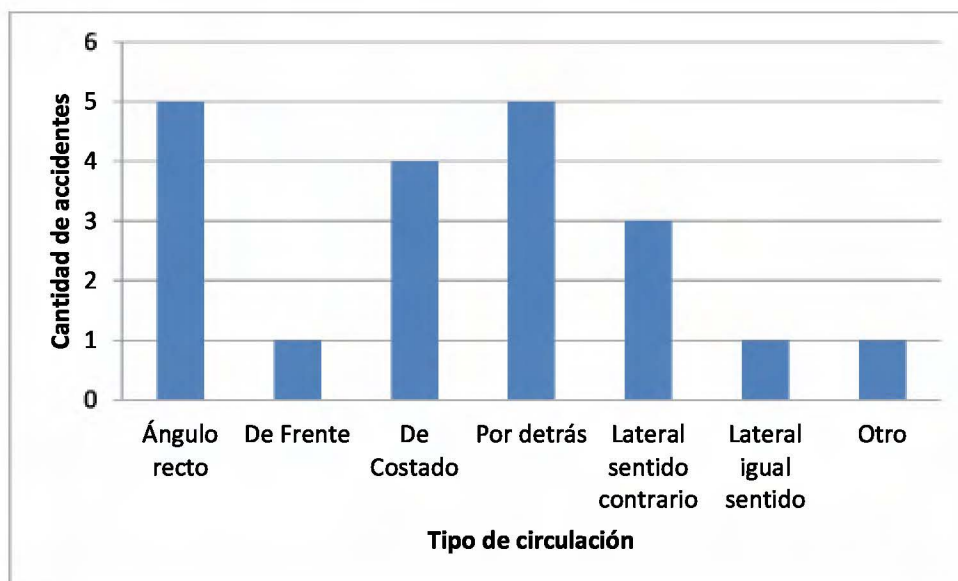


Figura 6.107. Tipo de impacto para los accidentes del cruce Sagrada Familia

En este cruce se tiene un semáforo peatonal, sin embargo no está sincronizado con los flujos vehiculares, además la intersección cuenta con una señalización horizontal deficiente, pues no se observa ni siquiera la señal donde deben detenerse los vehículos.



Figura 6.108. Señalización inexistente en el cruce Sagrada Familia (Enero, 2015)

6.18.2. Medidas de seguridad vial propuestas

La recomendación para esta intersección es demarcar horizontalmente y colocar captaluces para aumentar la visibilidad en la noche. Una opción sería implementar un semáforo que incluya fases vehiculares y que de esta manera los vehículos puedan salir o ingresar de esta intersección de forma segura.

Además se deben canalizar bien los flujos, así como colocar barreras al lado derecho del acceso Sur-oeste, esto con el objetivo de que los vehículos salgan por el carril y no por el parqueo del negocio de al lado.

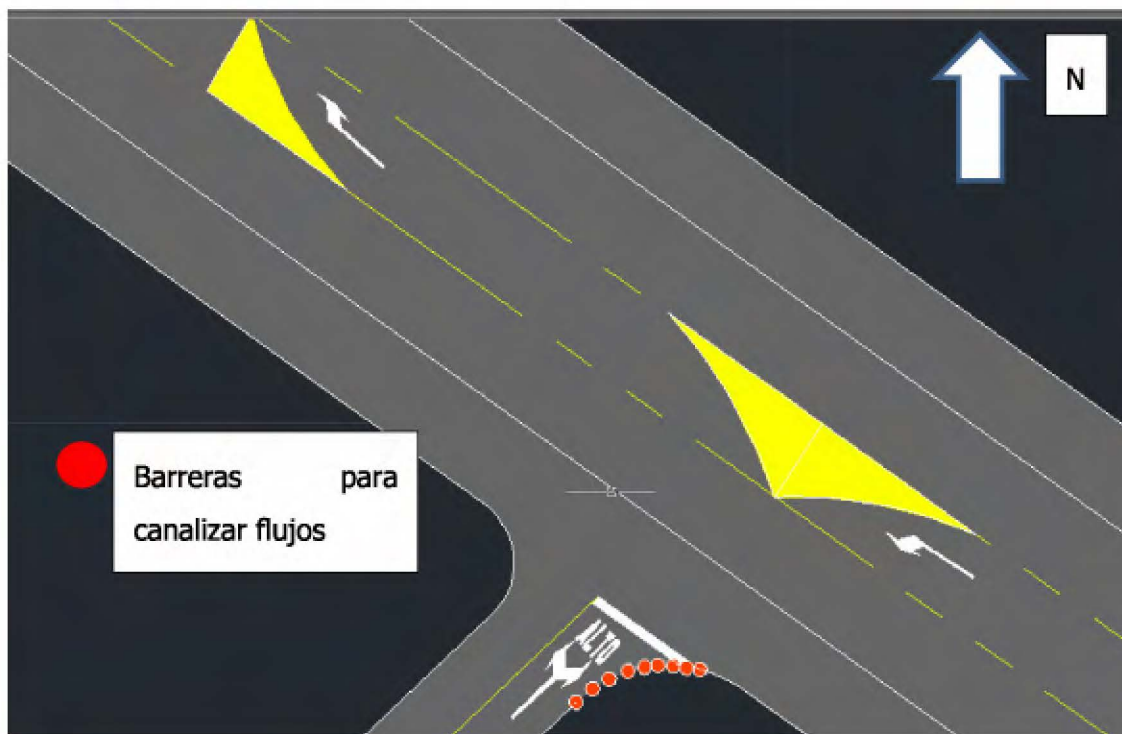


Figura 6.109. Canalizaciones propuestas para el cruce Sagrada Familia

6.19. Intersección I-60 Cruce Barrio Lourdes

6.19.1. Diagnóstico

Se ubica a la altura del kilómetro 138, en Daniel Flores, este acceso es el ingreso al Barrio Lourdes, es en el mismo podemos encontrar un semáforo peatonal. Es una intersección tipo "T" con todos los movimientos permitidos.

Cuadro 6.20. Cruce Barrio Lourdes

Intersección	I-60	Zona	Urbana
Ubicación	Cruce Barrio Lourdes	Tipo señalización	Alto y semáforo peatonal
Carriles vía principal	4	Configuración	T
Accesos	3		

En este cruce se presentaron 6 accidentes, de los cuales 1 fue con heridos graves, 2 con heridos leves y en 3 casos sólo daños materiales. Los 6 accidentes fueron colisiones entre vehículos.

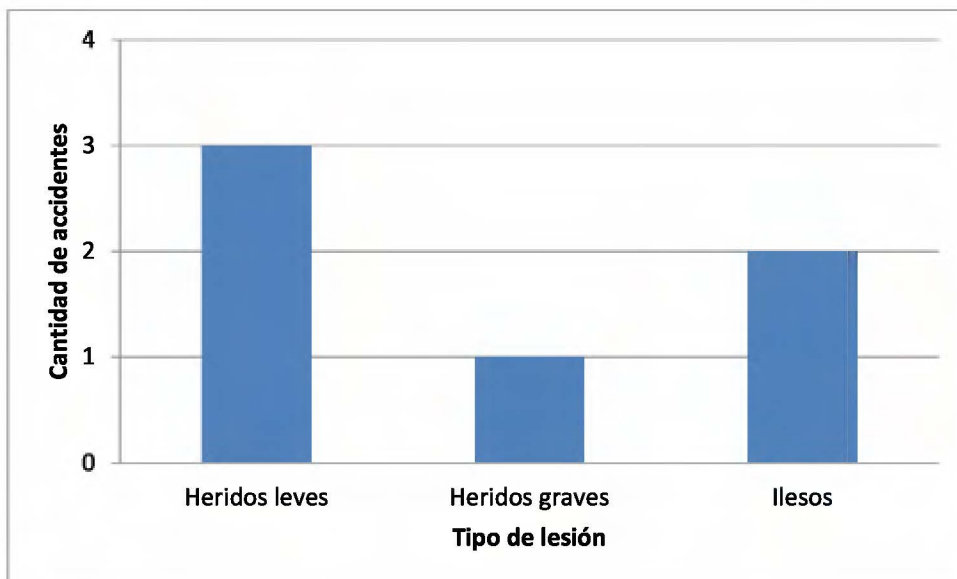


Figura 6.110. Tipo de lesión para los accidentes del cruce Barrio Lourdes

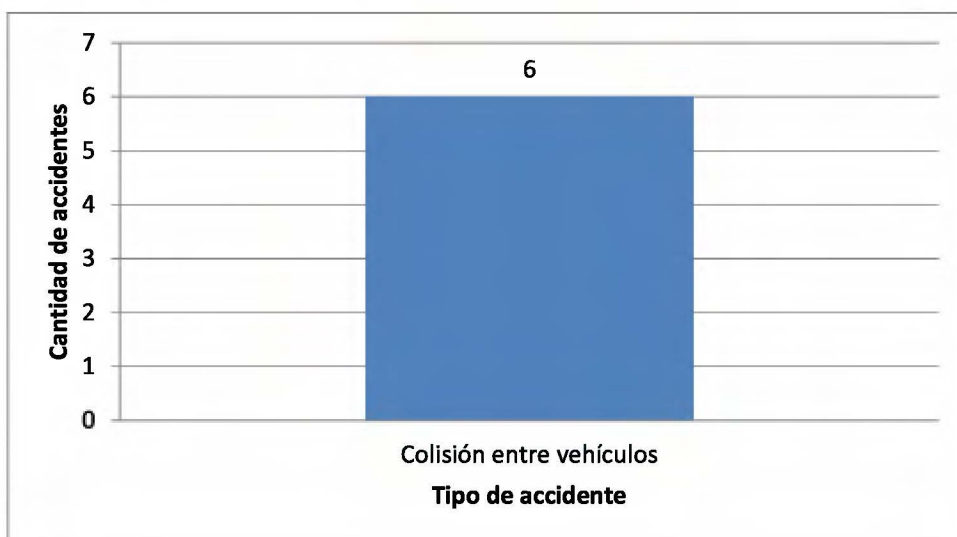


Figura 6.111. Tipo de accidentes presentados en el cruce Barrio Lourdes

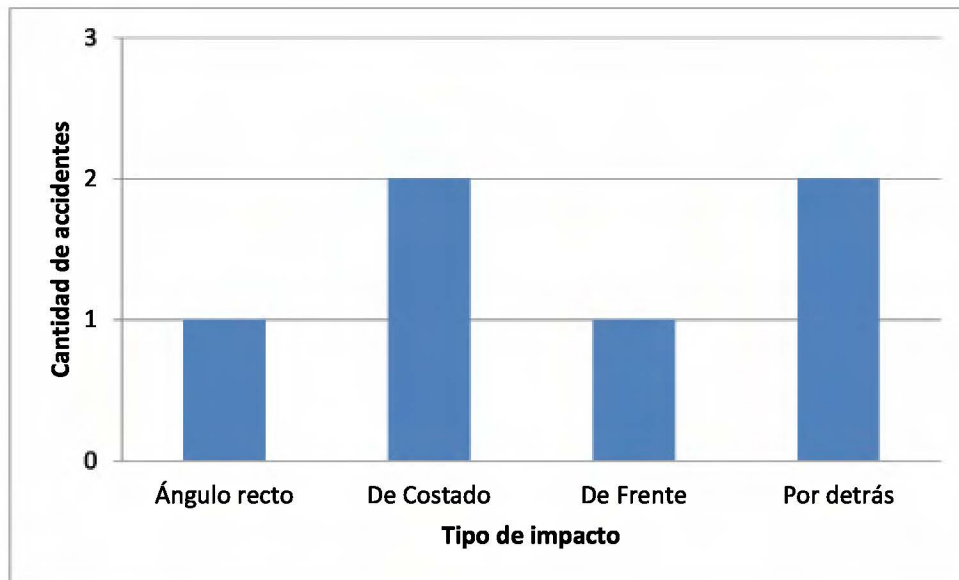


Figura 6.112. Tipo de impacto para los accidentes del cruce Barrio Lourdes



Figura 6.113. Señalización horizontal borrosa en el cruce Barrio Lourdes (Enero, 2016)

6.19.2. Medidas de seguridad vial propuestas

En este cruce se tienen pocos accidentes, sin embargo en la mitad de estos se presentaron heridos, señal de que los impactos son muy violentos debido a las altas velocidades de la vía principal.

El semáforo existente es solo peatonal por lo que se debe considerar implementar fases vehiculares para permitir la entrada y salida de vehículos con mayor seguridad.

Se debe mejorar la señalización horizontal demarcando donde esté borrosa, así como colocar captaluces para mejorar la visibilidad en la noche. En la siguiente figura se proponen las canalizaciones para esta intersección.

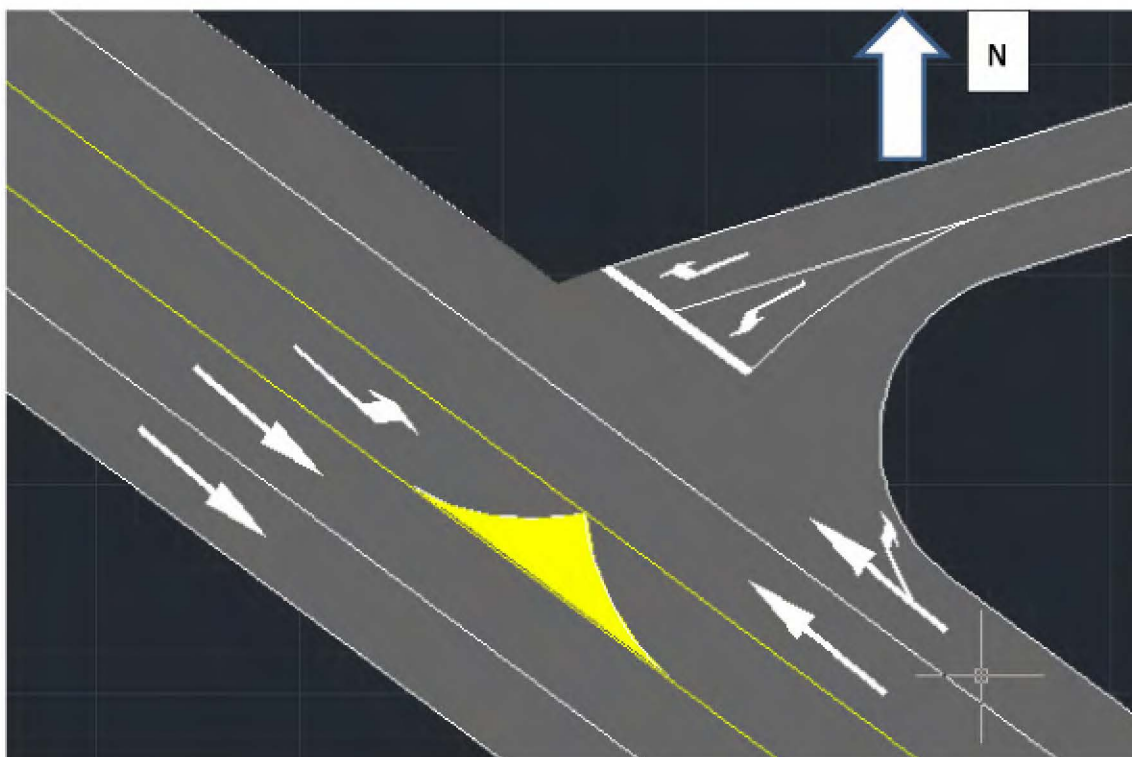


Figura 6.114. Canalizaciones propuestas para el cruce Barrio Lourdes

El día de la visita se observó a los oficiales de tránsito hacer mediciones de velocidad, esta práctica debe hacerse con más frecuencia para desincentivar que los conductores circulen a mayores velocidades de lo permitido.

6.20. Intersección I-69 Cruce Fernando Volio

6.20.1. Diagnóstico

Esta intersección tipo "cruz" está conformada por el acceso al colegio Fernando Volio Jiménez en Palmares de Pérez Zeledón. Esta intersección cuenta con un semáforo peatonal.

Es una intersección con importante presencia de vehículos de la vía secundaria, pues en uno de sus accesos se ubica RITEVE. Los vehículos de la vía principal circulan a gran velocidad haciendo difícil la incorporación de los que salen del acceso.

Cuadro 6.21. Características de la intersección cruce Fernando Volio

Intersección	I-69	Zona	Urbana
Ubicación	Cruce Fernando Volio.	Tipo señalización	Alto y semáforo peatonal
Carriles vía principal	2	Configuración	Cruz
Accesos	4		

Al momento de la visita al sitio (enero de 2016) la intersección no contaba con demarcación horizontal. Como se aprecia en la figura 6.117 no se aprecian las canalizaciones ni las señales de "ALTO". La vía principal no está demarcada ni el límite de velocidad.



Figura 6.115. Señalización horizontal inexistente en el cruce Fernando Volio (Enero, 2016)

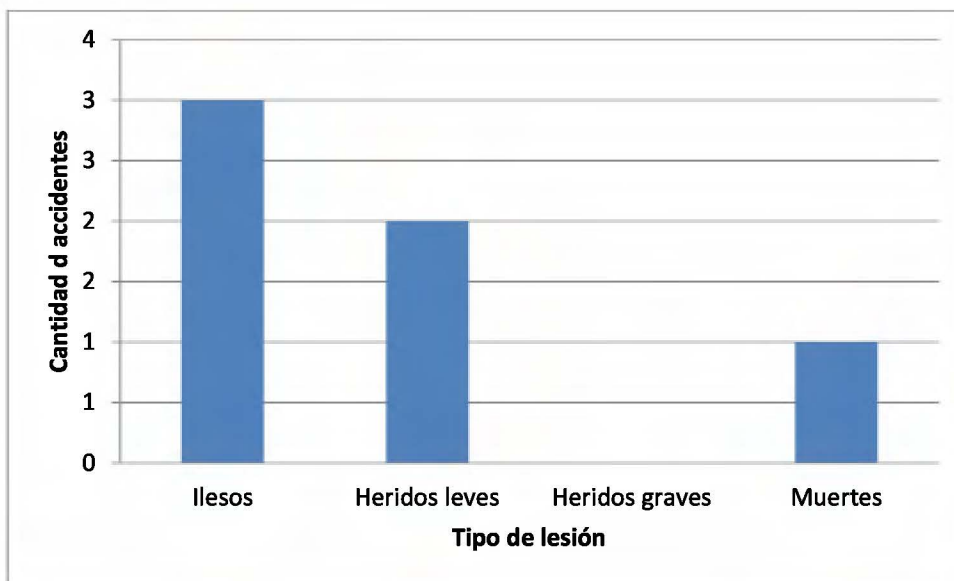


Figura 6.116. Tipo de lesión para los accidentes del cruce Fernando Volio

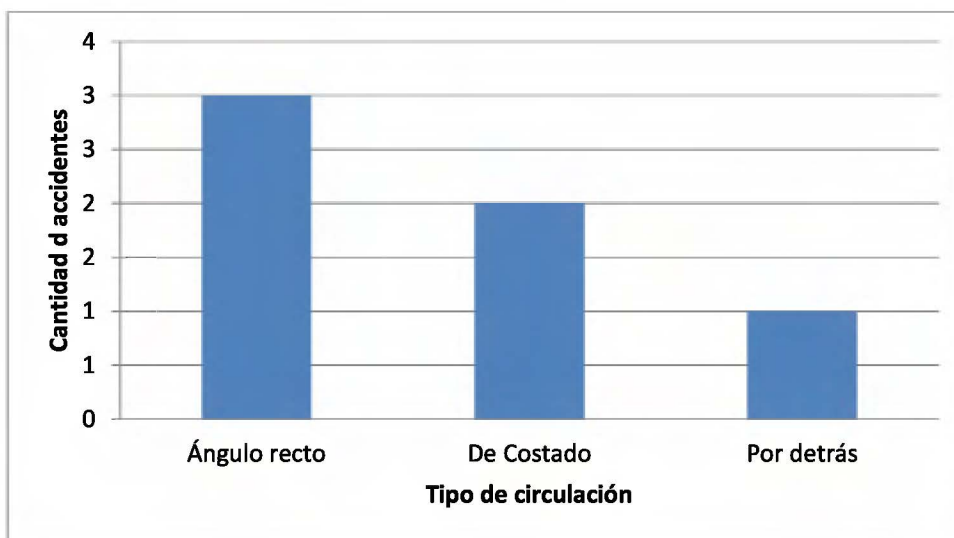


Figura 6.117. Tipo de impacto para los accidentes del cruce Fernando Volio

En este tramo solo se tienen 6 choques siendo todos colisiones entre vehículos en las que predominan los choques en ángulo recto con 3 casos. Se presentaron además 2 choques de costado y 1 choque por detrás.

6.20.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Es necesario demarcar horizontalmente la intersección, pues no se aprecian las señales de "ALTO", movimientos permitidos o canalizaciones. En la siguiente figura se aprecia con más detalle la señalización propuesta.

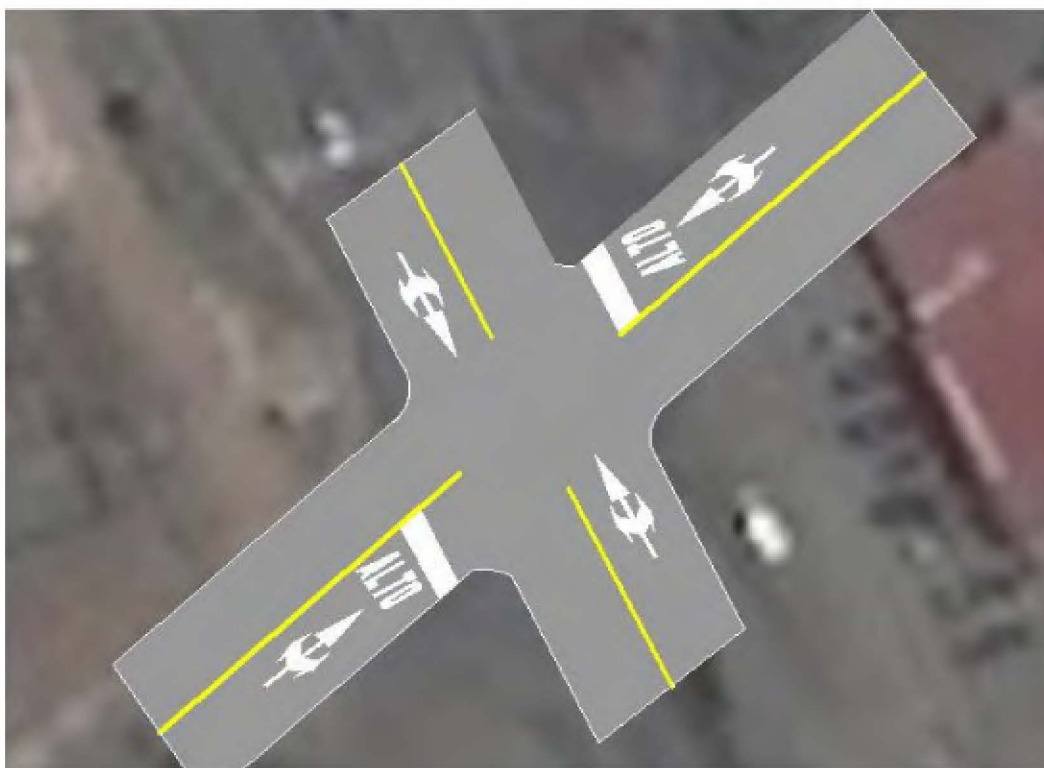


Figura 6.118. Demarcación horizontal propuesta

Se deben colocar captaluces en la vía principal para mejorar la visibilidad durante la noche. Estos se deben colocar según las especificaciones dadas por el SIECA:

- A cada 10 metros en la línea de división de carriles
- A cada 10 metros en los bordes de la calle.

6.21. Intersección I-70 (Entrada a Cajón)

6.21.1. Diagnóstico

Como su nombre lo indica se ubica en el distrito de Cajón y es el ingreso principal al mismo, este cruce cuenta con un importante tránsito pues se trata de una Ruta Nacional, además la geometría del mismo es bastante complicada pues el cruce no tiene suficiente visibilidad.

Cuadro 6.22. Características de la intersección cruce de Cajón

Intersección	I-70	Zona	Rural	
Ubicación	Entrada a Cajón	Tipo señalización	Alto-Ceda	
Carriles vía principal	2	Configuración	T	
Accesos	3			

Para esta intersección se tienen 14 accidentes, de los cuales en 7 casos se reportaron heridos, es decir en el 50% de los accidentes hubo algún herido, de los cuales 1 fue con consecuencias fatales.

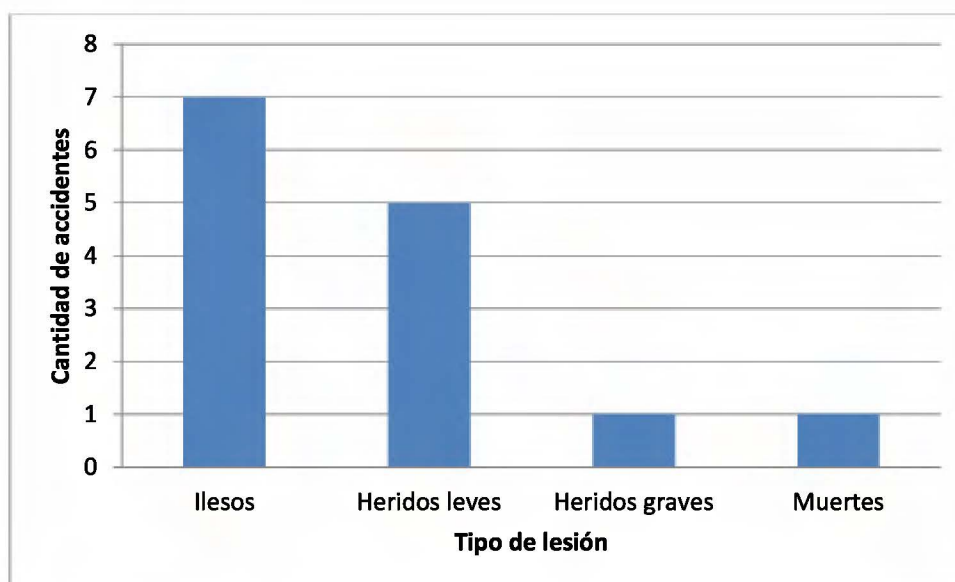


Figura 6.119. Tipo de lesión para los accidentes del cruce de Cajón

El tipo de accidente que predomina es la colisión entre vehículos como es de esperar en los choques de intersecciones, siendo el tipo de impacto más repetido el choque de costado con 5 casos.

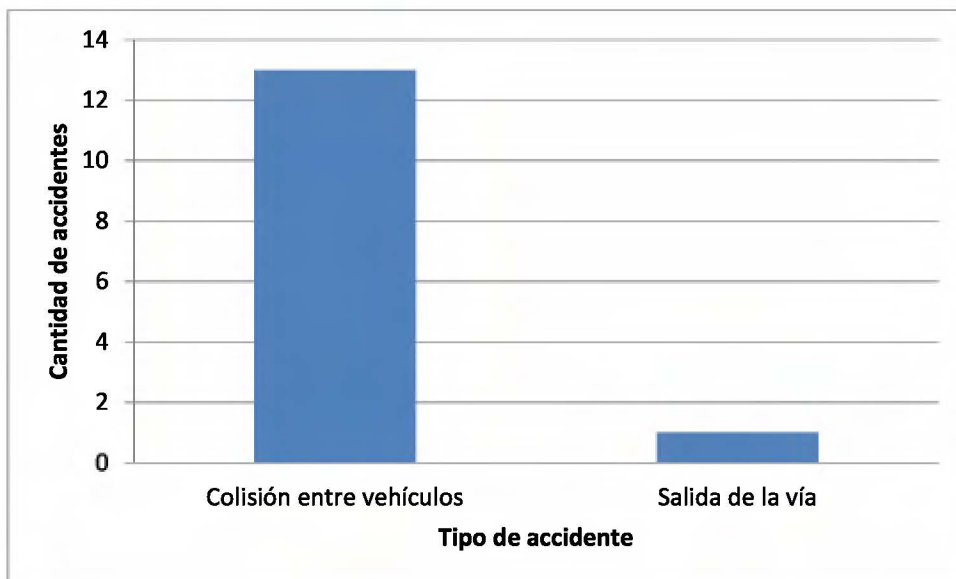


Figura 6.120. Tipo de accidente en el cruce de Cajón

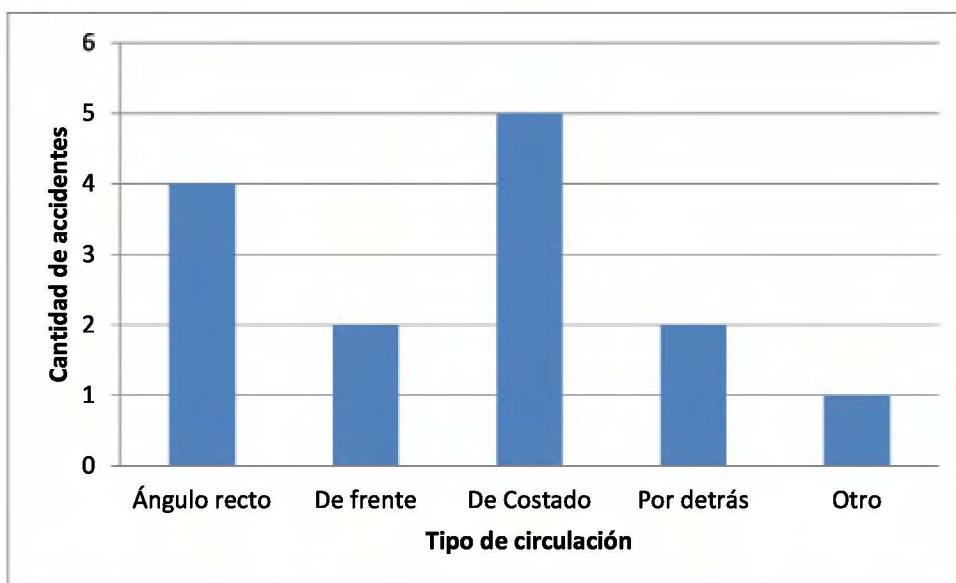


Figura 6.121. Tipo de impacto para los accidentes del cruce de Cajón



Figura 6.122. Señalización ausente en el cruce de Cajón (Enero, 2016)

6.21.2. Medidas de seguridad vial propuestas

Como se observa en la Figura 6.122, este cruce no está señalizado, la velocidad en la vía principal es muy alta, aunque esté señalizada a 60 km/h, por lo que se debe demarcar horizontalmente la intersección.

Es necesario colocar rótulos preventivos que indiquen la presencia de una intersección más adelante, esto se debería hacer en ambos sentidos. En la Figura 6.122 se muestra con mayor detalle el tipo de señal que se debe colocar.



Figura 6.123. Señales verticales de intersección

Se deben hacer controles de parte de los oficiales de tránsito con más frecuencia para controlar las velocidades en la vía principal, en una medida más extrema sería colocar franjas o bandas sonoras que disminuyan la velocidad de los usuarios de la ruta.

Por último se propone mejorar la configuración de la intersección, mediante la incorporación de un carril de giro izquierdo, esto permitirá a los conductores que vayan a ingresar a Cajón, detenerse sin interrumpir el tránsito en la vía principal. Dicha configuración se aprecia mejor en la Figura 6.124.

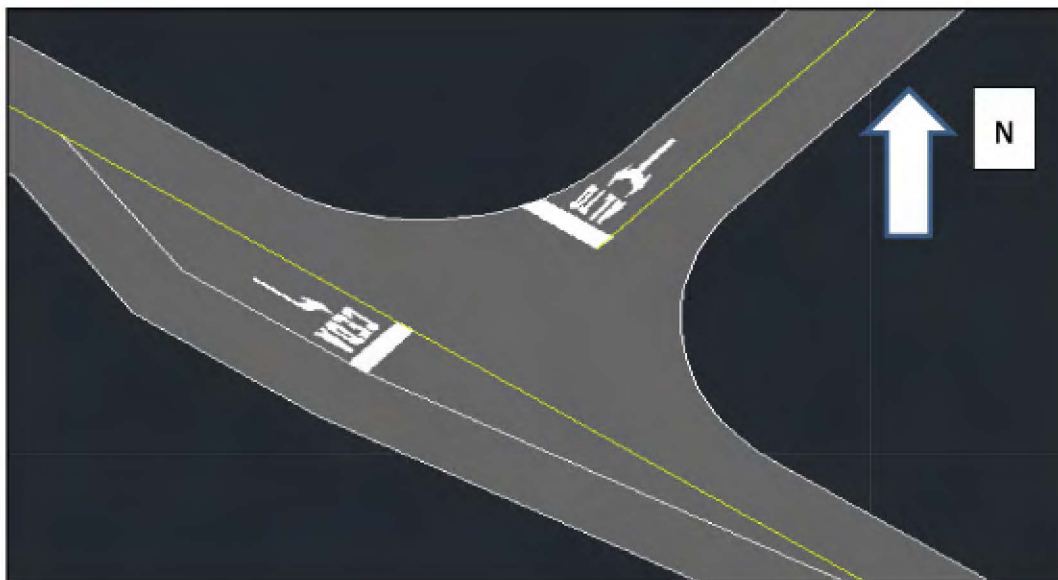


Figura 6.124. Configuración propuesta para el cruce Cajón

Es importante recalcar que las soluciones aquí propuestas son preliminares y es necesario hacer más estudios para determinar la viabilidad y factibilidad de los mismos.

6.22. Otros problemas de seguridad vial detectados

A continuación se presentan otras deficiencias de seguridad vial encontradas en la Ruta Nacional 2. Dichos sitios a pesar de no tener una alta concentración de choques viales si cuentan con condiciones que deben mejorarse.

- Tramo 11: En este tramo se presentó un derrumbe y en el momento de tomar las fotografías se estaba trabajando en la estabilización del talud.

Sin embargo, finalizaron los trabajos y no se han colocado sistemas de contención. A pesar de que existen reductores de velocidad antes de llegar a esta zona es necesario colocar protecciones laterales.



Figura 6.125. Ausencia de barrera de contención en el tramo 11

- Tramos 30 y 46: Faltan sistemas de contención en el margen derecho de la vía (sentido San José-San Isidro)



Figura 6.126. Ausencia de barreras de contención en el tramo 30



Figura 6.127. Sección del tramo 46 sin barreras de contención

- Tramos 47 y 56: En el primer tramo se tiene un terminal cola de pez, que debe ser reemplazada cuanto antes por una menos brusca. En el tramo 56 se tiene que la barrera está dañada y no abarca toda la zona de la curva.



Figura 6.128. Terminal cola de pez en el tramo 47



Figura 6.129. Barrera en mal estado en el tramo 56

- Tramos 74 y 83: En ambos casos se tienen terminales tipo cola de pez, estas deben ser reemplazadas por sistemas menos bruscos.

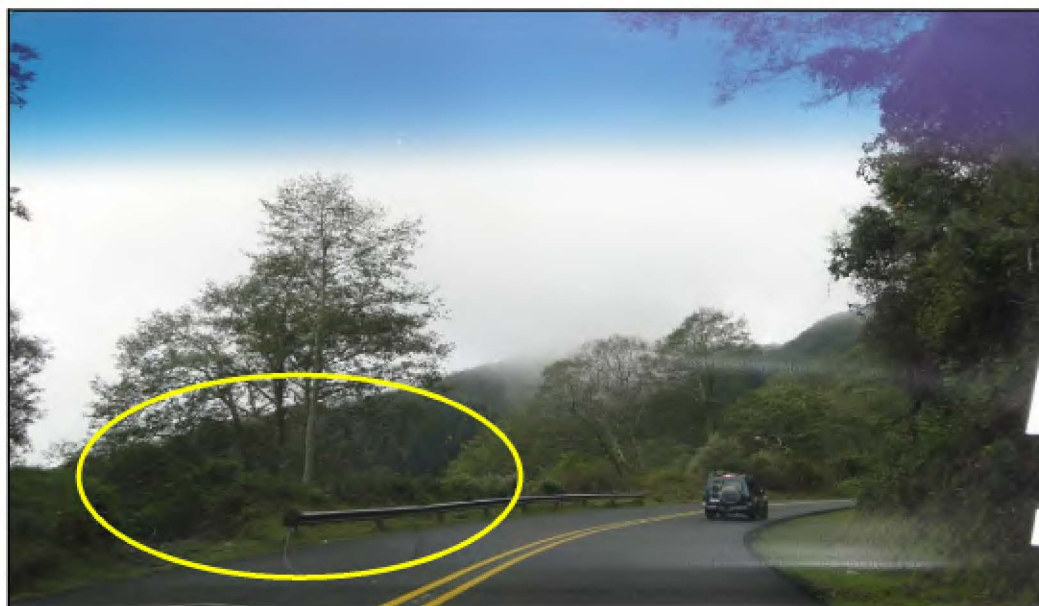


Figura 6.130. Terminal tipo cola de pez en el tramo 74

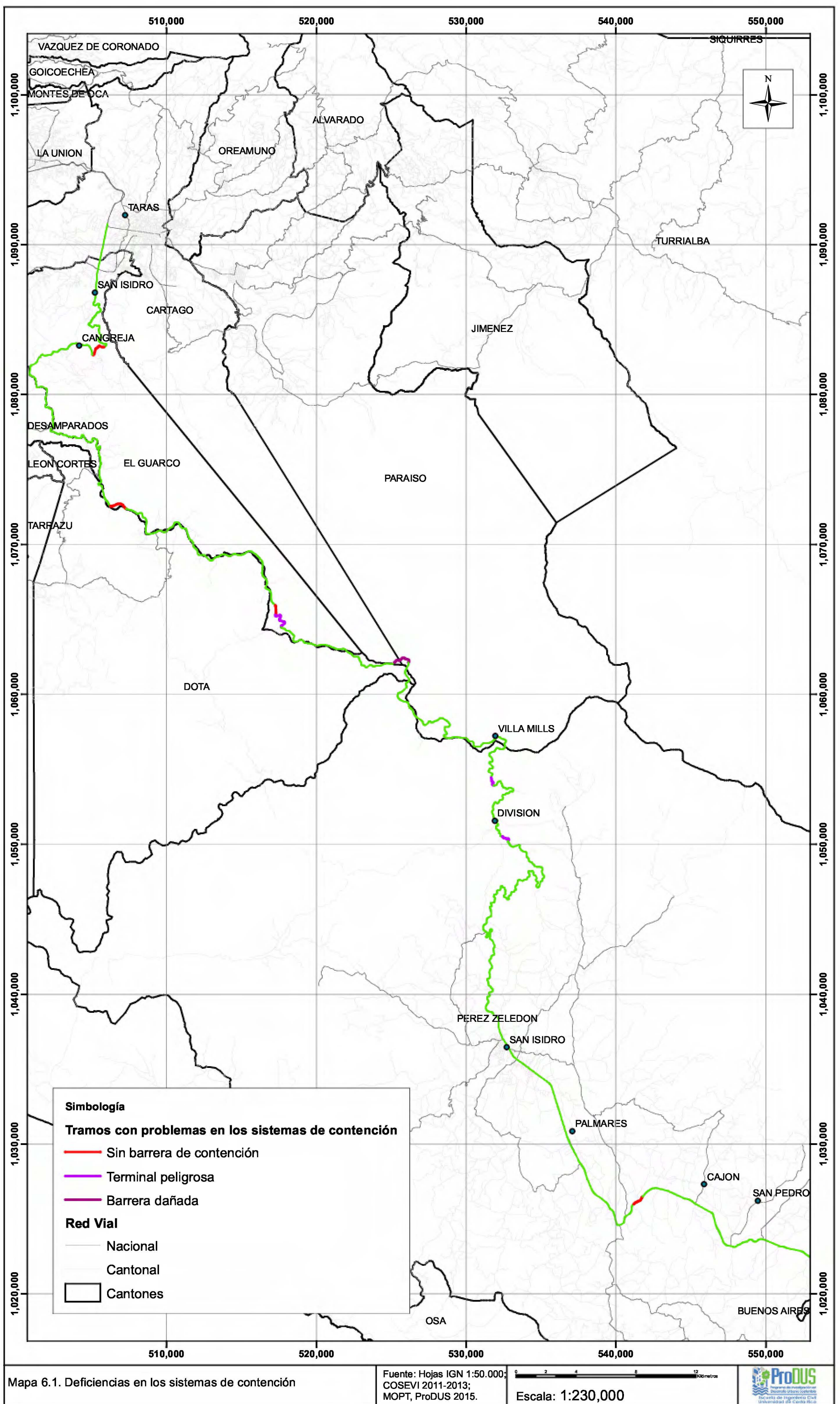


Figura 6.131. Terminal cola de pez en el tramo 83

- Tramo 124: En este caso falta colocar un sistema de contención en la margen derecha de la carretera.



Figura 6.132. Ausencia de sistema de contención en el tramo 124



Mapa 6.1. Deficiencias en los sistemas de contención

Fuente: Hojas IGN 1:50,000;
COSEVI 2011-2013;
MOPT, ProDUS 2015.

Escala: 1:230,000



CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se determinaron los sitios de concentración de choques viales en la Ruta Nacional 2 mediante el método de exceso de frecuencia de choques esperado con el ajuste de Bayes empírico. Para determinar estos sitios fue necesario ubicar y estudiar las características de los choques viales que se presentaron en los tres años de estudio.

La información correspondiente a las boletas de tránsito no es del todo completa, pues en muchos casos falta información relevante. Adicionalmente el que los choques no estén georeferenciados puede dificultar el análisis de los datos.

Otro problema, es que algunas de las variables de los choques viales están bastante incompletas, por ejemplo la edad de los involucrados, el sexo y el tipo de vehículo. En la variable sexo en un 15% de los casos no se tiene anotada esta característica, por otro lado en la variable tipo de vehículo la cifra es aún mayor, con cerca del 45% del total de accidentes en donde no se especifica el tipo.

Lo ideal sería que los oficiales de tránsito sean capacitados con el objetivo de enseñarles la importancia de llenar de forma completa la boleta de tránsito, además se debe tratar de que todos los choques queden georeferenciados y así evitar errores en la ubicación de los mismos.

En materia de los choques analizados, finalmente se contó con 1799 choques a lo largo de la ruta, los mismos se clasificaron según la gravedad, de la totalidad de choques se tienen los siguientes porcentajes según el tipo de lesión:

- Accidentes con muertos: 0,7%
- Accidentes con heridos graves: 5,4%
- Accidentes con heridos leves: 18,4%
- Accidentes solo daños materiales: 75,5%

En cuanto a la ubicación de los choques viales por distrito, cerca del 67% ocurrieron en los distritos de San Isidro del General y Daniel Flores, situación que evidencia el enorme problema de seguridad vial existente en este sector de la ruta.

El mes que presentó más accidentes fue abril, con el 10,5% del total de accidentes, el día de la semana con más choques fue el viernes y la hora con mayor cantidad de accidentes fue las 4:00 p.m.

El clima no es un aspecto que incida de forma significativa para el total de accidentes, pues en el 63% de los casos se reportaron condiciones climáticas buenas. Sin embargo, hay segmentos donde el clima si fue un factor determinante, esto ocurre sobre todo en el sector montañoso de la ruta, específicamente en los tramos 75 (Vuelta Las Monjas) y tramos 70, 71, 73 (La Auxiliadora).

El tipo de accidente que predomina son las colisiones entre vehículos con el 78% de los casos, seguido de las salidas de vía o vuelco con un 14%, en tercer lugar se encuentran los atropellos a peatones.

La ruta fue dividida finalmente en 138 tramos homogéneos, es decir que compartían características similares como alineamiento horizontal, número de carriles, TPDA, tipo de zona, etc.

En cuanto a las condiciones de la calzada, esta es aceptable en la mayoría de los tramos, no obstante se encontraron problemas de señalización, pues ésta era borrosa o inexistente. Otro de los problemas que se identificó es que gran parte de la carretera no cuenta con espaldón. En los casos en que si podemos encontrar espaldón este no cuenta con el ancho mínimo recomendado por el SIECA.

De los 138 tramos únicamente 2 cuentan con carriles de ascenso (segmentos de 3 carriles) y ambos se ubican en sentido San Isidro-San José. Los tramos de 4-5 carriles se ubican en San Isidro del General.

Se realizaron modelos de choques totales, choques equivalentes y choques con solo daños materiales, sin embargo se decidió utilizar el modelo de choques equivalentes pues este toma en cuenta la gravedad del evento. Los modelos de choques con heridos leves, graves y muertos no convergieron debido a la gran cantidad de tramos donde estos valores eran cero. Las variables que resultaron significativas para el modelo fueron la densidad de accesos por kilómetro y el número de carriles, por lo que una mayor cantidad de accesos implica un mayor exceso de frecuencia de choques, además si el segmento tiene 3 o más carriles también aumenta la cantidad de choques.

Por otro lado la variable de Tránsito Promedio Diario TPD no dio significativa para ninguno de los modelos, situación que en principio es atípica, pues es esperable que a mayor cantidad de vehículos mayor es la probabilidad de que ocurran choques viales. Una posible explicación a que la variable no fuera significativa es que sólo se contaba con datos de 9 estaciones de conteo. Adicionalmente se hicieron estimaciones utilizando tasas de crecimiento en lugar de tomar mediciones recientes.

Debido a la gran cantidad de choques de intersección se hizo un modelo para estos, en este caso se hizo la clasificación de acuerdo a la variable que decía si existía intersección. Las variables que resultaron significativas fueron: "2 o más carriles en la vía principal" y "clasificación de la vía secundaria".

Para los choques de intersección también se corrieron modelos de choques equivalentes y con solo daños materiales, al igual que en el modelo de tramos las equivalencias utilizadas fueron las siguientes:

- 1 choque con heridos leves=3 choques con sólo daños materiales
- 1 choque con heridos graves= 12 choques con sólo daños materiales
- 1 choque con muertos= 40 choques con sólo daños materiales

Dichas equivalencias se tomaron del trabajo final de graduación de Esteban Castro (2013).

Después de correr y establecer el modelo base se eligieron el 10% de los tramos e intersecciones con mayor frecuencia esperada de choque, por lo que finalmente se eligieron 14 tramos y 8 intersecciones.

De los 14 tramos con mayor exceso de frecuencia de choques, 1 se ubica en Cartago, 7 en la zona montañosa de la carretera (Cerro de La Muerte), 3 en San Isidro del General, 3 en Daniel Flores y 1 en San Pedro de Pérez Zeledón. En cuanto a las intersecciones 2 se ubican en Cartago y 6 en la zona de Pérez Zeledón.

Los tramos e intersecciones con mayor exceso de frecuencia de choque esperada son los siguientes:

Tramos:

1. Tramo 75 "Vuelta Las Monjas"
2. Tramo 95 "Vuelta de Payner"
3. Tramo 117 "Gasolinera El Rodeo"
4. Tramo 13 "La Cangreja"
5. Tramo 121 "Las Juntas de Pacuar"
6. Tramo 111 "Brazilia"
7. Tramo 132 "puente San Pedro"
8. Tramo 3 "Gasolinera El Guarco"
9. Tramo 110 "Gasolinera Fersol-puente río Jilguero"
10. Tramo 71 "La Auxiliadora"
11. Tramo 73 "Kilómetro 100"
12. Tramo 27 "El Empalme"
13. Tramo 70 "Kilómetro 98"
14. Tramo 112 "Villa Ligia-Barrio Lourdes"

Intersecciones:

1. Cruce entrada a Cajón
2. Cruce Liceo Unesco

3. Cruce Fernando Volio
4. Cruce Gasolinera El Guarco
5. Cruce Sagrada Familia
6. Cruce Megasuper El Guarco
7. Cruce Santa Cecilia
8. Cruce Barrio Lourdes

Después de recorrer y analizar los tramos e intersecciones críticas, así como analizar las características de los choques ocurridos en cada uno de ellos, se generaron recomendaciones de las cuáles se enumeran las principales:

- Se debe corregir la geometría de dos intersecciones, la primera corresponde al cruce del Liceo Unesco y la segunda al cruce de Santa Cecilia.
- Es necesario canalizar los flujos en el resto de intersecciones, además se debe insistir en mantener correctamente demarcadas las intersecciones de la ruta.
- En los tramos de San Isidro del General se deben eliminar accesos y canalizarlos mediante vías marginales.
- En los tramos "vuelta las monjas" y "vuelta de Payner" se recomiendan hacer mediciones de velocidad para determinar qué tan rápido circulan los vehículos en ambos sentidos y de esta manera implementar barras o franjas sonoras que disminuyan la velocidad antes de ingresar a la curva.
- Remover los obstáculos en la vía en el tramo 95 "vuelta de Payner"
- Colocar captaluces cada 10 metros en todo el tramo de 4 carriles en San Isidro del General, tanto en la línea de centro como en la divisoria de carriles en un mismo sentido.

- Se deben colocar captaluces en el sector del "cerro de la muerte", especialmente en aquellas zonas donde la neblina es más común, como lo son los tramos 13, 27, 70, 71, 73 y 75.
- Es necesario añadir carriles de ascenso en sentido San José-San Isidro, pues en la actualidad no existe ninguno en ese sentido.
- Reparar la barrera de contención en uno de los márgenes del puente sobre el río San Pedro.
- Limpiar la maleza y árboles que reducen la visibilidad en el cruce de San Pedro.
- Colocar rótulos que indiquen la presencia de intersecciones adelante en los cruces del Liceo Unesco, Cajón y San Pedro, ya que estas cuentan con poca visibilidad.
- Añadir un carril de giro izquierdo en la vía principal para los vehículos que necesiten ingresar a Cajón de Pérez Zeledón.
- Implementar medidas de tráfico calmado mediante la colocación de umbrales antes de ingresar a San Isidro del General.
- Deben hacerse los estudios para determinar la necesidad de construir una ciclovía en la zona de San Isidro del Guarco, que cumpla con los requerimientos mínimos que permitan salvaguardar la integridad de los ciclistas.
- Reparar las barreras de contención que se encuentran en mal estado, así como reemplazar las terminales de brúscas tipo "cola de pez".

8. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Agüero, J. & Castro, E. (2015). Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: el caso de la ruta 32 en Costa Rica. *Revista de Ingeniería Universidad de Costa Rica*, 25(1), 33-46.
- 2) American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO. (2010). Highway Safety Manual. Volume 1. (1st Edition).
- 3) Hernando, A. Calvo. M. (1999). Biomecánica del accidente de tráfico. Departamento Medicina Intensiva, Hospital 12 de Octubre. Sevilla, España.
- 4) Castro, E. (2013). Análisis de tramos de concentración de choques viales en la Ruta Nacional 32, utilizando el método de exceso de frecuencia de choques esperado con el ajuste de Bayes empírico. Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- 5) Consejo de Seguridad Vial COSEVI. (2013). Auditoría en seguridad vial Ruta Nacional 2, kilómetros 102, 120 y 133. Consultado en setiembre, desde: <http://www.csv.go.cr/documents/>.
- 6) Consejo de Seguridad Vial COSEVI. (2012). Cuadro 1. Tasas de mortalidad con muertes totales y en sitio por accidentes de tránsito. Consultado en setiembre, desde: <http://www.csv.go.cr/web/cosevi/estadisticas>.
- 7) Comisión Nacional de Seguridad (CNS). (2013). Accidentes y sus factores. Consultado en febrero de 2016, desde: http://cns.gob.mx/portalWebApp/appmanager/portal/desk?_nfpb=true&_pageLabel=portals_portal_page_m2p1p2&content_id=830068&folderNode=830052&folderNode1=81027

- 8) Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito CONASET (2010). Guía de criterios para la aplicación, ubicación, diseño y señalización de medidas para el tráfico calmado. Área Gestión de Vías y Espacios Públicos, Santiago, Chile.
- 9) Fernández, E. (2014). Costo de accidentes de tránsito en Costa Rica creció 62% en la última década. El Financiero. Consultado en setiembre, desde: http://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/INS-Caja-CCSS-accidentes_de_transito-Cosevi-MOPT-carreteras_0_523747644.html.
- 10) Everitt, B.S. & Skrondall, A. (2010). The Cambridge Dictionary of Statistics. Cambridge University Press; 4 edición.
- 11) Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2014). Cuadro C3. Total de defunciones por grupos de edades, según causa de muerte y sexo. Consultado en setiembre de 2014, desde: <http://www.inec.go.cr>.
- 12) Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2014). Cuadro C4. Total de defunciones por grupos especiales de edades, según grandes grupos de causa de muerte y sexo. Consultado en febrero de 2016, desde: <http://www.inec.go.cr>.
- 13) Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2013). Evaluación de la red vial nacional pavimentada de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- 14) Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2011). Identificación de zonas de riesgo de accidentes, Rutas 1, 2, 32 y 34 (LANAMME). San José, Costa Rica.
- 15) Lord, D. & Mannering, F. (2010). The statistical analysis of crash-frequency-data: A review and assessment of methodological alternatives. Transportation Research Part A 44, pp. 291-305.
- 16) Luchemos por la vida (212). Mortalidad en Argentina: comparación con otros países. Consultado en setiembre, desde:

<http://www.luchemos.org.ar/es/estadisticas/internacionales/comparacion-de-argentina-con-otros-paises>.

- 17) Madriz, B. (2013). Modelos estadísticos de gravedad de choques viales en las rutas nacionales de Costa Rica. Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- 18) Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT). (2014). Manual de especificaciones técnicas para realizar el inventario y evaluación de la Red Vial Cantonal. Dirección de Planificación Sectorial, Departamento Medios de Transportes.
- 19) Obregón, C. (2005). Historia de la Ingeniería en Costa Rica. San José: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.
- 20) Perezzeledon.net. (2014). Precaución: comienza instalación de semáforos en Brazilia: Consultado en enero de 2016, desde: <http://www.perezzeledon.net/manana-comienza-instalacion-de-semaforos-del-brasilia/>
- 21) Pujol, R. (2008). EL contexto territorial de la seguridad vial: algunas lecciones de Costa Rica. Consultado en setiembre, desde: http://www.institutoivia.com/cisev-ponencias/analisis_accidentes_aa/rosendo_pujol.pdf
- 22) Pujol, Rosendo (2005). Análisis Epidemiológico de la Ocurrencia de diversos tipos de accidentes viales.
- 23) Quesada, R (2007). (2007, agosto). Los bosques de Costa Rica. En IX Congreso Nacional de Ciencias, Cartago, Costa Rica.
- 24) Sánchez, L. (2010). Medidas de moderación de velocidad en travesías. España.

- 25) Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), (2014). Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito. Guatemala.
- 26) Timaná, J (2005). Técnica de análisis de accidentes de tránsito: Seguridad Vial. Universidad de Piura, Lima, Perú.
- 27) Torres, M (2016). Estudio de la movilidad ciclista en los distritos de San Francisco, Guadalupe y Quebradilla del cantón de Cartago, y los distritos de Tobosi y Tejar del cantón de El Guarco. Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- 28) Valverde, G. (2011). Manual SCV. Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras. Vicerrectoría de Investigación. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- 29) Zamora, J. (2007). Análisis de ocurrencia de diferentes tipos de choques viales en el cantón de Pérez Zeledón. Proyecto de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

9. ANEXOS

9.1. Salidas del programa R studio para los modelos de tramos

Modelo de choques equivalentes

```
Call:
glm.nb(formula = CE ~ as.factor(CAT_NUMCAR2) + ACC_KM + offset(log(long)),
       data = tramo, init.theta = 0.6576490013, link = log)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.0959	-1.0877	-0.4777	0.0548	3.9186

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-4.66294	0.14324	-32.554	< 2e-16 ***
as.factor(CAT_NUMCAR2)2	2.72912	1.24516	2.192	0.02840 *
as.factor(CAT_NUMCAR2)3	1.18345	0.57813	2.047	0.04065 *
ACC_KM	0.13002	0.04093	3.177	0.00149 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(0.6576) family taken to be 1)

Null deviance: 218.19 on 137 degrees of freedom
 Residual deviance: 159.97 on 134 degrees of freedom
 AIC: 1022.6

Number of Fisher Scoring iterations: 1

Theta: 0.6576
 Std. Err.: 0.0805

2 x log-likelihood: -1012.6180

Modelo de choques totales

```
Call:
glm.nb(formula = TG ~ as.factor(CAT_NUMCAR2) + ACC_KM + offset(log(long)),
       data = tramo, init.theta = 1.234683691, link = log)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.1583	-0.8371	-0.3230	0.1464	5.0963

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-5.50911	0.11457	-48.086	< 2e-16 ***
as.factor(CAT_NUMCAR2)2	2.70912	0.91939	2.947	0.003212 **
as.factor(CAT_NUMCAR2)3	1.73627	0.43080	4.030	5.57e-05 ***
ACC_KM	0.10829	0.03159	3.428	0.000608 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(1.2347) family taken to be 1)

Null deviance: 288.56 on 137 degrees of freedom
 Residual deviance: 154.16 on 134 degrees of freedom
 AIC: 806.81

Number of Fisher Scoring iterations: 1

Theta: 1.235
 Std. Err.: 0.185

2 x log-likelihood: -796.809

Modelo de choques sólo daños materiales

Call:
 glm.nb(formula = ILE ~ as.factor(CAT_NUMCAR2) + ACC_KM + offset(log(long)),
 data = tramo, init.theta = 1.286871007, link = log)

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.2234	-0.9200	-0.2045	0.1473	4.8772

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-5.86576	0.11767	-49.847	< 2e-16 ***
as.factor(CAT_NUMCAR2)2	2.72484	0.90674	3.005	0.002655 **
as.factor(CAT_NUMCAR2)3	1.80252	0.42584	4.233	2.31e-05 ***
ACC_KM	0.11927	0.03175	3.756	0.000172 ***

 Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(1.2869) family taken to be 1)

Null deviance: 309.47 on 137 degrees of freedom
 Residual deviance: 152.71 on 134 degrees of freedom
 AIC: 726.31

Number of Fisher Scoring iterations: 1

Theta: 1.287
 Std. Err.: 0.213

2 x log-likelihood: -716.312

9.2. Salidas del programa R studio para los modelos de intersección

Modelo de choques equivalentes

```
Call:
glm.nb(formula = CE ~ as.factor(Tipo_Sec) + as.factor(CARR_PRIM),
       data = intersecc, init.theta = 0.5243900734, link = log)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.91622  -1.00066  -0.46716   0.08699   2.13569

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)    2.65363    0.63072   4.207 2.58e-05 ***
as.factor(Tipo_Sec)2  0.07328    0.80012   0.092  0.92702
as.factor(Tipo_Sec)3 -0.78956    0.65230  -1.210  0.22611
as.factor(CARR_PRIM)4  0.96088    0.31472   3.053  0.00226 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(0.5244) family taken to be 1)

Null deviance: 112.82  on 88  degrees of freedom
Residual deviance: 101.58  on 85  degrees of freedom
AIC: 597.99

Number of Fisher Scoring iterations: 1

Theta: 0.5244
Std. Err.: 0.0831
2 x log-likelihood: -587.9890
```

>

Modelo de choques totales

```
Call:
glm.nb(formula = TOT_CH ~ as.factor(Tipo_Sec) + as.factor(CARR_PRIM),
       data = intersecc, init.theta = 1.177268916, link = log)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.2000  -1.0949  -0.3904   0.3891   1.6850

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)    2.0818    0.4396   4.735 2.19e-06 ***
as.factor(Tipo_Sec)2 -0.7009    0.5700  -1.230 0.218825
as.factor(Tipo_Sec)3 -1.5516    0.4599  -3.374 0.000741 ***
as.factor(CARR_PRIM)4  1.5081    0.2381   6.333 2.41e-10 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(1.1773) family taken to be 1)

Null deviance: 142.279  on 88  degrees of freedom
Residual deviance: 95.809  on 85  degrees of freedom
AIC: 441.47
```

Number of Fisher Scoring iterations: 1
 Theta: 1.177
 Std. Err.: 0.242
 2 x log-likelihood: -431.469

Modelo de choque sólo ilesos

Call:
 glm.nb(formula = IL ~ as.factor(Tipo_Sec) + as.factor(CARR_PRIM),
 data = intersecc, init.theta = 1.083630849, link = log)

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-2.01367	-1.19746	-0.01171	0.22962	1.77530

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	1.7841	0.4642	3.844	0.000121	***
as.factor(Tipo_Sec)2	-0.9279	0.6114	-1.518	0.129059	
as.factor(Tipo_Sec)3	-1.7678	0.4888	-3.616	0.000299	***
as.factor(CARR_PRIM)4	1.6992	0.2625	6.472	9.67e-11	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(1.0836) family taken to be 1)

Null deviance: 138.363 on 88 degrees of freedom
 Residual deviance: 89.615 on 85 degrees of freedom
 AIC: 379.65

Number of Fisher Scoring iterations: 1
 Theta: 1.084
 Std. Err.: 0.236
 2 x log-likelihood: -369.650

9.3. Otros modelos analizados

Modelos binomial 0 (solo TPDA)

El primer modelo que se corrió, se denominó modelo 0, el mismo solo incluía la variable de TPDA, posteriormente se añadieron las demás variables, esto se hizo únicamente para choques totales.

Cuadro 9.3.1. Resultado modelo binomial negativo para choques totales utilizando solo la variable de TPDA

Coefficiente	Estimación	Error estándar	Valor de z	Pr(> z)	Significancia
(Constante)	-12,3807	1,6115	-7,682	1,52E-14	***
log(TPDA)	0,8090	0,1715	4,718	2,38E-06	***
Códigos significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

(Parámetro de dispersión para binomial negativo (0.6555) se asume como 1

Desviación nula: 176,69 en 137 grados de libertad

Desviación residual: 154,94 en 136 grados de libertad

AIC: 871,28

Número iteraciones Fisher: 1

Theta: 0,6550

Error Estadístico: 0,0805

2 x log-likelihood: -865,2830

Como era de esperar la variable TPDA si dio significativa para este modelo, sin embargo al tener pocos valores de TPDA fue necesario añadir las demás variables, de acuerdo a los coeficientes estimados de la regresión se puede calcular la ecuación de choques totales de acuerdo al TPDA:

Ecuación: Modelo 0

$$N_{previstos} = e^{-12,3807} * TPDA^{0,8090} * Longitud\ tramo$$

Modelo binomial 1 (TPDA y accesos por kilómetro)

El modelo 1 considera las variables de TPDA y accesos por kilómetro, esta última variable se homogenizó dividiendo la cantidad de accesos presentes en cada tramo entre su longitud. Para este modelo se obtuvo que la variable de TPDA no era significativa sin embargo luego de hacer la prueba de radio de verosimilitud se determinó que era mejor considerarla en el modelo.

Cuadro 9.3.2. Resultados modelo binomial negativo para choques totales, solo TPDA y accesos por kilómetro

Coeficiente	Estimación	Error estándar	Valor de z	Pr(> z)	Significancia
(Constante)	-5,84215	1,57873	3,701	0,000215	***
log(TPDA)	0,04081	0,17252	0,237	0,813004	
Accesos por km	0,18363	0,03449	5,324	1,02E-07	***
Códigos significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

(Parámetro de dispersión para binomial negativo (0.85) se asume como 1

Desviación nula: 219,28 en 137 grados de libertad

Desviación residual: 153,46 en 135 grados de libertad

AIC: 833,45

Número iteraciones Fisher: 1

Theta: 0,850

Error Estadístico: 0,113

2xlog-likelihood: -831,834

Finalmente la ecuación para choques previstos del modelo 1 queda de la siguiente manera:

Ecuación: Modelo 1

$$N \text{ previstos} = e^{-5,84215} * TPDA^{0,04081} * e^{\left(0,18363 * \frac{\text{Accesos}}{\text{km}}\right)} * \text{Longitud tramo}$$

Modelo binomial 2 (TPDA, accesos por kilómetro, 4 categorías de número de carriles)

Para el modelo se añadió la variable de número de carriles, esta se incorporó al modelo de manera categorizada, es decir se estableció que la base eran los segmentos de 2 carriles, la categoría 2 los tramos de 3 carriles (1 carril de ascenso), la categoría 2 formada por el segmento de 4 carriles y por último la categoría 3 correspondientes a los segmentos con 5 carriles.

Cuadro 9.3.3. Resultados modelo binomial 2 utilizando TPDA, accesos por kilómetro, 3 categorías de carriles

Coefficiente	Estimación	Error estándar	Valor de z	Pr(> z)	Significancia
(Constante)	-6,5663	1,4191	-4,595	4,34E-06	***
log(TPDA_TO)	0,1156	0,1562	0,740	0,459227	
Accesos por km	0,0974	0,0360	2,706	0,006818	**
Número carriles (3, 1 Carril de ascenso)	2,75515	0,9520	2,890	0,003849	**
Número carriles (4)	2,0339	1,0224	1,989	0,046670	*
Número carriles (5)	1,6843	0,4621	3,645	0,000268	***

Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Parámetro de dispersión para binomial negativo (1,1494) se asume como 1)

Desviación nula: 279,82 en 137 grados de libertad

Desviación residual: 152,62 en 132 grados de libertad

AIC: 811,06

Número iteraciones Fisher: 1

Theta: 1,149

Error Estadístico: 0,169

2xlog-likelihood: -795,055

La ecuación para el mismo se describe a continuación:

Ecuación

$$N \text{ previstos} = e^{-6,5663} * TPDA^{0,1156} * Longitud \text{ tramo} * e^{\left(0,0974 * \frac{Accesos}{km}\right)} * e^{2,7515 * \beta_{3carr}} * e^{2,0339 * \beta_{4carr}} * e^{1,6843 * \beta_{5carr}}$$