

**Universidad de Costa Rica**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**Análisis de sitios de concentración de choques viales en la Ruta Nacional 34  
utilizando el método de exceso de frecuencia de choques esperado con el  
ajuste de Bayes empírico**

**Proyecto de Graduación**

para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

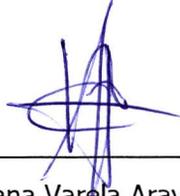
**Viviana Varela Araya**

Director de Proyecto de Graduación:

**Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D.**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

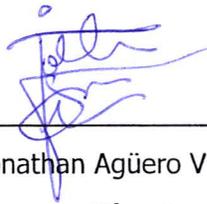
## AUTORA Y COMITÉ ASESOR



---

Viviana Varela Araya

**Autora**



---

Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D.

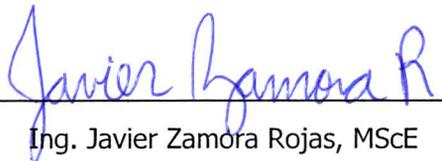
**Director**



---

Ing. Diana Jiménez Romero, MSc. MBA

**Asesora**



---

Ing. Javier Zamora Rojas, MScE

**Asesor**

## **DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL**

**Fecha:** 2016, Mayo, 10

La suscrita, **Viviana Varela Araya**, cédula 3-0418-0080, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A65887**, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación **Análisis de sitios de concentración de choques viales en la Ruta Nacional 34 utilizando el método de exceso de frecuencia de choques esperado con el ajuste de Bayes empírico**, bajo la Dirección del **Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D.**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

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

**Nota:** De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos Nº 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 ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el 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 papi, mami, Adriana, Nelson, Mauricio y Diana

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero quiero agradecerle a Dios y a la vida por permitirme estar en este momento y en este lugar.

A mis papás, quienes se han esforzado tanto por dejarme la mejor herencia, no solo a través del estudio sino también a través de su ejemplo de vida.

A mis hermanos, quienes me han apoyado, soportado y motivado siempre.

A mis tíos, primos, abuelos, algunos presentes físicamente, algunos no, pero todos de alguna u otra manera han influido en la persona que soy hoy y en los éxitos que he cosechado.

A mis amigos de toda la vida, que han estado conmigo en los buenos y los malos momentos.

A mis amigos de la U, sin los cuales este proceso no hubiera sido el mismo. Me encanta saber que nuestra amistad trascendió de las aulas a la vida.

A Mariam, Dani y Fio que tantas veces me dieron un segundo hogar.

A Uli, Wainer, Kevin A., Marco, Adrián, Kevin R., Fio M., Fiore y Felipe por toda la colaboración brindada para realizar este Proyecto de Graduación.

A Jonathan, por todo el conocimiento, experiencia y aporte en este Proyecto.

A mis asesores Diana y Javier, por toda la ayuda brindada en este Proyecto.

A todas las personas que formaron parte de este proceso, profesores, conserjes, administrativos, compañeros y a tantas personas tan valiosas que conocí en diferentes programas de la U. Así como a ProDUS, a la Universidad de Costa Rica y al COSEVI.

## TABLA DE CONTENIDOS

Autora y Comité Asesor .....	i
Derechos de propiedad intelectual .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Agradecimientos .....	iv
Resumen .....	xx
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1    Justificación.....	2
1.1.1    Problema específico .....	2
1.1.2    Importancia .....	3
1.1.3    Antecedentes teóricos y prácticos del problema.....	4
1.2    Ubicación .....	6
1.3    Objetivos.....	8
1.3.1    Objetivo general .....	8
1.3.2    Objetivos específicos.....	8
1.4    Delimitación del problema.....	8
1.4.1    Alcance.....	8
1.4.2    Limitaciones .....	9
Capítulo 2. Marco teórico .....	10
2.1    Choques viales.....	11
2.1.1    Antecedentes .....	11
2.1.2    Factores contribuyentes en los choques.....	14
2.2    Seguridad en carreteras.....	16
2.2.1    Gestión de seguridad vial .....	16
2.2.2    Métodos de estimación de choques .....	18
2.2.3    Método predictivo .....	19
2.3    Regresión binomial negativa .....	21
2.4    Exceso de frecuencia de choques esperado con ajuste de Bayes empírico.....	22
2.5    Variables consideradas en el estudio de choques viales .....	24
2.6    Medidas de mitigación potenciales.....	26
2.6.1    Medidas de mitigación potenciales en segmentos .....	27

2.6.2	Medidas de mitigación potenciales en intersecciones.....	35
Capítulo 3.	Metodología .....	38
3.1	Recopilación de la información .....	40
3.2	Ubicación de choques.....	40
3.3	Proceso de gestión de seguridad vial .....	42
3.3.1	Evaluación de la red.....	42
3.3.2	Diagnóstico .....	49
3.3.3	Selección de contramedidas.....	52
Capítulo 4.	Descripción de los datos.....	53
4.1	Datos de los choques .....	54
4.1.1	Hora .....	54
4.1.2	Día de la semana .....	55
4.1.3	Mes .....	56
4.1.4	Año .....	56
4.1.5	Condición de la calzada .....	57
4.1.6	Estado de la calzada .....	58
4.1.7	Estado del tiempo.....	59
4.1.8	Tipo de choque.....	59
4.1.9	Tipo de calzada .....	60
4.1.10	Tipo de circulación.....	61
4.1.11	Vehículo relacionado .....	61
4.1.12	Severidad del choque.....	62
4.1.13	Rol de la persona involucrada .....	64
4.1.14	Edad.....	64
4.1.15	Sexo.....	65
4.1.16	Características de los conductores.....	66
4.2	Datos de los sitios.....	68
4.2.1	Alineamiento horizontal .....	76
4.2.2	Cantón.....	78
4.2.3	Número de carriles.....	79
4.2.4	Señalamiento horizontal .....	81
4.2.5	Presencia de bahías .....	81

4.2.6	Tipo de intersección .....	82
4.2.7	Tipo de carretera secundaria .....	84
4.2.8	Tipo de zona .....	85
4.2.9	Límite de velocidad .....	86
4.3	Estadísticas descriptivas.....	88
Capítulo 5. Resultados .....		91
5.1	Determinación de los sitios de concentración de choques .....	92
5.1.1	Modelo binomial negativo .....	92
5.1.2	Método de exceso de frecuencia de choques esperado con ajuste de Bayes empírico 94	
5.2	Diagnóstico y soluciones propuestas .....	103
5.2.1	Intersección 82: Rotonda Pozón.....	103
5.2.2	Intersección 14: Cruce La Vaquita .....	110
5.2.3	Segmento 5: Frente a la gasolinera La Puesta del Sol, Coyolar.....	115
5.2.4	Segmento 16: Puente sobre el río Tárcoles .....	119
5.2.5	Segmento 17: Después del puente sobre el río Tárcoles.....	126
5.2.6	Segmento 28: Pita, Tárcoles .....	130
5.2.7	Intersección 65: Entrada Quebrada Ganado 2 .....	134
5.2.8	Segmento 32: Punta Leona, Tárcoles.....	139
5.2.9	Segmento 33: Villa Caletas, Tárcoles .....	143
5.2.10	Segmento 34: Mantas, Tárcoles .....	149
5.2.11	Segmento 36: Herradura centro .....	153
5.2.12	Intersección 34: Entrada frente al Super Diana, Herradura .....	160
5.2.13	Intersección 12: Cruce Herradura.....	165
5.2.14	Intersección 31: Entrada frente a la gasolinera Delta Herradura.....	170
5.2.15	Segmento 44: Jacó por el colegio.....	173
5.2.16	Intersección 4: Cruce Chocuaco .....	177
5.2.17	Segmento 47: Salida de Jacó .....	182
5.2.18	Segmento 69: La Palma - La Bandera, Parrita .....	186
5.2.19	Intersección 60: Entrada Playón 1 .....	190
5.2.20	Segmento 71: El INVU, Parrita .....	195
5.2.21	Segmento 72: Parrita Centro .....	201

5.2.22 Intersección 74: Entrada Super Tony.....	205
5.2.23 Segmento 86: Paquita, Quepos.....	210
5.2.24 Intersección 13: Cruce La Managua.....	216
5.2.25 Segmento 92: La Managua, Quepos.....	220
5.2.26 Segmento 112: Portalón, Savegre.....	224
5.2.27 Intersección 50: Entrada Ojo de Agua.....	230
Conclusiones y recomendaciones.....	233
Referencias bibliográficas.....	242
Apéndices.....	246
Apéndice A. Resultados del modelo binomial negativo.....	247
Modelo choques totales para segmentos.....	247
Modelo choques equivalentes a solo daños materiales para segmentos.....	247
Modelo choques totales para intersecciones.....	248
Modelo choques equivalentes a solo daños materiales para intersecciones.....	249
Apéndice B. Frecuencia de la cantidad de choques según severidad en segmentos e intersecciones.....	250
Anexos.....	258

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Ruta Nacional 34 .....	7
Figura 2. Ensamble de cambio en el alineamiento horizontal y límite de velocidad .....	30
Figura 3. Ejemplo de lomo de toro.....	31
Figura 4. Ejemplo de lomillo .....	31
Figura 5. Ejemplo de cojines .....	32
Figura 6. Ejemplo de chicanas .....	32
Figura 7. Ejemplo de estrechamientos calmantes de velocidad .....	32
Figura 8. Ejemplo de restrictores de ancho.....	32
Figura 9. Ejemplo de umbrales .....	32
Figura 10. Ejemplo de demarcaciones alertadoras o rayas logarítmicas .....	32
Figura 11. Ejemplo de plataforma .....	37
Figura 12. Ejemplo de mini rotondas.....	37
Figura 13. Diagrama de bloques de la metodología .....	39
Figura 14. Cantidad de choques por hora .....	55
Figura 15. Cantidad de choques según el día de la semana.....	55
Figura 16. Cantidad de choques por mes.....	56
Figura 17. Cantidad de choques según el año de ocurrencia .....	57
Figura 18. Porcentaje de choques según condición de la calzada.....	58
Figura 19. Porcentaje de choques según estado de la calzada.....	58
Figura 20. Porcentaje de choques según el estado del tiempo.....	59
Figura 21. Porcentaje de choques según tipo de choque.....	60
Figura 22. Porcentaje de choques según tipo de calzada .....	60
Figura 23. Porcentaje de choques según el tipo de circulación .....	61
Figura 24. Porcentaje de choques según el vehículo relacionado .....	62
Figura 25. Cantidad de choques según severidad .....	62
Figura 26. Cantidad de choques según la severidad aplicada en el estudio .....	63
Figura 27. Porcentaje de choques según la severidad aplicada en el estudio .....	63
Figura 28. Porcentaje de choques según el rol de la persona involucrada.....	64
Figura 29. Cantidad de choques según el rango de edad .....	65
Figura 30. Porcentaje de choques según el sexo de la persona involucrada .....	65

Figura 31. Cantidad de choques para conductores por rango de edad y sexo .....	67
Figura 32. Porcentaje de choques para conductores según el tipo de vehículo .....	68
Figura 33. Cantidad de choques según tipo de sitio .....	69
Figura 34. Frecuencia de la cantidad de choques con solo daños materiales en segmentos..	70
Figura 35. Frecuencia de la cantidad de choques con heridos leves en segmentos .....	70
Figura 36. Frecuencia de la cantidad de choques con heridos graves en segmentos .....	71
Figura 37. Frecuencia de la cantidad de choques con muertes en segmentos .....	71
Figura 38. Frecuencia de la cantidad de choques para choques totales en segmentos .....	72
Figura 39. Frecuencia de la cantidad de choques para choques equivalentes a solo daños materiales en segmentos .....	72
Figura 40. Frecuencia de la cantidad de choques con solo daños materiales en intersecciones .....	73
Figura 41. Frecuencia de la cantidad de choques con heridos leves en intersecciones .....	73
Figura 42. Frecuencia de la cantidad de choques con heridos graves en intersecciones .....	74
Figura 43. Frecuencia de la cantidad de choques con muertes en intersecciones .....	74
Figura 44. Frecuencia de la cantidad de choques para choques totales en intersecciones ....	75
Figura 45. Frecuencia de la cantidad de choques para choques equivalentes a solo daños materiales en intersecciones .....	75
Figura 46. Ejemplo de segmento recto .....	76
Figura 47. Ejemplo de segmento ondulado .....	77
Figura 48. Ejemplo de segmento muy ondulado .....	77
Figura 49. Porcentaje de choques según el alineamiento horizontal observado .....	78
Figura 50. Porcentaje de choques por cantón .....	78
Figura 51. Porcentaje de choques por kilómetro según cantón .....	79
Figura 52. Porcentaje de choques según número de carriles .....	80
Figura 53. Porcentaje de choques por kilómetro según el número de carriles .....	80
Figura 54. Porcentaje de choques según la señalización horizontal de la carretera .....	81
Figura 55. Porcentaje de choques según la cantidad de bahías por segmento .....	82
Figura 56. Porcentaje de choques según la presencia de bahías por segmento .....	82
Figura 57. Porcentaje de choques según tipo de intersección .....	83
Figura 58. Porcentaje de choques según el tipo de intersección observada .....	83

Figura 59. Porcentaje de choques por intersección según la cantidad de intersecciones por tipo .....	84
Figura 60. Porcentaje de choques en intersección según la carretera secundaria .....	85
Figura 61. Porcentaje de choques según tipo de zona .....	85
Figura 62. Porcentaje de choques por kilómetro según tipo de zona .....	86
Figura 63. Porcentaje de choques según el límite de velocidad.....	87
Figura 64. Porcentaje de choques por kilómetro según el límite de velocidad .....	88
Figura 65. Imagen satelital de la rotonda Pozón.....	103
Figura 66. Fotografía de la rotonda Pozón .....	104
Figura 67. Alineamiento horizontal y concentración de choques en la rotonda Pozón.....	104
Figura 68. Porcentaje de choques según tipo de choque en la rotonda Pozón.....	105
Figura 69. Porcentaje de choques según severidad en la rotonda Pozón .....	105
Figura 70. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en la rotonda Pozón .....	106
Figura 71. Porcentaje de choques según sentido de circulación en la rotonda Pozón .....	106
Figura 72. Acera en la rotonda Pozón.....	107
Figura 73. Señalamiento vertical dañado en la rotonda Pozón .....	107
Figura 74. Imagen satelital del cruce La Vaquita .....	110
Figura 75. Fotografías de los accesos del cruce La Vaquita .....	110
Figura 76. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el cruce La Vaquita .....	111
Figura 77. Porcentaje de choques según tipo de choque en el cruce La Vaquita.....	111
Figura 78. Porcentaje de choques según severidad en el cruce La Vaquita .....	112
Figura 79. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el cruce La Vaquita .....	112
Figura 80. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el cruce La Vaquita.....	113
Figura 81. Fotografías de problemas en el alineamiento vertical de las carreteras secundarias .....	113
Figura 82. Problemas de visibilidad en el acceso .....	114
Figura 83. Imagen satelital del segmento 5 .....	115
Figura 84. Fotografías del segmento 5 .....	115
Figura 85. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 5 .....	116
Figura 86. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 5.....	116
Figura 87. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 5 .....	117
Figura 88. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 5 .....	117

Figura 89. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 5 .....	118
Figura 90. Imagen satelital del segmento 16 .....	119
Figura 91. Fotografía del segmento 16 .....	119
Figura 92. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 16.....	120
Figura 93. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 16.....	120
Figura 94. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 16 .....	121
Figura 95. Porcentaje de choques según tipo de vehículo involucrado en el segmento 16..	121
Figura 96. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 16 .....	122
Figura 97. Ausencia de facilidades peatonales en el puente sobre el río Tárcoles .....	122
Figura 98. Fotografía de peatón transitando a través del puente .....	123
Figura 99. Fotografía de problemas con la platina en el puente .....	123
Figura 100. Uso de las barreras de seguridad en el puente sobre el río Tárcoles.....	124
Figura 101. Zona de peligro en puentes .....	125
Figura 102. Imagen satelital del segmento 17.....	126
Figura 103. Fotografía del segmento 17 .....	126
Figura 104. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 17 .....	127
Figura 105. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 17 .....	127
Figura 106. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 17.....	128
Figura 107. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 17.....	128
Figura 108. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 17 .....	129
Figura 109. Imagen satelital del segmento 28.....	130
Figura 110. Fotografía del segmento 28 .....	131
Figura 111. Alineamiento horizontal y concentración de choques del segmento 28.....	131
Figura 112. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 28.....	132
Figura 113. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 28.....	132
Figura 114. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 28.....	133
Figura 115. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 28 .....	133
Figura 116. Imagen satelital de la entrada a Quebrada Ganado 2.....	134
Figura 117. Fotografía de la entrada a Quebrada Ganado 2 .....	135
Figura 118. Alineamiento horizontal y concentración de choques en la entrada a Quebrada Ganado 2 .....	135
Figura 119. Porcentaje de choques según severidad en la entrada a Quebrada Ganado 2..	136

Figura 120. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en entrada a Quebrada Ganado	136
Figura 121. Porcentaje de choques según sentido de circulación en la entrada a Quebrada Ganado 2 .....	137
Figura 122. Acceso en la entrada a Quebrada Ganado 2 .....	137
Figura 123. Propuesta de alineamiento de la Entrada a Quebrada Ganado 2 .....	138
Figura 124. Imagen satelital del segmento 32.....	139
Figura 125. Fotografía del segmento 32 .....	139
Figura 126. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 32 .....	140
Figura 127. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 32 .....	140
Figura 128. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 32.....	141
Figura 129. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 32 .....	141
Figura 130. Barrera de contención colocada en el segmento 32.....	142
Figura 131. Imagen satelital del segmento 33.....	143
Figura 132. Fotografía del segmento 33 .....	143
Figura 133. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 33 .....	144
Figura 134. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 33 .....	144
Figura 135. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 33.....	145
Figura 136. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 33.....	145
Figura 137. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 33 .....	146
Figura 138. Presencia de obstáculos en el espaldón .....	146
Figura 139. Barrera de seguridad colocada en el espaldón.....	147
Figura 140. Entrada a hotel Villa Caletas .....	148
Figura 141. Imagen satelital del segmento 34.....	149
Figura 142. Fotografía del segmento 34 .....	149
Figura 143. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 34 .....	150
Figura 144. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 34.....	150
Figura 145. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 34.....	151
Figura 146. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 34.....	151
Figura 147. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 34 .....	152
Figura 148. Ausencia de espaldón en el segmento 34.....	152
Figura 149. Imagen satelital del segmento 36.....	153
Figura 150. Fotografía del segmento 36 .....	154

Figura 151. Alineamiento horizontal y concentración de choques del segmento 36.....	154
Figura 152. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 36.....	155
Figura 153. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 36.....	155
Figura 154. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 36.....	156
Figura 155. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 36 .....	156
Figura 156. Puente peatonal ubicado en Herradura .....	157
Figura 157. Ciclista y peatones transitando por el segmento 36.....	158
Figura 158. Fotografía de la falta de demarcación del segmento 36.....	159
Figura 159. Fotografía del puente Caña Blancal .....	159
Figura 160. Imagen satelital de la entrada frente al Super Diana.....	160
Figura 161. Fotografía de la entrada frente al Super Diana .....	160
Figura 162. Alineamiento horizontal y concentración de choques en la entrada frente al Super Diana .....	161
Figura 163. Porcentaje de choques según el tipo de choque en la entrada frente al Super Diana .....	161
Figura 164. Porcentaje de choques según severidad en la entrada frente al Super Diana...	162
Figura 165. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en la entrada frente al Super Diana .....	162
Figura 166. Porcentaje de choques según sentido de circulación en la entrada frente al Super Diana.....	163
Figura 167. Peatones cruzando cerca de la intersección.....	164
Figura 168. Imagen satelital del cruce Herradura .....	166
Figura 169. Fotografía del cruce Herradura.....	166
Figura 170. Alineamiento horizontal y concentración de choques del cruce Herradura .....	167
Figura 171. Porcentaje de choques según severidad en el cruce Herradura .....	167
Figura 172. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el cruce Herradura .....	168
Figura 173. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el cruce Herradura.....	168
Figura 174. Propuesta de mejoramiento para el cruce de Herradura .....	169
Figura 175. Imagen satelital de la entrada frente a la gasolinera Delta .....	170
Figura 176. Fotografía de la entrada frente a la gasolinera Delta .....	170
Figura 177. Alineamiento horizontal y concentración de choques de la entrada frente a la gasolinera Delta .....	171

Figura 178. Porcentaje de choques según tipo de choque en la entrada frente a la gasolinera Delta.....	171
Figura 179. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en la entrada frente a la gasolinera Delta.....	172
Figura 180. Porcentaje de choques según sentido de circulación en la entrada frente a la gasolinera Delta .....	172
Figura 181. Imagen satelital del segmento 44.....	173
Figura 182. Fotografía del segmento 44 .....	174
Figura 183. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 44 .....	174
Figura 184. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 44 .....	175
Figura 185. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 44.....	175
Figura 186. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 44.....	176
Figura 187. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 44 .....	176
Figura 188. Ciclista transitando en el segmento 44.....	177
Figura 189. Imagen satelital del cruce Chocuaco.....	178
Figura 190. Fotografía del cruce Chocuaco .....	178
Figura 191. Alineamiento horizontal y concentración de choques del cruce Chocuado .....	179
Figura 192. Porcentaje de choques según tipo de choque en el cruce Chocuaco .....	179
Figura 193. Porcentaje de choques según severidad en el cruce Chocuaco.....	180
Figura 194. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el cruce Chocuaco.....	180
Figura 195. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el cruce Chocuaco .....	181
Figura 196. Propuesta de alineamiento para el Cruce Chocuaco .....	182
Figura 197. Imagen satelital del segmento 47.....	182
Figura 198. Fotografía del segmento 47 .....	183
Figura 199. Alineamiento horizontal y concentración de choques del segmento 47.....	183
Figura 200. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 47 .....	184
Figura 201. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 47.....	184
Figura 202. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 47.....	185
Figura 203. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 47 .....	185
Figura 204. Presencia de barrera rígida en el segmento 47 .....	186
Figura 205. Imagen satelital del segmento 69.....	186
Figura 206. Fotografía del segmento 69 .....	187

Figura 207. Alineamiento horizontal y concentración de choques del segmento 69.....	187
Figura 208. Porcentaje de choques según tipo de choque del segmento 69.....	188
Figura 209. Porcentaje de choques según severidad del segmento 69 .....	188
Figura 210. Porcentaje de choques según tipo de vehículo del segmento 69 .....	189
Figura 211. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 69 .....	189
Figura 212. Imagen satelital de las entradas a Playón .....	190
Figura 213. Fotografía de la entrada a Playón.....	191
Figura 214. Alineamiento horizontal y concentración de choques en la entrada a Playón ...	191
Figura 215. Porcentaje de choques según tipo de choque en la entrada a Playón .....	192
Figura 216. Porcentaje de choques según severidad en la entrada a Playón .....	192
Figura 217. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en la entrada a Playón .....	193
Figura 218. Porcentaje de choques según sentido de circulación en la entrada a Playón....	193
Figura 219. Propuesta de mejoramiento para la entrada a Playón.....	194
Figura 220. Imagen satelital del segmento 71.....	195
Figura 221. Fotografía del segmento 71 .....	195
Figura 222. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 71 .....	196
Figura 223. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 71 .....	196
Figura 224. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 71.....	197
Figura 225. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 71.....	197
Figura 226. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 71 .....	198
Figura 227. Ausencia de espaldón en algunas partes del segmento 71.....	199
Figura 228. Presencia de ciclistas en el segmento .....	199
Figura 229. Imagen satelital del segmento 72.....	201
Figura 230. Fotografía del segmento 72 .....	201
Figura 231. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 72 .....	202
Figura 232. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 72 .....	202
Figura 233. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 72.....	203
Figura 234. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 72.....	203
Figura 235. Porcentaje de choques según tipo de circulación en el segmento 72 .....	204
Figura 236. Imagen satelital de la entrada al Super Tony .....	205
Figura 237. Fotografía de la entrada al Super Tony .....	206

Figura 238. Alineamiento horizontal y concentración de choques en la entrada al Super Tony .....	206
Figura 239. Porcentaje de choques según tipo de choque en la entrada al Super Tony.....	207
Figura 240. Porcentaje de choques según severidad en la entrada al Super Tony .....	207
Figura 241. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en la entrada al Super Tony ....	208
Figura 242. Porcentaje de choques según sentido de circulación en entrada al Super Tony	208
Figura 243. Semáforo peatona ubicado cerca de la intersección .....	209
Figura 244. Imagen satelital del segmento 86.....	210
Figura 245. Fotografía del segmento 86 .....	210
Figura 246. Alineamiento horizontal y concentración de choques del segmento 86.....	211
Figura 247. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 86.....	211
Figura 248. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 86.....	212
Figura 249. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 86.....	212
Figura 250. Porcentaje de choques según sentido de circulación del segmento 86 .....	213
Figura 251. Bordillos en el puente sobre el Río Cotos .....	213
Figura 252. Ausencia de demarcación en el segmento 86 .....	214
Figura 253. Falta de protección en el puente .....	215
Figura 254. Salida de buses directamente a la vía principal.....	215
Figura 255. Imagen satelital del cruce La Managua .....	216
Figura 256. Fotografía del cruce La Managua.....	216
Figura 257. Alineamiento horizontal y concentración de choques del cruce La Managua ....	217
Figura 258. Porcentaje de choques según tipo de choque en el cruce La Managua .....	217
Figura 259. Porcentaje de choques según severidad del cruce La Managua.....	218
Figura 260. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el cruce La Managua .....	218
Figura 261. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el cruce La Managua..	219
Figura 262. Imagen satelital del segmento 92.....	220
Figura 263. Fotografía del segmento 92 .....	220
Figura 264. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 92 .....	221
Figura 265. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 92 .....	221
Figura 266. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 92.....	222
Figura 267. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 92.....	222
Figura 268. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 92 .....	223

Figura 269. Imagen satelital del segmento 112.....	224
Figura 270. Fotografía del segmento 112 .....	224
Figura 271. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 112 .....	225
Figura 272. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 112 .....	225
Figura 273. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 112.....	226
Figura 274. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 112.....	226
Figura 275. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 112.....	227
Figura 276. Bahía de autobús en el segmento 112 .....	227
Figura 277. Puente sobre el Río Portalón.....	228
Figura 278. Terminales de las barreras de contención colocadas en el segmento 112.....	229
Figura 279. Imagen satelital de la entrada a Ojo de Agua.....	230
Figura 280. Fotografía de la entrada a Ojo de Agua .....	230
Figura 281. Alineamiento horizontal y concentración de choques en la entrada a Ojo de Agua .....	231
Figura 282. Porcentaje de choques según tipo de choque en la entrada a Ojo de Agua.....	231
Figura 283. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en la entrada a Ojo de Agua....	232
Figura 284. Porcentaje de choques según sentido de circulación en entrada a Ojo de Agua	232

## TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Principales causas de muerte por AVPP, mortalidad promedio de AVPP, según causa de muerte, 2013 .....	13
Cuadro 2. Ejemplo de matriz Haddon para identificar factores contribuyentes .....	15
Cuadro 3. TPDA para cada estación de la Ruta Nacional 34 .....	45
Cuadro 4. Cantidad de choques para conductores por rango de edad y sexo.....	66
Cuadro 5. Cantidad de choques según tipo de sitio .....	68
Cuadro 6. Cantidad de choques por kilómetro según cantón .....	79
Cuadro 7. Cantidad de choques por kilómetro según el número de carriles.....	80
Cuadro 8. Cantidad de choques por intersección según la cantidad de intersecciones por tipo .....	84
Cuadro 9. Cantidad de choques por kilómetro según tipo de zona .....	86
Cuadro 10. Cantidad de choques por kilómetro según el límite de velocidad.....	87
Cuadro 11. Estadísticas descriptivas para cada severidad de choque en segmentos .....	89
Cuadro 12. Estadísticas descriptivas de las variables continuas en segmentos .....	89
Cuadro 13. Estadísticas descriptivas para cada severidad de choque en intersecciones.....	90
Cuadro 14. Resultado de la regresión binomial negativa para total de choques en segmentos .....	92
Cuadro 15. Resultado de la regresión binomial negativa para choques totales en intersecciones .....	93
Cuadro 16. Resultado de la regresión binomial negativa para choques equivalentes a solo daños materiales en intersecciones .....	93
Cuadro 17. Segmentos con mayor exceso de frecuencia de choques esperados para choques totales.....	95
Cuadro 18. Intersecciones con mayor exceso de frecuencia de choques esperados para choques totales y choques equivalentes a solo daños materiales.....	96
Cuadro 19. Cantidad de líneas y espaciamiento para reducir la velocidad en la rotonda Pozón .....	109
Cuadro 20. Cantidad de líneas y espaciamiento para reducir la velocidad en entrada frente al Super Diana.....	165

Varela Araya, Viviana

Análisis de sitios de concentración de choques viales en la Ruta Nacional 34 utilizando el método de exceso de frecuencia de choques esperado con el ajuste de Bayes empírico

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

V. Varela A., 2016

xx, 245, [14]h; ils. col. – 28 refs.

## **RESUMEN**

La frecuencia y severidad de los choques observadas en los últimos años en la Ruta Nacional 34, la ausencia de estudios detallados sobre sus causas y la falta de información sobre el tema, evidencian la importancia de realizar un análisis de al menos los sitios más críticos de concentración de choques viales, con el fin de proponer medidas que brinden soluciones a la problemática actual y a largo plazo.

El proceso de gestión de seguridad vial que se utilizó en este proyecto es el indicado en el Manual de Seguridad de Carreteras del 2010, del cual se desarrollaron los primeros tres pasos: evaluación de la red, diagnóstico y selección de contramedidas. Para realizar el análisis se utilizó el método de exceso de frecuencia de choques esperado con el ajuste de Bayes empírico, debido a que se distingue de otros métodos por su precisión al considerar la disponibilidad de datos, el sesgo de regresión a la media y cómo se establece el umbral de desempeño. Se estudiaron los 16 segmentos y 11 intersecciones con mayor exceso de frecuencia de choques.

Una de las principales problemáticas encontradas en esta carretera es la falta de facilidades para peatones y ciclistas, así como problemas con la gestión de accesos, anchos de espaldón, velocidad y diseño de intersecciones. V.V.A.

**ANÁLISIS DE SITIOS DE CONCENTRACIÓN DE CHOQUES; RUTA NACIONAL 34; BAYES EMPÍRICO; REGRESIÓN BINOMIAL NEGATIVA; SEGURIDAD VIAL**

Ing. Jonathan Agüero Valverde, Ph.D.

Escuela de Ingeniería Civil

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

---

## **1.1 Justificación**

### ***1.1.1 Problema específico***

La Ruta Nacional 34, Costanera Sur o Carretera Pacífica Fernández Oreamuno, representa una de las rutas más importantes del país, pues forma parte de un corredor internacional que permite atravesar Costa Rica de frontera a frontera sin ingresar a la zona metropolitana. Sin embargo, existen pocos estudios sobre la seguridad vial de esta carretera, los cuales reflejan graves problemas de diseño, de vulnerabilidad física ante amenazas naturales y de medidas de seguridad vial.

Uno de los principales problemas que se da en esta carretera, es que durante años, varios tramos estuvieron funcionando con una superficie de ruedo de tierra y grava, lo que hizo que las poblaciones circundantes se desarrollaran bajo estas condiciones. Al darse la transformación hacia una carretera de alta velocidad y tránsito pesado, las condiciones cambiaron, lo cual implicó un proceso de adaptación de la dinámica de las poblaciones vecinas a la carretera.

Por otra parte, según Núñez (2005) en el tramo Quepos-Barú existe una vulnerabilidad de moderada a alta por problemas de compresibilidad y licuación en el suelo. Además, por la topografía de la zona, el corredor y sus alrededores son susceptibles a inundaciones que ponen en riesgo la estabilidad de los terraplenes, en los cuales se han dado desprendimientos de material y caídas de bloques de tamaños entre 1 m y 1,5 m en sectores próximos a la Fila Costeña poniendo en riesgo a los usuarios de la carretera.

Según una auditoría externa, realizada por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), en el segmento Quepos Barú en 2010, se observaron problemas en los diseños de los sistemas de contención vehicular utilizados, inadecuada colocación de las barreras de seguridad, mal empleo de las terminales de las barreras, colocación de barreras de seguridad inadecuadas en puentes, facilidades para los ciclistas y para los peatones insuficientes en algunos tramos, intersecciones y accesos directos a la vía sin un adecuado control y condiciones de operación, e inconsistencias en la señalización horizontal y vertical.

Todos estos factores tienen una incidencia sobre la frecuencia y la gravedad de choques presentes en la carretera.

Este proyecto consiste en el estudio de la Ruta Nacional 34 de manera que se puedan determinar los sitios de mayor concentración de choques viales, para poder proponer medidas que reduzcan su frecuencia y severidad.

### ***1.1.2 Importancia***

La carretera Costanera Sur conecta la Ruta Nacional 1 (carretera Interamericana Norte) con la Ruta Nacional 2 (carretera Interamericana Sur). Esta carretera bordea la costa pacífica con una longitud total de aproximadamente 234 km, que incluye tres tramos: la Ruta Nacional 23 que une El Roble con el puerto de Caldera con una longitud de 12,7 km, el tramo entre el puerto de Caldera y Coyolar correspondiente a la Ruta Nacional 27 con una longitud de 16,5 km y continúa por la Ruta Nacional 34 hasta Palmar Norte con una longitud de 203 km. Forma parte de una iniciativa de integración vial internacional del Plan Puebla-Panamá, hoy conocida como Proyecto Mesoamérica, planteada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2001, que pretende aumentar la conectividad interna y externa de las economías de la región y unificar los servicios de transporte por carretera, aéreo y marítimo. Por tanto, el correcto funcionamiento de esta carretera influye directamente en la economía del país y de la región.

La frecuencia y severidad de los choques observadas en los últimos años en la Ruta Nacional 34, la ausencia de estudios detallados sobre sus causas y la falta de información sobre el tema, evidencian la importancia de realizar un análisis de al menos los sitios más críticos de concentración de choques viales, de manera que se puedan proponer medidas que brinden soluciones a la problemática actual y a largo plazo.

La presencia de choques, por su parte, tiene un costo humano, social y económico importante, tanto para los usuarios de la red vial, como para los ciudadanos en general y el Estado, los cuales incluyen reparación de daños materiales, el costo del tiempo, trámites y problemas de salud pública, que en los casos más severos implica pérdida de vidas humanas. Por tanto, una

adecuada inversión en seguridad vial representa una disminución en los costos al reducir la frecuencia de choques.

El método de exceso de frecuencia de choques esperado con el ajuste de Bayes empírico es un método relativamente reciente (publicado en 2010), incluido en el Manual de Seguridad de Carreteras de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Se distingue de otros métodos por su precisión al considerar la disponibilidad de datos, el sesgo de regresión a la media y cómo se establece el umbral de desempeño.

### ***1.1.3 Antecedentes teóricos y prácticos del problema***

A partir de la revisión de literatura de trabajos finales de graduación (TFG), artículos e informes respecto a la seguridad vial en la Costanera Sur y a la aplicación del método de exceso de frecuencia de choques con el ajuste de Bayes empírico, se constató que en el país existen pocos estudios sobre estos temas, siendo los TFG de estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica y los informes del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) los que más aportes han hecho al respecto. A continuación se enlistan los TFG consultados:

1. Análisis de sitios 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, realizado por Esteban Alberto Castro Estrada (2013). Este TFG aplica el método de exceso de frecuencia de choques esperado con el ajuste de Bayes empírico a la Ruta Nacional 32 para los primeros 15 segmentos con mayor exceso de frecuencia de choques viales, analizando estadísticamente la frecuencia y gravedad de los choques presentes en esta carretera y aplicando el método para clasificar los tramos y proponer medidas de mitigación. Este trabajo representa uno de los principales documentos utilizados como base para el presente proyecto.
2. Obras a implementar en el diseño de una carretera desde el punto de vista de seguridad vial, realizado por Carlos Orozco Rodríguez (2008). Este TFG es uno de los primeros en incluir el estudio de tramos de concentración de choques en el país y hace un análisis de las distintas variables que pueden influir en los choques viales como lo son aspectos

propriadamente de la carretera como iluminación, demarcación, daños en el pavimento, ausencia de barreras, diseño deficiente y factores externos como clima, presencia de obstáculos, entre otros.

3. Análisis de vulnerabilidad física ante amenazas naturales del tramo Quepos-Barú de la Costanera Sur, ruta 34, realizado por José David Núñez Morales (2005). En este estudio se aplicaron varias metodologías de zonificación de amenazas que afectan carreteras de planicie en un sistema de información geográfica para evaluar los riesgos debidos a amenazas naturales en el tramo Quepos-Barú de la Costanera Sur. Del análisis se obtuvo que las amenazas más importantes para la infraestructura vial de este tramo son la licuación de suelos arenosos, los cambios volumétricos de suelos arcillosos, la vulnerabilidad a inundaciones, la vibración sísmica y en menor escala la inestabilidad de laderas y tsunamis. Además, se hacen recomendaciones sobre cómo mejorar la condición de vulnerabilidad en la que se encuentra la infraestructura vial de la zona.
4. Normas geométricas de diseño para el Proyecto Costanera Sur, realizado por Amado Leandro Marín (1971). Este trabajo se incluye solamente para evidenciar la falta de investigación que existe de la ruta, pues los únicos TFG desarrollados en el área de transportes sobre esta carretera son el descrito en el punto anterior publicado en 2005 y este de 1971. Consiste en el planteamiento de tres alternativas de diseño geométrico de la carretera considerando aspectos de seguridad vial y de confort para el usuario.

Adicionalmente, el Programa de Infraestructura de Transporte (PITRA) del LanammeUCR ha realizado dos estudios sobre esta carretera, los cuales se detallan a continuación:

5. Evaluación de Seguridad Vial Proyecto Costanera Sur, Ruta Nacional Nº 34 Sección: Quepos-Barú. Este informe es el resultado de una auditoría técnica elaborada en el año 2010. Con la auditoría se evidencian problemas en los sistemas de contención vehicular, problemas en la señalización, deficiencias en la operación de algunos tramos de carretera y dificultades para ciclistas y peatones.
6. Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica: Identificación de zonas de riesgo de accidentes Rutas 1, 2, 32 y 34. Este proyecto fue realizado por la Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional del PITRA en el año 2011. Consiste en la evaluación de la influencia de los efectos climáticos producto de la precipitación

(frecuencia e intensidad), de las características físicas de las rutas (sinuosidad y pendientes) y la combinación con los resultados de las evaluaciones de los parámetros de resistencia al deslizamiento y la retrorreflectividad de la señalización horizontal, tanto para la línea de centro como para las líneas de borde.

## **1.2 Ubicación**

La carretera Pacífica Fernández Oreamuno inicia en Pozón de Coyolar, Orotina, Alajuela, aproximadamente en las coordenadas: latitud  $9^{\circ}53'8,62''N$  y longitud  $84^{\circ}34'33,09''O$ ; y termina en Palmar Norte de Palmar, Osa, Puntarenas, aproximadamente en las coordenadas: latitud  $8^{\circ}57'44,47''N$  y longitud  $83^{\circ}27'33,00''O$ .

En la Figura 1 se puede observar la localización de la Ruta Nacional 34.

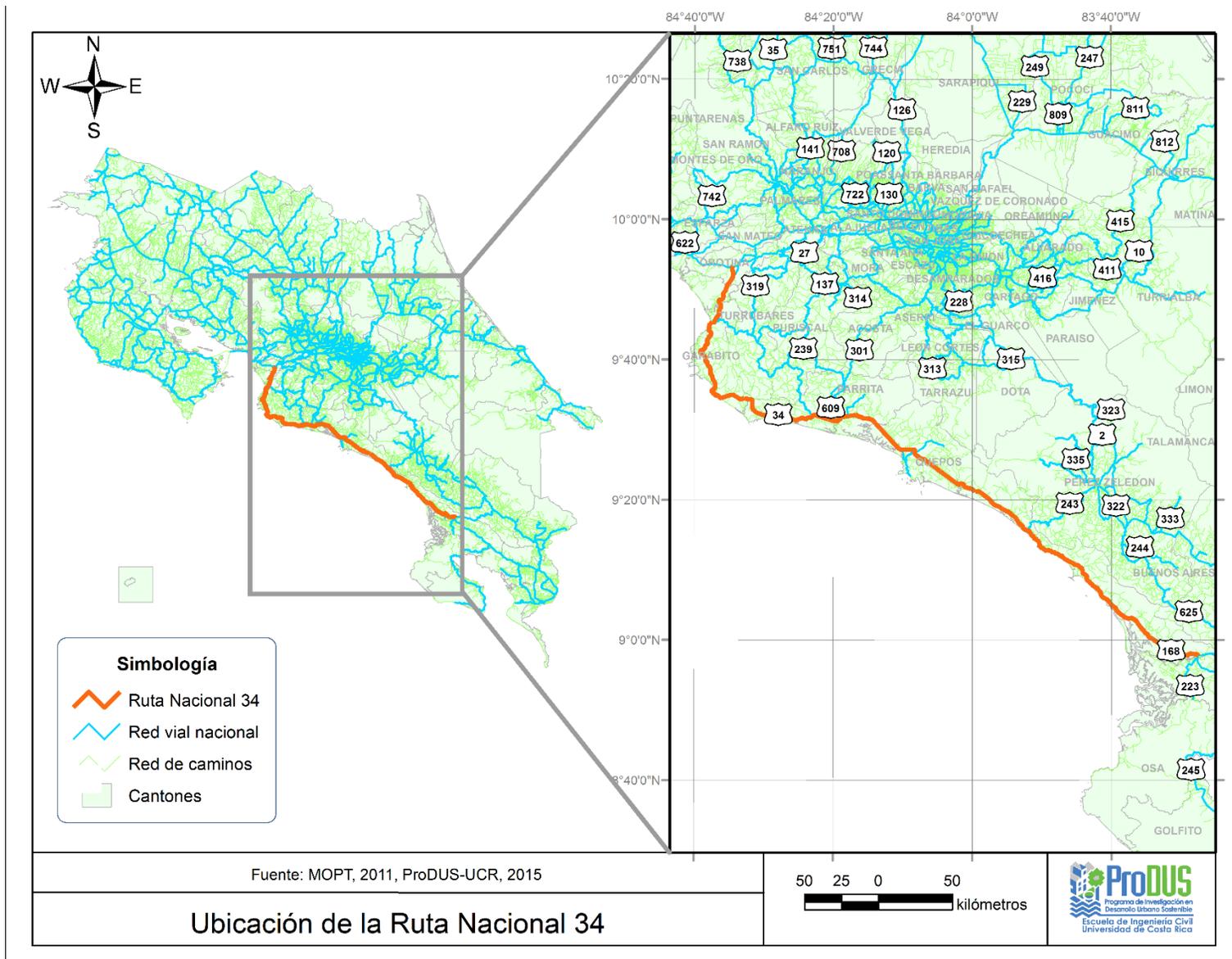


Figura 1. Ubicación de la Ruta Nacional 34

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Determinar los sitios de concentración de choques viales en la Ruta Nacional 34, utilizando el método de exceso de frecuencia de choques esperado con el ajuste de Bayes empírico para proponer medidas que reduzcan su frecuencia y severidad.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Recopilar información sobre los choques ocurridos en la Ruta Nacional 34 en el periodo de estudio y la infraestructura vial de la carretera.
- Determinar los sitios de concentración de choques viales de la ruta.
- Proponer medidas de corrección para los sitios de concentración de choques elegidos.

## **1.4 Delimitación del problema**

### ***1.4.1 Alcance***

Este proyecto consiste en la determinación de sitios de concentración de choques en la Ruta Nacional 34 con el fin de brindar soluciones que mejoren la seguridad vial de la carretera. Para el análisis se consideraron los aproximadamente 203 km de carretera que comprenden la Costanera Sur y se utilizaron los datos de choques viales recopilados en el periodo 2011-2013 por el Consejo de Seguridad Vial (COSEVI). La ubicación de los choques es aproximada.

Para determinar la frecuencia de los choques esperados se utilizó un modelo estadístico para poder identificar las variables significativas asociadas a cada sitio. Los aspectos que se consideraron para analizar los datos son: la disponibilidad, el sesgo a la regresión media y el umbral de desempeño, pues son los que considera el método de exceso de frecuencia de choques esperado con el ajuste de Bayes empírico. Este método es aplicable siempre que exista disponibilidad de información de choques y depende de la veracidad y consistencia de estos datos.

Se presentan medidas de corrección para los 16 primeros segmentos y las primeras 11 intersecciones con mayor exceso de frecuencia de choques.

Las medidas de prevención y mitigación propuestas se obtuvieron de revisión bibliográfica y analizando las condiciones de cada sitio.

No se incluye en este trabajo un estudio sobre el costo, ni la evaluación de las medidas propuestas.

#### ***1.4.2 Limitaciones***

- La principal limitación del proyecto es que el análisis se realizó con los datos proporcionados por el COSEVI, por lo cual esta base de datos representa una fuente de información secundaria que se tomó como veraz para poder llevar a cabo la investigación; sin embargo, depende de qué tan bien se hayan realizado los levantamientos en campo por parte de los oficiales de tránsito quienes deben registrar las coordenadas, el tipo y características del choque adecuadamente, pero en muchos casos la información es confusa, contradictoria o no cuenta con algunas de las variables más importantes, incluyendo las coordenadas.
- Por otra parte, en el COSEVI los datos de choques con más de cinco años de antigüedad se desechan, lo que impide que se pueda realizar un análisis de un periodo de estudio más largo.
- Existen muy pocas investigaciones viales de la carretera Costanera Sur y los estudios que se han realizado hasta el momento comprenden principalmente el tramo Quepos-Barú que corresponde al tramo más nuevo de la carretera.
- El método de exceso de frecuencia de choques esperado con el ajuste de Bayes empírico se ha aplicado poco en el país, por lo cual también existe escasez de información respecto a la aplicación y respuesta del método.

## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

---

## **2.1 Choques viales**

Se entiende como choques viales a los encuentros violentos, que toman lugar en la vía pública, en los cuales hay al menos un vehículo involucrado y que ocasionan un perjuicio a una persona o bien material, debido a deficiencias en el sistema de transporte, problemáticas con los flujos viales, la acción inadecuada de conductores, pasajeros o peatones, entre otros.

### ***2.1.1 Antecedentes***

Los choques viales representan una de las principales causas de muerte a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (2015), cerca de 1,25 millones de personas mueren cada año en el mundo como resultado de accidentes de tránsito y entre 20 y 50 millones más sufren lesiones no mortales, de las cuales muchas dejan como consecuencia una discapacidad física en los afectados.

Además, este tipo de accidentes representan la principal causa de muerte entre personas con edades entre 15 y 29 años. Desde temprana edad, los hombres tienen más probabilidades de estar involucrados en accidentes de tránsito que las mujeres, el 73% de todas las muertes debidas a choques viales se producen entre los hombres. Entre los conductores jóvenes, hombres jóvenes menores de 25 años tienen casi 3 veces más probabilidades de morir en un accidente de tránsito con respecto a las mujeres (OMS, 2015).

Por otra parte, el 90% de las muertes en carreteras en el mundo ocurren en países de ingresos medios y bajos, a pesar de que estos países cuentan con aproximadamente la mitad de los vehículos del mundo e incluso dentro de los países de altos ingresos, personas de niveles socioeconómicos más bajos tienen mayor probabilidad de estar involucradas en un accidente de tránsito (OMS, 2015).

La mitad de las personas que mueren en las carreteras del mundo son usuarios vulnerables en la vía, es decir, peatones, ciclistas y motociclistas (OMS, 2015).

Si no se aplican las acciones adecuadas, se prevé que para el año 2030, los choques viales representen la séptima causa de muerte en el mundo. Es por esto que, la recién adoptada Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible por la Organización Mundial de las Naciones Unidas, se ha fijado el ambicioso objetivo de reducir a la mitad el número mundial de muertes y lesiones por accidentes viales en 2020 (OMS, 2015).

En Costa Rica, de acuerdo con el Panorama demográfico: Año 2013 del Instituto Costarricense de Estadística y Censos (INEC), las muertes por accidentes de tránsito se encuentran entre las primeras tres causas de muerte y un 83% de estas muertes fueron de hombres, esto quiere decir que por cada mujer fallecieron 5 hombres por accidentes de tránsito, mientras que para el resto de causas la razón de muerte por sexo fue de 1,3 hombres por cada mujer fallecida.

Los años de vida potencialmente perdidos (AVPP) corresponden a un indicador que permite analizar la mortalidad prematura, se refiere al número de años que teóricamente la persona deja de vivir cuando muere antes de lo esperado, lo que permite dar mayor importancia a las muertes que ocurren en edades tempranas, muchas de las cuales pueden ser evitables (INEC, 2013). Considerando lo anteriormente descrito, la causa de muerte que generó más años AVPP en Costa Rica para el año 2013 fue *lesiones en accidente de tránsito, de vehículo de motor no especificado*, es decir, causas prevenibles y evitables (INEC, 2013). Esta información se puede corroborar en el siguiente cuadro.

**Cuadro 1. Principales causas de muerte por AVPP, mortalidad promedio de AVPP, según causa de muerte, 2013**

<b>Causa</b>	<b>Mortalidad [2]</b>	<b>AVPP [1]</b>	<b>AVPP promedio [1/2]</b>
Infarto agudo del miocardio, sin otra especificación	515	5 885	11
Persona lesionada en accidente de tránsito, de vehículo de motor no especificado	443	14 077	32
Tumor maligno del estómago, parte no especificada	290	3 875	13
Lesión autoinflingida intencionalmente por ahorcamiento, estrangulamiento o sofocación, en vivienda	114	3 961	35
Agresión con disparo de otras armas de fuego, y las no especificadas, en calles y carreteras	111	4 358	39

Fuente: INEC, 2013

Aunado a esto, los choques viales causan considerables pérdidas económicas en las víctimas, sus familias y el país. Estas pérdidas se deben, entre otros, a gastos de tratamiento, que incluyen rehabilitación e investigación de incidentes, así como a la reducción o pérdida de productividad para las personas fallecidas, las personas lesionadas y para los miembros de la familia que tienen que faltar al trabajo (o escuela) para atender a los heridos.

Sánchez, Agüero-Valverde y Pujol (2015) en su artículo "Costos de los choques viales en Costa Rica" indican que los costos directos de los choques viales en Costa Rica ascienden a 55 mil millones de colones anuales, lo cual equivale a un 2,5% del Producto Interno Bruto (PIB) del país. Por su parte, los costos por AVPP alcanzan 16 mil millones de colones anuales, es decir, un 0,91% del PIB. Y los costos por demora corresponden a un 6% del PIB, equivalentes a 120 mil millones de colones anuales.

Tomando en cuenta todos estos antecedentes, es evidente que existen grandes desafíos para la ingeniería de transportes en el mundo y en el país, sin embargo, no es posible considerar que la ingeniería pueda resolver por sí sola la problemática, hay un gran componente de causas humanas en los accidentes de tránsito que se debe considerar y procurar reducir desde diferentes frentes.

### ***2.1.2 Factores contribuyentes en los choques***

Aunque es común querer buscar cuál es la causa de un choque, en realidad, la mayoría de los accidentes no están relacionados con un evento causal singular, pues son el resultado de una convergencia de eventos que a su vez están influenciados por una serie de factores que contribuyen a su ocurrencia, por ejemplo: hora del día, concentración del conductor, velocidad del vehículo, estado del vehículo, diseño de la carretera, entre otros (AASHTO, 2010).

Estos factores contribuyentes influyen en la secuencia de eventos antes, durante y después de un accidente (AASHTO, 2010):

- Antes: revela los factores que contribuyeron al riesgo de que un choque ocurriera y cómo se pudo haber evitado el accidente. Por ejemplo, si los frenos de uno o ambos de los vehículos involucrados fueron usados.
- Durante: revela los factores que contribuyeron a la gravedad del choque y cómo las soluciones de ingeniería o cambios tecnológicos podrían reducir esa gravedad. Por ejemplo si un auto tiene bolsas de aire y si se desplegaron correctamente.
- Después: revela los factores que influyen en el resultado del accidente y cómo los daños y lesiones pueden haber sido reducidos con mejoras en la respuesta a la emergencia y el tratamiento médico. Por ejemplo el tiempo y la calidad de respuesta ante la emergencia a un accidente.

Los choques tienen las tres siguientes categorías generales de factores contribuyentes (AASHTO. 2010):

- Humano: incluye la edad, el juicio, la habilidad, la atención, la fatiga, la experiencia y la sobriedad del conductor.
- Vehículo: incluye el diseño, fabricación y mantenimiento del vehículo.
- Ambiente: incluye el alineamiento geométrico, sección transversal, dispositivos de control de tráfico, fricción superficial, la señalización, el clima, la visibilidad.

Comprendiendo estos factores y cómo pueden influir en la secuencia de acontecimientos, se puede reducir la frecuencia y gravedad de choques mediante la aplicación de medidas específicas. Algunos ejemplos de cómo se relaciona la secuencia de acontecimientos con los factores se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro 2. Ejemplo de matriz Haddon para identificar factores contribuyentes**

<b>Periodo</b>	<b>Factor humano</b>	<b>Vehículo</b>	<b>Ambiente</b>
Antes (mayor riesgo de choque)	Distracción, fatiga, edad, uso del celular, hábitos de conducción deficientes	Neumáticos o frenos deteriorados	Pavimento húmedo, agregado pulido, pendientes descendientes pronunciadas, mal sistema de señales
Durante (severidad del choque)	Vulnerabilidad, edad, falta de uso del cinturón, velocidad, sobriedad	Altura del bumper y absorción de energía, apoyo de cabeza, bolsa de aire	Fricción del pavimento, pendiente, ambiente en el camino
Después (resultado del choque)	Edad, género	Facilidad de extraer pasajeros heridos	Tiempo y calidad de respuesta de emergencia, tratamiento médico

Fuente: AASHTO, 2010

Teniendo en cuenta esta relación se pueden identificar estrategias para la reducción de choques.

## **2.2 Seguridad en carreteras**

El Manual de Seguridad de Carreteras (HSM por sus siglas en inglés) de la AASHTO, es un recurso que proporciona conocimientos y herramientas técnicas y analíticas para facilitar la toma de decisiones en relación con el desempeño de seguridad de la carretera. El HSM reúne información y metodologías sobre la medición, estimación y evaluación de las carreteras en términos de frecuencia (número de accidentes por año) y gravedad (nivel de lesiones por accidente). Adicionalmente, presenta herramientas y metodologías para todos los procesos en los cuales se pueda encontrar la carretera: planificación, programación, desarrollo del proyecto, construcción, operación y mantenimiento (AASHTO, 2010). En este proyecto se va a utilizar la metodología descrita en este manual.

En el HSM, la frecuencia de los choques es la base fundamental para el análisis de la seguridad de una carretera, la selección de sitios para el tratamiento y la evaluación de los efectos de los tratamientos, pues su mayor objetivo es el de reducir la frecuencia y gravedad de los choques.

Los sitios pueden ser tanto segmentos de carretera como intersecciones. Los segmentos son porciones de carretera que tienen una sección constante y que están definidos por un punto inicial y uno final (AASHTO, 2010); estos puntos pueden ser lugares en donde se dé algún cambio en las características de la carretera en relación con el señalamiento horizontal, el volumen de tránsito, el número de carriles, entre otros.

### ***2.2.1 Gestión de seguridad vial***

El HSM presenta el siguiente procedimiento con seis pasos para la reducción de la frecuencia de choques en redes viales existentes. Los seis pasos del proceso de gestión de la seguridad vial son:

- Evaluación de la red: Consiste en la revisión de una red de transporte para identificar y clasificar los sitios basados en el potencial de reducción de frecuencia media de choques.

- Diagnóstico: Es la evaluación de los datos de choques, los datos históricos del sitio y las condiciones de campo para identificar patrones de choque.
- Selección de contramedidas: Corresponde a la identificación de factores que pueden contribuir a la ocurrencia de accidentes en un sitio determinado y a la selección de posibles contramedidas para reducir la frecuencia media de choques.
- Evaluación económica: Es la evaluación de los costos y beneficios de las posibles contramedidas y la identificación de los distintos proyectos que sean rentables o económicamente justificables.
- Priorización de proyectos: Consiste en la evaluación económica de mejoras justificadas en sitios específicos, y a través de sitios múltiples, para identificar un conjunto de proyectos de mejora y cumplir objetivos como el costo, la movilidad, o los impactos ambientales.
- Evaluación de la eficacia de la seguridad: Es la evaluación de la eficacia de una contramedida en uno o varios sitios en la reducción de la frecuencia o gravedad de los choques.

Estos pasos se pueden utilizar de forma secuencial como un proceso, o pueden ser seleccionados y aplicados de forma individual para responder a un problema en específico.

Los beneficios de la implementación de un proceso de gestión de la seguridad vial son:

- Genera un proceso sistemático y repetible para la identificación de oportunidades para reducir los accidentes y para la identificación de contramedidas potenciales enlistadas de acuerdo a su relación beneficio-costos.
- Adicionalmente es un proceso cuantitativo y sistemático que aborda una amplia gama de condiciones de seguridad de carretera y compensaciones.
- Genera la oportunidad de aprovechar la financiación y coordinar mejoras con otros programas de mejora de infraestructura planificada.
- Se obtienen métodos integrales que tienen en cuenta el volumen de tráfico, datos de las colisiones, las operaciones de tráfico, la geometría de la carretera y las expectativas del usuario.

- Brinda la oportunidad de utilizar un proceso proactivo para aumentar la efectividad de las contramedidas destinadas a reducir la frecuencia de choques.

### ***2.2.2 Métodos de estimación de choques***

Existen diferentes métodos de estimación de choques. La determinación del método a utilizar va a depender de las características del estudio que se desee hacer, de la disponibilidad de información y de las fortalezas y limitaciones de cada método. El desarrollo de nuevos métodos de estimación de choques se asocia no solo al aumento de la sofisticación de las técnicas estadísticas, sino que también se debe a los cambios en la forma de pensar acerca de la seguridad vial (AASHTO, 2010). Algunos de los métodos que se han utilizado son los siguientes:

- Estimación de accidentes utilizando la frecuencia de choques observada y las tasas de accidentes en un período de corto plazo y un período de largo plazo (por ejemplo, más de 10 años).
- Medidas de seguridad indirectas o medidas de sustitución para identificar los lugares con alta frecuencia de choques.
- Técnicas de análisis estadístico (desarrollo de modelos de regresión estadística para la estimación de la frecuencia de choques) y metodologías estadísticas para incorporar los datos de accidentes observados y mejorar la confiabilidad de los modelos de estimación de choques.

El HSM utiliza métodos de análisis estadístico con el fin de hacer frente a la aleatoriedad inherente en los accidentes de tránsito.

Se han desarrollado modelos estadísticos utilizando análisis de regresión que abordan algunas de las limitaciones de los otros métodos. Estos modelos tratan el sesgo de regresión a la media y también tienen la capacidad de estimar de forma confiable la frecuencia de choques promedio esperada para condiciones de las carreteras actuales y también para carreteras con cambios en las condiciones existentes o con un nuevo diseño antes de su construcción y uso.

Además, es importante considerar que, como con todos los métodos estadísticos, para hacer la estimación, la confiabilidad del modelo está parcialmente en función de lo bien que el modelo se ajusta a los datos originales y parcialmente en función de lo bien que el modelo ha sido calibrado para los datos locales.

Existen una serie de métodos estadísticos para combinar las estimaciones de los choques de un modelo estadístico con la estimación utilizando la frecuencia de choques observada en un sitio. Algunos de ellos son:

- Método Bayes empírico (método EB)
- Método Bayes jerárquico
- Método completo de Bayes

En el HSM el método de Bayes empírico se utiliza como parte del método predictivo. Una clara ventaja de este método es que, una vez que un modelo calibrado se desarrolla para un tipo de sitio particular, el método se puede aplicar fácilmente.

### ***2.2.3 Método predictivo***

De acuerdo con el HSM (2010), el método predictivo proporciona una metodología estructurada para estimar la frecuencia de choques promedio esperada (para el total de accidentes, severidad o tipo de choque) de un sitio o red de carreteras para un período de tiempo, diseño geométrico y volúmenes de tráfico dados.

Uno de los elementos básicos del método predictivo son las funciones de desempeño de seguridad vial (Safety Performance Functions, o SPF, por sus siglas en inglés). Las SPF son ecuaciones de regresión que estiman la frecuencia media de choques para un tipo de sitio específico (con condiciones base especificadas) como función del tránsito promedio diario anual (TPDA) y, en el caso de segmentos de carretera, la longitud del segmento. Adicionalmente se pueden incluir otro tipo de características como número de carriles, tipo de zona, tipo de intersección, alineamiento horizontal, entre otros.

Para obtener las funciones de desempeño se analizan modelos que indiquen, de acuerdo con las características de la carretera, cuáles variables pueden tener una mayor incidencia en los choques y con esto determinar cuáles sitios de la carretera (segmentos e intersecciones) presentan exceso de frecuencia de choques con respecto al valor esperado.

Existe una serie de métodos de medición de desempeño de seguridad de una carretera. Entre ellos se tienen los siguientes:

- Exceso de frecuencia de choques promedio previsto usando funciones de desempeño de seguridad
- Exceso de proporción de tipos específicos de choques
- Exceso previsto de la frecuencia de choques promedio con ajuste de Bayes empírico
- Frecuencia de choques promedio
- Frecuencia de choques promedio con ajustes de Bayes empírico (EPDO)
- Frecuencia de choques promedio equivalente a solo daños de propiedad (EPDO)
- Frecuencia de choques promedio esperada
- Frecuencia de choques promedio esperada con ajustes de Bayes empírico
- Índice de severidad relativa
- Probabilidad de tipos de choques específicos que excedan el umbral de proporción
- Tasa crítica de choques
- Tasa de choques

Las consideraciones clave en la selección del método de medición de desempeño son: la disponibilidad de datos, el sesgo de regresión a la media y cómo se establece el umbral de desempeño.

Se debe considerar que la frecuencia de choques no es constante, es decir, es más alta o más baja a través del tiempo. Por tanto, una frecuencia promedio en un periodo corto puede variar significativamente con respecto a una que tenga un periodo más largo. Cuando un periodo mantiene una alta frecuencia de choques, es estadísticamente probable que en el siguiente periodo se observe una frecuencia baja o viceversa, este fenómeno se conoce como regresión a la media. El no considerar esta tendencia hace incurrir en un sesgo potencial.

El umbral de desempeño, por su parte, sirve como indicador para comparar la calibración de una medida de desempeño dentro de una población de referencia. Los sitios pueden ser agrupados de acuerdo a si la calibración de la medida de desempeño es mayor o menor al valor del umbral.

Tomando en cuenta lo anterior, el método de exceso de frecuencia de choques con corrección de Bayes empírico sobresale por su efectividad.

### 2.3 Regresión binomial negativa

Según Castro y Agüero-Valverde (2014) si se considera cada viaje como un evento con una probabilidad muy baja de terminar en un choque y se asocian esos viajes a un tiempo y un sitio de la carretera determinados, el número de choques observados tendrá una distribución de Poisson. Sin embargo, los choques viales presentan más dispersión de la que una distribución de Poisson puede explicar, pues en este tipo de distribución la varianza está restringida a ser igual que el promedio. La distribución binomial negativa no presenta este inconveniente, debido a que se basa en la distribución de Poisson pero permite que la varianza sea mayor que el promedio (Agüero-Valverde y Jovanis, 2006).

Más detalladamente, la regresión binomial negativa corresponde a una distribución de probabilidad discreta que se puede considerar como una distribución de Poisson con media  $\lambda_i$  y que tiene la siguiente forma:

$$\ln \lambda_i = X_i \beta + \varepsilon_i \quad [1]$$

Donde, X corresponde al factor de covariables,  $\beta$  es el vector de coeficientes y  $\varepsilon$  es el término correspondiente al error.

La distribución de probabilidad es:

$$\Pr(z) = \frac{\Gamma(z + \mu)}{z! \Gamma(\mu)} \left( \frac{\beta}{\beta + 1} \right)^\mu \left( 1 - \frac{\beta}{\beta + 1} \right)^z, \quad z = 0, 1, \dots \quad [2]$$

Donde,  $\Gamma$  corresponde a la función gamma y  $\mu$  y  $\beta$  son parámetros de la variable aleatoria  $\lambda$ .

Este modelo tiene la limitación de que falla a la hora de manejar los datos de subdispersión, sin embargo, según Shankar, Mannering y Barfield (1995), los datos de frecuencia de choques tienden a tener sobredispersión, lo cual representa una ventaja para el modelo.

#### **2.4 Exceso de frecuencia de choques esperado con ajuste de Bayes empírico**

En este método, la frecuencia promedio observada y la frecuencia promedio prevista de una función de desempeño, son valoradas en conjunto para calcular una frecuencia promedio esperada, tomando en cuenta el sesgo de regresión a la media, lo cual lo hace más preciso, sin embargo, para poder aplicarlo se requiere que la función de desempeño de seguridad vial esté calibrada con las condiciones locales.

Para encontrar la función de desempeño de seguridad vial se crea una gráfica de número de choques observados para un conjunto de segmentos similares al sitio de estudio contra la exposición de esos choques, es decir, el volumen de vehículos por kilómetro para estos segmentos. De esta manera se genera una función con todos los valores observados, en la cual los puntos representan los valores esperados de número de choques. Alrededor de la curva de desempeño creada se forma una distribución normal, en donde los valores más alejados, es decir, los ubicados en la cola de distribución, tienen mayor probabilidad de que se reduzca su frecuencia.

El método de Bayes en general se fundamenta en el conocimiento de una distribución sobre el parámetro  $\theta$ ,  $\pi(\theta)$  o función a priori. El método de Bayes empírico por su parte, estima la distribución a priori  $\pi(\theta)$ .

Para aplicar este método se requiere tener información para establecer poblaciones de referencia, los datos de choques, el volumen del tráfico y las funciones de desempeño de seguridad vial.

Para calcular la frecuencia de choques promedio prevista ( $N_{pred}$ ) se deben considerar las funciones de desempeño de seguridad obtenidas de la regresión binomial negativa. Considerando esto, la función de desempeño toma la siguiente forma:

$$\ln(\text{choques}) = \beta_0 + \beta_1 * \ln(\text{TPDA}) + \beta_2 * \text{variable 2} + \beta_3 * \text{variable 3} + \dots + \beta_n * \text{variable n} + \ln(\text{Longitud}) \quad [3]$$

Donde,  $\beta_0$  corresponde a la constante,  $\beta_1$  es el coeficiente asociado al TPDA y  $\beta_{1,2,\dots,n}$  son los coeficientes asociados a las variables 1, 2, ..., n, todos estos coeficientes son obtenidos del modelo. Las variables 1, 2, ..., n van a ser las variables que una vez modeladas hayan dado resultados significativos para el modelo.

Despejando se obtiene:

$$N_{pred} = e^{\beta_0} * \text{TPDA}^{\beta_1} * e^{(\beta_2 * \text{variable 2})} * e^{(\beta_3 * \text{variable 3})} * \dots * e^{(\beta_n * \text{variable n})} * \text{Longitud} \quad [4]$$

El ajuste por peso se refiere a la confiabilidad de la función de desempeño de seguridad que se utilice y se obtiene de la siguiente relación:

$$w = \frac{1}{1 + k(N_{pred})} \quad [5]$$

Donde, k es el parámetro de sobredispersión de la función de desempeño de seguridad, en este caso  $1/\theta$ , siendo  $\theta$  obtenido de la regresión. Si los parámetros de sobredispersión son bajos hay mayor confiabilidad lo que implica que el ajuste por peso va a ser más grande y a su vez que la SPF es más confiable.

Para calcular la frecuencia de choques esperados total se utiliza la ecuación:

$$N_{exp} = w * N_{pred} + (1 - w) * N_{obs} \quad [6]$$

Donde,  $N_{obs}$  corresponde al número de choques observado.

El exceso de frecuencia de choques esperados se obtiene de la diferencia entre los choques estimados con el ajuste de Bayes empírico y los estimados predichos, tal y como se muestra en la siguiente relación:

$$\Delta = N_{exp} - N_{pred} \quad [7]$$

De esta manera se puede determinar cuáles sitios tienen una frecuencia de choques mayor a la esperada.

## 2.5 Variables consideradas en el estudio de choques viales

Existen muchas variables que se pueden estudiar para determinar su influencia en los choques viales y que potencialmente, mediante acciones adecuadas desde la ingeniería de transportes, pueden reducir la frecuencia y severidad de los accidentes de tránsito. A continuación se detallan las variables consideradas en este proyecto.

- **Alineamiento horizontal:** corresponde a la combinación de rectas tangentes y curvas que componen el trazado de la carretera en la proyección del plano horizontal. Puede ser: recto o curvo.
- **Alineamiento vertical:** se refiere a la proyección del desarrollo del eje de la vía sobre un plano vertical, por lo que depende de la configuración topográfica del terreno. Puede ser: con pendiente o plano.
- **Año:** muestra en cuál de los tres años estudiados ocurrió el choque.
- **Cantón:** indica en cuál cantón se dio el choque.
- **Condición de la calzada:** corresponde a la condición de la calzada en términos de humedad. Algunas opciones son: seca, húmeda, con barro y con polvo.
- **Día de la semana:** esta variable señala en qué día de la semana ocurrió el choque.
- **Edad:** indica la edad de cada persona involucrada en el choque.
- **Estado de la calzada:** se refiere a la condición del pavimento, por ejemplo si existen hundimientos, huecos o reparaciones.
- **Estado del tiempo:** la precipitación en forma de lluvia y de neblina, por ejemplo, son variables importantes de considerar cuando se analizan choques viales.

- **Hora:** indica a qué hora del día ocurrió el accidente.
- **Límite de velocidad:** corresponde al límite de velocidad establecido para cada segmento.
- **Mes:** se refiere al mes en el cual ocurrió el choque.
- **Número de carriles:** un carril se refiere a una franja longitudinal destinada al tránsito de una sola fila de vehículos. Esta variable indica cuántos carriles tiene cada uno de los segmentos estudiados. Pueden ser: dos, tres o cuatro para la configuración de la carretera estudiada.
- **Presencia de bahías:** esta variable señala si en el tramo hay o no presencia de bahías para autobuses.
- **Rol de la persona involucrada:** indica el rol de cada persona involucrada en el choque. Por ejemplo: ciclista, conductor, motociclista, pasajero y peatón.
- **Señalamiento horizontal:** clasificación de los sitios en función de la presencia o ausencia de demarcación horizontal.
- **Severidad del choque:** Esta variable considera el nivel de lesiones por accidente, es decir, la gravedad. Puede ser: muerte, herido grave, herido leve o solo daños materiales.
- **Sexo:** indica si la persona involucrada en el choque es hombre o mujer.
- **Tipo de calzada:** se refiere al tipo de material con el cual está hecha la calzada. Algunas posibilidades son: adoquín, asfalto, concreto y lastre.
- **Tipo de carretera secundaria:** corresponde a la clasificación de las carreteras nacionales (primarias, secundarias y terciarias) y carreteras cantonales con las cuales se forma una intersección con la vía en estudio.
- **Tipo de choque:** incluye las características del choque, si hay vuelco, atropello a personas o animales, colisión entre vehículos o con un objeto fijo, entre otros.
- **Tipo de circulación:** considera el ángulo y el sentido del choque, algunas posibilidades son: ángulo recto, de costado, de frente, por detrás o laterales.
- **Tipo de intersección:** las intersecciones son las confluencias de varias vías por las cuales el tráfico se moviliza en varias direcciones y por tanto, resulta importante considerarlas en el análisis de choques pues involucran maniobras más complicadas para los conductores. En este estudio se consideran los tipos: T, cruz, T especial y rotonda.

- **Tipo de sitio:** se refiere a si el choque se dio en un segmento de la carretera o en una intersección.
- **Tipo de zona:** normalmente las zonas se clasifican en rurales y urbanas dependiendo de la cantidad de población que tengan.
- **Tránsito promedio diario anual (TPDA):** representa el volumen total de vehículos que pasan por un punto o segmento de una carretera en un período de tiempo determinado.
- **Vehículo relacionado:** corresponde al tipo de vehículo involucrado en el accidente. Algunos ejemplos son: ambulancia, autobús, automóvil, motocicleta, taxi, entre otros.

## 2.6 Medidas de mitigación potenciales

En esta sección se presentan algunas de las medidas de mitigación que pueden ser aplicables a los sitios para reducir la frecuencia de choques y mejorar las condiciones de seguridad vial. Según el HSM, los tratamientos que se aplican a un sitio pueden generar Factores de Modificación de Choques (Accident Modification Factors, o AMF, por sus siglas en inglés), los cuales se utilizan para cuantificar el cambio en la frecuencia de choques esperada promedio en un sitio al aplicar un tratamiento en particular o contramedida, una modificación en el diseño o un cambio en la forma en que opera (AASHTO, 2010).

Las medidas de mitigación dependen de varios factores, entre ellos, el tipo de carretera a la cual se le vayan a aplicar los tratamientos, no obstante, utilizando la clasificación del HSM, se observa que la Ruta Nacional 34 no coincide en su totalidad con ninguna de las carreteras descritas en este manual. Esto es esperable pues sería erróneo querer ubicar una carretera costarricense en una clasificación estadounidense y esperar que calcen a la perfección. Por tanto, se considera que en su mayoría la Ruta Nacional 34 corresponde a una vía rural de dos sentidos, pero en algunos segmentos, el comportamiento corresponde más al de una carretera urbana, aunque no arterial por la cantidad de accesos que presenta la Costanera Sur. Considerando lo anterior, las medidas propuestas se determinaron utilizando el criterio ingenieril de acuerdo a las características de cada segmento.

Por otra parte, las medidas de mitigación también dependen del tipo de sitio en el cual se desee reducir la frecuencia de choques. A continuación se presenta una lista de medidas para mejorar la seguridad de las carreteras, según el HSM, tanto para segmentos como para intersecciones, de acuerdo con el tipo de efecto que producen los diferentes factores de la carretera en los choques.

### ***2.6.1 Medidas de mitigación potenciales en segmentos***

#### *2.6.1.1 Efectos de los elementos de la calzada*

- Modificar el ancho de carril

Ampliar el ancho de carril ayuda a reducir los choques frontales, laterales y a evitar que los vehículos se salgan de la vía. El ancho de carril recomendado va a depender del TDA del segmento que se esté analizando. Sin embargo, resulta una medida costosa y en ocasiones complicada de aplicar por la geometría y problemas con el derecho de vía.

- Añadir o ampliar el espaldón

Los efectos de añadir un espaldón o ampliar el que existe son similares a los de ampliar el ancho de carril en términos del tipo de accidentes que pueden reducir. Además, los espaldones son muy importantes para atender cualquier desperfecto en los vehículos, proporcionar confort a los usuarios de la carretera y para el tránsito de peatones y ciclistas en caso de que no existan otras facilidades para estos usuarios.

- Modificar el tipo de espaldón

Los espaldones pueden ser pavimentados, de lastre, tierra o zacate. Para carreteras con alto flujo vehicular y velocidades altas, se recomienda utilizar espaldones pavimentados, pues los demás tipos podrían aumentar la frecuencia de choques en carreteras con estas características.

### 2.6.1.2 Efectos de los elementos en los márgenes de la carretera

Primero es importante aclarar que, según el HSM, el margen de la carretera corresponde al área entre el borde externo del espaldón y los límites de derecho de vía.

- Aplanar taludes

Esta medida busca evitar los cambios bruscos de pendiente en caso de que un vehículo se salga de la vía, además de que ayuda a que los usuarios se sientan más seguros a la hora de transitar por la carretera. El tener los taludes estabilizados y lo más plano posibles también ayuda a reducir la probabilidad de que algún objeto caiga sobre un vehículo y provoque un accidente.

- Aumentar la distancia a los elementos ubicados en el margen de la carretera

Esta medida consiste en reubicar los peligros potenciales existentes en los márgenes de la carretera, tales como cunetas, barreras de contención y señales verticales, de manera que se reduzca la frecuencia de choques en caso de que algún vehículo se salga de la vía o requiera hacer uso del espaldón.

- Cambiar la barrera de contención a un tipo menos rígido

La función de una barrera de seguridad es la de contener y redireccionar a los vehículos que pierdan el control y abandonen la calzada, con el fin de evitar que golpeen un objeto fijo, se salgan de la vía o se vuelquen y con ello disminuir la severidad del accidente. En este caso, esta es una medida que no pretende reducir la frecuencia de choques sino disminuir sus consecuencias. Por otro lado, se deben colocar barreras de contención solo cuando sea necesario y previo a su colocación debe existir un estudio técnico y un diseño específico que garanticen la necesidad, el tipo y la configuración del sistema (Valverde, 2011).

La rigidez del sistema de contención va a depender del uso que se le quiera dar a la barrera, por ejemplo, para puentes se recomienda usar sistemas más rígidos que eviten que en caso

de que un vehículo colisione con la barrera, caiga al río; mientras que en otros segmentos de la carretera se recomienda usar barreras más flexibles.

- Colocar amortiguadores de choque en los elementos que estén fijos

Esta medida consiste en colocar amortiguadores en los elementos fijos con el fin de reducir la gravedad de los choques que se den por colisión con objetos, se pueden colocar tanto en los elementos de orilla como en los terminares de las barreras para amortiguar los impactos frontales.

#### *2.6.1.3 Efectos del diseño geométrico y del alineamiento de la carretera*

Estas medidas son mucho más costosas y representan una solución a mediano o largo plazo. Incluyen desde modificaciones en la longitud y el radio de las curvas horizontales, colocación de curvas espirales de transición, mejoramiento de la sobreelevación de las curvas horizontales y cambio en el grado vertical del alineamiento. El fin de estos tratamientos es mejorar no solo la seguridad de los usuarios, sino el confort al utilizar la carretera.

#### *2.6.1.4 Efectos de la señalización en los choques*

- Instalar señalización combinada de alineamiento horizontal y límites de velocidad

Los dispositivos de señalización combinada se utilizan previo a que ocurra un cambio en el alineamiento horizontal, indicándole al conductor no solamente de este cambio sino de la necesidad de que modifique la velocidad; este cambio en la velocidad puede ser preventivo o reglamentario. Un ejemplo de este tipo de ensambles es como el que se muestra a continuación.



**Figura 2. Ensamble de cambio en el alineamiento horizontal y límite de velocidad**

Fuente: Elaboración propia a partir de SIECA, 2014

- Instalar señales de advertencia de velocidad variable

Según la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), los dispositivos luminosos o de mensaje variable deben utilizarse en las situaciones más críticas, es decir, donde se necesita dar mayor énfasis a la velocidad máxima. Pueden utilizarse para indicar la velocidad límite en una zona escolar, durante el tiempo en que rige este límite. También puede utilizarse una señal de velocidad máxima con un dispositivo luminoso, tipo semáforo o faros intermitentes sobre las señales de regulación (SIECA, 2014).

#### *2.6.1.5 Efectos de la delineación de la calzada*

- Colocar líneas de borde, de centro y canalizadoras

Esta medida consiste en demarcar correctamente las líneas de borde, las líneas de centro y también las líneas canalizadoras, con el fin de definir adecuadamente el área de operación de la carretera y de guiar a los conductores.

- Instalar postes delineadores o marcas resaltadas en el pavimento

Según el SIECA (2014), la delineación puede ser realizada sobre el pavimento y delimitada por bordillos; también puede estar conformada por marcas o barras levantadas en zonas pavimentadas; formada por captadores de luz, botones o tachuelones que pueden ser colocados con o sin demarcación en el pavimento; o puede estar compuesta por postes,

columnas u otros medios. Los postes delineadores pueden ser abatibles, esto quiere decir que ante una colisión ceden al impacto y luego pueden volver a su posición original.

#### 2.6.1.6 *Efectos de las bandas sonoras y vibratorias*

Las bandas sonoras o *Rumble strips* sirven para advertir a los conductores mediante vibración y ruido cuando se transita sobre ellas. El objetivo de las bandas sonoras es el de reducir los accidentes causados por conductores somnolientos o distraídos. En general, se utilizan en zonas no residenciales, para no molestar a los residentes adyacentes con el ruido generado. La decisión de incorporar bandas sonoras también puede depender de la presencia de ciclistas en el segmento de la carretera.

#### 2.6.1.7 *Efectos del tráfico calmado*

Según la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET, 2010), son medidas que apuntan a calmar las velocidades vehiculares y cuyo objetivo es producir una red vial por la cual se conduce calmadamente y en forma segura, a una velocidad apropiada para el entorno y para los usuarios más vulnerables.

Las medidas calmantes aplicables a segmentos pueden ser: lomo de toro (Figura 3), lomillos (Figura 4), cojines (Figura 5), chicanas (Figura 6), estrechamientos calmantes de velocidad (Figura 7), restrictores de ancho (Figura 8), umbrales (Figura 9) y demarcaciones alertadoras o rayas logarítmicas (Figura 10).



**Figura 3. Ejemplo de lomo de toro**

Fuente: CONASET, 2010



**Figura 4. Ejemplo de lomillo**

Fuente: CONASET, 2010



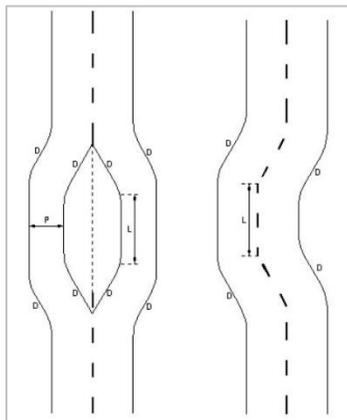
**Figura 5. Ejemplo de cojines**

Fuente: CONASET, 2010



**Figura 8. Ejemplo de restrictores de ancho**

Fuente: CONASET, 2010



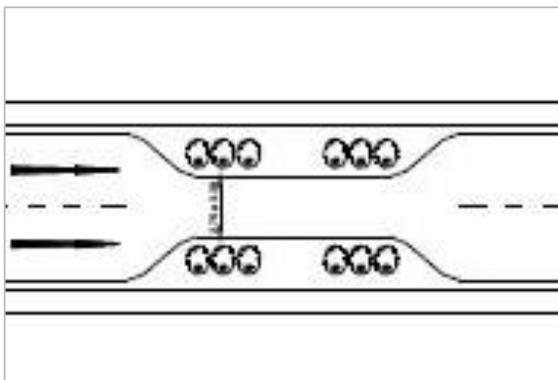
**Figura 6. Ejemplo de chicanas**

Fuente: CONASET, 2010



**Figura 9. Ejemplo de umbrales**

Fuente: CONASET, 2010



**Figura 7. Ejemplo de estrechamientos calmantes de velocidad**

Fuente: CONASET, 2010



**Figura 10. Ejemplo de demarcaciones alertadoras o rayas logarítmicas**

Fuente: CONASET, 2010

### *2.6.1.8 Efectos del estacionamiento en la calle*

Evitar o reducir los estacionamientos en la carretera es muy importante para reducir la frecuencia de choques, debido a que al estacionarse vehículos en lugares que no fueron diseñados para este fin, como espaldones, se produce una reducción en el espacio de movilización de la carretera y se generan nuevos flujos a la hora en que los vehículos se quieran reincorporar al flujo normal de la carretera. Entre las medidas que se pueden tomar están: prohibir del todo el estacionamiento en la carretera, convertir el estacionamiento de gratuito a regulado e implementar restricciones de tiempo limitado para el estacionamiento en la carretera.

### *2.6.1.9 Efectos de los tratamientos para peatones y ciclistas*

- Proveer aceras o espaldones para el tránsito de peatones o ciclistas

Como se mencionó anteriormente, en caso de no existir aceras, ni ningún otro tipo de facilidades peatonales, se deben ensanchar los espaldones para que los peatones puedan transitar en ellos.

- Colocar pasos peatonales

Cuando se evidencien problemas con los flujos de peatones y atropellos, se debe estudiar la posibilidad de colocar pasos peatonales inclusive en segmentos de la carretera.

- Reducir el límite de velocidad en las zonas escolares durante las horas escolares

Cerca de las zonas escolares el límite de velocidad se debe reducir a 25 km/h.

- Colocar puentes peatonales o pasos subterráneos

El uso de puentes peatonales depende de las distancias que haya que caminar y de la conveniencia de su instalación para usuarios potenciales. Esta conveniencia se puede

determinar a partir de la relación que hay entre el tiempo que se necesita para cruzar la calle en un paso elevado dividido entre el tiempo que toma cruzar la calle a pie. Si esta relación da como resultado 1, es decir que se tarda lo mismo cruzando la calle a pie que utilizando el puente peatonal, el 95% de los peatones lo usa, mientras que si utilizar el paso elevado resulta un 50% más largo, muy pocos peatones lo utilizan. Relaciones similares sugieren que el uso de paso subterráneos es menor que el de pasos elevados (AASHTO, 2010).

Este tipo de estructuras proporcionan un grado de separación importante entre los peatones y los flujos vehiculares, pero son soluciones caras y pueden no ser utilizadas por los peatones si estos no las perciben como una opción más segura y conveniente.

Aunque los choques viales pueden aumentar ligeramente cerca del puente peatonal, esta medida parece reducir los atropellos.

- Colocar carriles exclusivos para bicicletas (ciclovías)

Dependiendo de la frecuencia de uso de bicicletas se puede recomendar la implementación de un carril exclusivo para bicicletas (o ciclovía) o la ampliación del espaldón para que puedan transitar más seguramente.

#### *2.6.1.10 Efectos de la iluminación en la vía*

Al mejorar la iluminación se mejora la visibilidad en la noche, por lo que dependiendo de las características y la importancia de la carretera se debe proveer de iluminación para disminuir la frecuencia de choques.

#### *2.6.1.11 Efectos de la gestión de accesos en la vía*

Las carreteras principales y con velocidades altas de operación deberían tener la menor cantidad de accesos posibles. Esta medida pretende aplicar técnicas para reducir la densidad de accesos en un segmento de la carretera y además controlar los puntos de entrada y salida.

Para llevar esto a cabo, probablemente se requiera complementar con una calle paralela o marginal, de modo que todos los comercios o casas de habitación ubicadas en los márgenes de la carretera sigan teniendo acceso a la vía pero de una manera más controlada.

## ***2.6.2 Medidas de mitigación potenciales en intersecciones***

### *2.6.2.1 Efectos de los tipos de intersección*

- Cambiar el tipo de intersección

Para poder aplicar esta medida se requiere realizar un estudio previo en dónde se determine si es factible cambiar su configuración y las ventajas y consecuencias que traería aplicar esta medida.

- Retirar señales injustificadas en calles de un sentido

Se recomienda utilizar solamente las señales que sean estrictamente necesarias, pues cada señal representa un obstáculo más al lado de la vía, por tanto, se deben eliminar las señales que estén duplicadas o las que no sean necesarias para que el conductor transite adecuadamente por la vía. Esta medida es aplicable tanto para intersecciones como para segmentos.

- Convertir una intersección sin semáforo en una intersección con semáforo

Para convertir una intersección sin semáforo en una intersección semaforizada se requiere de igual manera hacer un estudio previo. Entre los criterios que se utilizan para determinar si colocar este tipo de dispositivos es conveniente, se tiene que debe haber un volumen mínimo de vehículos y de peatones, que hayan antecedentes de accidentes de tránsito en la intersección y además valorar la necesidad o consecuencia de interrumpir el tránsito continuo.

### *2.6.2.2 Efectos de la gestión de accesos*

- Cerrar o reubicar los puntos de acceso en el área funcional de la intersección

Corresponde a un conjunto de técnicas diseñadas para gestionar la frecuencia y el tipo de puntos de conflicto en las intersecciones y en los puntos públicos de acceso, tanto residenciales como comerciales. La gestión de accesos, es decir, la ubicación, el espacio, y el diseño de intersecciones privadas y públicas, es un elemento importante en la planificación y diseño de carreteras. Aplicando esta medida se logra preservar la seguridad del tráfico, la capacidad y la velocidad en el sistema vial circundante, abordando así la congestión, la pérdida de capacidad, entre otros.

- Garantizar espacio y buena visibilidad en las esquinas

Es importante garantizar la limpieza de todas las intersecciones de materia vegetal y de algún otro tipo de obstáculos que dificulten la visibilidad.

### *2.6.2.3 Efectos de los elementos de diseño de la intersección*

- Reducir el ángulo de esviaje de la intersección

En muchas ocasiones se requiere realinear la intersección de manera que se alcance tener una mejor visibilidad y confort para realizar la maniobra.

- Colocar carriles exclusivos de giro a la izquierda y a la derecha

En las entradas a gasolineras, sitios importantes con altos flujos vehiculares, o en algunas intersecciones con maniobras complicadas en las que se requiera invadir un carril, se recomienda utilizar carriles exclusivos de giro que faciliten la maniobra y disminuyan la probabilidad de choques.

- Colocar iluminación en la intersección

Al igual que en los segmentos es importante proveer de iluminación las intersecciones para tener mejor visibilidad en la noche y para facilitar el tránsito y la seguridad de los peatones

- Colocar paso peatonal

Del mismo modo que en los segmentos, muchas intersecciones también requieren de la colocación de un paso peatonal semaforizado para mejorar las seguridad de los peatones.

#### *2.6.2.4 Efectos del tráfico calmado*

Al igual que en segmentos, se pueden aplicar medidas para calmar el tráfico en intersecciones, en este caso se pueden aplicar medidas como: aceras continuas y plataformas, estrechamientos calmantes de velocidad y mini rotondas. Seguidamente se muestran algunos ejemplos.



**Figura 11. Ejemplo de plataforma**

Fuente: CONASET, 2010



**Figura 12. Ejemplo de mini rotondas**

Fuente: CONASET, 2010

## **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA**

---

La metodología utilizada en este proyecto se resume en el siguiente diagrama de bloques.

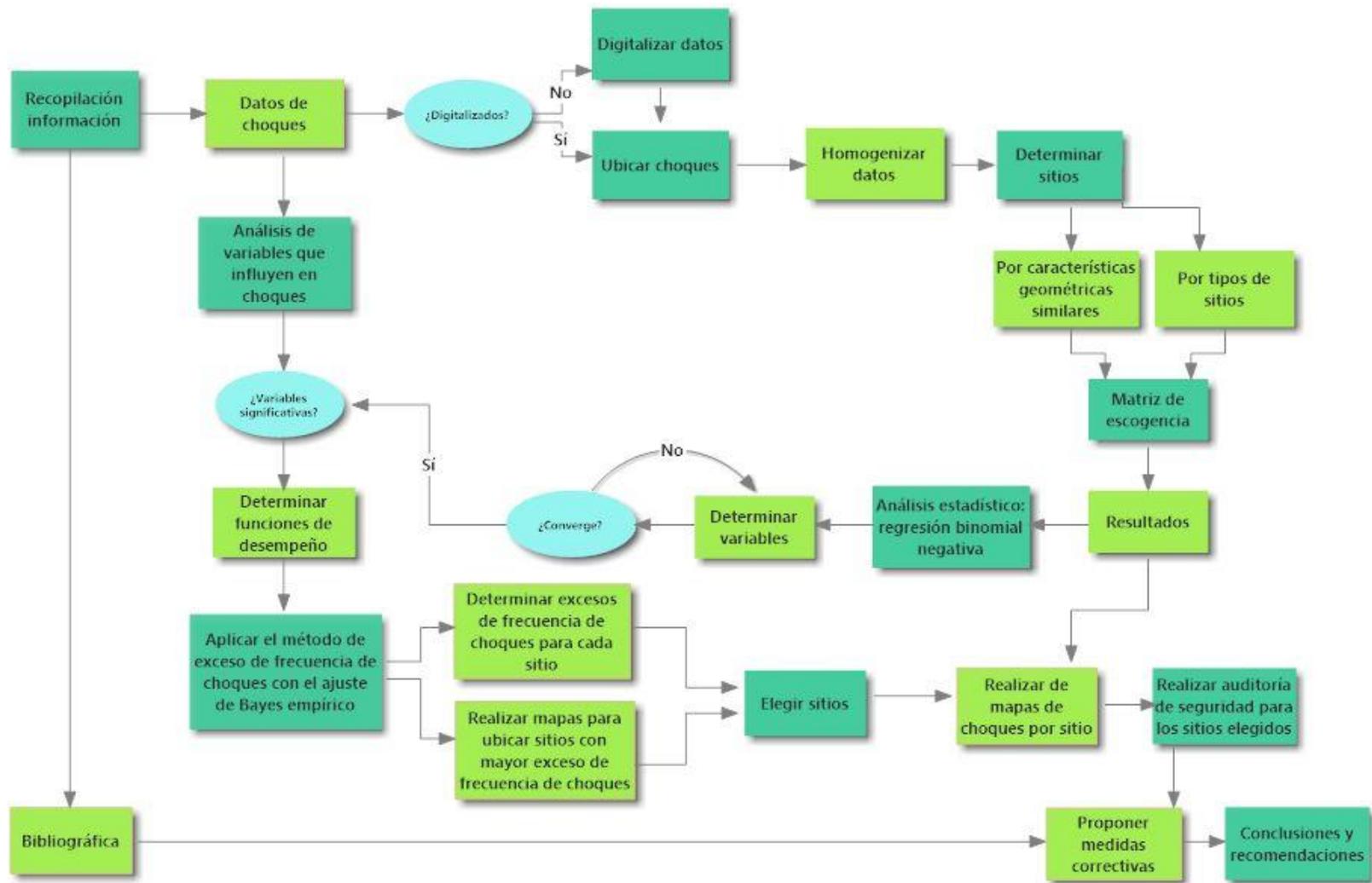


Figura 13. Diagrama de bloques de la metodología

A continuación se detalla cada uno de los pasos aplicados.

### **3.1 Recopilación de la información**

La información necesaria para poder realizar este proyecto corresponde a los informes de choques o partes que emiten los oficiales de tránsito. Es importante aclarar que en cada parte se emite una boleta por persona involucrada en el choque. Estas boletas fueron facilitadas por el Departamento de Investigación y Estadística del Consejo de Seguridad Vial (COSEVI).

Para realizar la solicitud, primeramente se tuvo que determinar por qué distritos y cantones pasa la Ruta Nacional 34, debido a que estas boletas no siempre indican el número de ruta a la cual pertenecen o viene incorrecto.

Los datos fueron facilitados en dos partes, la primera correspondiente a las boletas de choques de los años 2011 y 2012 y la segunda a las boletas del año 2013. La razón de que la información se enviara en dos partes es que para el momento en que se envió la primera sección, las boletas del 2013 no estaban listas, pues la digitalización de esta información lleva dos procesos, el primero corresponde a la digitalización en sí misma, pasar de las boletas en formato físico a formato digital y el segundo corresponde a la limpieza de errores e inconsistencias.

Este inconveniente afectó la programación inicial de este proyecto, pues los datos se obtuvieron mucho tiempo después del esperado.

Adicionalmente, se realizó una primera visita a la zona, en la cual se tomó un registro de la ruta a través de un dispositivo de localización GPS (Sistema de Posicionamiento Global, GPS por sus siglas en inglés) y fotografías a aproximadamente cada 100 metros, las cuales fueron georeferenciadas para tener un registro de la carretera.

### **3.2 Ubicación de choques**

El proceso que se utilizó para la ubicación de los choques, de acuerdo con las características de cada parte, se describe a continuación.

Primeramente, se procedió a ubicar los choques que contaban con las coordenadas en la información de la boleta. Las coordenadas venían en formato WGS84 y por la manera en que las almacenaron hubo que realizar correcciones en cuanto a decimales y signo. Una vez realizado este proceso, se agregó un punto con cada par en el programa Google Earth, el cual es de acceso gratuito y se revisó si las coordenadas correspondían con la descripción de la ubicación del choque, en caso de que no fuera así se tomó como cierta la descripción. Con cada choque ubicado se pudo determinar cuáles se situaban en la Ruta Nacional 34 y cuáles no y se procedió a descartarlos, pues como la información se filtró por distritos, muchos partes correspondían a choques en las Rutas Nacionales 2, 27 u otras rutas nacionales o cantonales.

Seguidamente, se ubicaron los choques que no contaban con coordenadas de acuerdo con la descripción, en este proceso, en muchos casos la descripción era clara y utilizaba puntos de referencia bastante sencillos de ubicar, pero en muchos otros casos era confusa o utilizaba referencias poco conocidas y sin información disponible sobre su ubicación en internet. Para llevar esto a cabo, se utilizó nuevamente Google Earth, Google Maps (también de acceso gratuito) y los sitios web de hoteles, restaurantes, comercios en general e instituciones, que contaban con información georeferencial o número de teléfono para realizar la consulta.

Para los choques con referencias sin información disponible en internet se contó con la ayuda de personas que conocían la zona para poder ubicarlos.

Por otra parte, había boletas que solamente indicaban el kilometraje de la carretera en la cual se dio el choque, para este caso se utilizó la herramienta ArcGIS 10.1, a la cual se tuvo acceso a través del Programa de Desarrollo Urbano Sostenible de la Universidad de Costa Rica (ProDUS UCR), en el cual con la información ya disponible de las rutas nacionales y el registro de la ruta que se hizo en la primer visita a la zona, se montó la Ruta Nacional 34 y se identificó el kilometraje de la carretera comparándolo adicionalmente, para verificación, con los partes que contaban con coordenadas y kilometraje.

Finalmente, varios choques se descartaron porque la información de la boleta no era precisa, pues indicaban únicamente el distrito en el cual se había dado el choque, pero no tenían ni coordenadas, ni kilómetro de la carretera, ni una descripción más puntual.

En resumen, inicialmente se contaba con 5 888 boletas correspondientes a 2 973 partes y descartando los choques que no correspondían a la Ruta Nacional 34 quedaron 2 195 boletas, correspondientes a 1 032 partes, de los cuales únicamente 430 tenían coordenadas, es decir, aproximadamente un 42%.

Una vez ubicados todos los partes, se procedió a importar los que inicialmente se habían ubicado en Google Earth a ArcGIS para contar con todos los choques debidamente situados sobre la carretera.

### **3.3 Proceso de gestión de seguridad vial**

El proceso de gestión de seguridad vial que se utilizó en este proyecto es el indicado en el HSM del 2010. Como se mencionó anteriormente, este consta de seis pasos de los cuales los primeros tres se desarrollaron en este proyecto, es decir, la evaluación de la red, el diagnóstico y la selección de contramedidas.

#### ***3.3.1 Evaluación de la red***

La evaluación de la red, como ya se indicó, consiste en la revisión de la red de transporte para identificar y clasificar los sitios con potencial de reducción de frecuencia de choques. Esta evaluación consta de cinco pasos que se detallan a continuación.

##### *3.3.1.1 Paso 1. Establecimiento del enfoque*

El primer paso en la evaluación de la red corresponde a establecer el enfoque del análisis. Esta evaluación puede centrarse en uno de los siguientes enfoques o en ambos.

- a. Identificar y clasificar los sitios donde las mejoras tienen el potencial de reducir el número de accidentes.
- b. Identificar los sitios con un tipo de accidente o severidad en particular con el fin de formular y aplicar una estrategia.

Para este estudio, se analizaron ambos enfoques.

### *3.3.1.2 Paso 2. Identificación de la red y establecimiento de poblaciones de referencia*

Una población de referencia es una agrupación de sitios con características similares. En algunos casos, las medidas de desempeño permiten comparaciones entre poblaciones de referencia.

La identificación de poblaciones de referencia depende del sitio al cual se le esté realizando el análisis, por lo tanto previo a identificar las poblaciones de referencia se clasificaron los choques en dos grupos: choques de segmento y choques de intersección. Para realizar este proceso, se utilizaron los *software* ya mencionados y la información recopilada en el levantamiento fotográfico. De esta manera se obtuvieron 301 choques de intersección y 731 choques de segmento.

Por otra parte, originalmente, de acuerdo con la información de carreteras obtenida del Inventario de la Red Vial Nacional del Departamento de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT, 2011), para la Ruta Nacional 34 se tenían 18 segmentos correspondientes a toda la longitud de la carretera; pero una vez analizada toda la ruta en búsqueda de secciones homogéneas, se obtuvieron 171 segmentos con longitudes entre 500 m y 2 000 m. Los criterios utilizados para la elección de tramos homogéneos fueron el número de carriles, el tipo de zona y el alineamiento horizontal. Otras variables como la señalización horizontal y vertical no se tomaron en cuenta debido a que son muy variables a lo largo de la carretera y a que están en constante cambio.

En total se determinaron 162 intersecciones en toda la carretera. Estas intersecciones y los segmentos descritos en el párrafo anterior son las poblaciones de referencia estudiadas en este proyecto.

Adicionalmente, se deben considerar las variables que van a diferenciar cada segmento y cada intersección de la población. Estas variables se describen a continuación.

- Variables consideradas en el estudio de segmentos

Para los segmentos se identificaron las siguientes variables:

- a. Densidad de accesos: se obtuvo del cociente entre el número de accesos por segmento (salidas o entradas de la carretera hacia calles paralelas, intersecciones o entradas privadas) y la longitud del segmento.
- b. Número de carriles: para la configuración de esta carretera el número de carriles varía entre 2 y 4.
- c. Geometría: se refiere al alineamiento horizontal. Se utilizaron las siguientes clasificaciones:
  - i. Recto
  - ii. Ondulado
  - iii. Muy ondulado
- d. TPDA: se refiere al volumen de tráfico de cada segmento. Se tienen 17 estaciones de control para esta ruta.
- e. Tipo de zona: en este caso la clasificación por tipo de zona no se realizó de acuerdo a la cantidad de población sino a un proceso meramente de observación y comparación entre los diferentes sitios de la carretera. Se clasificaron en dos tipos:
  - i. Rural
  - ii. Urbana
- f. Demarcación: se identificó en cuáles segmentos había problemas de demarcación y en cuáles no.
- g. Presencia de bahía: se indicó también cuáles segmentos tenían presencia de una o más bahías de autobuses.

- Variables consideradas en el estudio de intersecciones

Para las intersecciones se identificaron las siguientes variables:

- a. Tipo de intersección: cada intersección se subclasificó en los siguientes cuatro tipos:
  - i. Tipo Cruz

- ii. Tipo T
  - iii. Tipo T Especial (intersecciones tipo T con rampas)
  - iv. Rotonda
- b. Tipo de carretera secundaria: los tipos de carreteras secundarias encontrados fueron:
- i. Nacional Primaria (Ruta Nacional 2 y Ruta Nacional 27 para este caso)
  - ii. Nacional Secundaria (correspondiente a las carreteras con numeración entre 100 y 255)
  - iii. Nacional Terciaria (carreteras entre 301 y 955)
  - iv. Cantonal
- c. Tipo de zona: al igual que en los segmentos, por observación se tienen dos tipos:
- i. Rural
  - ii. Urbana
- d. TPDA: el tránsito promedio diario anual que se asignó a cada intersección fue el de la sección a la cual perteneciera la intersección dentro de la Ruta Nacional 34.

Para ambos casos, el TPDA se obtuvo del Anuario de tránsito 2013. Las 17 secciones de control y las 10 estaciones con las cuales cuenta esta ruta se muestran en el Anexo 1.

El TPDA obtenido para cada estación y para cada año de estudio se muestra a continuación:

**Cuadro 3. TPDA para cada estación de la Ruta Nacional 34**

<b>Estación</b>	<b>653</b>	<b>EP-21</b>	<b>791</b>	<b>744</b>	<b>239</b>	<b>448</b>	<b>240</b>	<b>443</b>	<b>270</b>	<b>244</b>
TPDA2011	9 119	10 197	15 799	5 665	5 580	5 700	3 690	1 887	3 305	3 934
TPDA2012	9 491	10 605	16 417	6 050	5 991	6 195	4 059	2 081	3 655	4 258
TPDA2013	10 382	11 711	18 302	6 801	6 658	7 069	4 754	2 440	4 289	4 739
i (%)	4,08	4,00	3,91	6,79	7,37	8,68	9,99	10,30	10,60	8,24
Sumatoria	28 992	32 513	50 518	18 516	18 229	18 964	12 503	6 408	11 249	12 931

Fuente: Anuario de tránsito, 2013

El TPDA asignado a cada choque corresponde a la suma del TPDA de la sección en la cual se haya ubicado el choque para los tres años. Se realizó de esta manera debido a que se cuenta con muy pocos datos en cada tramo, por lo que la probabilidad de obtener errores utilizando el TPDA de cada año es mayor.

De acuerdo con Lord y Mannering (2010), los datos caracterizados por una muestra pequeña pueden causar problemas de estimación en los modelos tradicionales. Con medias de muestra baja, la distribución del número de choques está sesgada de manera excesiva hacia el cero, lo cual resulta en parámetros estimados incorrectamente y conclusiones erróneas, de ahí que se hayan agregado los choques en los tres años de estudio, para aminorar dicho problema.

### *3.3.1.3 Paso 3. Selección del método de medición de desempeño*

Como ya se vio, existe una gran variedad de métodos de medición de desempeño que pueden ser utilizados para evaluar el potencial de reducción de choques en un sitio.

Este proyecto busca utilizar el método más preciso y confiable aplicable para la información disponible y las características del estudio, por tanto, se decidió utilizar el método de exceso de frecuencia promedio de choques esperado con ajuste de Bayes empírico.

Para llevar a cabo el análisis estadístico y encontrar las funciones de desempeño de seguridad se utilizó el programa *R Studio* y la plataforma *R*, ambos de acceso gratuito.

El análisis de los segmentos e intersecciones se realizó por aparte. Por tanto, para los segmentos se construyó un cuadro con los 171 tramos y las variables asociadas a cada uno. De igual manera se elaboró un cuadro con las 162 intersecciones y sus variables.

Luego, se procedió a introducir esta información en el programa y se corrieron los modelos con la regresión binomial negativa. El programa toma una de las opciones de la clasificación de cada variable (que así lo permita) como base y las demás las compara con respecto a esta. Las variables como longitud del tramo, suma del TPDA y densidad de accesos no fueron subdivididas ya que corresponden a una variable continua.

Realizando este proceso y de acuerdo con los resultados obtenidos se hicieron algunos cambios en la agrupación de las variables establecidas previamente con el fin de encontrar resultados más significativos. Estos cambios se indicarán oportunamente.

Tras correr varios modelos y observando los resultados obtenidos se determinó la siguiente función de desempeño para el total de choques en segmentos:

$$N_{pred} = e^{\beta_0} * TPDA^{\beta_1} * e^{(\beta_2 * Den. acc)} * e^{(\beta_3 * Núm. carr. 3)} * e^{(\beta_4 * Núm. carr. 4)} * e^{(\beta_5 * Zona urb.)} * Longitud \quad [8]$$

Pues las variables que dieron significativas fueron densidad de accesos, carreteras con tres y cuatro carriles y el tipo de zona urbana.

Adicional al estudio de choques totales, se analizó el caso de choques equivalentes a solo daños materiales. El concepto de equivalencia se utiliza para comparar distintas severidades de choque en términos económicos, pues un choque con personas fallecidas, por ejemplo, es mucho más costoso que un accidente en el cual solo haya daños materiales. La manera de comparar las diferentes severidades con los choques con solo daños materiales es mediante pesos de acuerdo al costo en que incurra cada gravedad.

Para realizar este proceso de comparación entre distintas severidades de choque en la carretera estudiada no existe información, por lo que se tuvo que buscar factores de equivalencia de lugares con características similares al sitio de estudio. Según Castro (2013) un estudio realizado en la zona de Campeche en México es el que más se asemeja a las características de la Ruta Nacional 32. Por su parte, las características del tránsito, uso y tipo de carretera de la Ruta Nacional 32 son comparables en gran medida con las características de la Ruta Nacional 34 por lo que se decidió utilizar los mismos pesos que Castro. Estas equivalencias se muestran a continuación:

$$1 \text{ choque con víctimas mortales} = 40 \text{ choques con solo daños materiales} \quad [9]$$

$$1 \text{ choque con heridos graves} = 12 \text{ choques con solo daños materiales} \quad [10]$$

$$1 \text{ choque con heridos leves} = 3 \text{ choques con solo daños materiales} \quad [11]$$

En el caso de segmentos, cuando se corrió el modelo con choques equivalentes a solo daños materiales no se obtuvieron variables significativas, por lo que se descartó el modelo.

Para intersecciones y total de choques se obtuvo la siguiente función de desempeño:

$$N_{pred} = e^{\beta_0} * TPDA^{\beta_1} * e^{(\beta_2 * Tipo\ sec.1)} * e^{(\beta_3 * Tipo\ int.\ Otras)} * e^{(\beta_4 * Tipo\ int.\ T)} \quad [12]$$

En este caso las variables que dieron significativas fueron el TPDA de la principal (Ruta Nacional 34), el tipo de carretera secundaria 1, es decir, carretera cantonal, pues en este caso se hizo un cambio en la clasificación de la población de referencia como sigue: carretera secundaria nacional incluyendo carreteras primarias, secundarias y terciarias (0) y carretera secundaria cantonal (1). Las otras variables que dieron significativas fueron tipo de intersección "otras" y tipo de intersección T. Aquí también se realizó un cambio en la clasificación pues se agruparon las intersecciones tipo T especial y rotondas en el tipo "otras".

Finalmente, para intersecciones y choques equivalentes a solo daños materiales se obtuvo la misma función de desempeño que para choques totales (en términos de variables) pero con diferentes coeficientes.

Después se aplicó el procedimiento descrito en la Ecuación 5 y la Ecuación 6 para cada uno de los 171 segmentos y 162 intersecciones.

#### 3.3.1.4 Paso 4. Selección del método de detección

La medida de desempeño seleccionada se aplica a todos los sitios de estudio, pero se requiere de un método de detección para ordenar el exceso de frecuencia esperado.

El método de detección va a depender de si se están analizando segmentos, intersecciones, o la combinación de segmentos e intersecciones. Según el HSM, para segmentos hay tres métodos: clasificación simple, ventana deslizante y búsqueda de pico. Para intersecciones y la combinación de segmentos e intersecciones solo hay clasificación simple.

Como en este estudio se analizan tanto segmentos como intersecciones se utilizó el método de clasificación simple, que consiste en calcular las medidas de desempeño para todos los sitios en estudio y ordenar los resultados de mayor a menor. Además se verificó que existiera coherencia entre la medida de desempeño y el método de detección.

El resultado del análisis de detección es una lista de sitios ordenados de acuerdo a la medida de desempeño seleccionada. Los sitios más altos en la lista tienen mayores probabilidades de beneficiarse de medidas destinadas a reducir la frecuencia de choques.

Este procedimiento se considera en la Ecuación 7.

#### *3.3.1.5 Paso 5. Evaluación de resultados*

El HSM recomienda registrar los resultados para cada segmento e intersección en cuadros o mapas indicando si es apropiado o factible.

En general, se recomienda aplicar múltiples medidas de desempeño para el mismo conjunto de datos. Al hacer esto, algunos sitios se ubican repetidamente en el extremo superior o inferior de la lista resultante. Los sitios que aparecen repetidamente en el extremo superior de la lista pueden convertirse en el foco de investigaciones más detalladas, mientras que los que aparecen en la parte baja de la lista se pueden descartar por bajos o negativos excesos de choques. Las diferencias en la clasificación producida por las diferentes medidas de desempeño se hacen más evidentes en los sitios que están clasificados en el medio de la lista.

Tal y como se recomienda, se registraron los resultados obtenidos tanto en cuadros como en mapas y para el caso de las intersecciones, se compararon los resultados de los dos modelos para determinar las intersecciones a analizar.

### **3.3.2 Diagnóstico**

Las actividades incluidas en esta etapa proporcionan una comprensión de los patrones de choques, a través de la evaluación de los datos de choques, estudios previos y las

características físicas del sitio, antes de seleccionar medidas potenciales de reducción de accidentes.

El procedimiento descrito por el HSM contiene tres pasos, sin embargo, algunas medidas pueden no ser aplicables a todos los proyectos.

### *3.3.2.1 Paso 1. Revisión de datos de seguridad*

Un diagnóstico del sitio comienza con una revisión de los datos disponibles con el fin de identificar patrones con respecto al tipo de accidente, la gravedad del choque, las condiciones ambientales de la carretera (condiciones del pavimento, clima, entre otros). Con esto, se pueden identificar patrones relacionados con la hora del día, sentido de circulación, condiciones climáticas o comportamientos de los conductores.

De acuerdo con el HSM, se recomienda la recopilación y revisión de datos de tres a cinco años para mejorar la confiabilidad del diagnóstico. La revisión de los datos de seguridad considera:

- Estadística descriptiva de las condiciones de choque (por ejemplo: cantidad de choques por tipo, severidad y condiciones ambientales de la carretera).
- Ubicación de los choques (por ejemplo: diagramas de colisión y mapas de choques utilizando herramientas SIG).

Para realizar este proceso, se consideraron tanto los datos proporcionados en las boletas de los choques como la información disponible en el Inventario de la Red Vial Nacional del Departamento de Planificación Sectorial del MOPT.

Las estadísticas descriptivas de las condiciones de choques se muestran con detalle en el Capítulo 4. Los mapas de choques se realizaron en el programa ArcGIS y se pueden encontrar en el Apéndice 2.

### *3.3.2.2 Paso 2. Evaluación de la documentación de apoyo*

Este paso incluye los estudios previos realizados para tener un contexto histórico del lugar y los planes que cubren las proximidades del sitio para identificar problemas conocidos, oportunidades y limitaciones. La documentación de apoyo puede identificar nuevos problemas de seguridad o verificar los problemas identificados en la revisión de datos de choques.

La identificación de las características del lugar a través de la documentación de apoyo también ayuda a definir el tipo de medio ambiente de la carretera.

Algunos tipos de documentación de apoyo que pueden ser útiles en la evaluación de un sitio pueden ser: inventario de condiciones de campo, registros de mantenimiento, estudios viales realizados en las proximidades del lugar, mapeo del uso del suelo, planes de mejora de la carretera, entre otros.

En la sección "Antecedentes teóricos y prácticos del problema" se muestran los estudios que se han realizado sobre esta carretera. Básicamente, como se indicó, existen dos estudios del LanammeUCR sobre seguridad vial e identificación de zonas de riesgo de accidentes, además de un Trabajo Final de Graduación sobre la vulnerabilidad física ante eventos naturales en un tramo de la carretera.

### *3.3.2.3 Paso 3. Evaluación de las condiciones de campo*

Este paso consiste en realizar visitas a la zona de estudio con el fin de observar los diferentes modos de viajar de los usuarios y características de la carretera en general.

Para esta investigación se realizaron dos visitas a la zona. En la primera se hizo la identificación del lugar y se tomó un registro de la carretera con GPS y de fotografías en ambos sentidos (Coyolar-Palmar y Palmar-Coyolar), que fueron utilizadas en varias partes de este proceso, como se ha indicado. En la segunda gira se visitó cada uno de los sitios seleccionados para el análisis, se tomaron fotografías y se realizaron observaciones acerca de las condiciones del

sitio en cuanto a visibilidad, demarcación, diseño y otros factores que pudieron afectar en la ocurrencia de choques.

### ***3.3.3 Selección de contramedidas***

Esta parte del proceso corresponde a la búsqueda de medidas para reducir la frecuencia y gravedad de los choques. Para llevar esto a cabo, se debe primeramente identificar los factores contribuyentes a la ocurrencia de choques para luego proponer las medidas de reducción potenciales.

Las medidas de reducción recomendadas responden a estos factores identificados y se obtuvieron de revisión bibliográfica de varios estudios realizados, implementados y evaluados en diferentes partes del mundo obteniendo resultados positivos. Las medidas recomendadas se muestran en el Capítulo 5.

En los sitios en los cuales se hizo una propuesta de diseño, se utilizó el programa AutoCAD 2016 con licencia estudiantil.

## **CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS**

---

Como ya se mencionó, la mayor cantidad de datos se obtuvo de las boletas de choques del COSEVI, por lo tanto, los gráficos aquí presentados se realizaron con base en esta información. Sin embargo, las variables alineamiento horizontal, cantón, provincia, número de carriles, señalización horizontal, presencia de bahías, tipo de carretera secundaria y tipo de zona se obtuvieron una vez ubicado cada uno de los choques, pues o no existía información al respecto o en la información original, en muchos casos, se presentaban inconsistencias o falta de datos. Con otras variables se dio la misma situación, pero no hubo manera de corregirlas y eso representa una limitación para este proyecto. La variable tipo de intersección se estudió tanto de los datos proporcionados por el COSEVI como de los obtenidos por observación. Y por último, los datos de la variable límite de velocidad se obtuvieron de la información de las Rutas Nacionales del Departamento de Planificación Sectorial del MOPT.

#### **4.1 Datos de los choques**

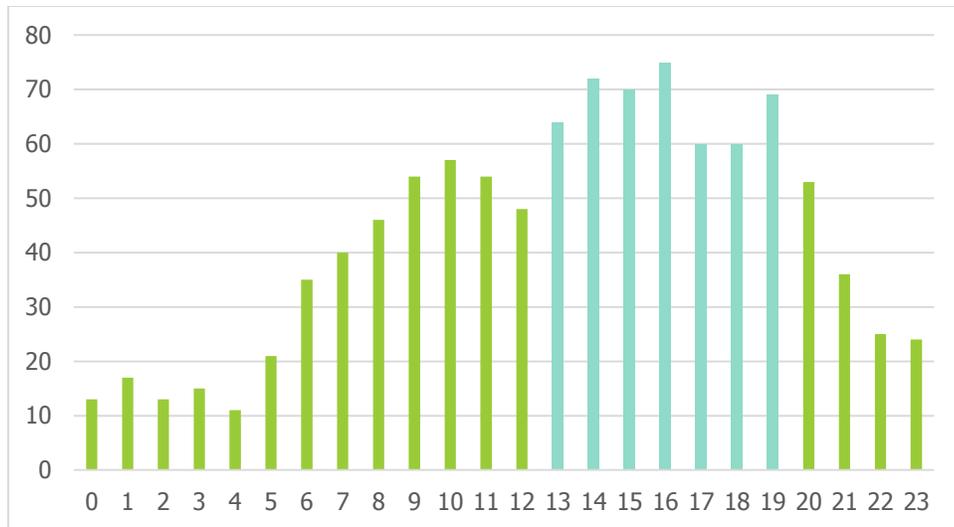
Este apartado busca presentar a manera de estadística descriptiva las condiciones de los 1 032 choques reportados en los 3 años de estudio en esta carretera, con el fin de buscar patrones, tal y como se explicó en la sección 3.3.2.1.

Es importante resaltar que la mayoría de los datos aquí mostrados están sujetos al criterio de los oficiales de tránsito que emitieron las boletas.

También, se relacionaron algunas variables entre sí, con el objetivo de comprender mejor los patrones.

##### ***4.1.1 Hora***

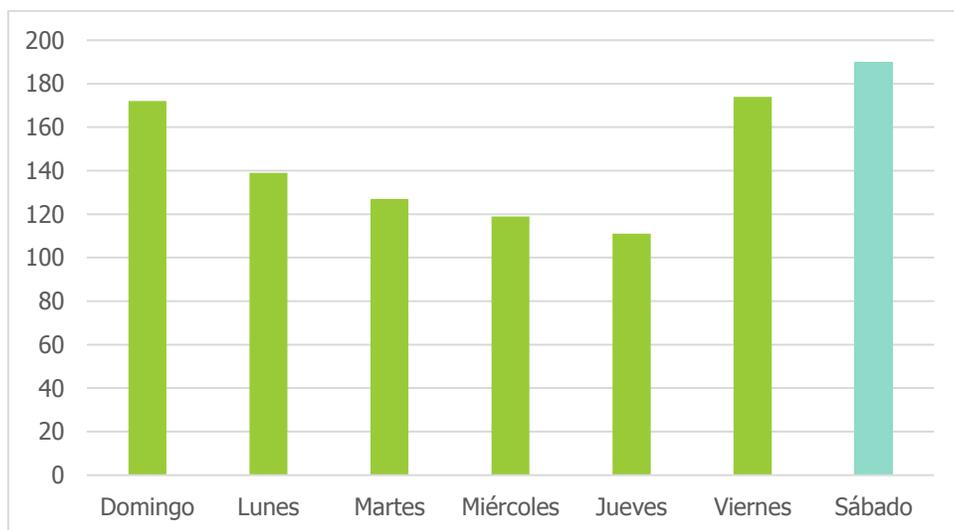
La cantidad de choques varía dependiendo de la hora, esto puede ser resultado de las horas pico, los usos que se le den a la carretera, el comportamiento de los conductores, entre otros. Se puede observar que la mayor cantidad de choques se reportaron entre la 1:00 p.m. y las 7:00 p.m. y la hora más crítica fue a las 4:00 p.m., mientras que la hora en que menos se presentaron accidentes fue a las 4:00 a.m.



**Figura 14. Cantidad de choques por hora**

#### **4.1.2 Día de la semana**

Normalmente, la cantidad de choques varía de acuerdo al día de la semana, pues hay días que por haber mayor exposición y mayores flujos vehiculares se dan más choques. Esto va a depender del tipo y características de la zona. Para este caso, el día con más ocurrencia de choques fue el sábado y el día con menos ocurrencia de choques fue el jueves.



**Figura 15. Cantidad de choques según el día de la semana**

### 4.1.3 Mes

El comportamiento de una red de transporte también varía a través de los meses. En esta materia, el mes con más choques fue diciembre mientras que octubre fue el mes con menos choques.

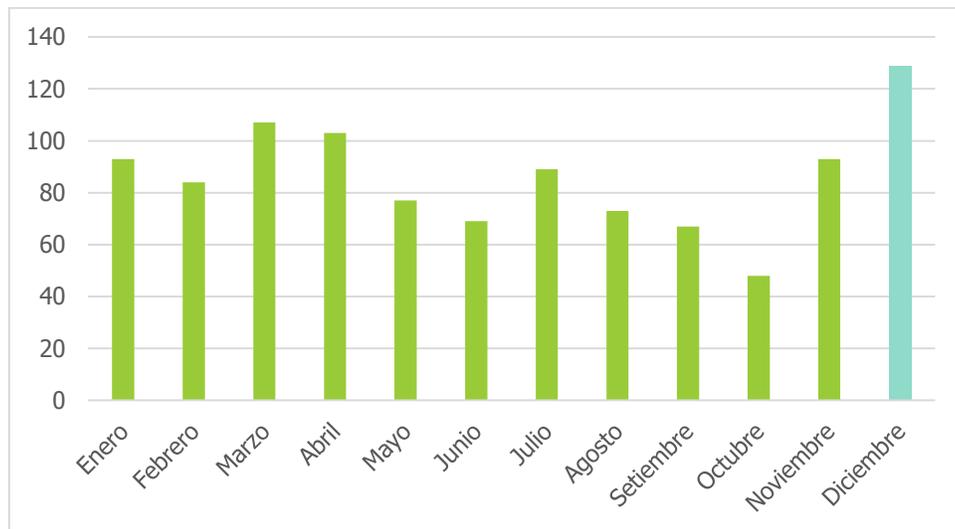
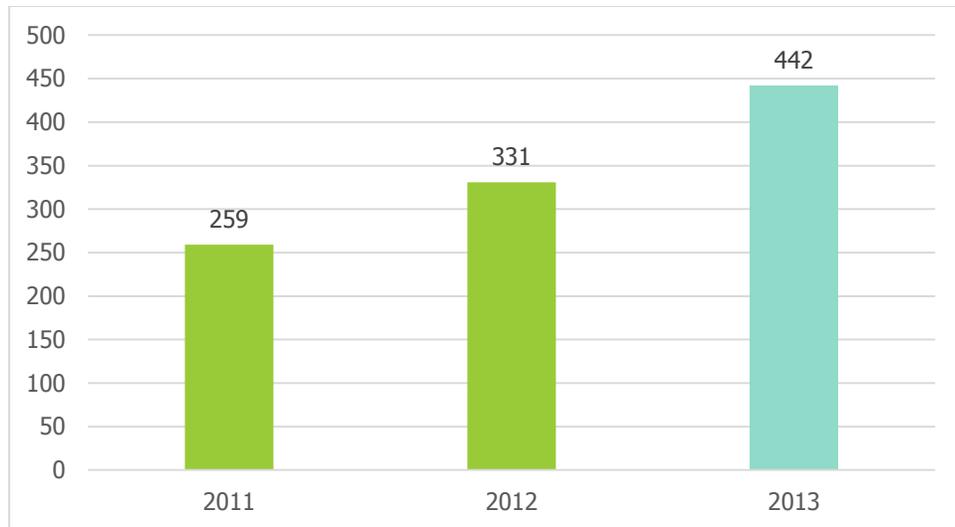


Figura 16. Cantidad de choques por mes

### 4.1.4 Año

Es importante analizar el crecimiento o decrecimiento de los choques a lo largo de los años, sin embargo, como el periodo de estudio es muy corto, no se puede asegurar que los resultados marquen una tendencia real, pues el incremento en choques se puede deber incluso a una mejor recolección de la información. De acuerdo con los datos disponibles, se nota un crecimiento desde el 2011 hasta el 2013, correspondiente a una diferencia de 183 choques.

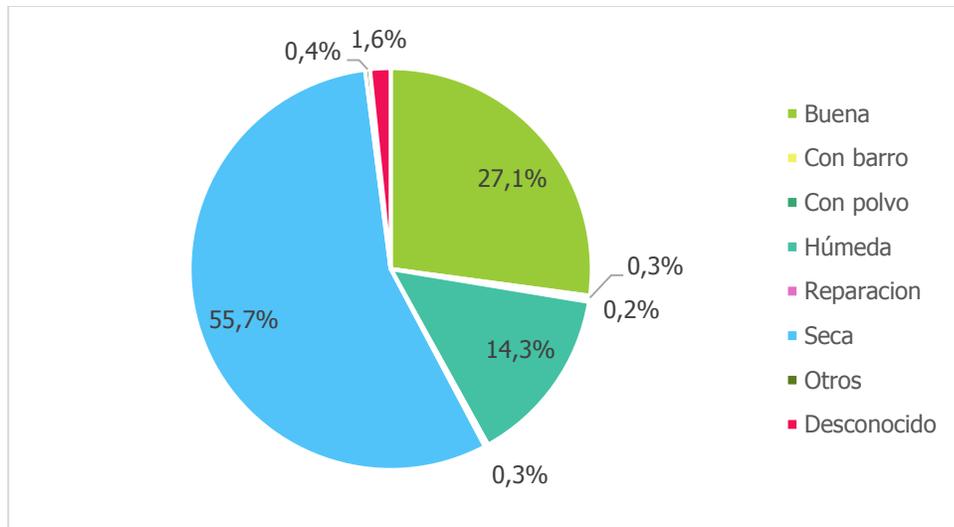


**Figura 17. Cantidad de choques según el año de ocurrencia**

#### ***4.1.5 Condición de la calzada***

La mayor cantidad de choques se dieron en carretera seca y buena, donde buena se refiere a un tipo de estado de la calzada; estas inconsistencias se pueden deber a desconocimiento de los oficiales de tránsito a la hora de llenar las boletas. Sin embargo, esto no representa un gran problema en este caso si se considera que el tipo buena se refiere a una carretera en condición seca.

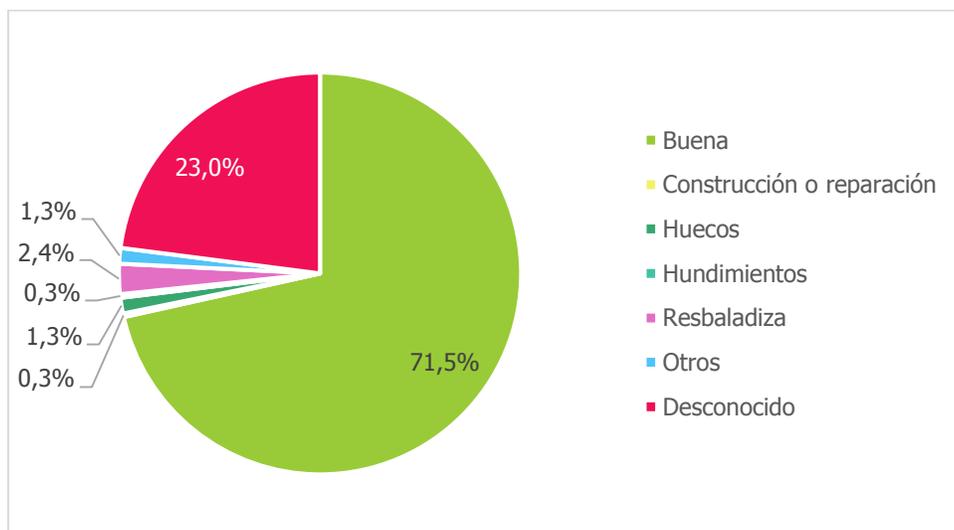
El tercer tipo de condición que presenta más ocurrencia de choques es húmeda, lo cual es esperable debido a la gran cantidad de lluvias que se presentan, principalmente en algunas zonas de la carretera.



**Figura 18. Porcentaje de choques según condición de la calzada**

#### **4.1.6 Estado de la calzada**

En la mayoría de los casos, los choques se reportaron en calzada en buen estado y en pocos casos con huecos o resbaladiza.



**Figura 19. Porcentaje de choques según estado de la calzada**

#### 4.1.7 Estado del tiempo

Con respecto al estado del tiempo, un poco más de la mitad de los choques se dieron en buen tiempo y la otra mitad se dieron en estados despejado, oscuro, lluvia escasa, lluvia mediana y lluvia intensa en ese orden. Para esta carretera se puede observar que los choques con neblina son casi nulos.

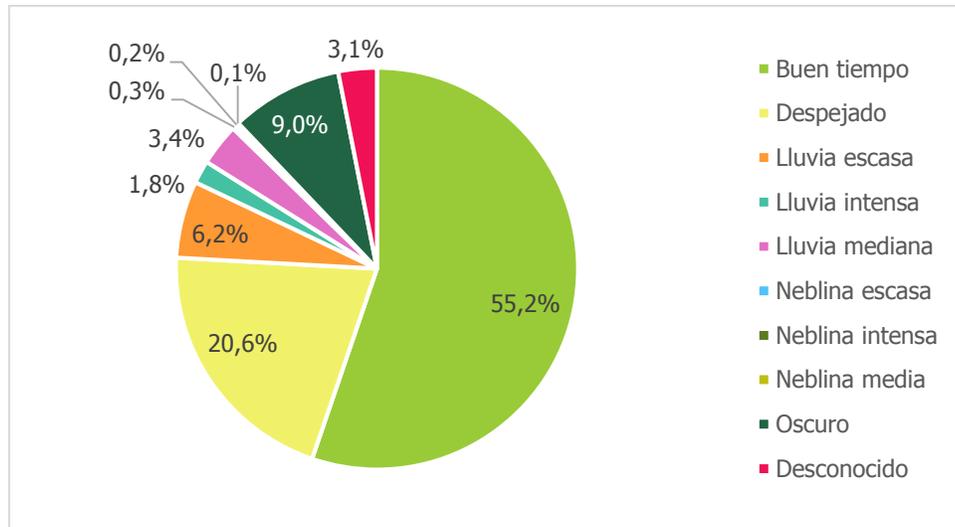


Figura 20. Porcentaje de choques según el estado del tiempo

#### 4.1.8 Tipo de choque

El 64% de los choques fueron colisiones entre vehículos, seguidos por salió de la vía, vuelco, atropello a persona, colisión con bicicleta y colisión con objeto fijo con rangos entre 10% y 4%.

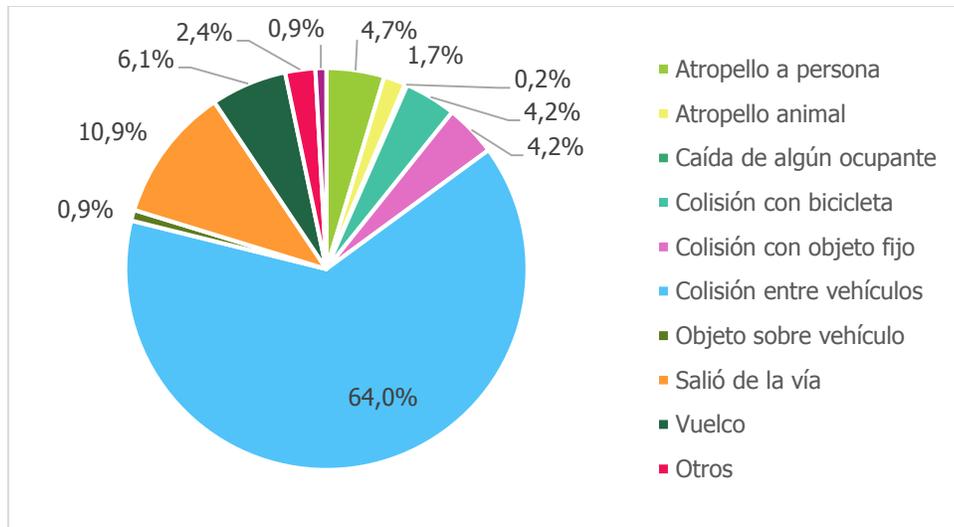


Figura 21. Porcentaje de choques según tipo de choque

#### 4.1.9 Tipo de calzada

En la mayoría de los casos los choques se dieron en calzada de asfalto, sin embargo, existen algunos casos en que los choques se dieron en calzada de lastre y de concreto (en el caso de los puentes) y muy pocos en adoquín y tierra.

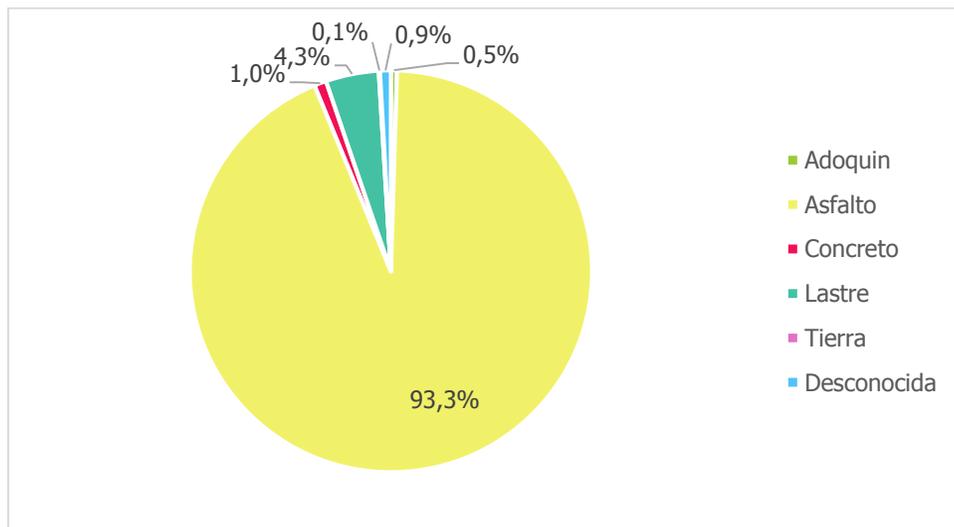


Figura 22. Porcentaje de choques según tipo de calzada

#### 4.1.10 Tipo de circulación

Los tipos de circulación que registraron más choques fueron por detrás, de costado, de frente y ángulo recto, sin embargo no se marca una tendencia clara en la ocurrencia de choques según tipo de circulación en términos generales, se debe entonces revisar cada sitio en particular para ver si se pueden encontrar tendencias.

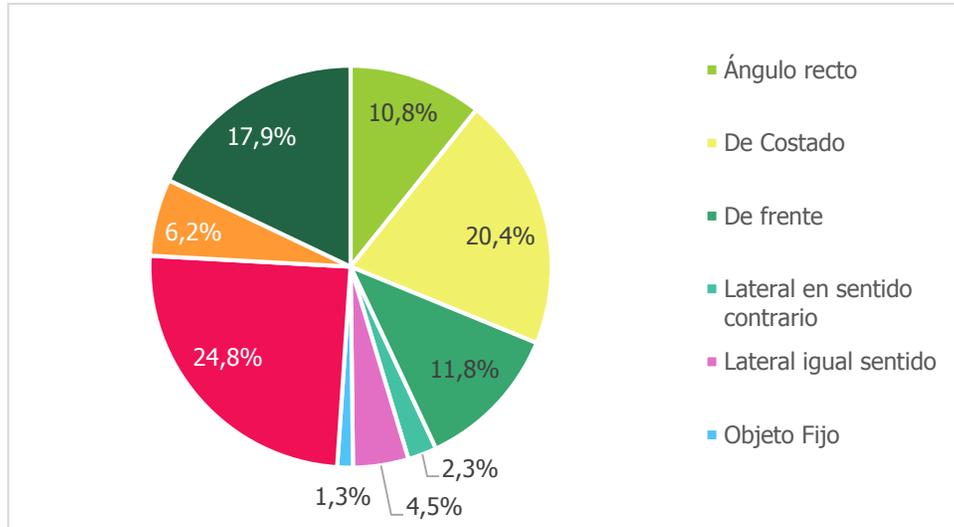
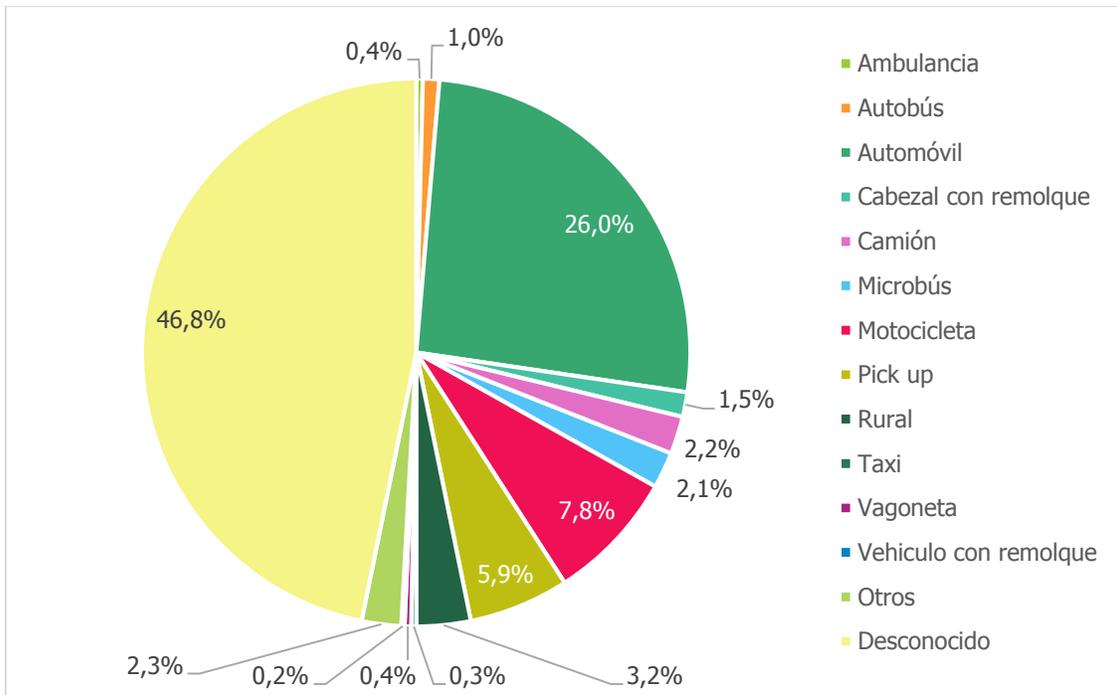


Figura 23. Porcentaje de choques según el tipo de circulación

#### 4.1.11 Vehículo relacionado

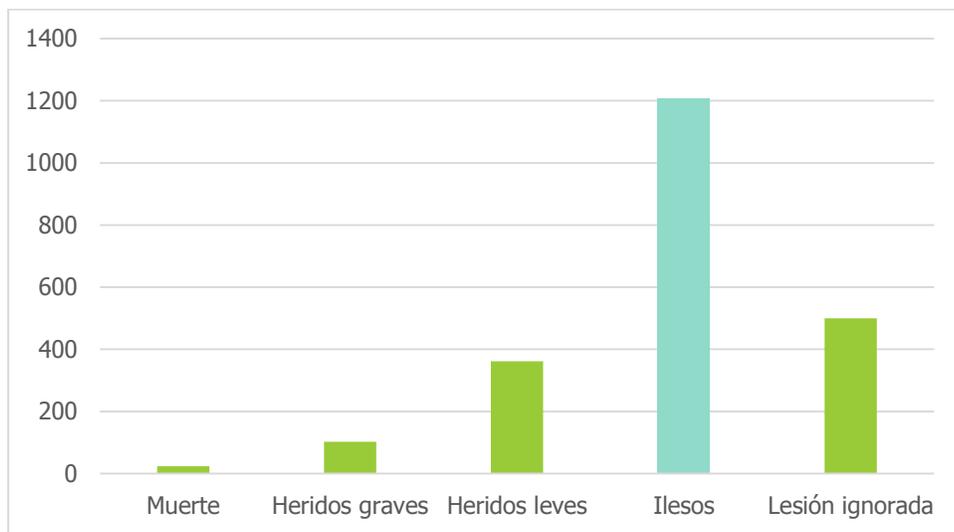
El 46,8% de las boletas no contaban con información con respecto al vehículo relacionado al accidente. De las boletas que sí contaban con información, el automóvil fue el tipo de vehículo que reportó más choques, seguido de la motocicleta, el *pick up* y el vehículo tipo rural.



**Figura 24. Porcentaje de choques según el vehículo relacionado**

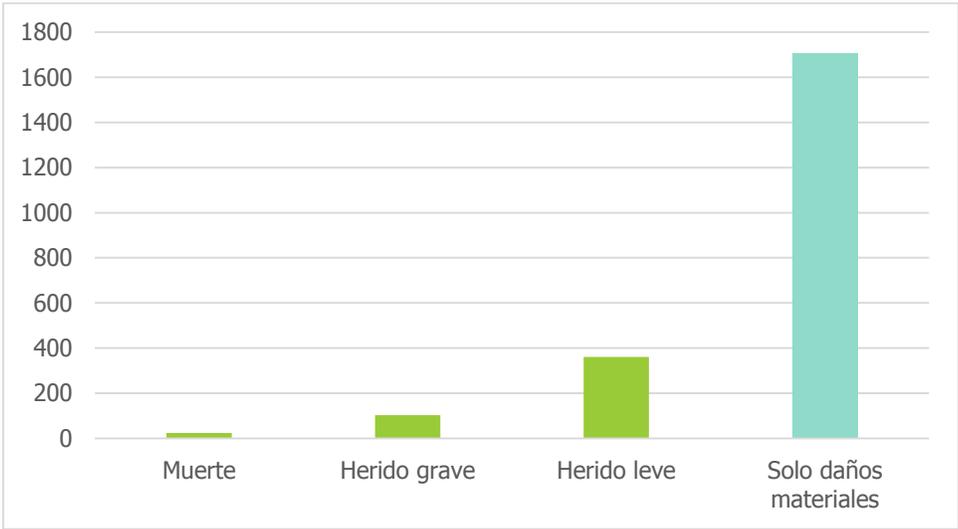
#### **4.1.12 Severidad del choque**

De la información recopilada de los partes se obtuvieron los siguientes resultados: muerte 1,0%, heridos graves 4,6%, heridos leves 16,1%, ilesos 55,1% y lesión ignorada 22,8%.

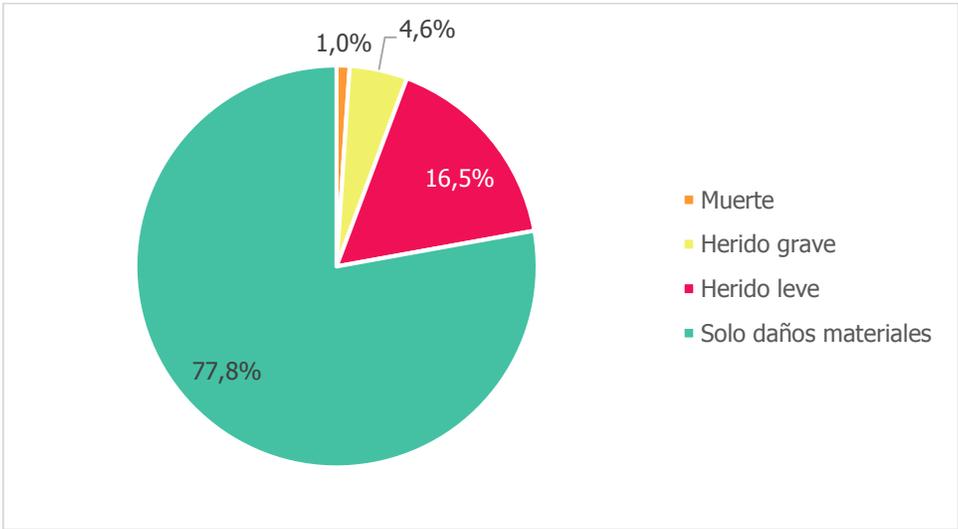


**Figura 25. Cantidad de choques según severidad**

Sin embargo, para el estudio realizado en este proyecto, los choques se agruparon en cuatro grupos: muerte, herido grave, herido leve y solo daños materiales. En la categoría solo daños materiales, se incluyeron tanto los choques con ilesos como los choques con lesión ignorada, debido a que es lo mínimo que pudo haber sucedido en estos accidentes sin información.



**Figura 26. Cantidad de choques según la severidad aplicada en el estudio**



**Figura 27. Porcentaje de choques según la severidad aplicada en el estudio**

#### 4.1.13 Rol de la persona involucrada

En todos los casos de choques viales tiene que haber al menos un conductor involucrado, por lo cual era de esperar que en los choques reportados el rol predominante fuera el de conductor, tal y como se puede observar. Los roles de pasajero de automóvil, motociclista y peatón son los siguientes más reportados.

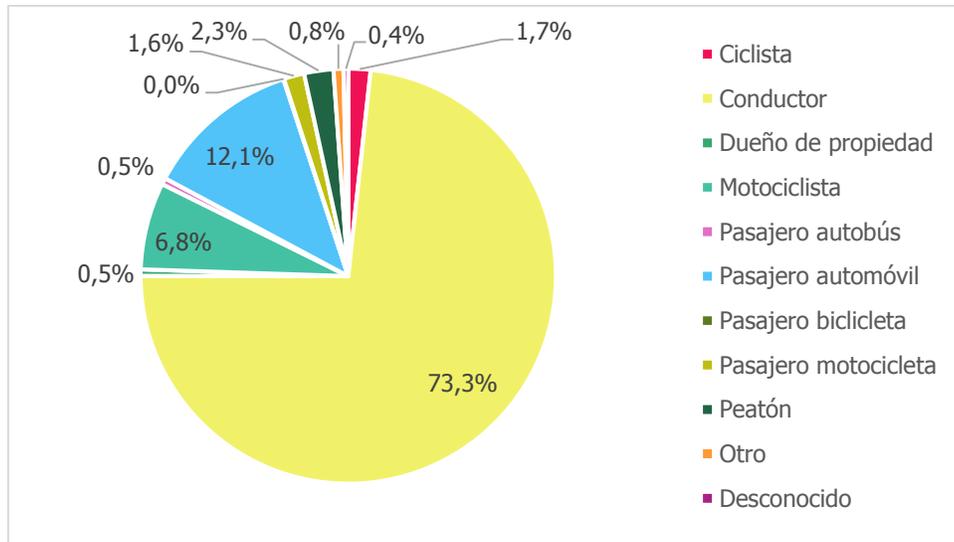
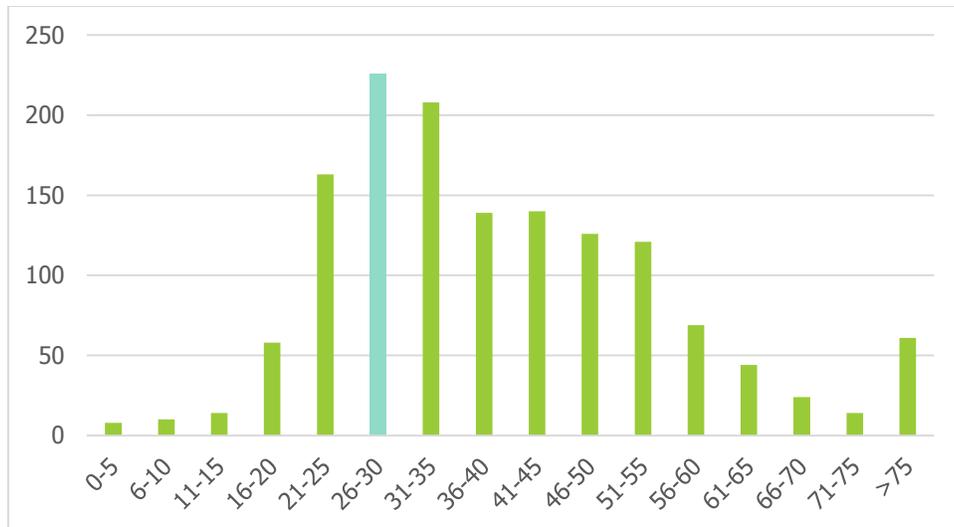


Figura 28. Porcentaje de choques según el rol de la persona involucrada

#### 4.1.14 Edad

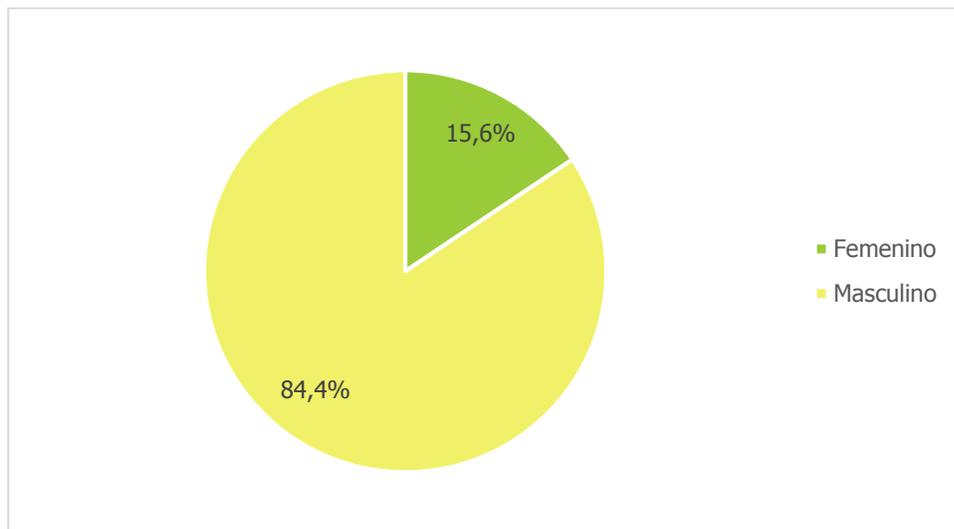
Para el análisis de choques por edad, se clasificaron las edades en rangos de cinco años. De las 2 194 boletas, 769 no contaban con información respecto a la edad. A continuación se muestra la distribución por rangos de edad para las boletas con información. Se puede observar, que la mayor cantidad de choques involucran personas con edades entre 26 y 35 años.



**Figura 29. Cantidad de choques según el rango de edad**

#### **4.1.15 Sexo**

La mayor cantidad de personas involucradas en los choques viales reportados fueron hombres con 1 443 choques, mientras que los choques con mujeres involucradas fueron 267. En este caso, no se cuenta con información sobre el sexo en 484 boletas.



**Figura 30. Porcentaje de choques según el sexo de la persona involucrada**

#### **4.1.16 Características de los conductores**

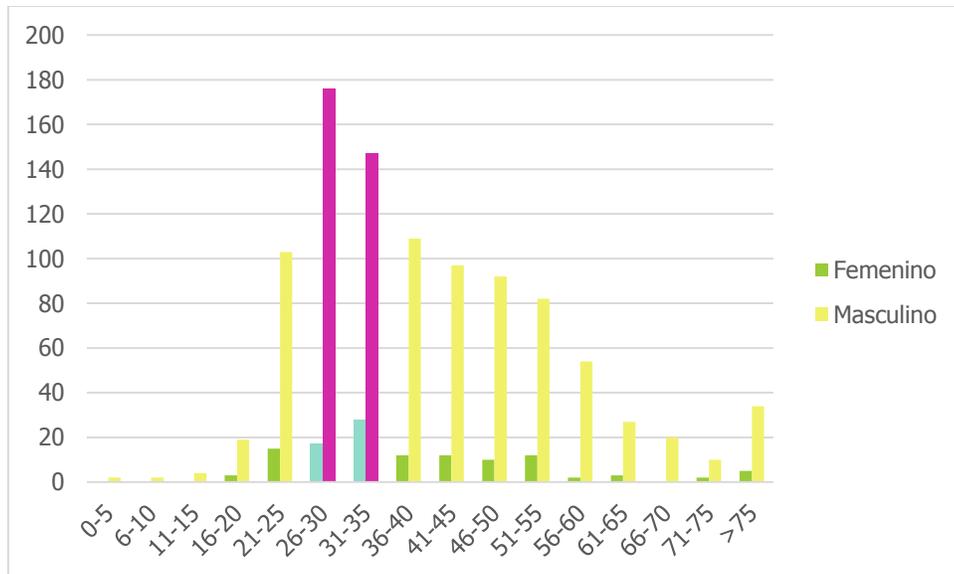
Si bien, el rol de la persona involucrada, la edad y el sexo, dan una idea para la caracterización de los choques, la combinación de estas variables brinda información aún más útil.

Analizando el rol de conductor con respecto a la edad y el sexo y eliminando los choques sin información, se obtuvieron los siguientes resultados.

**Cuadro 4. Cantidad de choques para conductores por rango de edad y sexo**

<b>Rango de edad (años)/Sexo</b>	<b>Femenino</b>	<b>Masculino</b>
0-5	0	2
6-10	0	2
11-15	0	4
16-20	3	19
21-25	15	103
26-30	17	176
31-35	28	147
36-40	12	109
41-45	12	97
46-50	10	92
51-55	12	82
56-60	2	54
61-65	3	27
66-70	0	20
71-75	2	10
>75	5	34

Este es otro caso en el cual se evidencian errores o inconsistencias en la información contenida en las boletas, pues se registran, por ejemplo, conductores con edades entre cero y cinco años.



**Figura 31. Cantidad de choques para conductores por rango de edad y sexo**

Se puede observar cómo para las mujeres la cantidad de choques en relación con la edad se mantiene casi constante, o al menos no con una tendencia tan marcada como en el caso de los hombres, donde hay un pico entre los 26 y 30 años y que disminuye hasta los 75 años donde empieza nuevamente a crecer. Además se evidencia que en la mayoría de choques los conductores involucrados son hombres. Los resultados obtenidos concuerdan con lo expuesto en la sección de antecedentes.

Por último, se muestran los resultados obtenidos para el vehículo relacionado con los conductores.

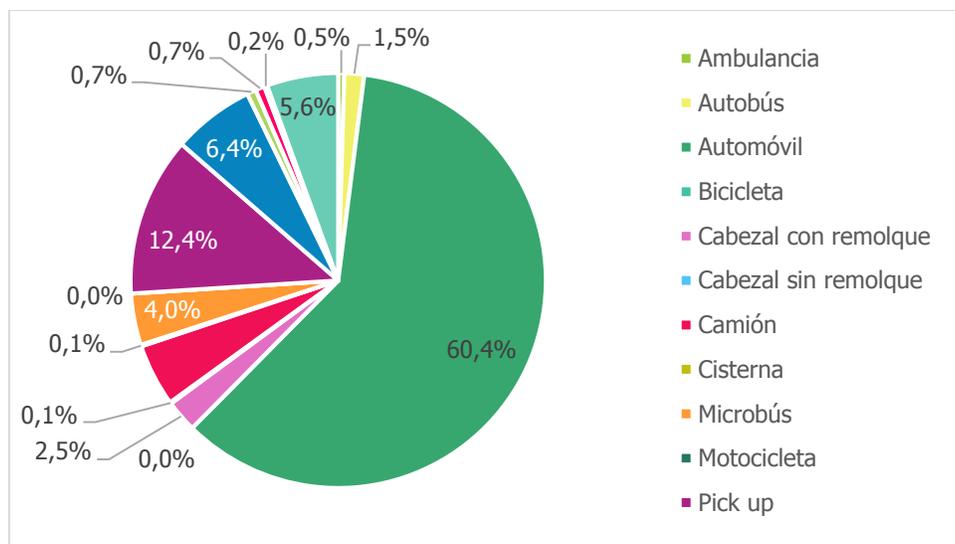


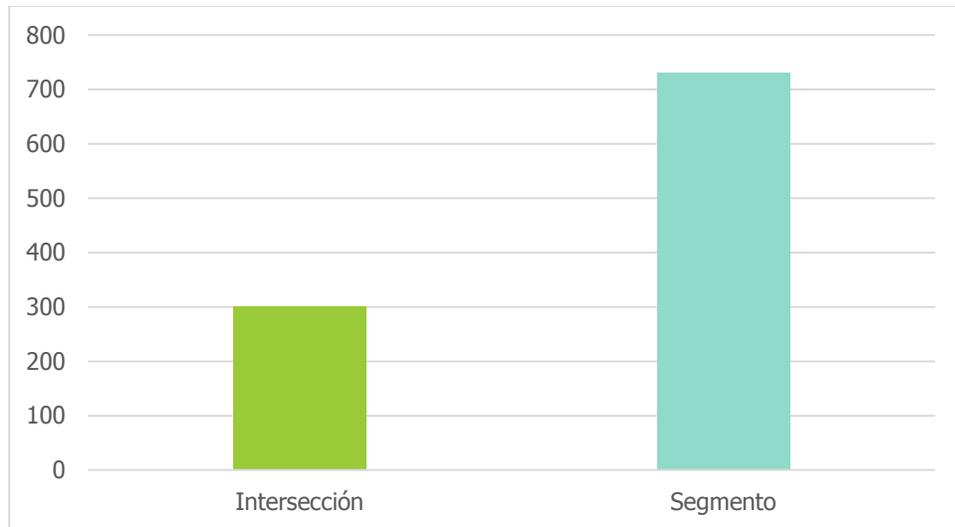
Figura 32. Porcentaje de choques para conductores según el tipo de vehículo

#### 4.2 Datos de los sitios

Como se mencionó anteriormente, todos los choques se clasificaron en choques de segmento y choques de intersección y para cada uno se realizó un modelo para su estudio. El 70,8% de los sitios en los que se dieron choques fueron segmentos y el 29,2% intersecciones. A continuación se muestra gráficamente la presencia de segmentos e intersecciones en la Ruta Nacional 34.

Cuadro 5. Cantidad de choques según tipo de sitio

Tipo de sitio	Cantidad de choques
Intersección	301
Segmento	731



**Figura 33. Cantidad de choques según tipo de sitio**

Seguidamente, se muestran los histogramas de ocurrencia de choques, tanto para los segmentos como para las intersecciones. Se consideró como variable dependiente la cantidad de choques y como variable independiente la frecuencia de choques en cada uno de los sitios que tuvieran determinada cantidad de choques. Cada uno de estos histogramas se realizó para las diferentes severidades de choque y para el caso de choques equivalentes a solo daños materiales.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para segmentos.

Choques con solo daños materiales:

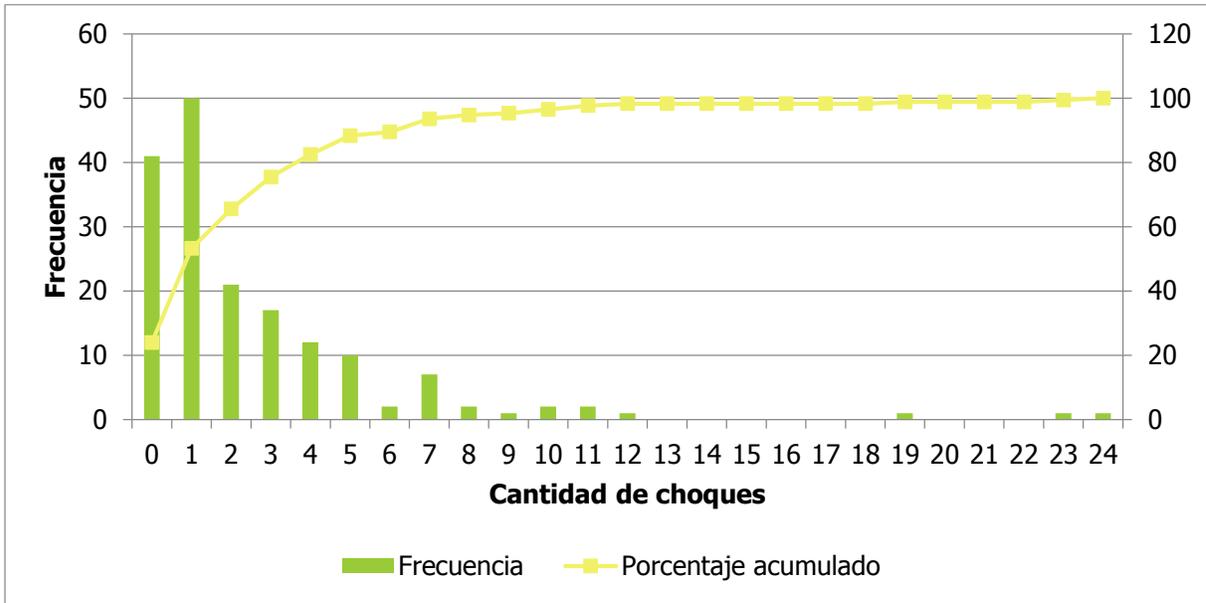


Figura 34. Frecuencia de la cantidad de choques con solo daños materiales en segmentos

Choques con heridos leves:

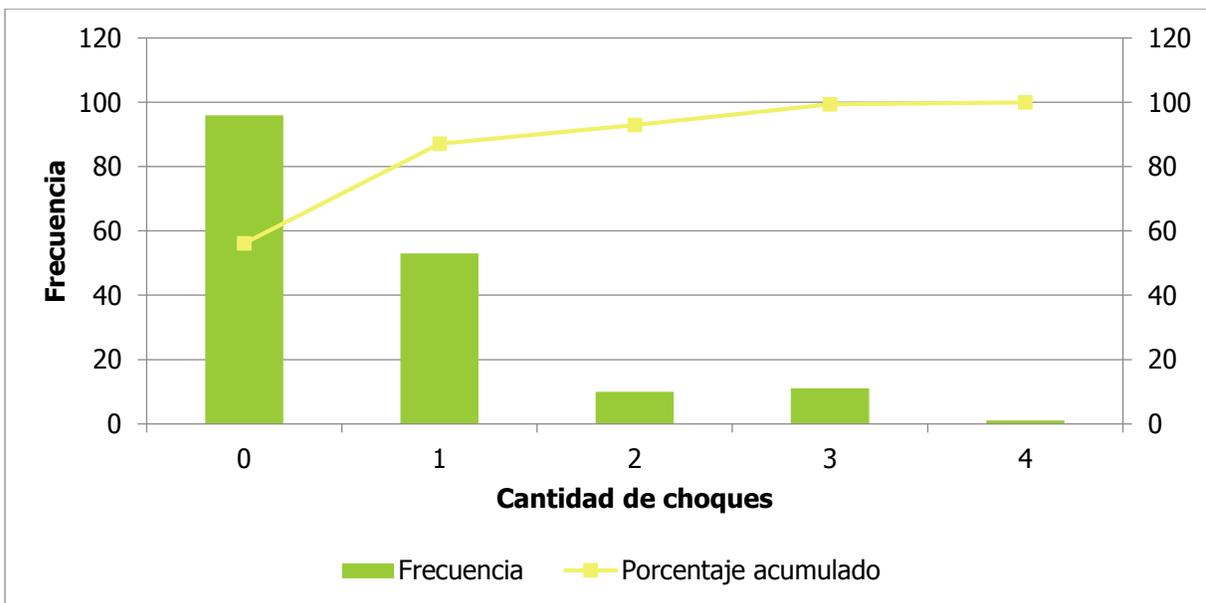


Figura 35. Frecuencia de la cantidad de choques con heridos leves en segmentos

Choques con heridos graves:

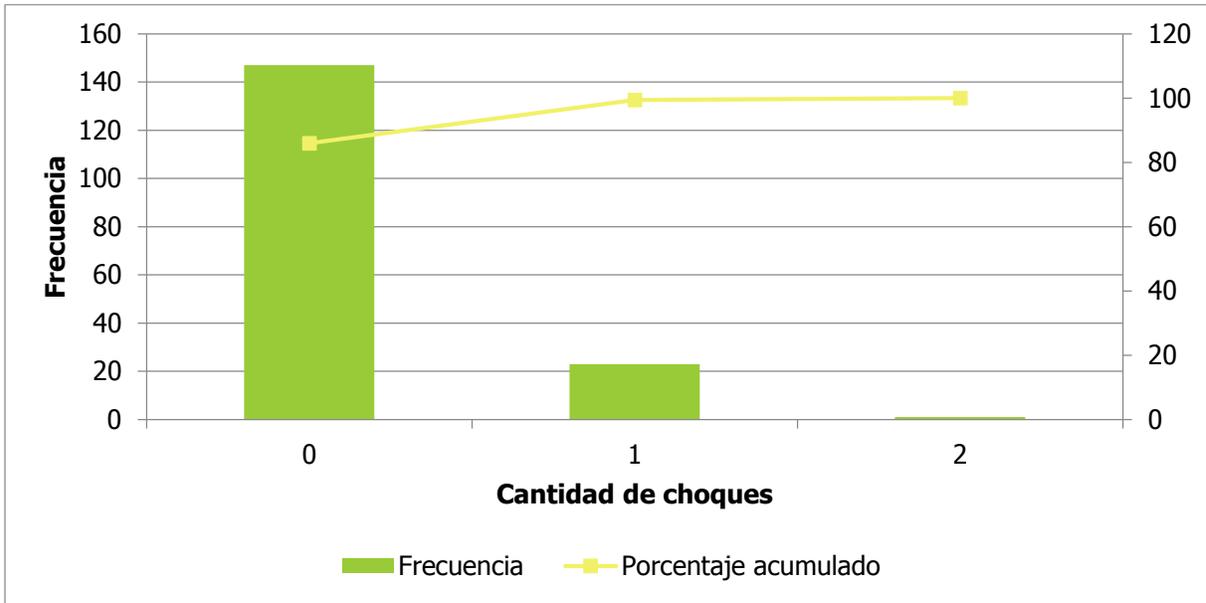


Figura 36. Frecuencia de la cantidad de choques con heridos graves en segmentos

Choques con muertes:

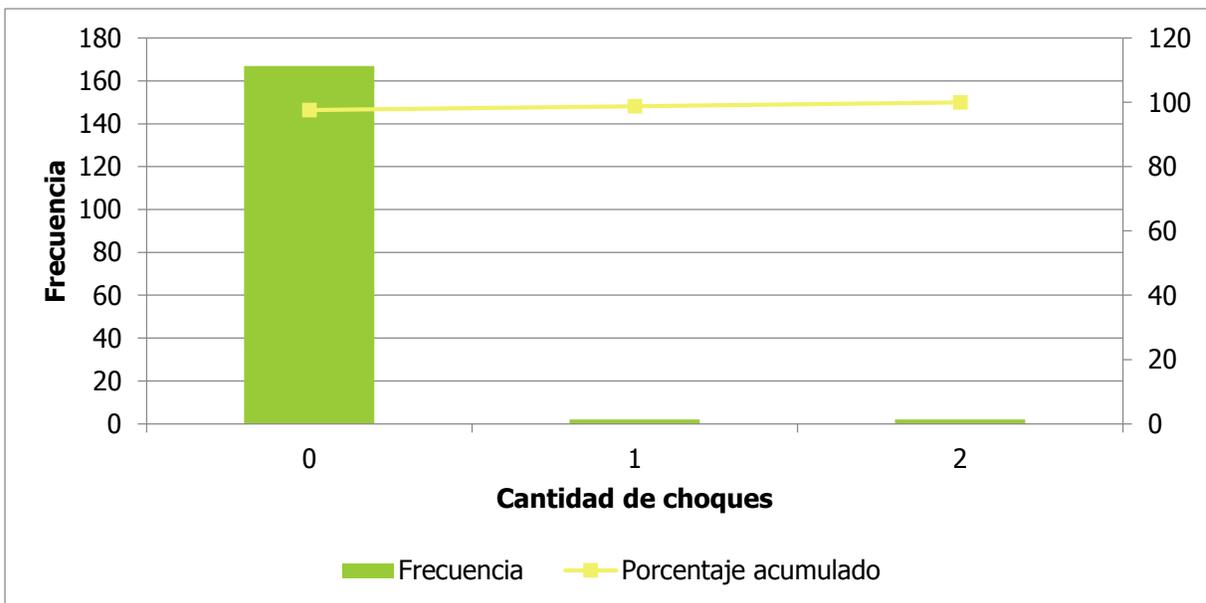


Figura 37. Frecuencia de la cantidad de choques con muertes en segmentos

Choques totales:

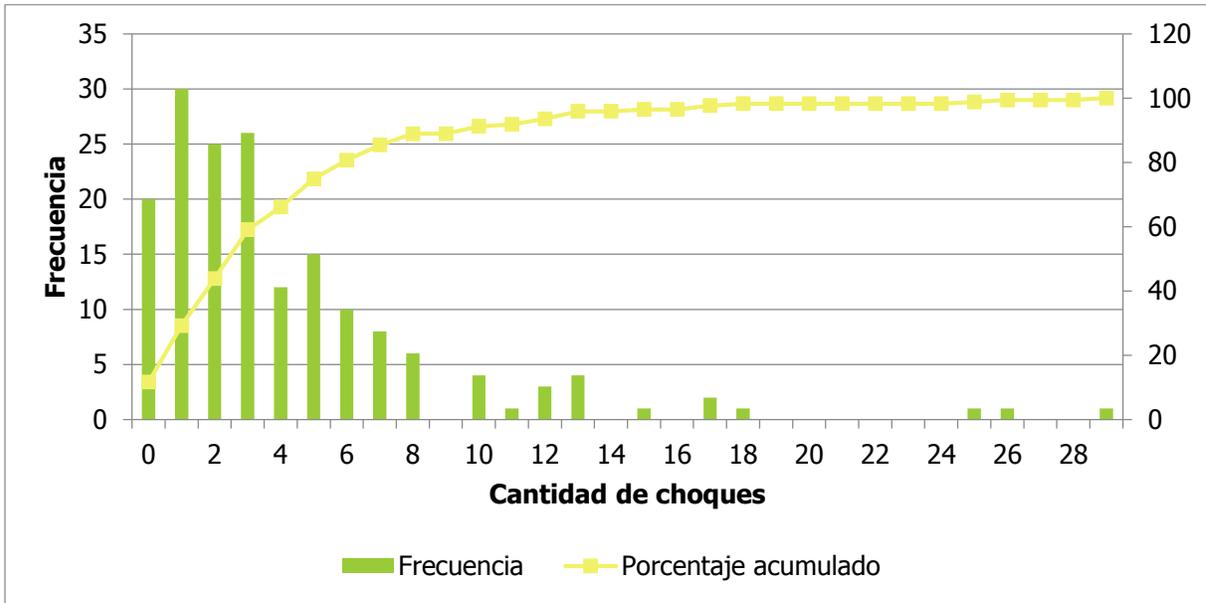


Figura 38. Frecuencia de la cantidad de choques para choques totales en segmentos

Y convirtiendo cada categoría de choques a choques equivalentes de solo daños materiales, se obtienen finalmente las siguientes frecuencias:

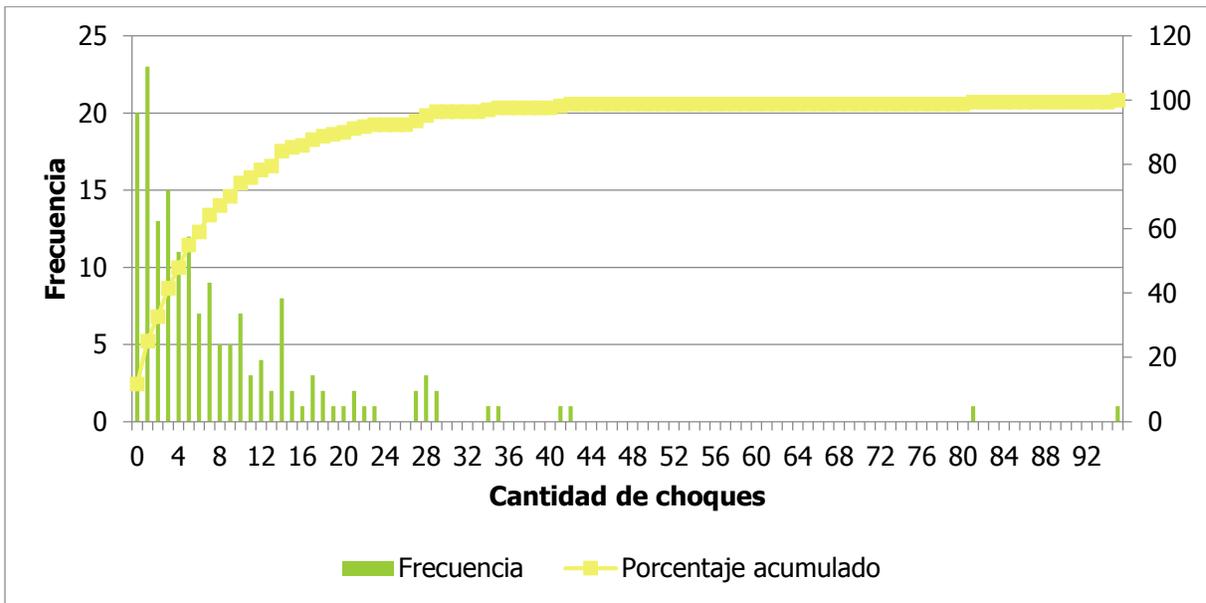
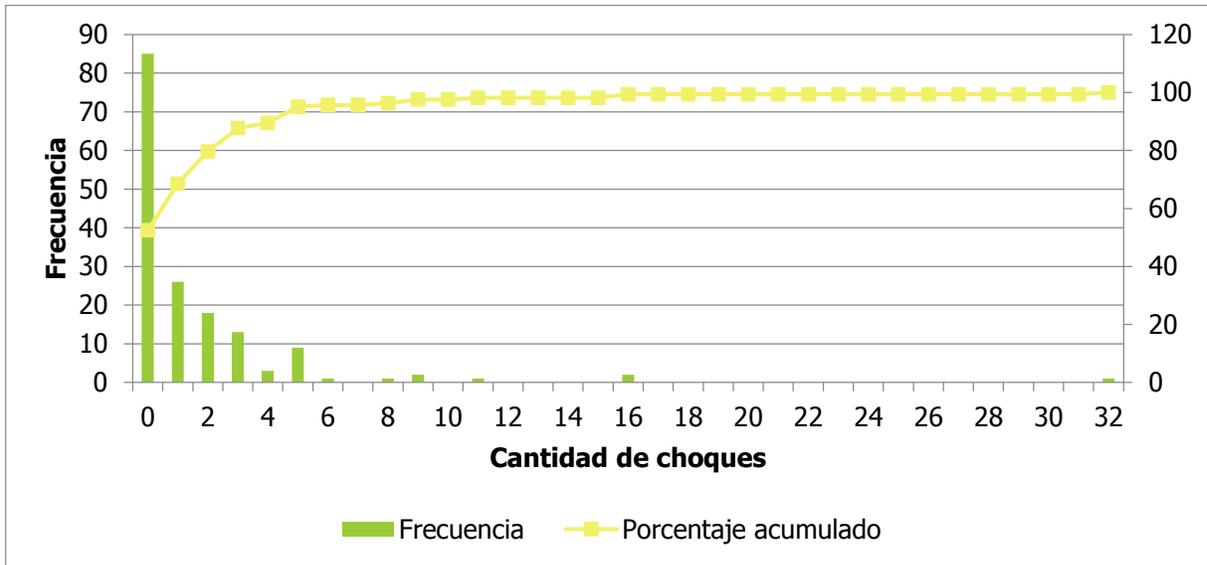


Figura 39. Frecuencia de la cantidad de choques para choques equivalentes a solo daños materiales en segmentos

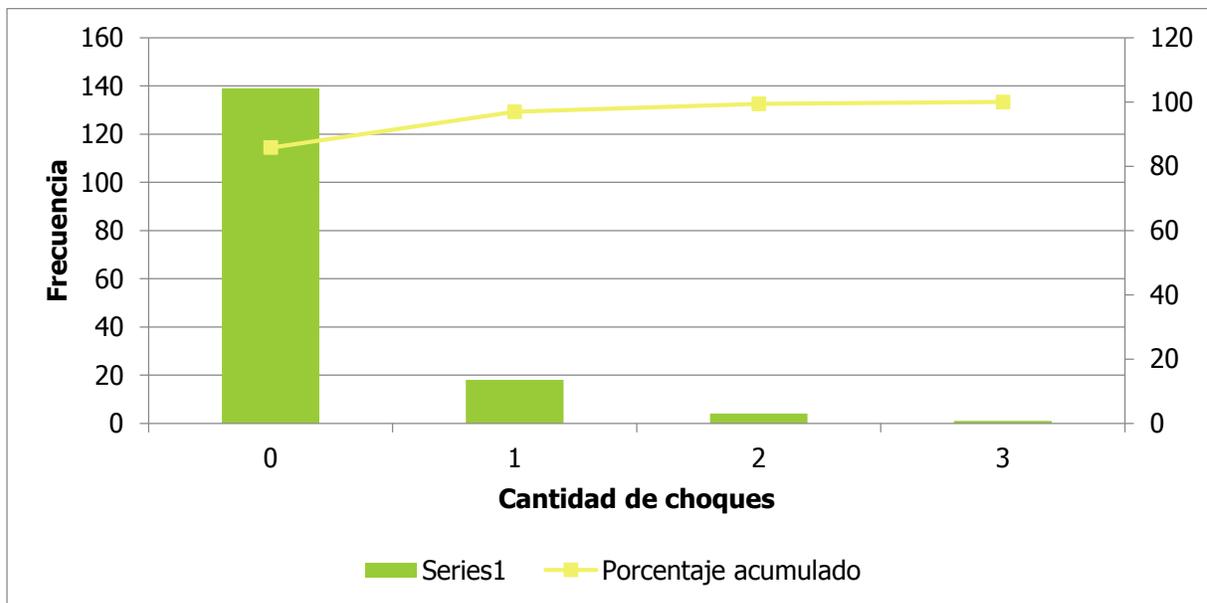
Y para el caso de intersecciones se obtuvieron los siguientes resultados.

Choques con solo daños materiales:



**Figura 40. Frecuencia de la cantidad de choques con solo daños materiales en intersecciones**

Choques con heridos leves



**Figura 41. Frecuencia de la cantidad de choques con heridos leves en intersecciones**

Choques con heridos graves:

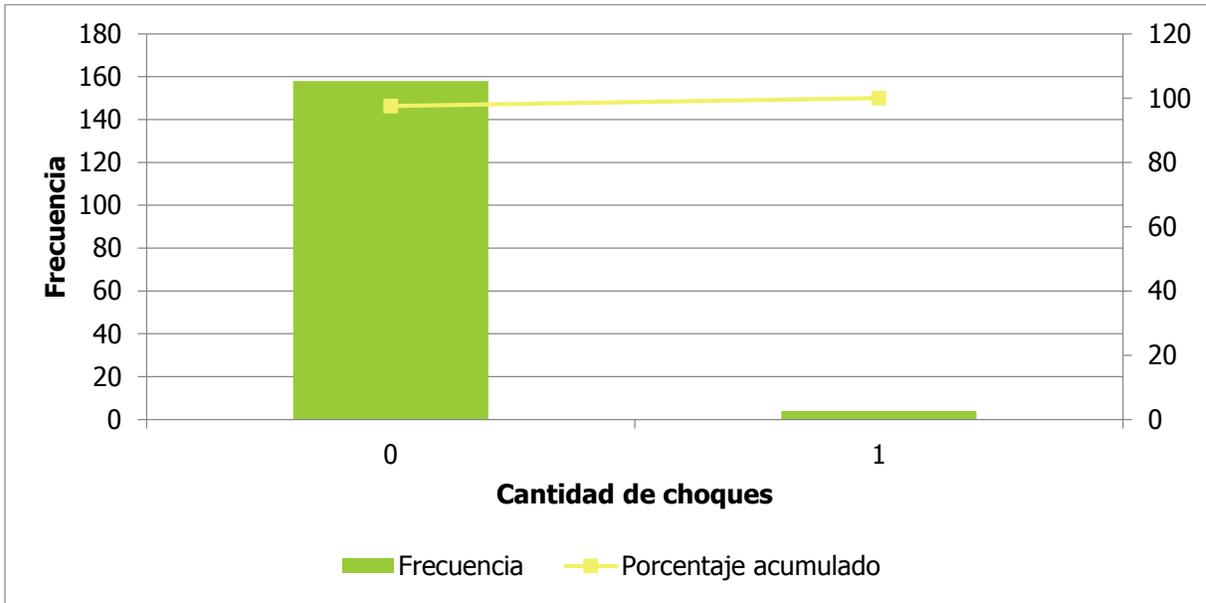


Figura 42. Frecuencia de la cantidad de choques con heridos graves en intersecciones

Choques con muertes:

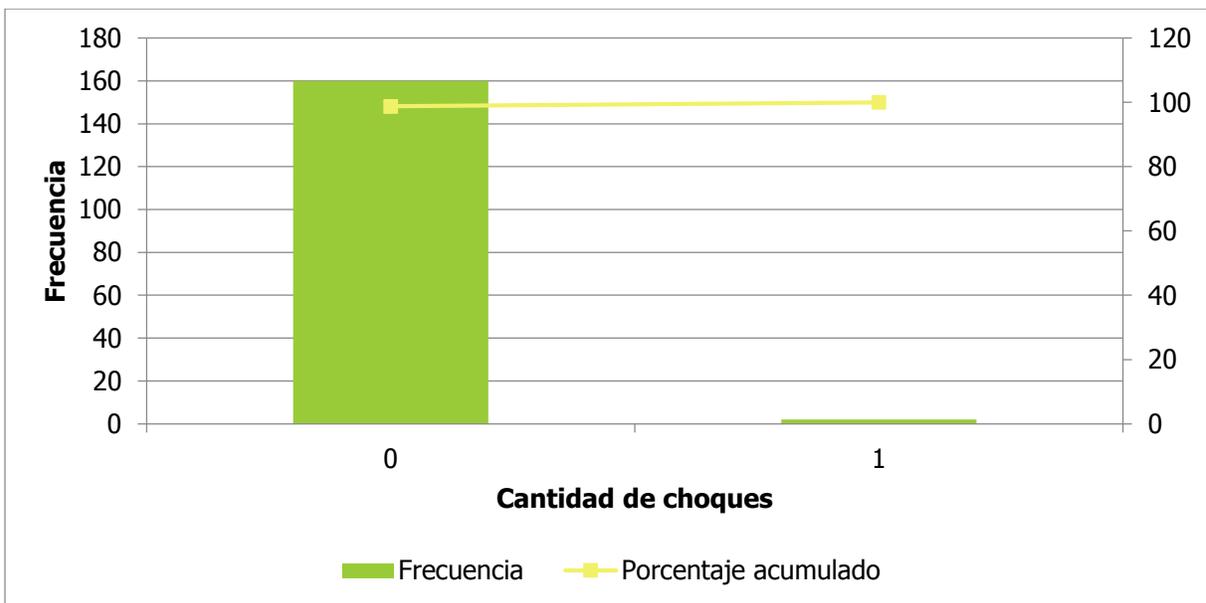


Figura 43. Frecuencia de la cantidad de choques con muertes en intersecciones

Choques totales:

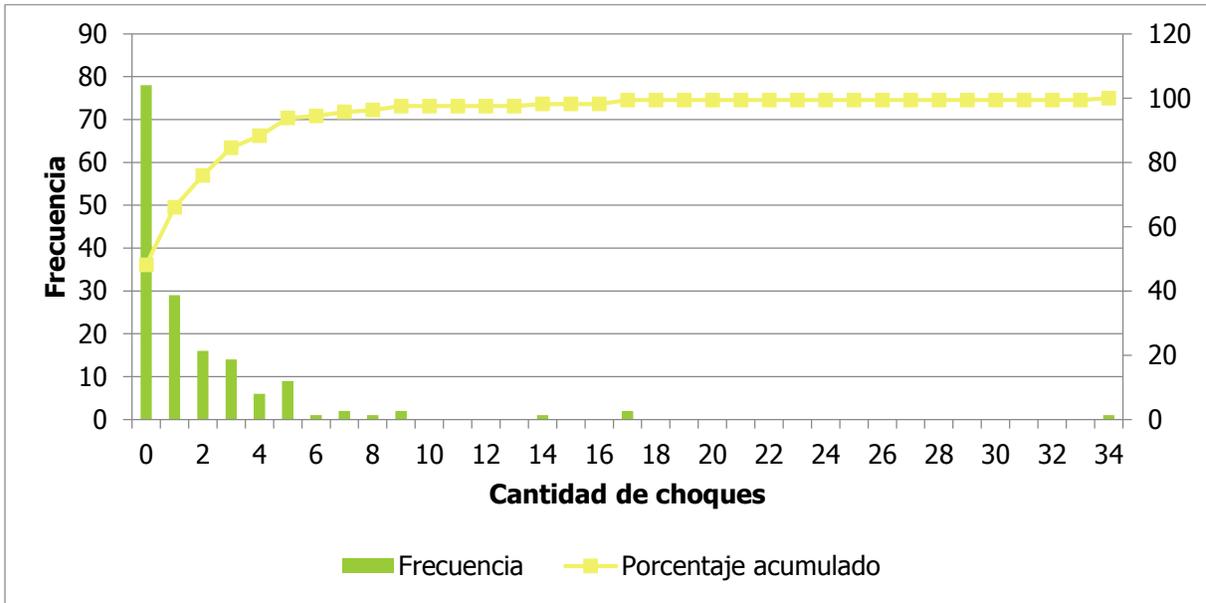


Figura 44. Frecuencia de la cantidad de choques para choques totales en intersecciones

Choques equivalentes a solo daños materiales:

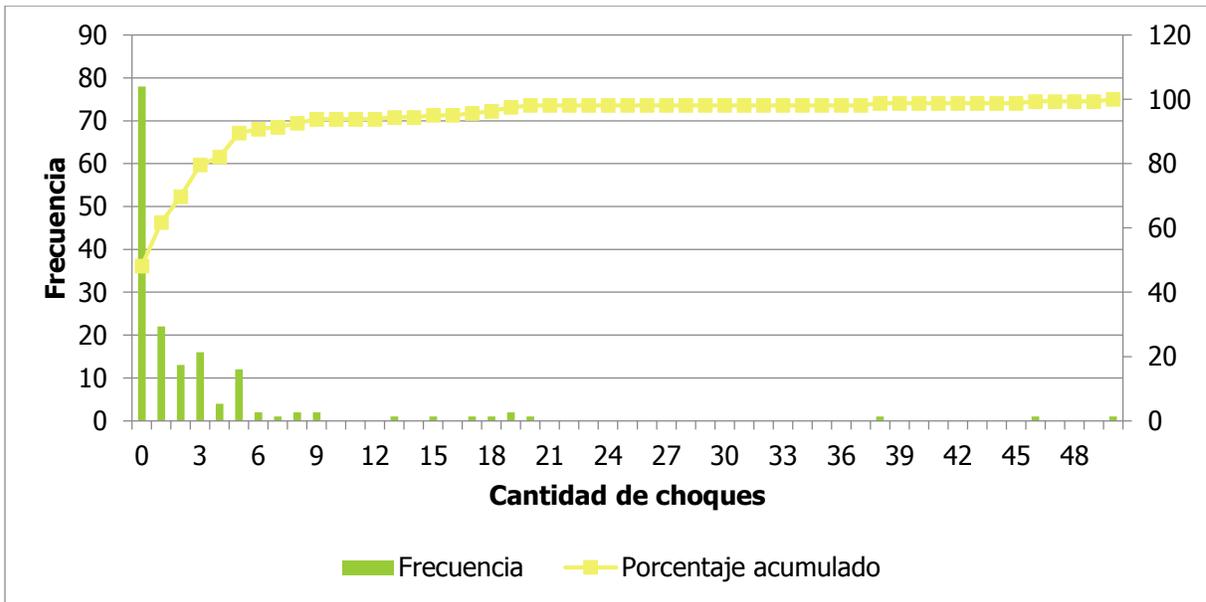


Figura 45. Frecuencia de la cantidad de choques para choques equivalentes a solo daños materiales en intersecciones

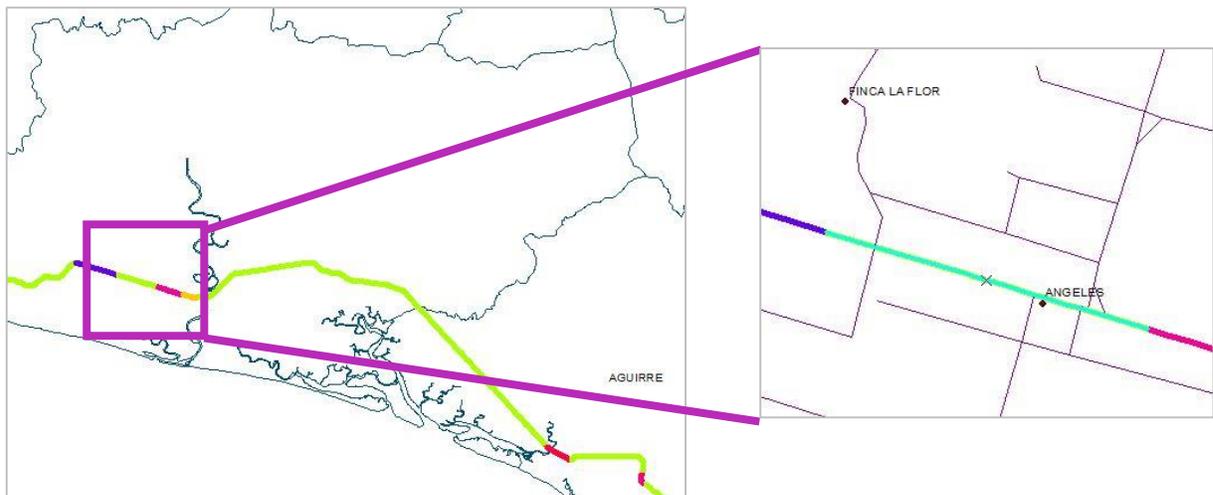
Como era esperable, todos los histogramas están sesgados a la izquierda, lo que quiere decir que la mayoría de sitios poseen pocos choques y que pocos sitios son los que presentan aumento de choques.

#### **4.2.1 Alineamiento horizontal**

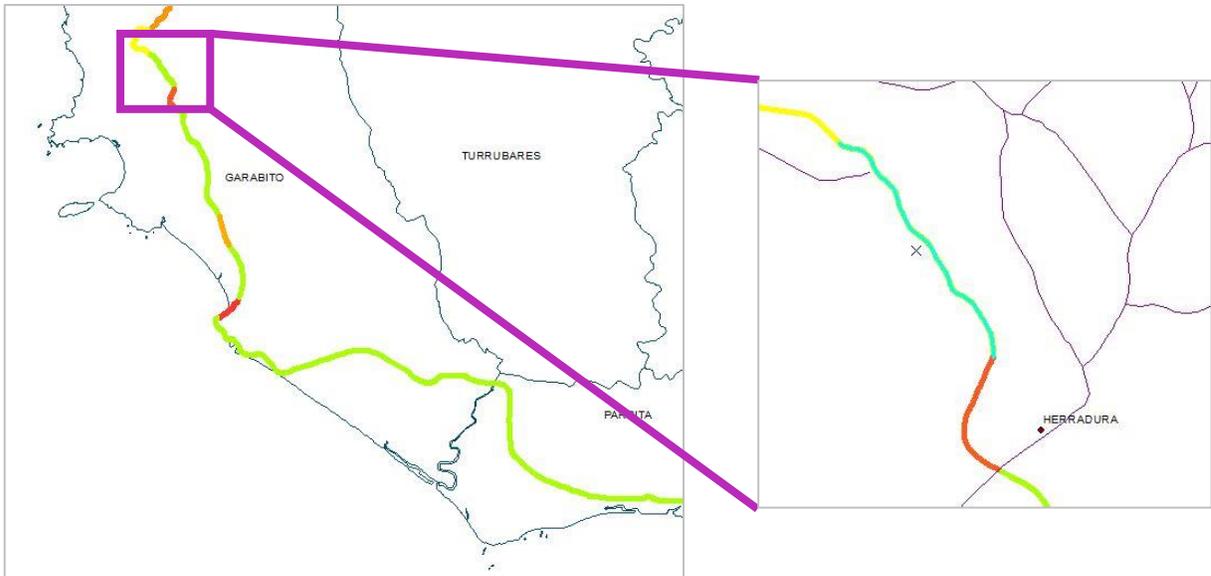
Una de las características más sobresalientes de la Ruta Nacional 34 es que posee rectas de gran extensión, aunque también posee en mucha menor medida algunas curvas importantes.

En teoría, los partes cuentan con información tanto de alineamiento horizontal como vertical, sin embargo, pocos reportes cuentan con estos datos y los que sí los tienen son muy inconsistentes, por lo que solamente se van a incluir en esta sección los datos de alineamiento horizontal obtenidos por observación.

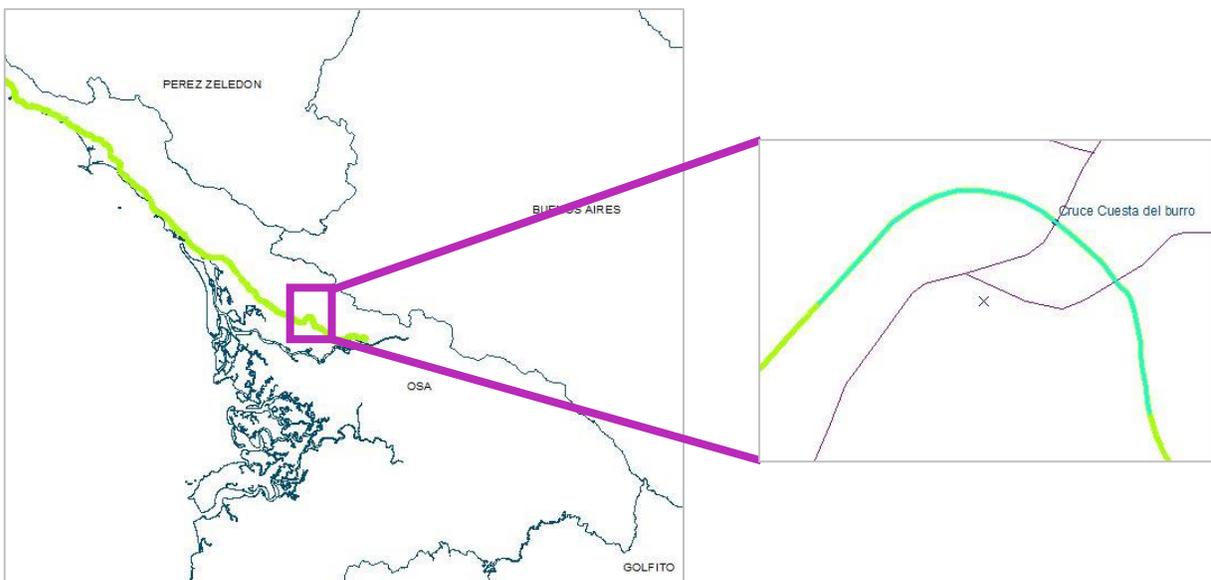
De acuerdo con este criterio, se clasificó la ruta según el alineamiento horizontal en: recto, ondulado y muy ondulado. Seguidamente, se muestra en color celeste, un ejemplo de cada uno.



**Figura 46. Ejemplo de segmento recto**

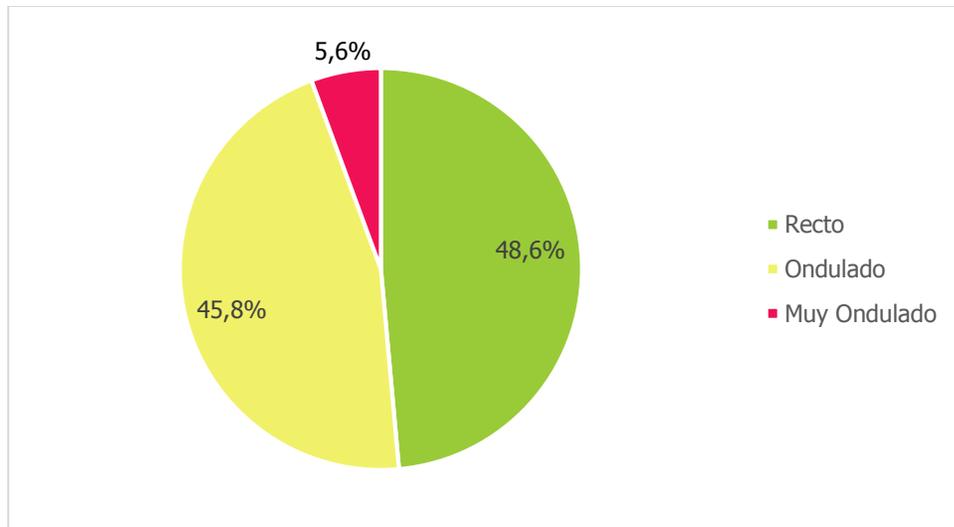


**Figura 47. Ejemplo de segmento ondulado**



**Figura 48. Ejemplo de segmento muy ondulado**

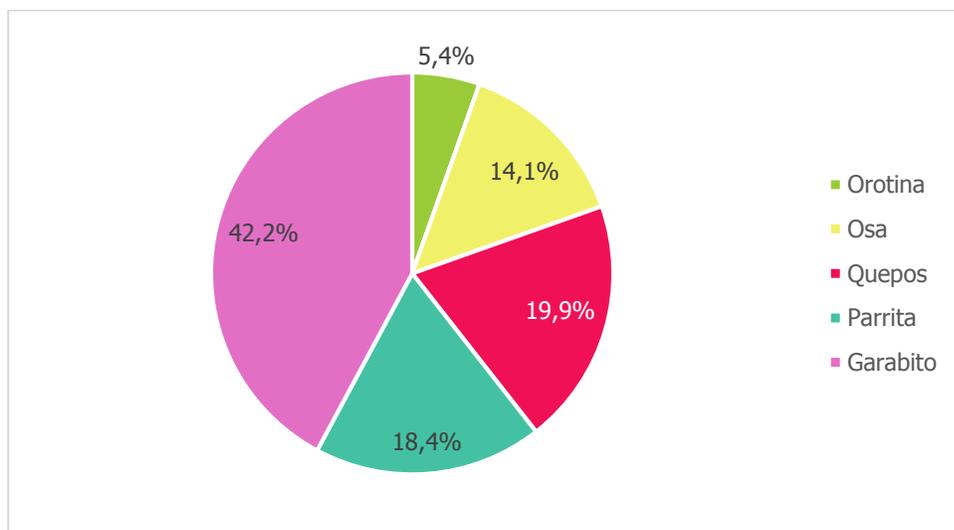
Los resultados obtenidos se muestran a continuación.



**Figura 49. Porcentaje de choques según el alineamiento horizontal observado**

#### **4.2.2 Cantón**

La Ruta 34 pasa por cinco cantones diferentes, cuatro pertenecen a Puntarenas y uno a Alajuela. La ocurrencia de choques por cantón se muestra a continuación.

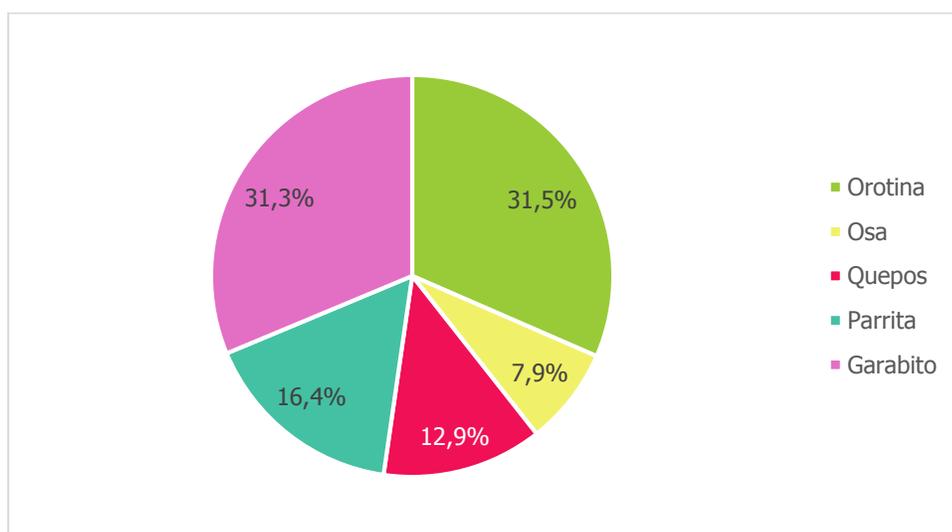


**Figura 50. Porcentaje de choques por cantón**

Sin embargo, se debe considerar que cada cantón tiene diferentes longitudes en la carretera. A continuación se muestra la ocurrencia de choques de acuerdo a la longitud de carretera con que cuenta cada cantón.

**Cuadro 6. Cantidad de choques por kilómetro según cantón**

<b>Cantón</b>	<b>Cantidad de choques</b>	<b>Longitud (km)</b>	<b>Choques/km</b>
Orotina	56	5,8	9,6
Osa	146	61,1	2,4
Quepos	205	52,3	3,9
Parrita	190	38,0	5,0
Garabito	435	45,7	9,5

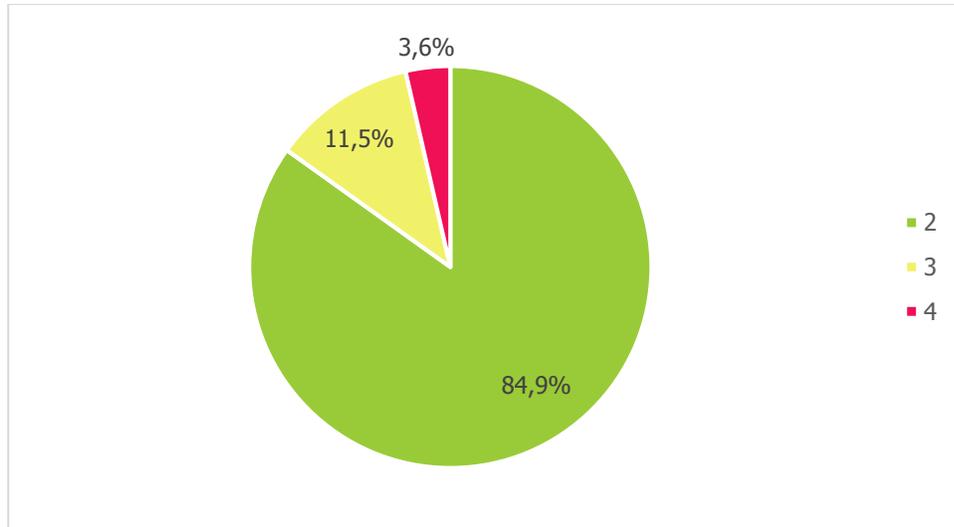


**Figura 51. Porcentaje de choques por kilómetro según cantón**

Por tanto, Orotina y Garabito son los cantones con más choques, mientras que Osa es el cantón con menos accidentes de tránsito registrados.

#### **4.2.3 Número de carriles**

Como se puede observar, la mayoría de choques se reportaron para una configuración de la carretera de dos carriles, sin embargo, como en casos anteriores, para que este dato brinde más información se debe determinar cuántos kilómetros de la carretera tiene cada una de las tres configuraciones.

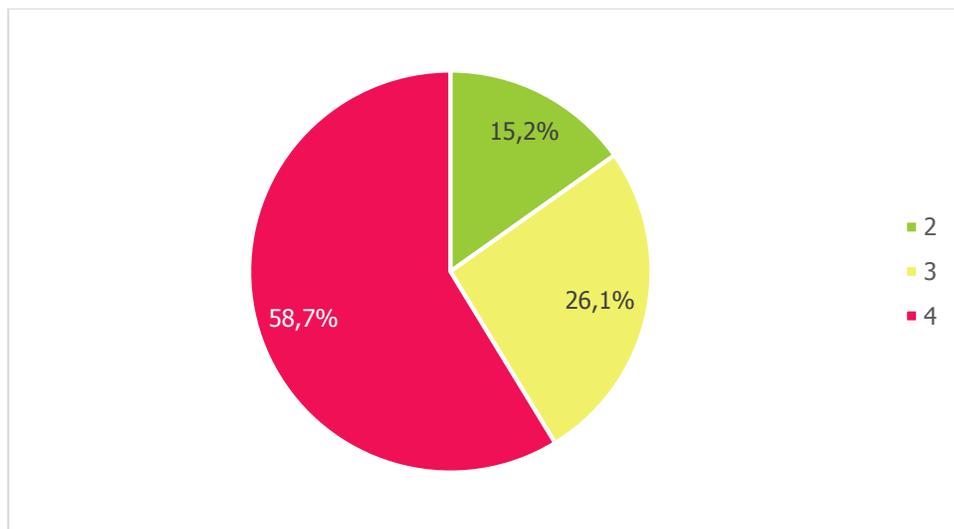


**Figura 52. Porcentaje de choques según número de carriles**

Considerando la longitud que tiene cada una de las tres configuraciones se obtienen los siguientes resultados.

**Cuadro 7. Cantidad de choques por kilómetro según el número de carriles**

Número de carriles	Cantidad de choques	Longitud (km)	Choques/km
2	876	186,2	4,7
3	119	14,7	8,1
4	37	2,0	18,2

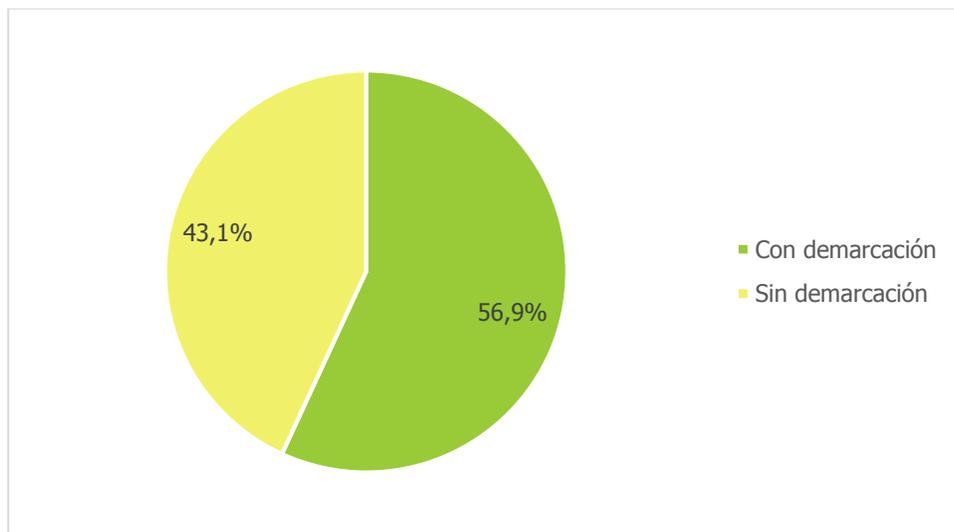


**Figura 53. Porcentaje de choques por kilómetro según el número de carriles**

Se puede observar cómo existe una mayor tendencia a que se den choques en los segmentos de la carretera con tres y cuatro carriles, que en los que solo cuentan con dos carriles.

#### **4.2.4 Señalamiento horizontal**

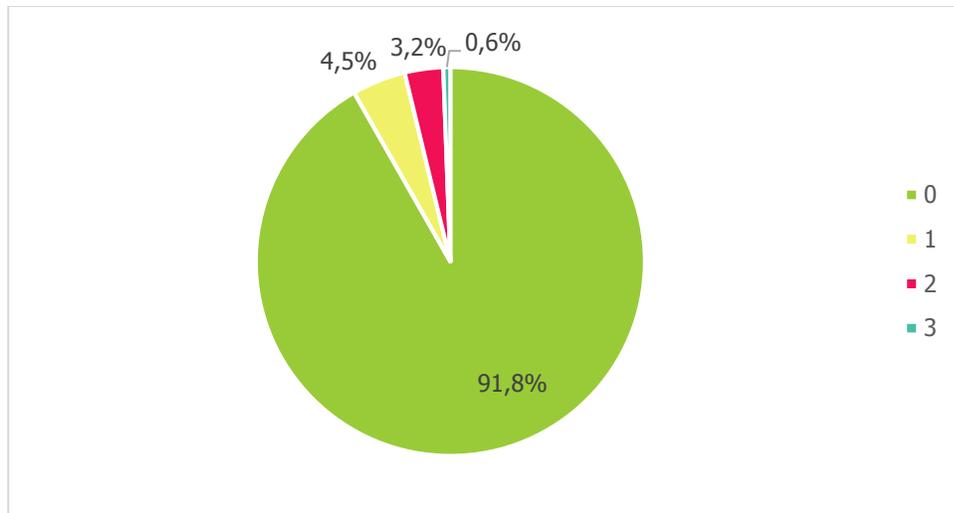
Al momento en que se realizó este proyecto, mucha parte de la carretera estaba sin señalización horizontal.



**Figura 54. Porcentaje de choques según la señalización horizontal de la carretera**

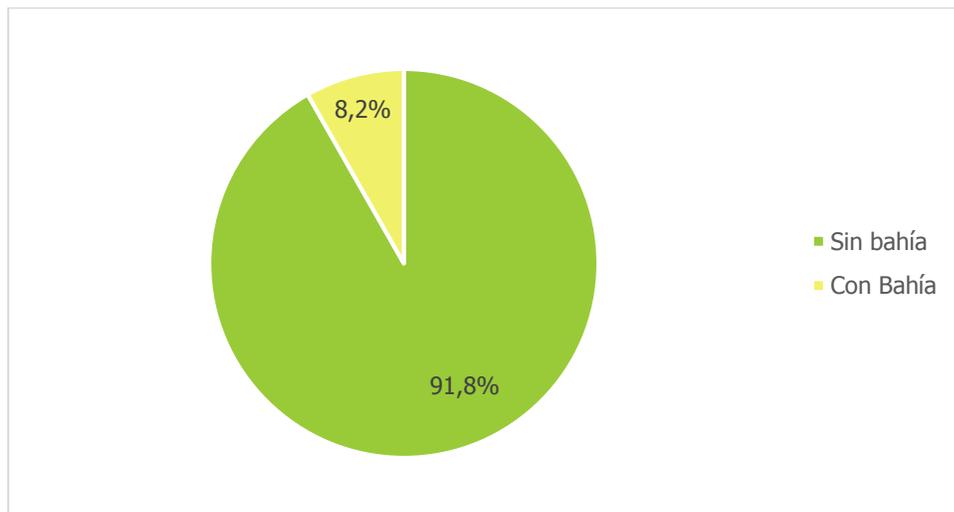
#### **4.2.5 Presencia de bahías**

Existen 130 bahías a lo largo de la ruta. Inicialmente se determinó el número de bahías presentes en cada segmento, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente figura.



**Figura 55. Porcentaje de choques según la cantidad de bahías por segmento**

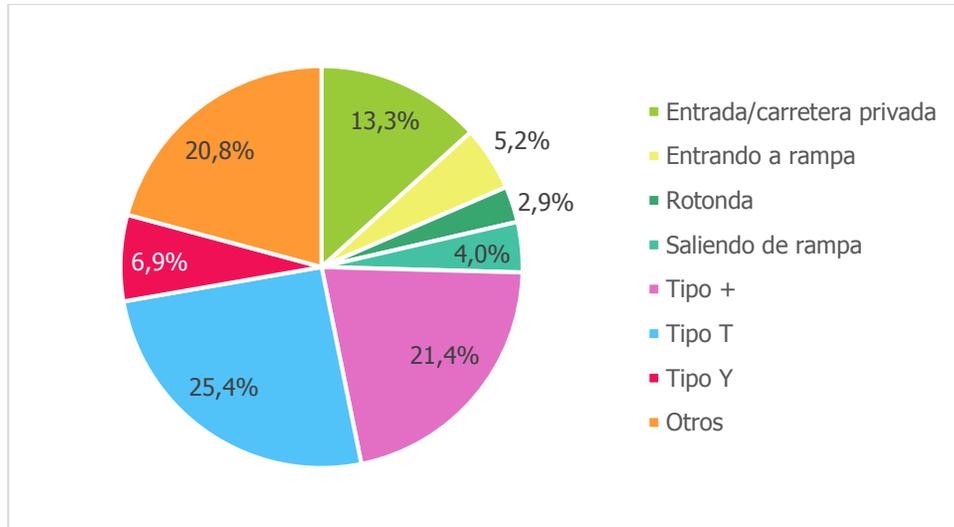
Adicionalmente, se determinó la cantidad de choques en función de la presencia o ausencia de bahías por segmento.



**Figura 56. Porcentaje de choques según la presencia de bahías por segmento**

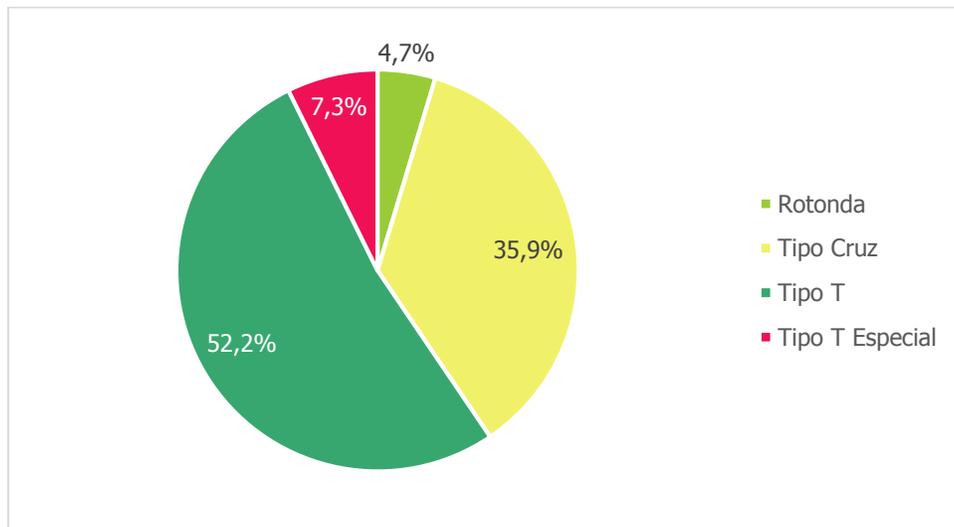
#### ***4.2.6 Tipo de intersección***

A su vez, las intersecciones según las boletas reportadas por los oficiales de tránsito tienen la siguiente clasificación, en donde el valor predominante, aparte de las boletas sin información, fue ninguna, eso quiere decir, choques de segmento; por lo que, para poder observar mejor el comportamiento de los datos, se filtraron eliminando estos dos casos.



**Figura 57. Porcentaje de choques según tipo de intersección**

No obstante, cada intersección se clasificó por observación visual, tanto con la información de los mapas como con las fotografías tomadas, en el paso 1 del proceso de gestión de seguridad vial correspondiente a la evaluación de la red (Sección 3.3.1) y se obtuvieron los siguientes resultados.



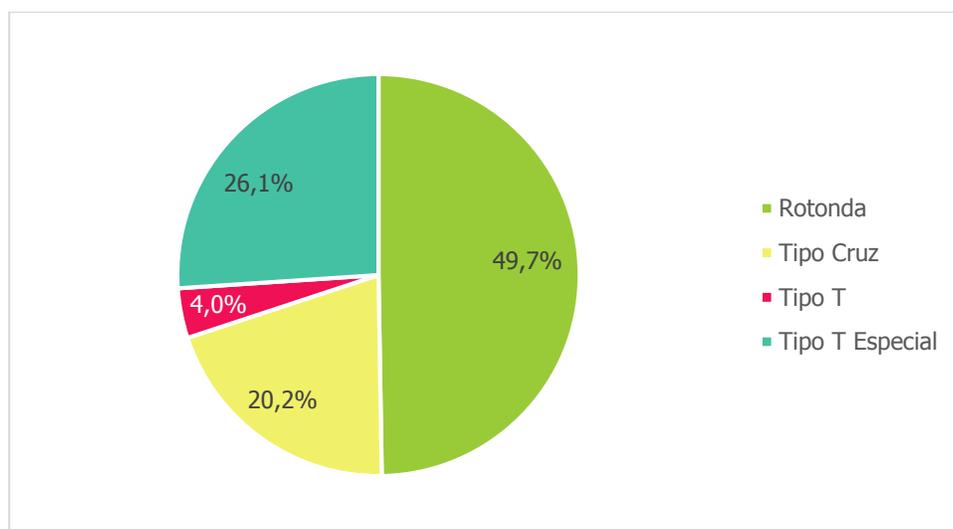
**Figura 58. Porcentaje de choques según el tipo de intersección observada**

Por lo que se puede observar que la mayor cantidad de choques de intersección se dio en intersecciones tipo T, pero también se debe considerar que este tipo de intersección es la más

frecuente. Así que, considerando el número de intersecciones de cada tipo presentes en la carretera, se obtuvieron los siguientes resultados.

**Cuadro 8. Cantidad de choques por intersección según la cantidad de intersecciones por tipo**

<b>Tipo de intersección</b>	<b>Cantidad de intersecciones por tipo</b>	<b>Cantidad de choques por intersección</b>
Rotonda	1	14,0
Tipo Cruz	19	5,7
Tipo T	139	1,1
Tipo T Especial	3	7,3

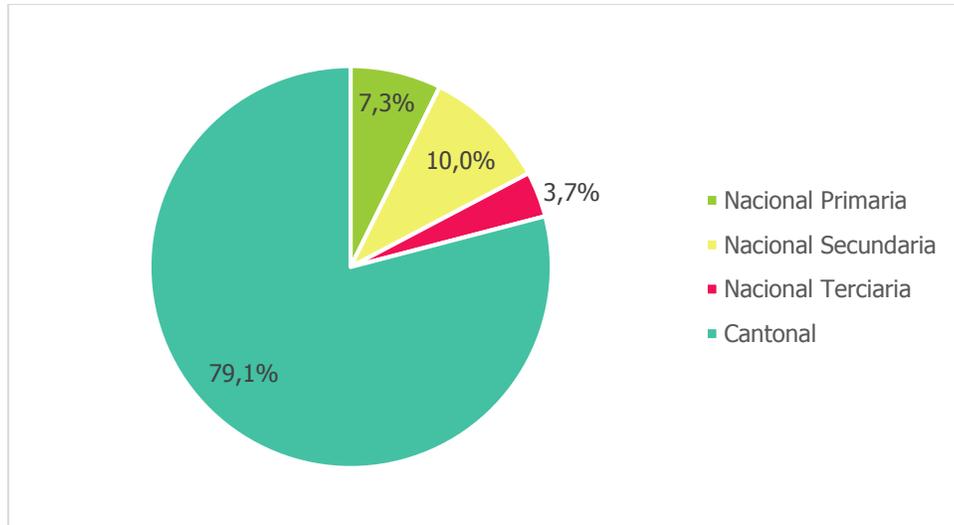


**Figura 59. Porcentaje de choques por intersección según la cantidad de intersecciones por tipo**

Si bien, la cantidad de choques por intersección según la cantidad de intersecciones por tipo es un promedio, se obtienen resultados esperables, es decir, entre más difícil es la maniobra para el conductor, se dan más choques.

#### ***4.2.7 Tipo de carretera secundaria***

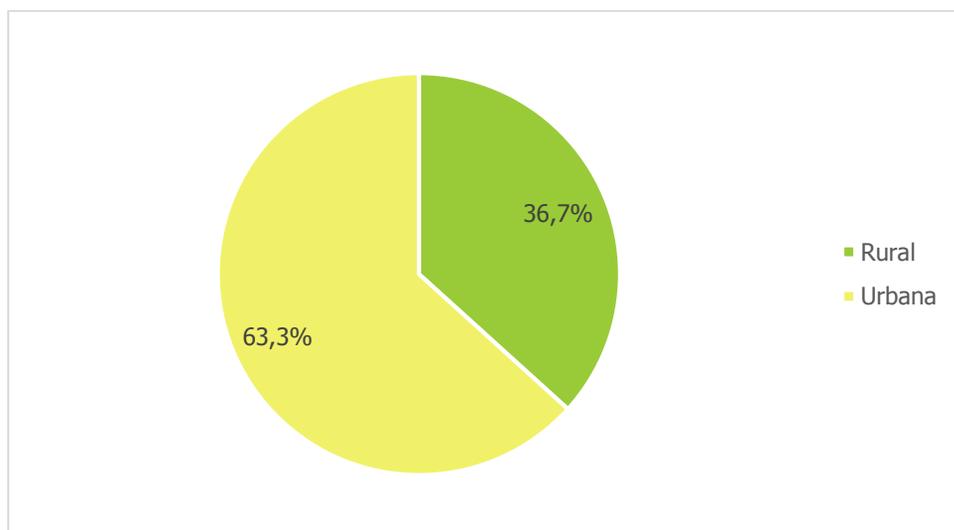
La Ruta Nacional 34 es intersecada principalmente por rutas cantonales, sin embargo también tiene intersecciones con carreteras nacionales primarias, secundarias y terciarias, tal y como se puede ver en la siguiente figura.



**Figura 60. Porcentaje de choques en intersección según la carretera secundaria**

#### **4.2.8 Tipo de zona**

El tipo de zona se obtuvo de observación, como parte del trabajo de campo. Además, como ya se mencionó, no se determinó utilizando la cantidad de población, sino analizando comparativamente cuál era la zona en los diferentes tramos de la carretera. Se puede observar que la mayoría de choques se dieron en zona urbana.

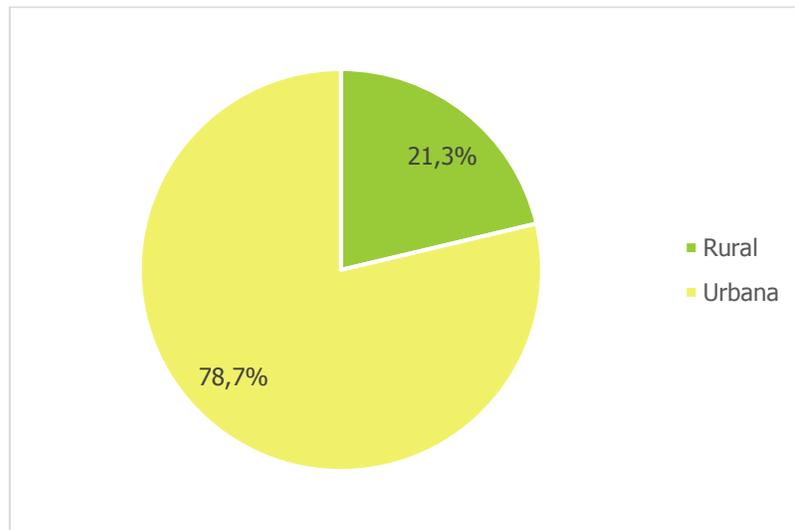


**Figura 61. Porcentaje de choques según tipo de zona**

De igual modo que en casos anteriores, para obtener resultados más útiles se comparó la longitud de cada tipo de zona presente en la carretera.

**Cuadro 9. Cantidad de choques por kilómetro según tipo de zona**

Tipo de zona	Cantidad de choques	Distancia (km)	Choques/km
Rural	379	138,5	2,7
Urbana	653	64,5	10,1

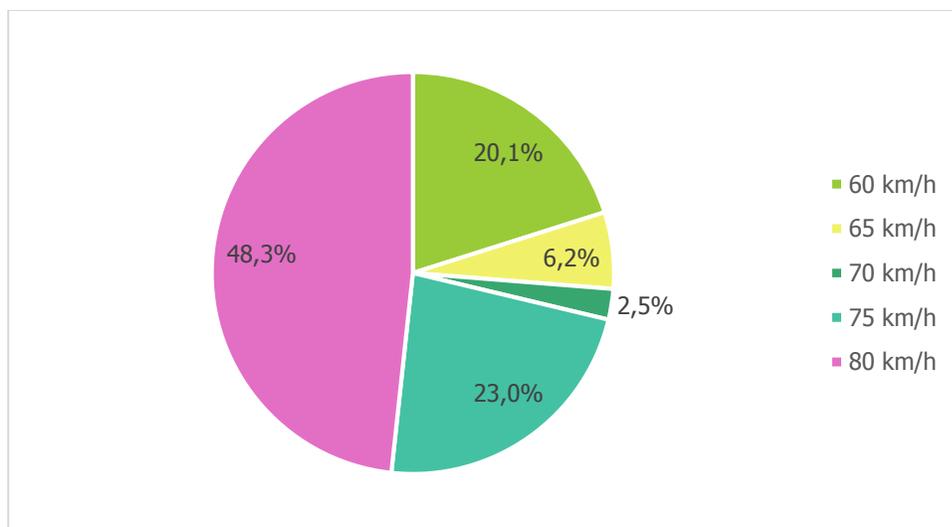


**Figura 62. Porcentaje de choques por kilómetro según tipo de zona**

Con estos resultados se puede asegurar que existe predominancia a la ocurrencia de choques en zona urbana.

#### ***4.2.9 Límite de velocidad***

Esta variable corresponde a la velocidad reglamentaria registrada en el sitio donde ocurrió el accidente y se obtuvo la información proporcionada por el Departamento de Planificación Sectorial del MOPT. Se puede observar cómo hubo mayor cantidad de choques en segmentos con una velocidad de 80 km/h y menos cantidad de choques en segmentos con 70 km/h.

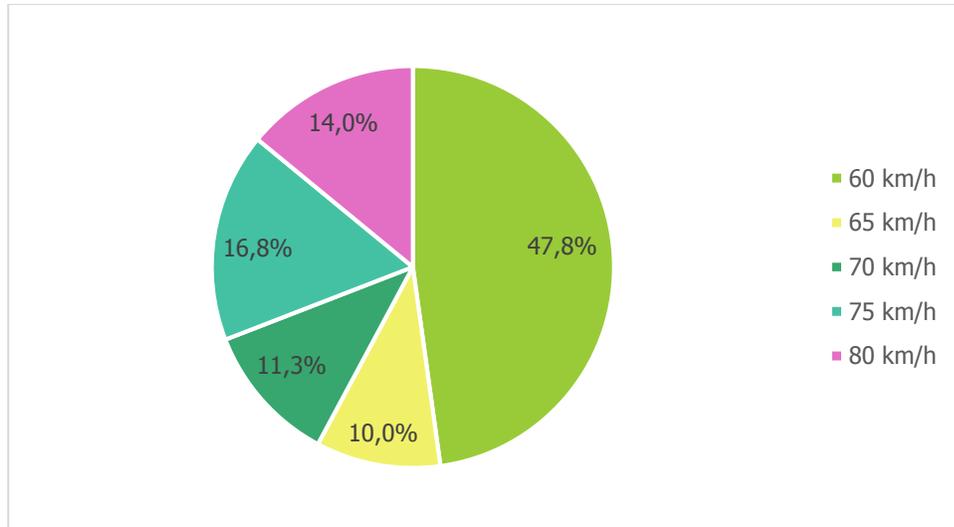


**Figura 63. Porcentaje de choques según el límite de velocidad**

Sin embargo, como en otros casos, es importante cruzar esta información con la distancia en la carretera que tiene cada límite de velocidad.

**Cuadro 10. Cantidad de choques por kilómetro según el límite de velocidad**

<b>Límite de velocidad (km/h)</b>	<b>Cantidad de choques</b>	<b>Longitud (km)</b>	<b>Choques/km</b>
60	147	14,1	10,4
65	45	20,6	2,2
70	18	7,3	2,5
75	168	45,7	3,7
80	353	115,2	3,1



**Figura 64. Porcentaje de choques por kilómetro según el límite de velocidad**

Por lo que se puede observar que más bien, la tasa de ocurrencia de choques fue mayor en segmentos con límite de velocidad de 60 km/h.

### **4.3 Estadísticas descriptivas**

En esta sección se muestran las estadísticas descriptivas de la frecuencia de choques para cada severidad, tanto para segmentos como para intersecciones.

Por el comportamiento de los datos, se espera que los valores de la media sean mayores que los de la mediana, debido a que todos los histogramas tienen una tendencia hacia la izquierda, además, se considera que esta es una característica común en la frecuencia de choques viales (Agüero-Valverde, 2005).

**Cuadro 11. Estadísticas descriptivas para cada severidad de choque en segmentos**

	<b>Choques fatales</b>	<b>Choques heridos graves</b>	<b>Choques heridos leves</b>	<b>Choques solo daños materiales</b>	<b>Choques lesión ignorada</b>	<b>Choques solo daños materiales totales</b>	<b>Total de choques</b>
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Primer cuartil</b>	0	0	0	1	0	1	1
<b>Mediana</b>	0	0	0	1	0	2	3
<b>Promedio</b>	0,04	0,15	0,64	2,61	0,84	3,45	4,27
<b>Tercer cuartil</b>	0	0	1	3	1	5	5,5
<b>Máximo</b>	2	2	4	24	7	26	29
<b>Desviación Estándar</b>	0,24	0,37	0,90	3,62	1,20	4,31	4,74

Adicionalmente, se muestran las estadísticas descriptivas para las variables continuas que se utilizaron en el modelo.

**Cuadro 12. Estadísticas descriptivas de las variables continuas en segmentos**

	<b>Longitud (km)</b>	<b>Densidad de accesos</b>	<b>Número de carriles</b>	<b>TPDA</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>
<b>Mínimo</b>	0,00	0,00	2,00	6 408,00	60,00
<b>Primer cuartil</b>	0,00	0,98	2,00	11 249,00	75,00
<b>Mediana</b>	0,01	2,05	2,00	18 229,00	80,00
<b>Promedio</b>	0,01	2,61	2,17	18 692,19	76,35
<b>Tercer cuartil</b>	0,01	3,50	2,00	18 964,00	80,00
<b>Máximo</b>	0,10	12,17	4,00	50 518,00	80,00
<b>Desviación Estándar</b>	0,01	2,33	0,46	10 292,51	6,02

Del mismo modo que en el caso anterior, el promedio es mayor que la mediana, con excepción de la variable límite de velocidad, pues no se da una tendencia definida.

Para el caso de las intersecciones se obtienen las siguientes estadísticas.

**Cuadro 13. Estadísticas descriptivas para cada severidad de choque en intersecciones**

	<b>Choques fatales</b>	<b>Choques heridos graves</b>	<b>Choques heridos leves</b>	<b>Choques solo daños materiales</b>	<b>Choques lesión ignorada</b>	<b>Choques solo daños materiales totales</b>	<b>Total de choques</b>
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Primer cuartil</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Mediana</b>	0	0	0	0	0	0	1
<b>Promedio</b>	0,01	0,02	0,18	1,17	0,47	1,64	1,85
<b>Tercer cuartil</b>	0	0	0	1	0	2	2
<b>Máximo</b>	1	1	3	23	9	32	34
<b>Desviación Estándar</b>	0,11	0,16	0,48	2,57	1,20	3,49	3,75

En este caso, la desviación estándar también es mayor que el promedio.

## **CAPÍTULO 5. RESULTADOS**

---

## 5.1 Determinación de los sitios de concentración de choques

### 5.1.1 Modelo binomial negativo

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los tres modelos seleccionados, los modelos completos se adjuntan en el Apéndice 1. Para el caso de segmentos, los coeficientes asociados al modelo se muestran en el Cuadro 14.

**Cuadro 14. Resultado de la regresión binomial negativa para total de choques en segmentos**

Parámetro	Variable	Estimación	Error Estándar	Valor de z	Pr (z >  z )	Significancia
$\beta_0$	Intercepto	-4,663	1,316	-3,543	0,40e-03	***
$\beta_1$	TPDA	0,549	0,138	3,986	6,71e-05	***
$\beta_2$	Den_acc	0,090	0,032	2,798	0,005	**
$\beta_3$	Num_carr3	0,494	0,202	2,441	0,015	*
$\beta_4$	Num_carr4	0,538	0,388	1,388	0,165	
$\beta_5$	Tipo_zonaUrbana	0,681	0,155	4,381	1,18e-05	***

Códigos de significancia: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

(Para Binomial Negativo el parámetro de dispersión (2,6514) se toma como 1)

Desviación nula: 313,85 en 170 grados de libertad

Desviación residual: 184,13 en 165 grados de libertad

AIC: 810,14

Número de interacciones de Fisher: 1

Theta: 2,651

Error estándar: 0,499

2 x log-likelihood: -796,135

Como se mencionó en la metodología, las variables que dieron significativas fueron densidad de accesos, carreteras con tres y cuatro carriles y el tipo de zona urbana. Además, es importante resaltar que como se puede observar en el Cuadro 28, todos los coeficientes asociados a estas variables dieron positivos, lo cual quiere decir que tienen una relación directa con la ocurrencia de choques, por tanto, a mayor TPDA, densidad de accesos, carreteras con tres y cuatro carriles y tipo de zona urbana, aumenta el riesgo de choques viales.

Para intersecciones, los coeficientes obtenidos en el modelo de choques totales y en el modelo de choques equivalentes a solo daños materiales, se muestran en los Cuadros 15 y 16, respectivamente.

**Cuadro 15. Resultado de la regresión binomial negativa para choques totales en intersecciones**

Parámetro	Variable	Estimación	Error Estándar	Valor de z	Pr (z>   z   )	Significancia
$\beta_0$	Intercepto	-4,564	2,600	-1,755	0,079	,
$\beta_1$	TPDA_Prim	0,700	0,266	2,631	0,009	**
$\beta_2$	Tipo_sec1	-0,801	0,489	-1,637	0,102	
$\beta_3$	Tipo_interOtras	-0,152	0,714	-0,213	0,831	
$\beta_4$	Tipo_interT	-1,403	0,313	-4,485	7,27e-06	***

Códigos de significancia: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

(Para Binomial Negativo el parámetro de dispersión (0,8146) se toma como 1)

Desviación nula: 222,38 en 161 grados de libertad

Desviación residual: 163,21 en 157 grados de libertad

AIC: 542,01

Número de interacciones de Fisher: 1

Theta: 0,815

Error estándar: 0,182

2 x log-likelihood: -530,005

**Cuadro 16. Resultado de la regresión binomial negativa para choques equivalentes a solo daños materiales en intersecciones**

Parámetro	Variable	Estimación	Error Estándar	Valor de z	Pr (z>   z   )	Significancia
$\beta_0$	Intercepto	-7,1295	3,127	-2,280	0,023	*
$\beta_1$	TPDA_Prim	0,9969	0,319	3,126	0,002	**
$\beta_2$	Tipo_sec1	-0,7861	0,638	-1,232	0,218	
$\beta_3$	Tipo_interOtras	-0,4408	0,954	-0,462	0,644	
$\beta_4$	Tipo_interT	-1,2551	0,403	-3,111	0,002	**

Códigos de significancia: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

(Para Binomial Negativo el parámetro de dispersión (0,4261) se toma como 1)

Desviación nula: 193,97 en 161 grados de libertad

Desviación residual: 154,95 en 157 grados de libertad

AIC: 632,06

Número de interacciones de Fisher: 1

Theta: 0,4261

Error estándar: 0,0715

2 x log-likelihood: -620,0590

---

Para ambos modelos, las variables significativas fueron el TPDA de la vía primaria, las carreteras secundarias cantonales, intersección tipo "otras" e intersección tipo T; donde el TPDA tiene una relación directa con la ocurrencia de choques y, el resto de las variables, una relación inversa.

### ***5.1.2 Método de exceso de frecuencia de choques esperado con ajuste de Bayes empírico***

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, el objetivo del análisis estadístico es encontrar los sitios con mayor exceso de frecuencia de choques esperado con respecto a los demás sitios. Según Hauer (1996), la tarea consiste en tamizar a través de una multitud de sitios con el fin de identificar un subconjunto relativamente pequeño para averiguar cómo puede y debe ser mejorada su seguridad.

Para seleccionar los sitios que se van a analizar, se recomienda elegir entre el 5% y el 10% de los segmentos y las intersecciones totales. De las 162 intersecciones se seleccionaron 11, equivalente a aproximadamente un 7%; y de los 171 segmentos, se eligieron 16, correspondiente a aproximadamente un 9%.

Como ya se mencionó, para los segmentos solo se obtuvo un modelo para los choques totales, por lo que los 16 segmentos elegidos corresponden a los 15 primeros segmentos ordenados por el método de clasificación simple y adicionalmente, se seleccionó el segmento 69, a pesar

de estar en la posición 39 del *ranking*, pues cuenta con un registro de 2 choques fatales, 2 choques con heridos leves y 9 choques con solo daños materiales.

En el caso de las intersecciones, como se obtuvieron dos modelos, se siguió la recomendación dada por el HSM referente a seleccionar los sitios que aparecen repetidamente en el extremo superior de la lista al aplicar múltiples medidas de desempeño para el mismo conjunto de datos (AASHTO, 2010).

Los resultados obtenidos para los sitios más críticos se resumen en los cuadros 17 y 18, donde  $\Delta$  corresponde al exceso de frecuencia de choques esperada.

**Cuadro 17. Segmentos con mayor exceso de frecuencia de choques esperados para choques totales**

<b>Id segmento</b>	<b><math>\Delta</math></b>
72	15,94
44	13,17
33	13,04
34	6,31
36	6,31
47	6,07
86	4,77
16	4,58
28	4,01
92	3,46
71	2,49
5	2,28
112	2,17
32	2,16
17	2,14

**Cuadro 18. Intersecciones con mayor exceso de frecuencia de choques esperados para choques totales y choques equivalentes a solo daños materiales**

Choques totales		Choques equivalentes a solo daños materiales	
ID intersección	$\Delta$	ID intersección	$\Delta$
12	24,31	34	41,35
4	10,55	14	34,32
13	6,18	12	26,53
31	4,95	60	12,32
34	3,58	4	11,68
60	2,83	65	10,37
40	2,25	36	9,06
58	2,25	82	5,36
55	2,24	74	5,00
63	2,24	13	4,14
50	2,13	47	3,83
82	1,92	31	3,61
74	1,67	51	2,81
65	1,57	50	2,79
1	1,42	35	2,55

Como se puede ver, en las primeras 15 posiciones de la lista para ambos modelos, se repiten 10 intersecciones, estas son las intersecciones resaltadas en color. Aparte de estas 10 intersecciones se incluyó el cruce La Vaquita (ID: 14), ubicada en el *ranking* 2 de la lista de choques equivalentes a solo daños materiales, pues registra una muerte y seis choques de solo daños materiales.

A continuación, se muestran los mapas de exceso y de concentración de choques tanto para segmentos como para intersecciones.



**Simbología**

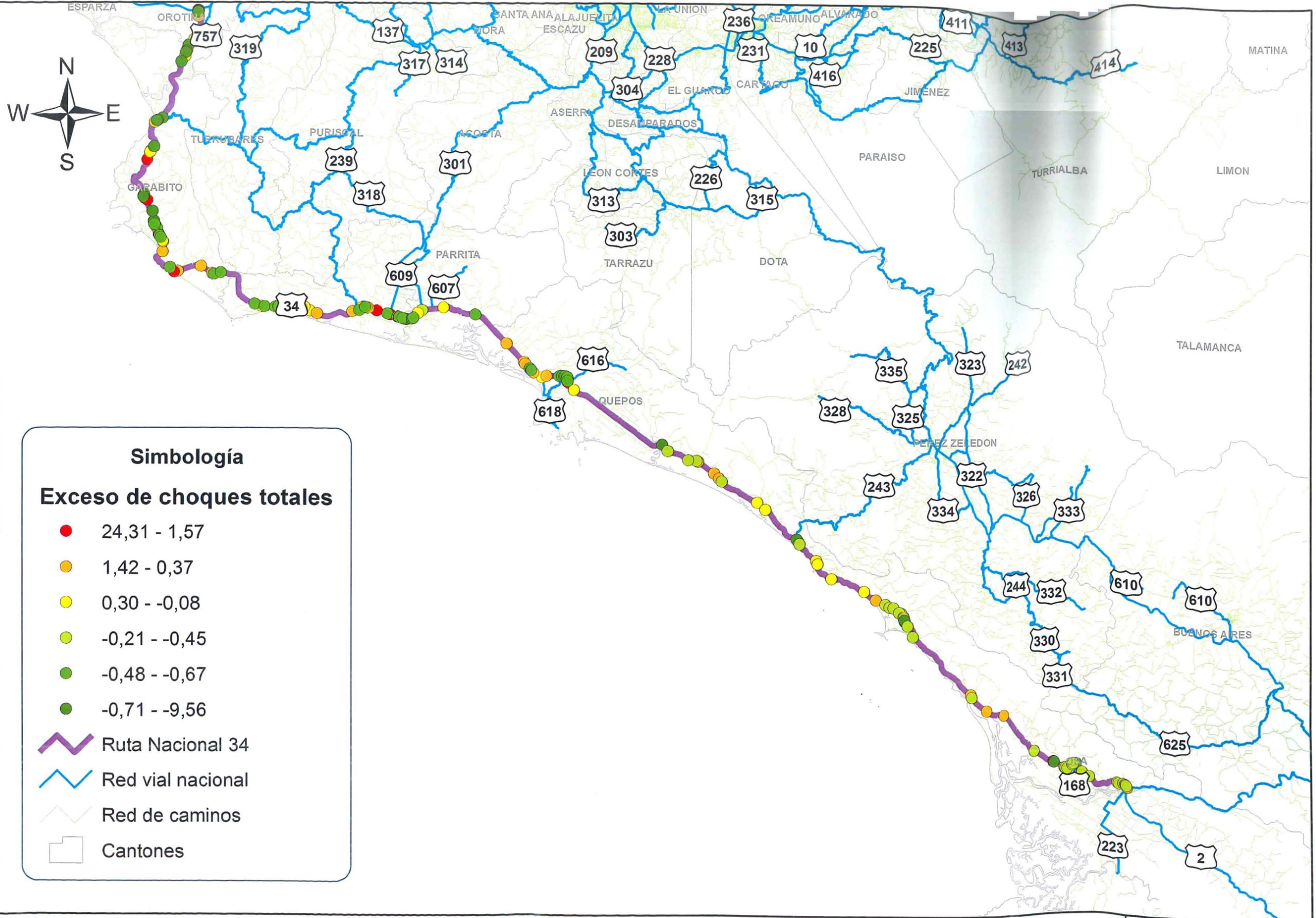
**Exceso de choques totales**

-  Críticos
-  1,75 - 0,47
-  0,45 - -0,09
-  -0,17 - -0,63
-  -0,64 - -1,36
-  -1,42 - -6,61
-  Red vial nacional
-  Red de caminos
-  Cantones

Fuente: MOPT, 2011, ProDUS-UCR, 2015



Mapa de exceso de choques totales en segmentos



**Simbología**

**Exceso de choques totales**

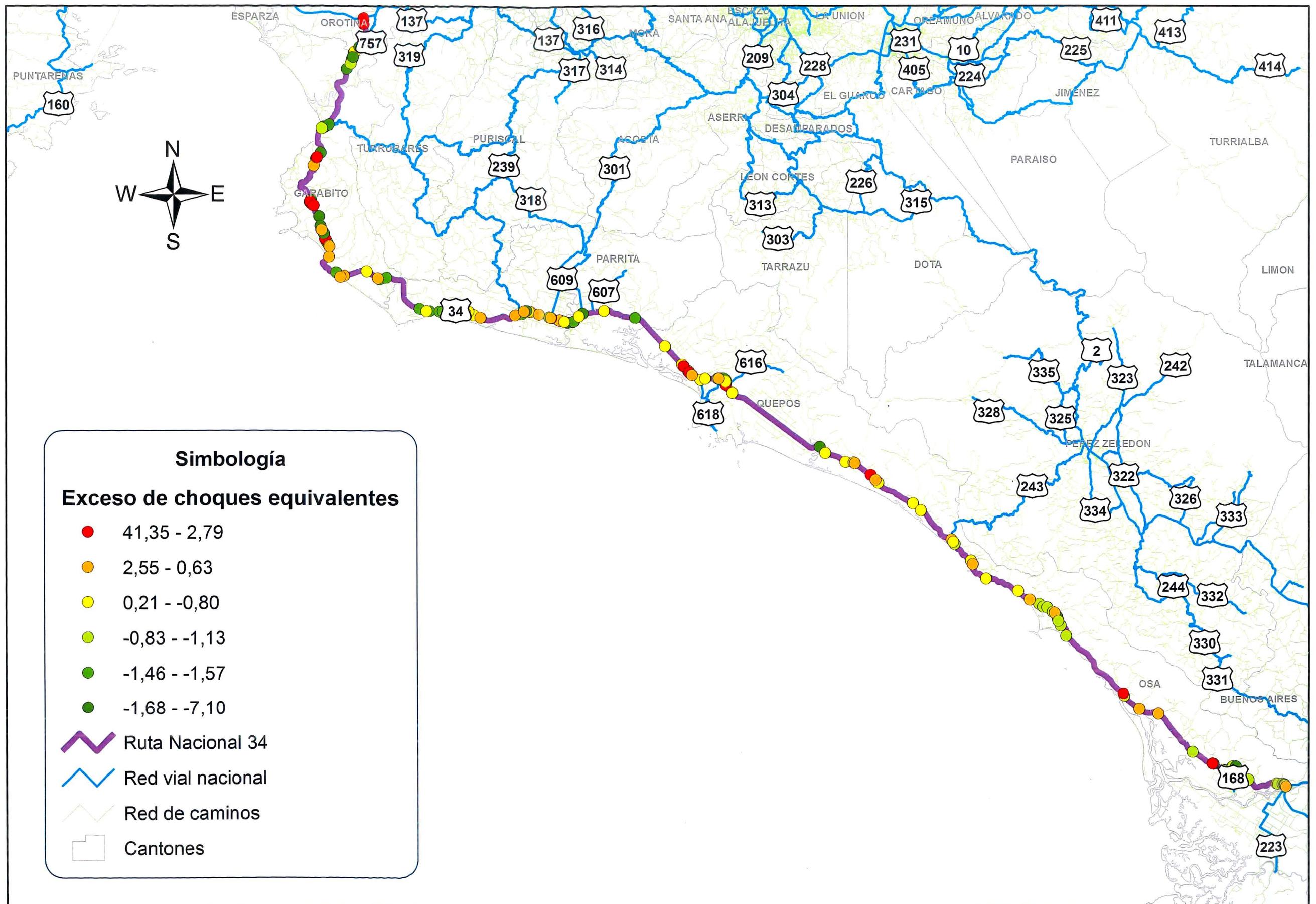
- 24,31 - 1,57
- 1,42 - 0,37
- 0,30 - -0,08
- -0,21 - -0,45
- -0,48 - -0,67
- -0,71 - -9,56

- Ruta Nacional 34
- Red vial nacional
- Red de caminos
- Cantones

Fuente: MOPT, 2011, ProDUS-UCR, 2015

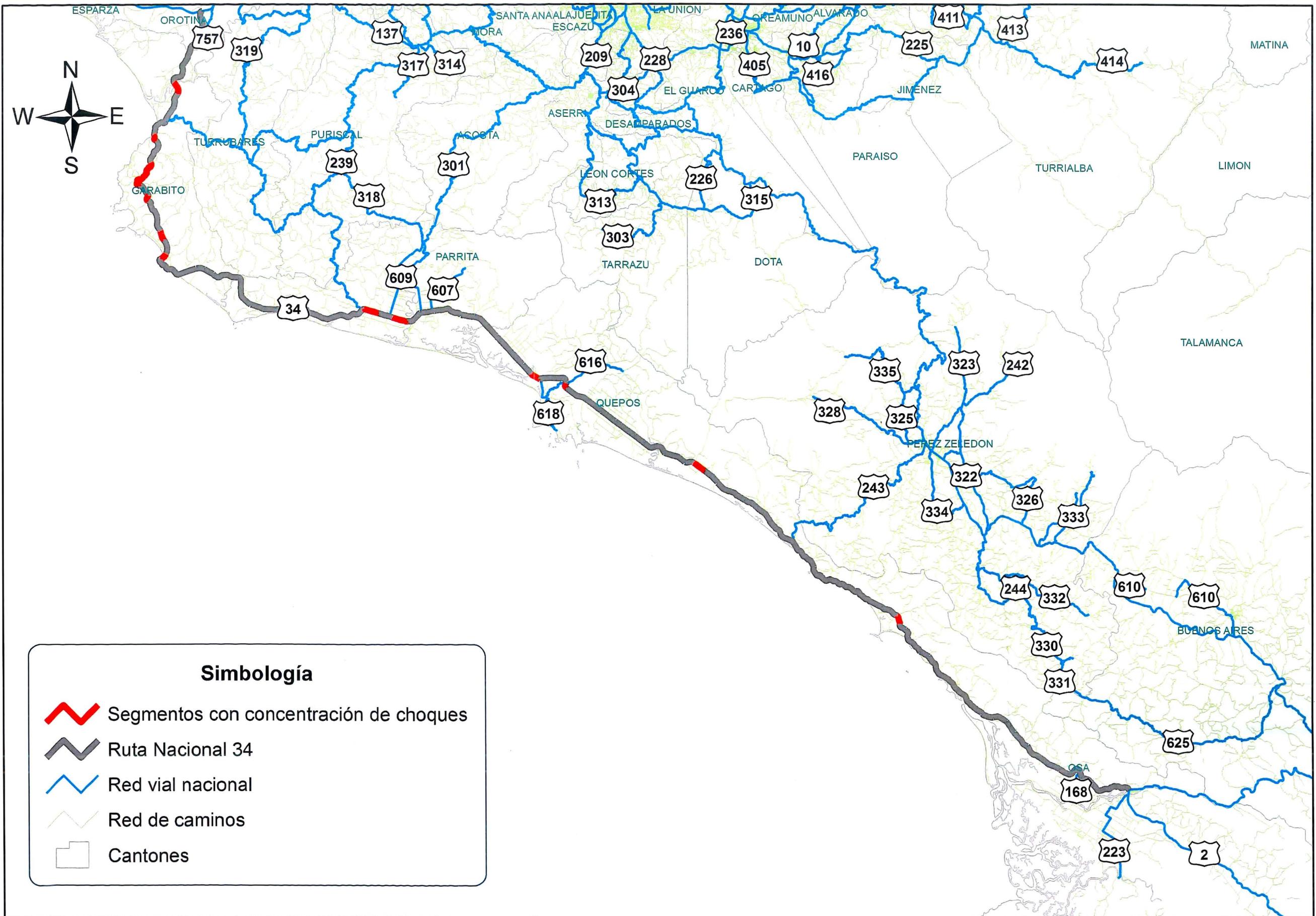


Mapa de exceso de choques totales en intersecciones



Fuente: MOPT, 2011, ProDUS-UCR, 2015





**Simbología**

-  Segmentos con concentración de choques
-  Ruta Nacional 34
-  Red vial nacional
-  Red de caminos
-  Cantones

Fuente: MOPT, 2011, ProDUS-UCR, 2015



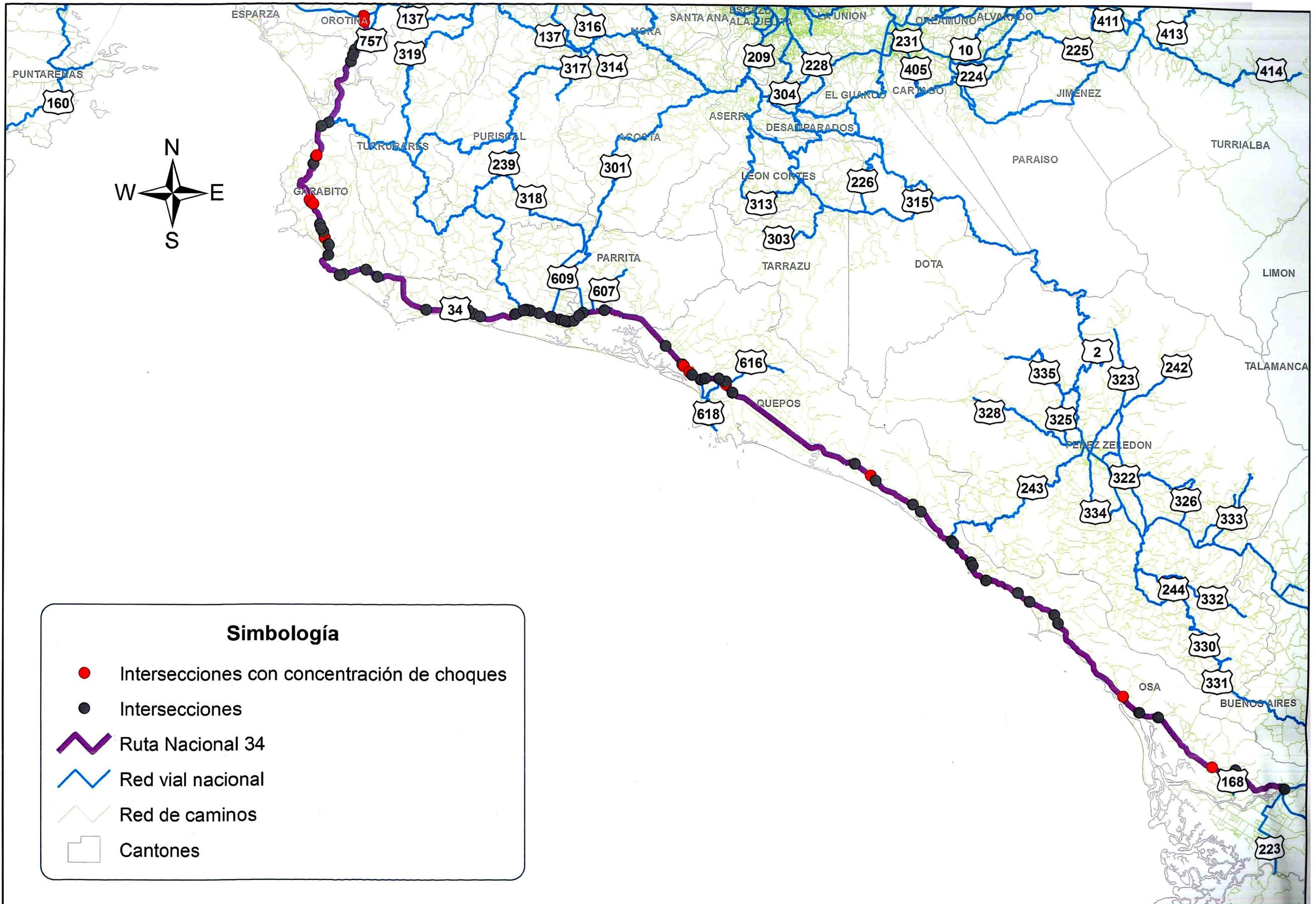
**Mapa de segmentos con concentración de choques**



Fuente: MOPT, 2011, ProDUS-UCR, 2015



Mapa de intersecciones con concentración de choques totales



Fuente: MOPT, 2011, ProDUS-UCR, 2015



Mapa de intersecciones con concentración de choques equivalentes

## 5.2 Diagnóstico y soluciones propuestas

A continuación se muestran todos los sitios seleccionados según el orden de aparición en el sentido Coyolar-Palmar. Para cada uno se hará una descripción de sus características principales, la identificación de factores contribuyentes en la ocurrencia de los choques, los datos asociados a cada sitio y las medidas de mitigación propuestas para reducir la frecuencia de choques.

### 5.2.1 Intersección 82: Rotonda Pozón

Es una intersección tipo rotonda y, por tanto, se ubica en la clasificación intersección tipo "otras", de acuerdo a lo definido en este trabajo. Está conectada con la Ruta Nacional 27 y se ubica en Coyolar, Orotina, Alajuela (aproximadamente en las coordenadas  $9^{\circ}53'10,08''N$ ,  $84^{\circ}34'32,99''O$ ). De acuerdo a la designación que se utilizó en este trabajo, el tipo de zona en la que se encuentra es urbana, específicamente, es una zona principalmente comercial. A continuación se muestran algunas imágenes del sitio.

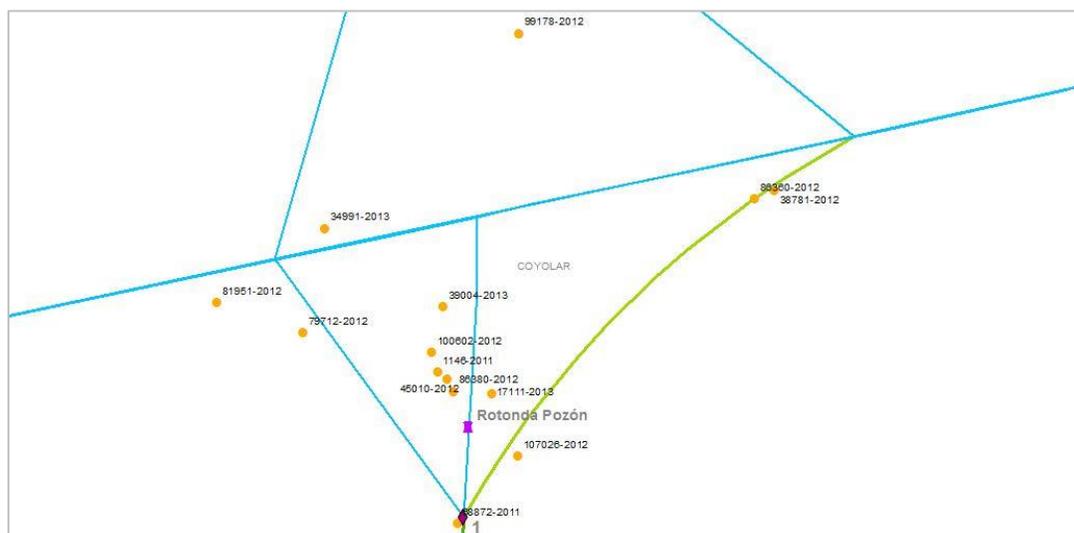


**Figura 65. Imagen satelital de la rotonda Pozón**

Fuente: Google Earth, 2016



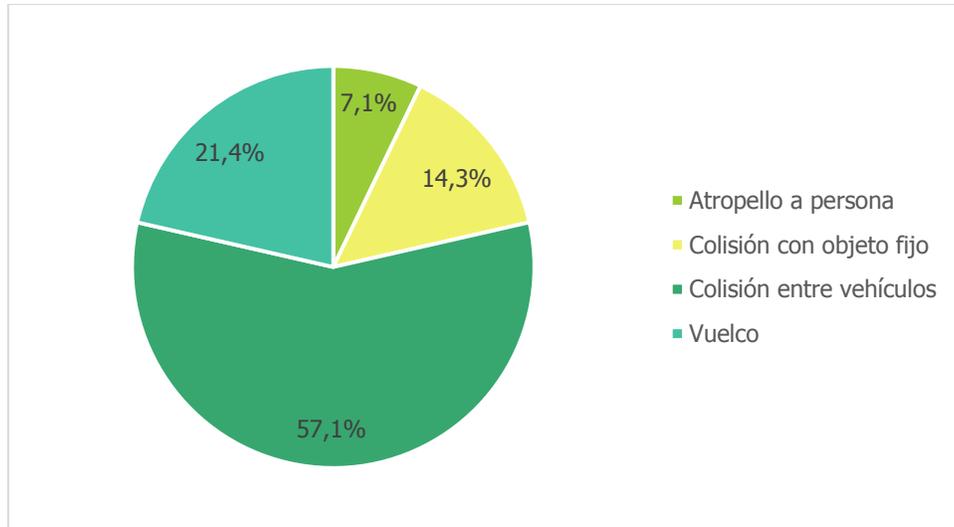
**Figura 66. Fotografía de la rotonda Pozón**  
(Marzo, 2015)



**Figura 67. Alineamiento horizontal y concentración de choques en la rotonda Pozón**

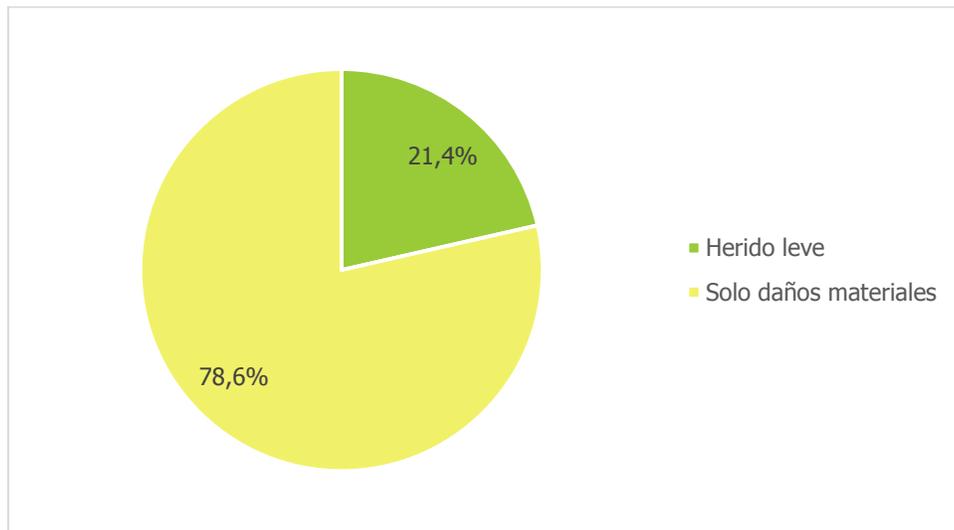
En total se registraron 14 choques en esta intersección, seguidamente se muestran gráficamente algunos de estos datos.

Como se puede observar, la mayoría de choques reportados son de colisiones entre vehículos, sin embargo, también se han reportado vuelcos, colisiones con objeto fijo y atropello a persona.



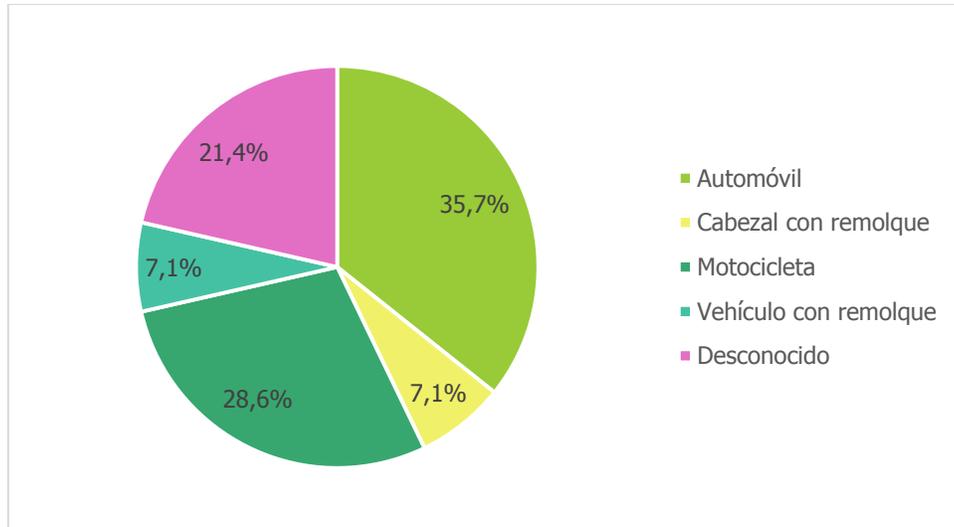
**Figura 68. Porcentaje de choques según tipo de choque en la rotonda Pozón**

En cuanto a la severidad del choque, se tiene que en la mayoría de choques solo resultaron daños materiales, pero un 21% de los choques involucraron heridos leves.



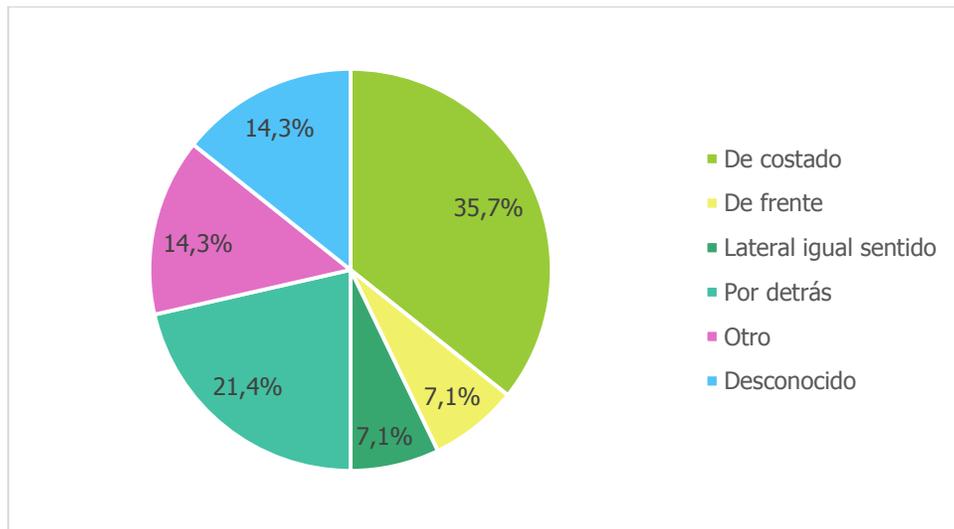
**Figura 69. Porcentaje de choques según severidad en la rotonda Pozón**

Con respecto al tipo de vehículo relacionado en estos choques, se tiene que la mayoría fueron automóviles y motocicletas, pero también hubo choques de vehículos con remolque.



**Figura 70. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en la rotonda Pozón**

La mayoría de choques con información del sentido de circulación muestran una mayor ocurrencia de choques de costado y por detrás.



**Figura 71. Porcentaje de choques según sentido de circulación en la rotonda Pozón**

En la gira realizada el día 21 de enero de 2016 se observó que no existen suficientes facilidades peatonales, pues se cuenta con acera solamente en algunos segmentos (Figura 72) y, además, algunos dispositivos de señalamiento vertical se encontraban dañados, lo cual se puede deber a los choques de colisión con objeto fijo o vuelco (Figura 73).



**Figura 72. Acera en la rotonda Pozón**  
(Enero, 2016)



**Figura 73. Señalamiento vertical dañado en la rotonda Pozón**  
(Enero, 2016)

Considerando las características de esta intersección, se recomienda delinear la rotonda y mejorar la demarcación de la línea de centro, línea de borde e islas canalizadoras no solo a nivel de pintura sino que, en caso de ser necesario, se pueden colocar marcas resaltadas en las líneas, que ayuden a guiar de una mejor manera al conductor y que eviten que se cometan maniobras inadecuadas en la rotonda.

También se recomienda reemplazar los dispositivos y señales dañadas, siempre evitando o reduciendo, en la medida de lo posible, la presencia de obstáculos en la intersección y procurando que estos dispositivos ayuden a disminuir la severidad del choque y no a aumentarla.

Se debe procurar también reducir la velocidad en la rotonda, por lo que se tiene que indicar claramente el límite de velocidad e implementar alguna medida que llame la atención del conductor sobre este tema, por ejemplo, el uso de rayas logarítmicas, que son una serie de líneas demarcadas transversalmente en la calzada, con el propósito de generar en el conductor la percepción de ir a una velocidad mayor que la real, lo cual lo induce a reducirla. Se recomienda realizar estudios de velocidad en cada uno de los accesos para determinar en cuáles aplicar esta medida.

El Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito de la SIECA (2014) indica que estas líneas deben ser de color blanco reflejante, tener un ancho de 0,60 m y deben realizarse con al menos dos capas de pintura termoplástica o complementarse con botones reflectivos. El distanciamiento al borde de la calzada debe ser mínimo de 0,3 m (CONASET, 2010), el espaciamiento de las líneas debe ser decreciente y la cantidad de líneas que se deben utilizar varía dependiendo de las velocidades de operación que se registran y las que se desea lograr. La velocidad de operación en este punto es de 80 km/h, sin embargo, de acuerdo a la reglamentación costarricense, la velocidad en las rotondas debe ser de 30 km/h, por lo que, la cantidad de líneas y el espaciamiento recomendado por la SIECA se muestran a continuación.

**Cuadro 19. Cantidad de líneas y espaciamiento para reducir la velocidad en la rotonda Pozón**

<b>Número de líneas</b>	<b>Espaciamiento (m)</b>
32	15,25
31	13,50
30	12,05
29	10,90
28	10,00
27	9,20
26	8,50
25	7,95
24	7,40
23	7,00
22	6,60
21	6,25
20	5,90
19	5,60
18	5,35
17	5,10
16	4,90
15	4,70
14	4,50
13	4,35
12	4,20
11	4,05
10	3,90
9	3,75
8	3,65
7	3,55
6	3,45
5	3,35
4	3,25
3	3,15
2	3,10
1	0,00
<b>Longitud de espaciamiento (m)</b>	194,40
<b>Longitud total (m)</b>	213,60

Fuente: SIECA, 2014

Finalmente, se recomienda mejorar las facilidades peatonales, primeramente dándole continuidad a la acera ya existente y además estudiando la posibilidad de colocar un paso peatonal cercano a esta intersección.

### **5.2.2 Intersección 14: Cruce La Vaquita**

El cruce La Vaquita corresponde a una intersección tipo Cruz, ubicada en Coyolar, Orotina, Alajuela (aproximadamente en las coordenadas 9°52'44,15"N, 84°34'32,39"O). Las carreteras secundarias son cantonales y el tipo de zona es urbana, principalmente comercial. Seguidamente se muestran algunas imágenes del sitio.



**Figura 74. Imagen satelital del cruce La Vaquita**

Fuente: Google Earth, 2016



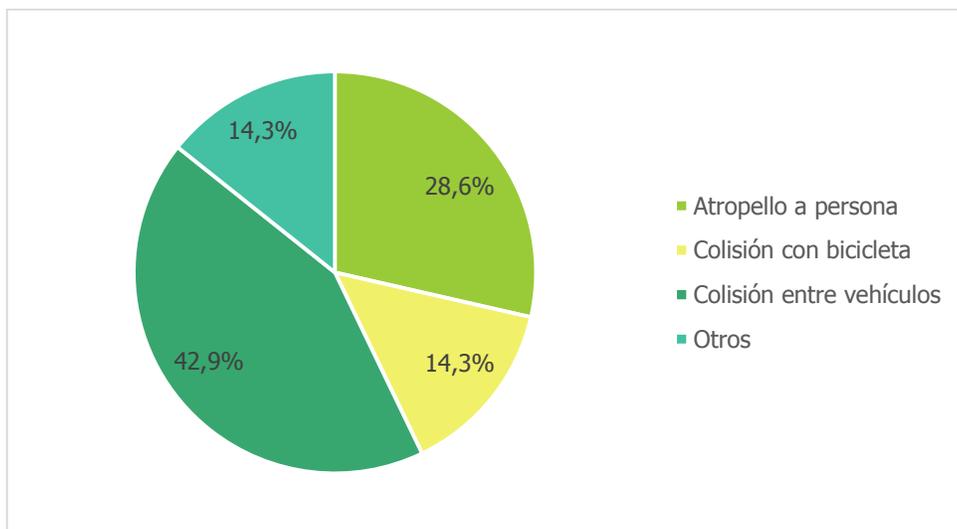
**Figura 75. Fotografías de los accesos del cruce La Vaquita**

(Enero, 2016)



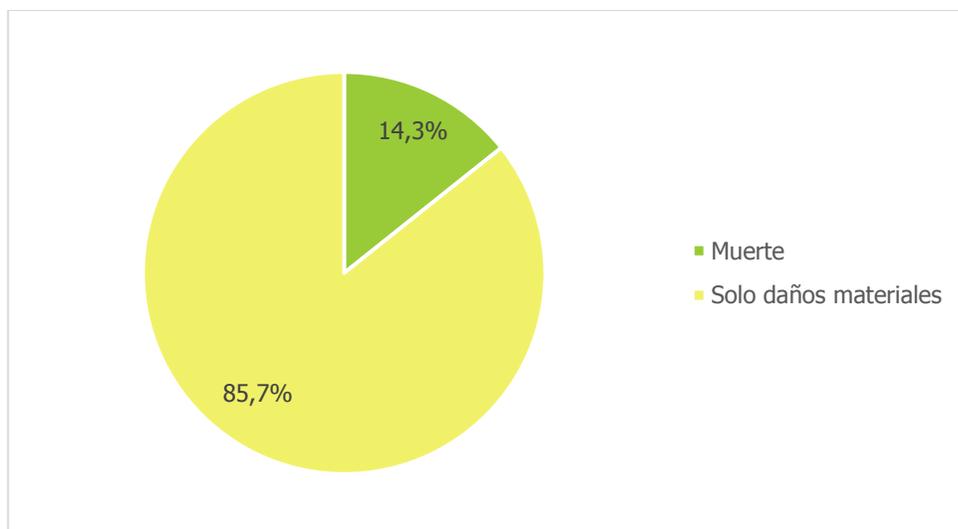
**Figura 76. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el cruce La Vaquita**

En esta intersección se registraron en total 7 choques. Con respecto al tipo de choque, se evidencia que además de las colisiones entre vehículos hubo peatones y ciclistas involucrados en los choques viales.



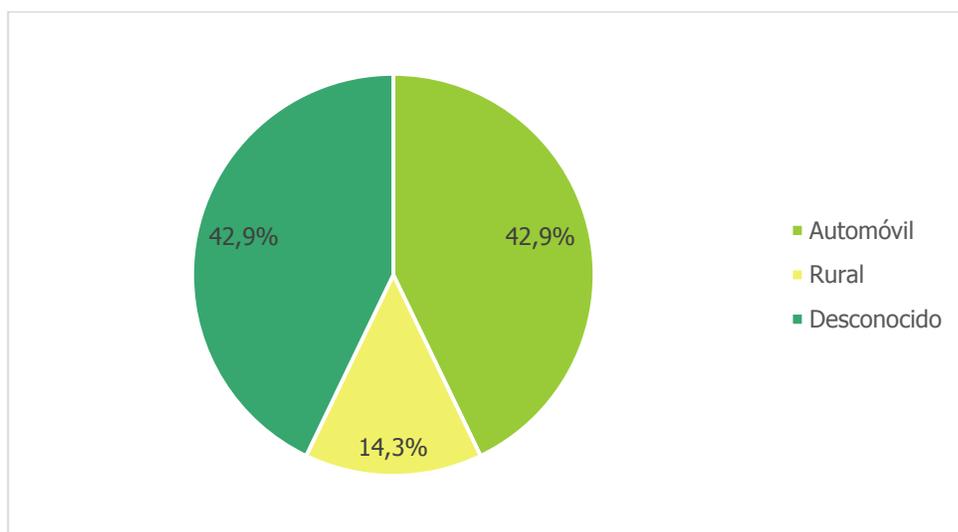
**Figura 77. Porcentaje de choques según tipo de choque en el cruce La Vaquita**

Además, en relación con la severidad de los choques, se reportó una muerte, equivalente al 14% de los choques en la intersección.



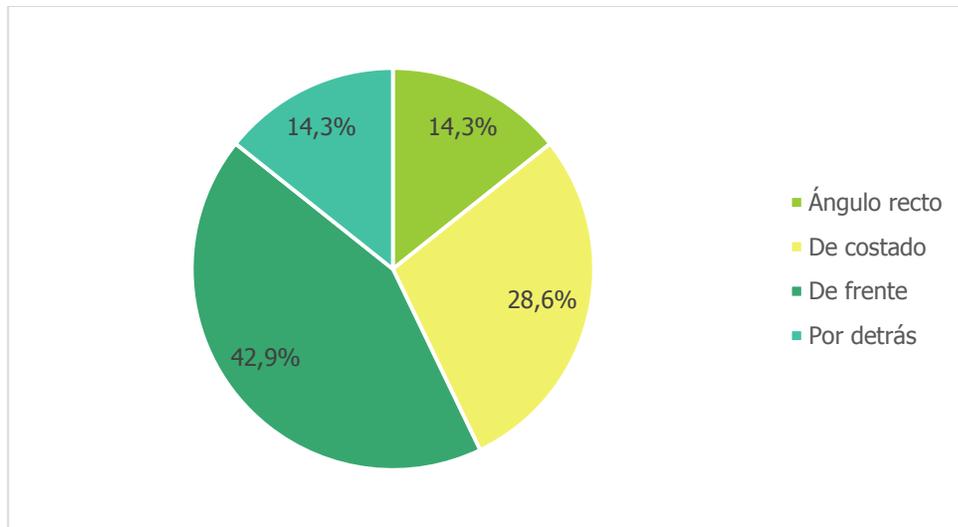
**Figura 78. Porcentaje de choques según severidad en el cruce La Vaquita**

Por otra parte, se desconoce casi la mitad del tipo de vehículos relacionados en los choques y los choques con información corresponden a automóviles y vehículos rurales.



**Figura 79. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el cruce La Vaquita**

Con respecto al sentido de circulación, se dieron tanto choques de frente, como de costado, por detrás y en ángulo recto.



**Figura 80. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el cruce La Vaquita**

Por otra parte, en la visita se encontraron problemas con la señalización vertical (Figura 81), pues en las fotografías se puede observar cómo en uno de los accesos la señal de alto está volcada y en el otro, la señal se encuentra cubierta de materia vegetal.



**Figura 81. Fotografías de problemas en el alineamiento vertical de las carreteras secundarias**  
(Enero, 2016)

En este caso, se recomienda mejorar la geometría de los accesos de modo que se integren de una mejor manera a la carretera principal.

Adicionalmente, como se puede ver en las fotografías de la Figura 81, se debe remplazar la señal de alto en uno de los accesos y limpiar la maleza en el otro acceso para que la señal se pueda observar.

Unido a lo anterior, en la Figura 82, se puede observar que este problema de exceso de materia vegetal también afecta la visibilidad del acceso y se debe garantizar espacio y buena visibilidad en las esquinas, por lo que es imperativo solucionar este problema.



**Figura 82. Problemas de visibilidad en el acceso**

(Enero, 2016)

Por otro lado, el límite de velocidad definido para este segmento es de 80 km/h, el cual es muy alto para una intersección tipo cruz con las características que presenta el cruce La Vaquita, por lo que se recomienda realizar un estudio de velocidades para determinar a cuánto se debe reducir la velocidad.

Por último, debido a que se reportó una colisión con bicicleta y a que en las giras realizadas se observó que varios ciclistas transitan por esta zona, se recomienda ampliar el ancho del espaldón para que estos usuarios puedan transitar de una manera más segura.

### **5.2.3 Segmento 5: Frente a la gasolinera La Puesta del Sol, Coyolar**

Este segmento cuenta con una longitud de 229,1 m y se ubica frente a la gasolinera La Puesta del Sol en Coyolar, Orotina, Alajuela. Corresponde a un segmento recto y posee un carril exclusivo de giro a la izquierda. El tipo de zona es urbana.



**Figura 83. Imagen satelital del segmento 5**

Fuente: Google Earth, 2016



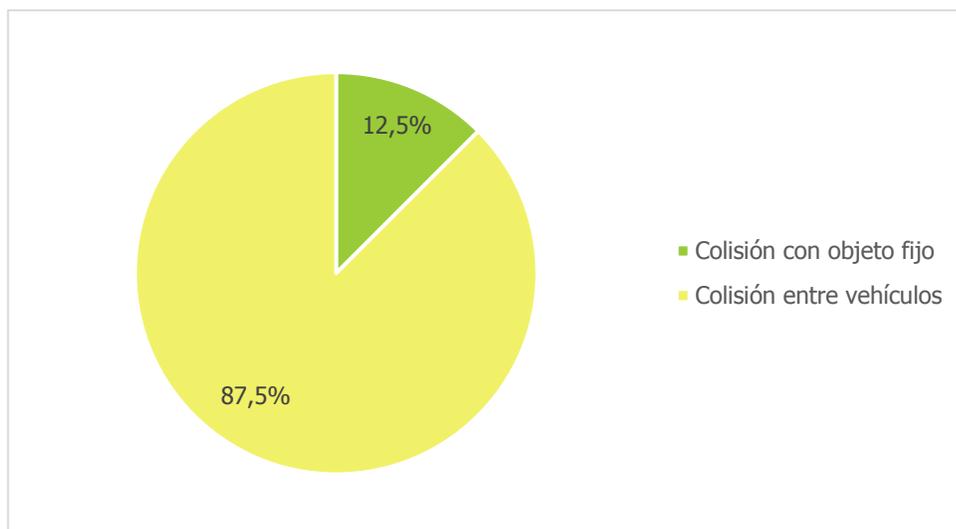
**Figura 84. Fotografías del segmento 5**  
(Marzo, 2015 y Enero, 2016 respectivamente)



**Figura 85. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 5**

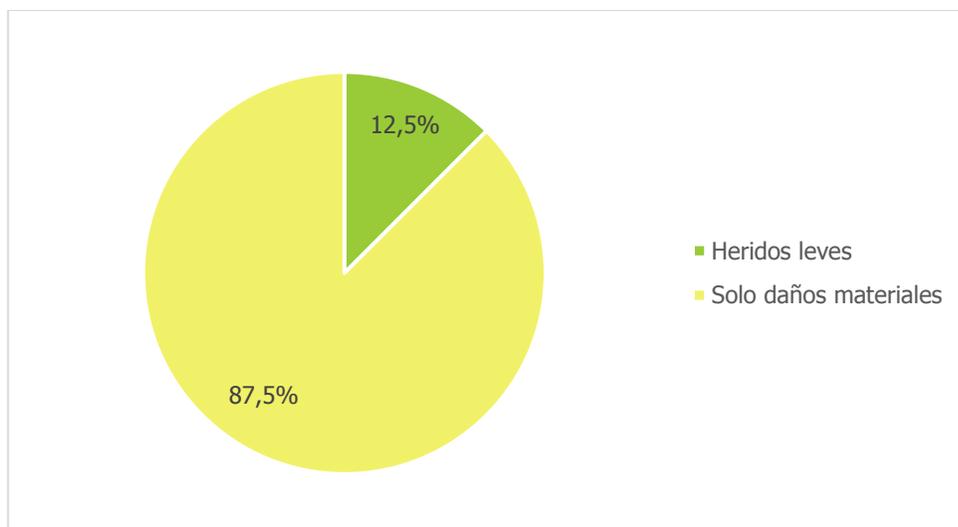
En total se contabilizaron 8 choques en este tramo. Los resultados obtenidos para este segmento se muestran a continuación.

La mayoría de choques fueron entre vehículos pero también hubo un choque de colisión con objeto fijo.



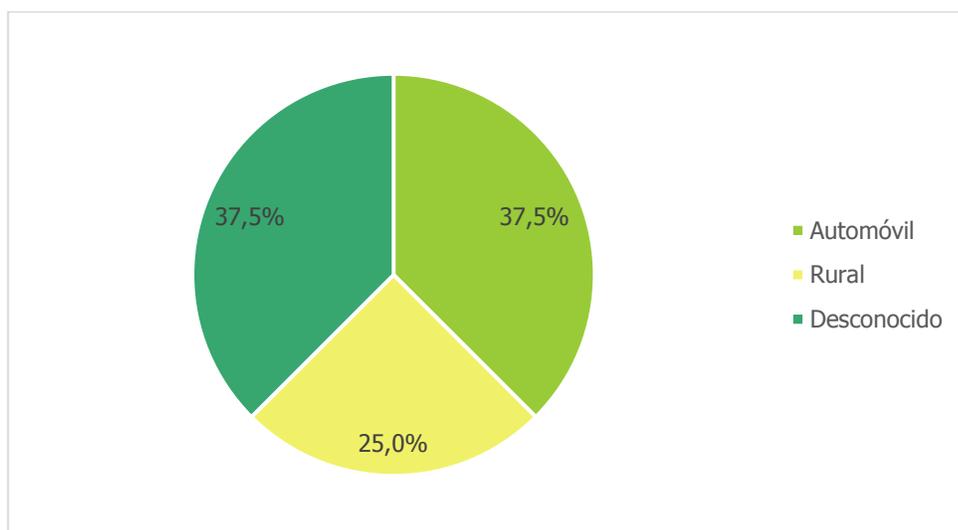
**Figura 86. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 5**

De igual manera, solo uno de los choques implicó heridos leves, el resto fueron de solo daños materiales.



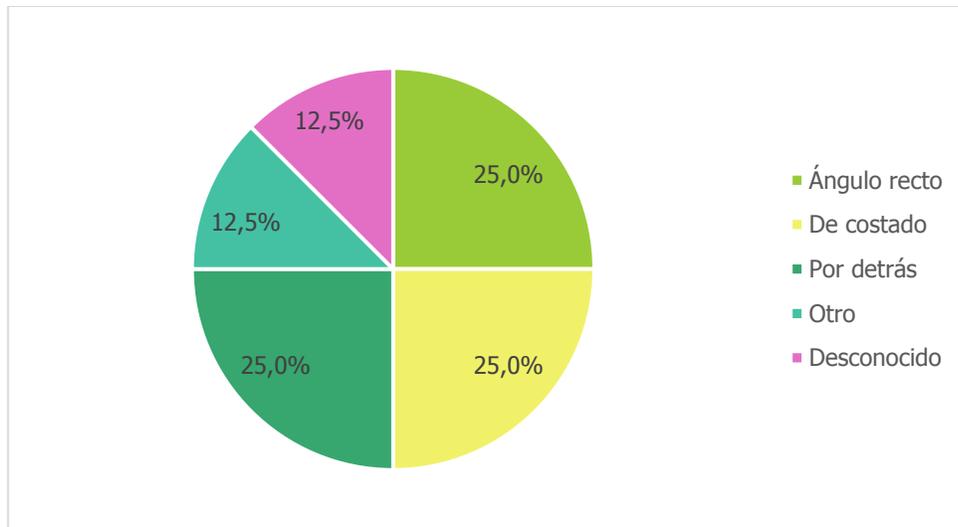
**Figura 87. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 5**

Los vehículos relacionados en los choques de este segmento fueron, automóviles, vehículos rurales y se desconoce el tipo de vehículo en tres de los choques.



**Figura 88. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 5**

Además, se reportaron choques en ángulo recto, de costado y por detrás, en el resto de choques el sentido de circulación es desconocido.



**Figura 89. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 5**

Este segmento, si bien cuenta con un carril exclusivo de giro a la izquierda, presenta problemas de percepción para el usuario, pues da la sensación de que los carriles son muy angostos (aproximadamente de 2,8 m) y no lo conduce adecuadamente a realizar la maniobra para entrar a la gasolinera La Puesta del Sol. Por tanto, se recomienda ampliar el ancho de carril en este segmento a por lo menos 3,5 m y, además, mejorar la demarcación con pintura y dispositivos que ayuden a guiar a los conductores, pueden ser captaluces o postes abatibles. Ampliar el ancho de carril es una medida en general costosa, sin embargo, este segmento es corto y las medidas de mitigación implementadas en este tramo deben asumirse en conjunto con la gasolinera, que es la que está ocasionando los choques.

Adicionalmente, se recomienda mejorar la iluminación del segmento para que la canalización de los usuarios sea tan efectiva en la noche como en el día.

#### **5.2.4 Segmento 16: Puente sobre el río Tárcoles**

Este tramo tiene una longitud de 685,39 m y se ubica en Tárcoles, Garabito, Puntarenas, Comprende el segmento de la carretera en que se ubica el puente sobre el Río Tárcoles. Es un segmento recto y el tipo de zona es urbana. Se caracteriza, además, porque muchas personas se detienen y se bajan de sus vehículos a observar los cocodrilos del río Tárcoles.



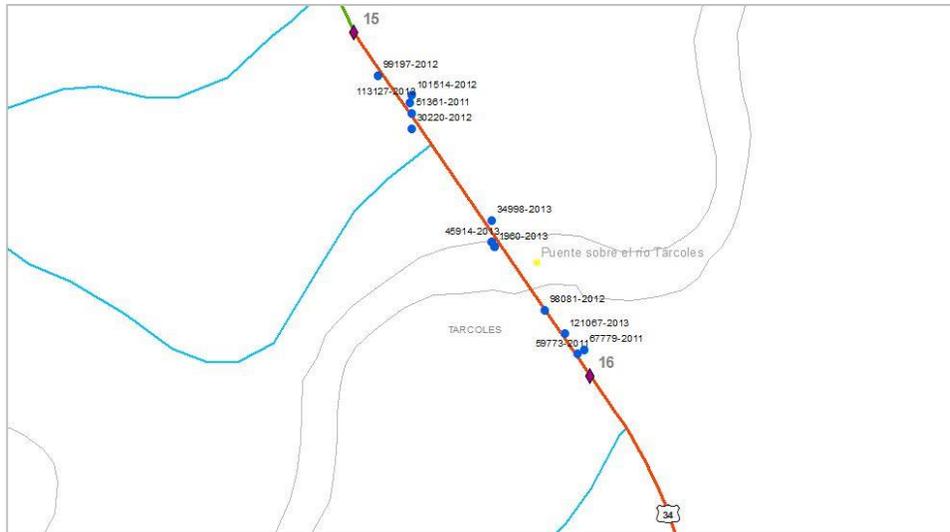
**Figura 90. Imagen satelital del segmento 16**

Fuente: Google Earth, 2016



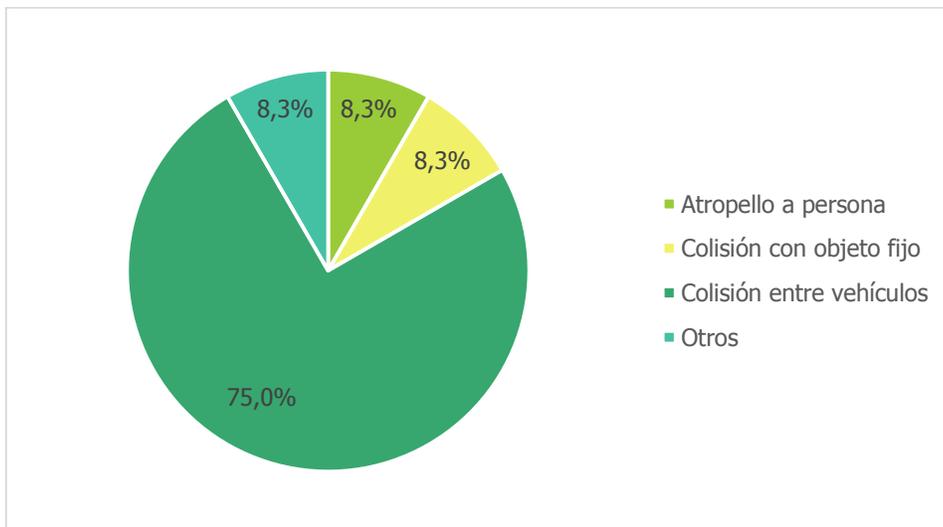
**Figura 91. Fotografía del segmento 16**

(Enero, 2016)



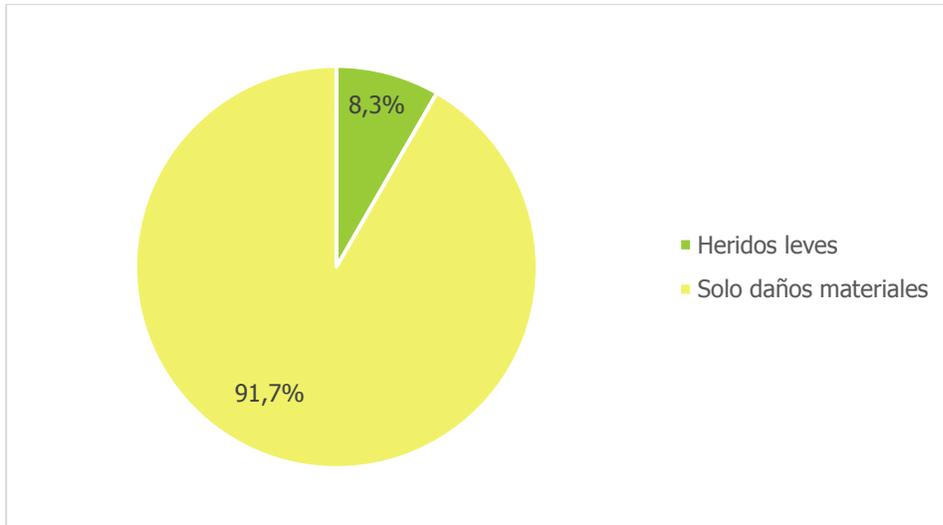
**Figura 92. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 16**

El total de choques reportado en este segmento es de 12. En relación con el tipo de choque, la mayoría son colisiones entre vehículos, pero también se registró un atropello y una colisión con objeto fijo.



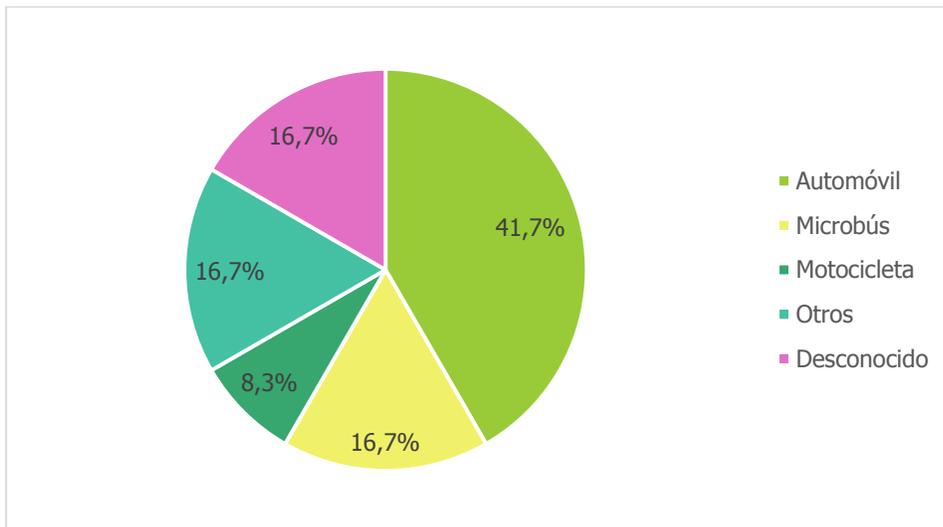
**Figura 93. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 16**

La mayoría de choques registrados son de daños materiales pero uno involucró un herido leve.



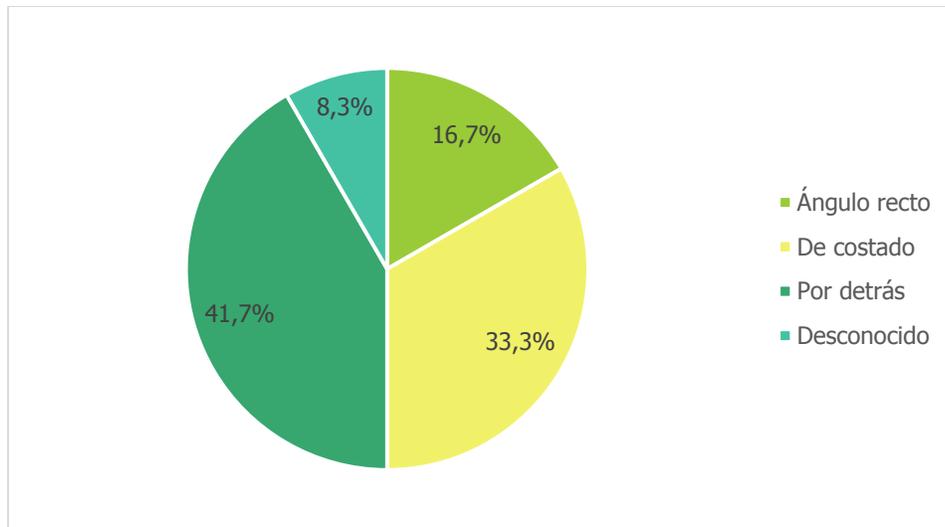
**Figura 94. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 16**

Los vehículos implicados en los accidentes reportados en este segmento son motocicleta, microbús y automóvil, además de los choques sin información.



**Figura 95. Porcentaje de choques según tipo de vehículo involucrado en el segmento 16**

Se han dado choques tanto en ángulo recto, como de costado y por detrás.



**Figura 96. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 16**

Como ya se mencionó, este tramo es muy turístico por la vista que tiene el río, sin embargo no cuenta con facilidades peatonales (ver Figura 97), únicamente tiene una señal vertical que indica la presencia de peatones. En la Figura 98 se evidencia lo anteriormente descrito, pues se puede ver un peatón cruzando el puente en un segmento de la carretera en donde la velocidad está reglamentada en 80 km/h.



**Figura 97. Ausencia de facilidades peatonales en el puente sobre el río Tárcoles**  
(Marzo, 2015)



**Figura 98. Fotografía de peatón transitando a través del puente**  
(Enero, 2016)

Por otra parte, en la visita se observó que la platina del puente se encuentra expuesta y dañada.



**Figura 99. Fotografía de problemas con la platina en el puente**  
(Enero, 2016)

La principal medida que se recomienda en este segmento es la de evitar que los peatones transiten por el puente, pues es realmente peligroso que caminen por la estructura desprovistos de algún tipo de facilidad peatonal.

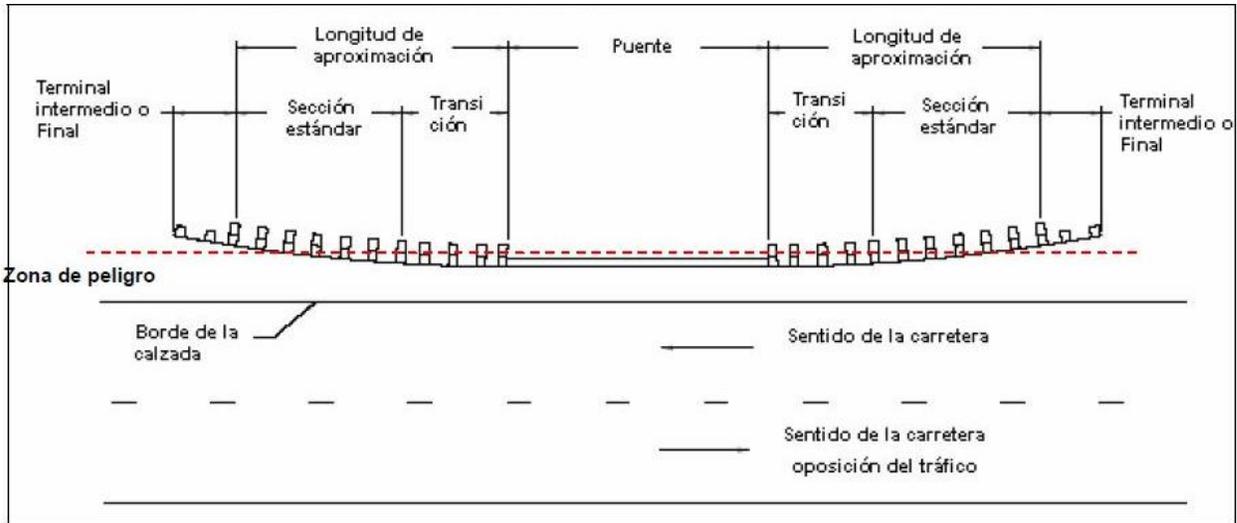
Proveer al puente de facilidades peatonales es una medida costosa, por lo que se recomienda crear un mirador antes del puente, de modo que las personas puedan seguir observando los cocodrilos sin exponer su vida. Además, se debe prohibir, hasta donde sea posible, la presencia de peatones en el puente, esto se puede realizar coordinando con las empresas turísticas para que no sigan realizando estas prácticas y se les sancione en caso de que lo hagan. También, se pueden destinar oficiales de tránsito para controlar que se cumpla la medida, principalmente en temporada alta.

Otro de los problemas que se observaron en este segmento es que la barrera de contención está colocada justo donde inicia la zona peligrosa (ver Figura 100), por lo que no existe una adecuada zona de transición, lo cual representa un peligro para los usuarios.



**Figura 100. Uso de las barreras de seguridad en el puente sobre el río Tárcoles**  
(Marzo, 2015)

En la siguiente figura se puede observar cuál es la ubicación de la zona peligrosa en el caso de puentes.



**Figura 101. Zona de peligro en puentes**

Fuente: Roadside Desing Guide, AASHTO, 2006

*Nota: Imagen tomada del informe de Evaluación de seguridad vial en la RN34, Lanamme, 2011, basada en el manual Roadside Desing Guide*

Por lo que se recomienda dar a las barreras de protección la adecuada longitud de aproximación para que funcionen correctamente, así como mejorar el diseño de la barrera en general en el puente y sus aproximaciones.

### **5.2.5 Segmento 17: Después del puente sobre el río Tárcoles**

Este segmento se ubica en Tárcoles, Garabito, Puntarenas y tiene una longitud de 1 026,76 m. Cuenta con dos carriles, el tipo de zona es rural y se clasificó como un segmento ondulado.



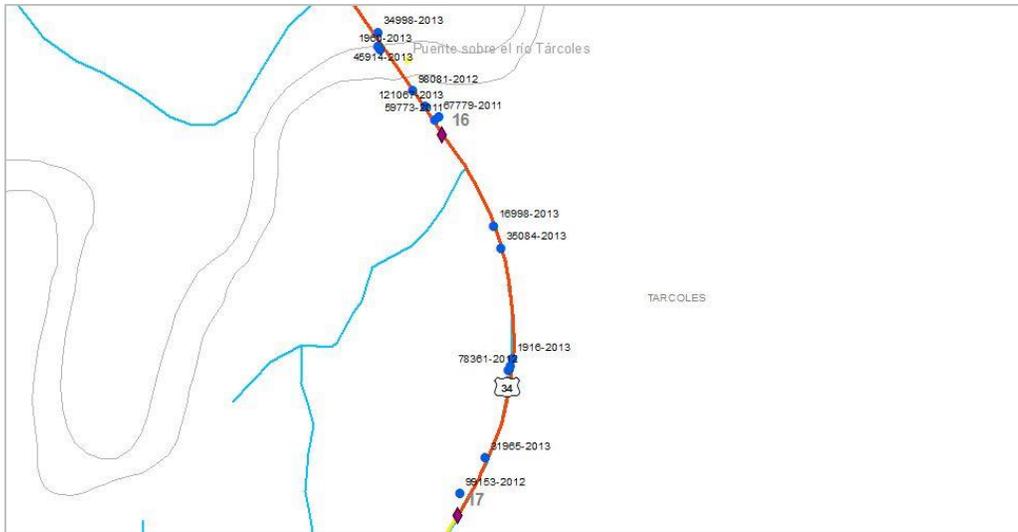
**Figura 102. Imagen satelital del segmento 17**

Fuente: Google Earth, 2016



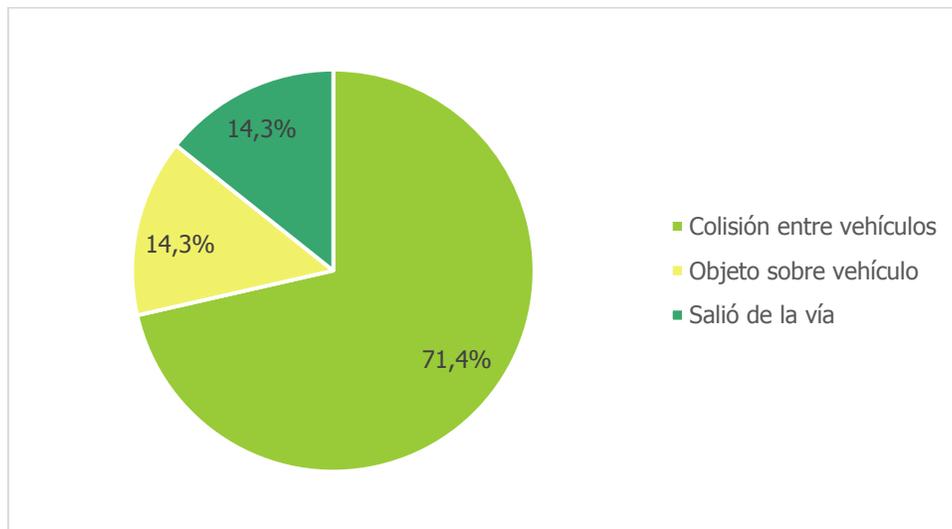
**Figura 103. Fotografía del segmento 17**

(Marzo, 2015)



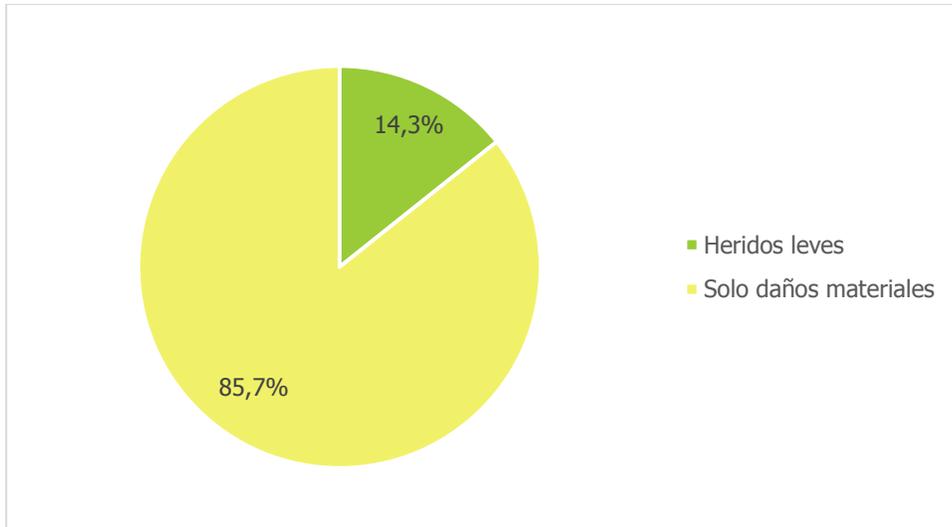
**Figura 104. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 17**

Se contabilizaron 7 choques en este tramo. El tipo de choque predominante es colisión entre vehículos, pero también se reportó un choque en el cual un objeto cayó sobre el vehículo y otro en el cual el vehículo se salió de la vía.



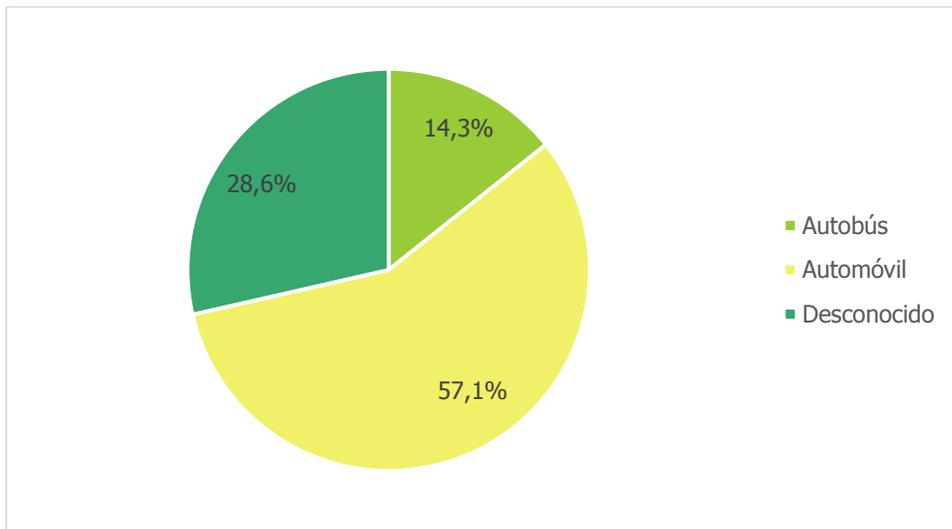
**Figura 105. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 17**

Con respecto a la severidad predominaron los choques de solo daños materiales, aunque también se reportó un choque con herido leve.



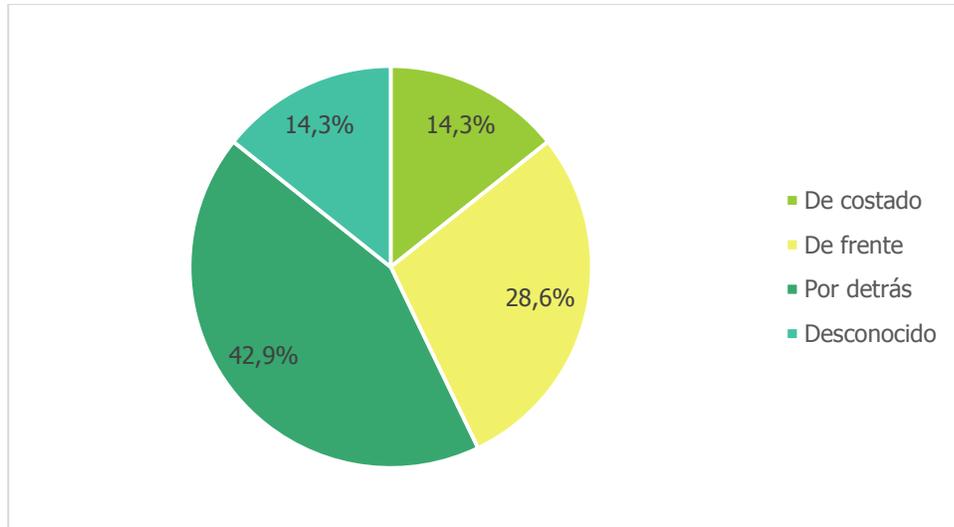
**Figura 106. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 17**

Un autobús, cuatro automóviles y dos vehículos desconocidos son los registrados en los choques de este segmento.



**Figura 107. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 17**

La mayoría de choques con información fueron por detrás, seguido por colisiones de frente y de costado.



**Figura 108. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 17**

Como se puede observar en la Figura 103, el espaldón es muy angosto (60 cm – 70 cm aproximadamente) y considerando que los alrededores son peligrosos y no hay zona de recuperación, este resulta uno de los mayores problemas de este segmento.

Según Valverde (2011), en su guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras, hay varias medidas que se pueden aplicar para evitar que los vehículos se salgan de la vía, entre ellas se encuentran: “instalar bandas sonoras en los espaldones (...); ensanchar los carriles de circulación; mejorar el alineamiento horizontal de la vía; brindar un adecuado mantenimiento al pavimento, específicamente se debe verificar la fricción entre la llanta y el pavimento, proveer demarcación y señalización adecuada a la carretera; ampliar el espaldón; pavimentar los espaldones; eliminar el nivel entre el espaldón y el carril de circulación” (p. 10). Por su parte, para minimizar la probabilidad de que un vehículo colisione con un objeto fijo o se vuelque, recomienda: “diseñar e implementar elementos traspasables y seguros; remover o reubicar los objetos fijos potencialmente peligrosos; delinear las zonas peligrosas” (p.10). Por último, si estos choques no se pueden evitar al menos se debe procurar reducir la severidad utilizando sistemas de contención vehicular.

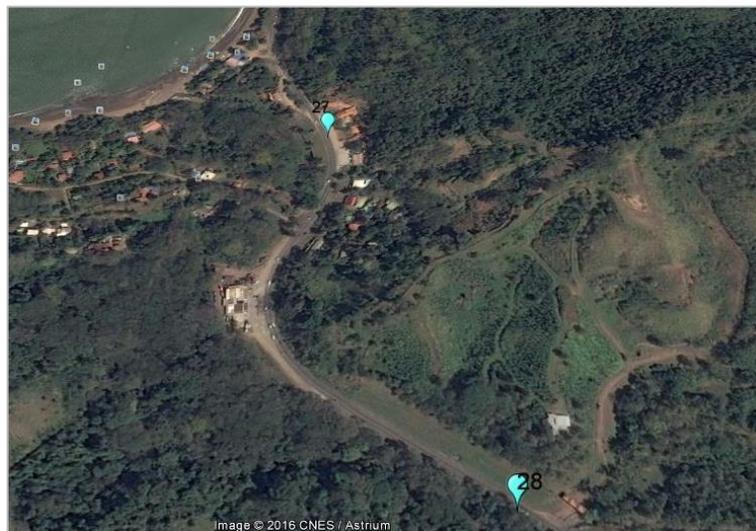
Tomando en consideración lo anterior y de acuerdo con las características de este segmento, se recomienda ampliar el espaldón a por lo menos 2 m - 2,5 m y que este sea pavimentado.

Además, se recomienda realizar un estudio para determinar si se requiere colocar barreras de seguridad en algunos tramos o la posibilidad de aplanar los taludes y si no, colocar bandas sonoras en los espaldones para evitar que los vehículos se salgan y en otros puntos de la carretera para alertar a los conductores.

También, se recomienda darle el adecuado mantenimiento a la carretera para que se mantenga tanto el pavimento como la demarcación en buen estado.

### ***5.2.6 Segmento 28: Pita, Tárcoles***

La longitud de este segmento es de 643,49 m y se ubica en Tárcoles, Garabito, Puntarenas. Es un segmento de dos carriles, zona urbana y muy ondulado.

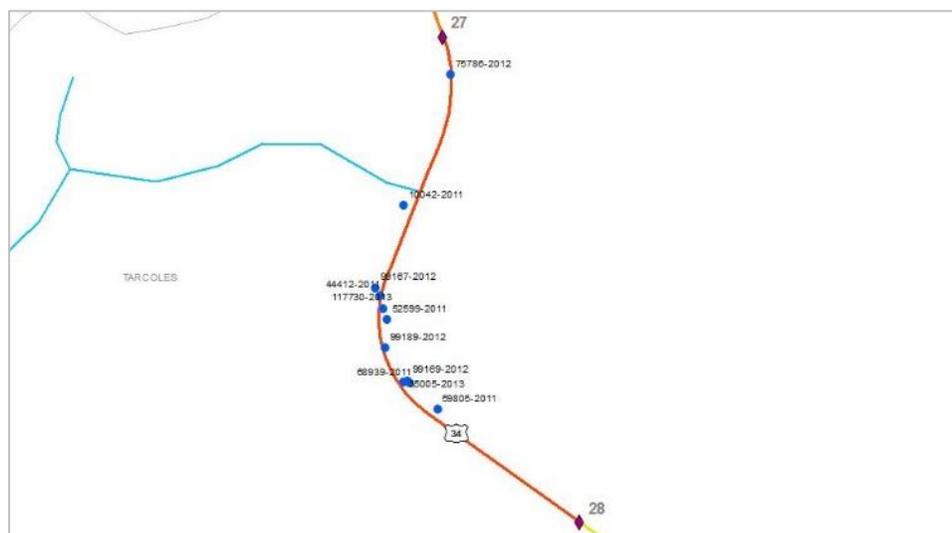


**Figura 109. Imagen satelital del segmento 28**

Fuente: Google Earth, 2016



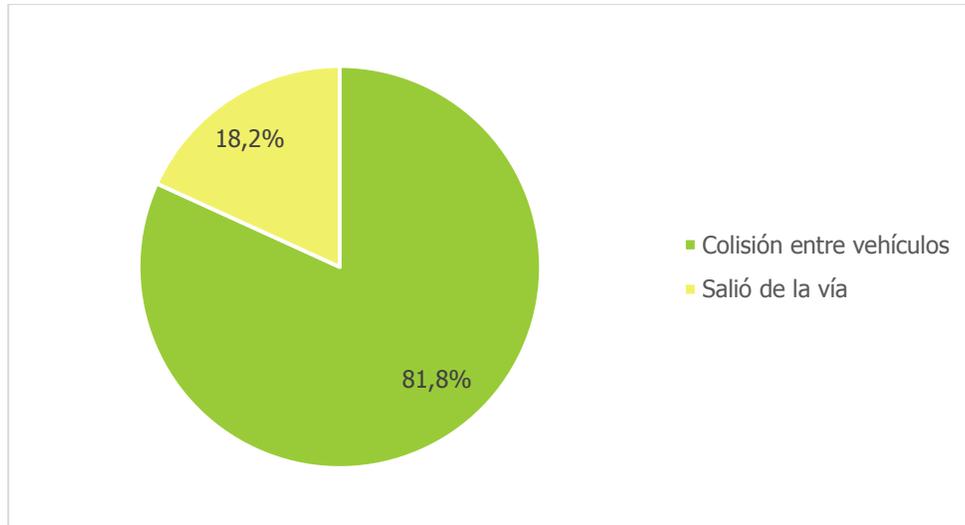
**Figura 110. Fotografía del segmento 28**  
(Marzo, 2015)



**Figura 111. Alineamiento horizontal y concentración de choques del segmento 28**

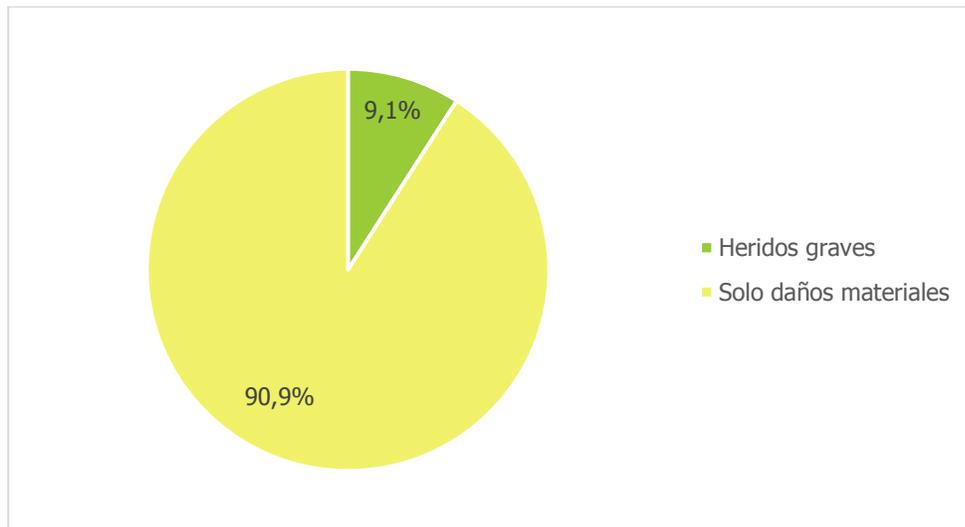
De los 11 choques totales reportados, 5 se dieron frente al Servicentro Costa Verde.

En relación con el tipo de choque se reportan colisiones entre vehículo en su mayoría y dos vehículos salieron de la vía.



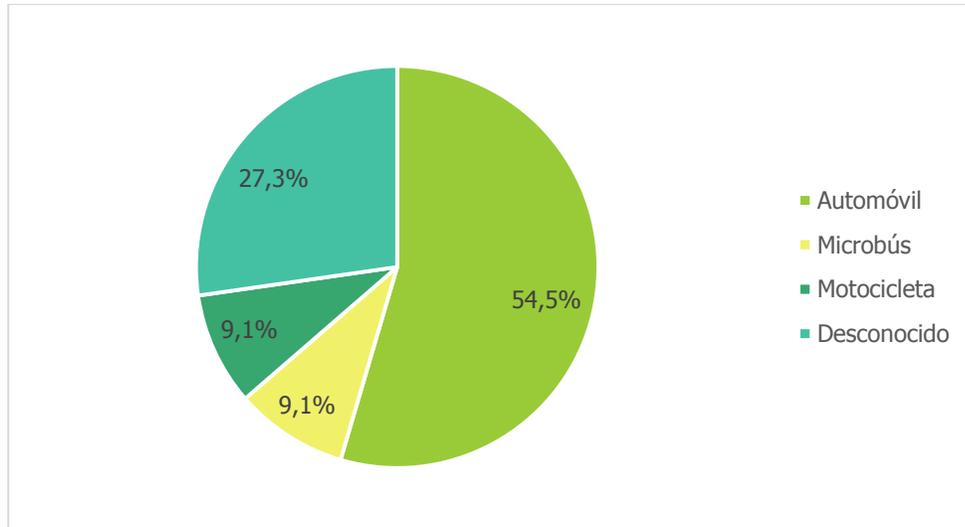
**Figura 112. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 28**

Nuevamente, la mayoría de choques fueron de solo daños materiales y uno implicó un herido leve.



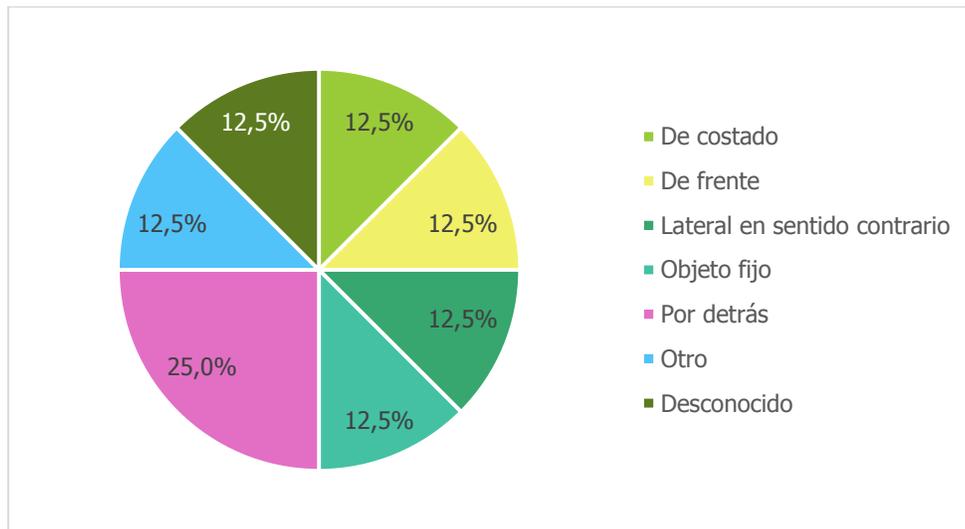
**Figura 113. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 28**

Automóvil, motocicleta y microbús fueron los vehículos involucrados en los choques de este segmento.



**Figura 114. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 28**

Varios tipos de sentido de circulación se registraron en los choques de este segmento, predominando los choques por detrás.



**Figura 115. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 28**

Al igual que en el segmento anterior, la recomendación principal para reducir la frecuencia de choques en este segmento es la de ampliar el espaldón a 2 m – 2,5 m para que los vehículos tengan más oportunidad de maniobrar en caso de salirse de la vía.

En la segunda visita a la zona, se observó que en gran parte de la carretera ubicada en el cantón de Garabito, se estaban colocando cunetas y ampliando los espaldones, por lo que queda pendiente revisar si estas medidas se implementaron en los segmentos que aquí se están analizando y determinar su desempeño. Además se recomienda pavimentar tanto los espaldones nuevos como los ampliados.

Cabe resaltar además, que en este segmento, los alrededores no son tan peligrosos como en el segmento 17 porque hay mayor zona libre y no hay tanta pendiente.

Por otra parte, en conjunto con la gasolinera Costa Verde, se debe mejorar la demarcación de entrada y salida a este servicentro y la iluminación para su correcta operación en horas de la noche.

### **5.2.7 Intersección 65: Entrada Quebrada Ganado 2**

Este sitio corresponde a una intersección tipo T, ubicada en Quebrada Ganado de Tárcoles, Garabito, Puntarenas (aproximadamente en las coordenadas 9°43'2,32"N, 84°37'55,99"O). El tipo de zona es urbana residencial-comercial y la carretera secundaria es cantonal. Corresponde a la segunda entrada a Quebrada Ganado en el sentido Coyolar-Palmar.



**Figura 116. Imagen satelital de la entrada a Quebrada Ganado 2**

Fuente: Google Earth, 2016

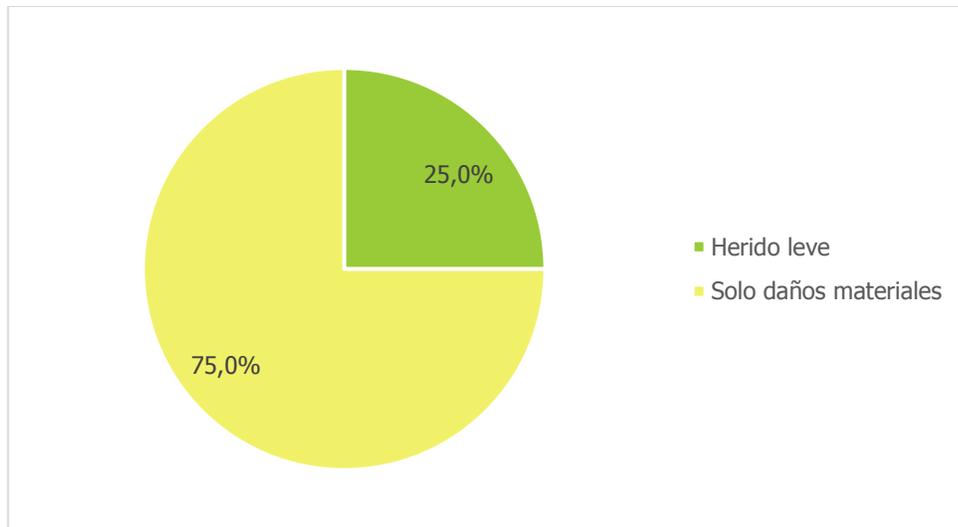


**Figura 117. Fotografía de la entrada a Quebrada Ganado 2**  
(Enero, 2016)



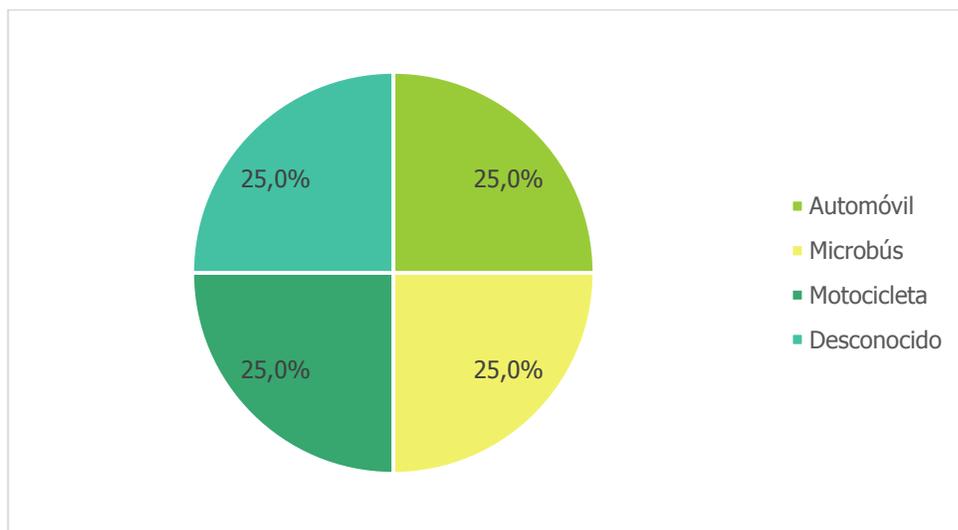
**Figura 118. Alineamiento horizontal y concentración de choques en la entrada a Quebrada Ganado 2**

En este caso, los 4 choques reportados corresponden a colisiones entre vehículos. Con respecto a la severidad del choque, hubo un herido leve y choques con solo daños materiales.



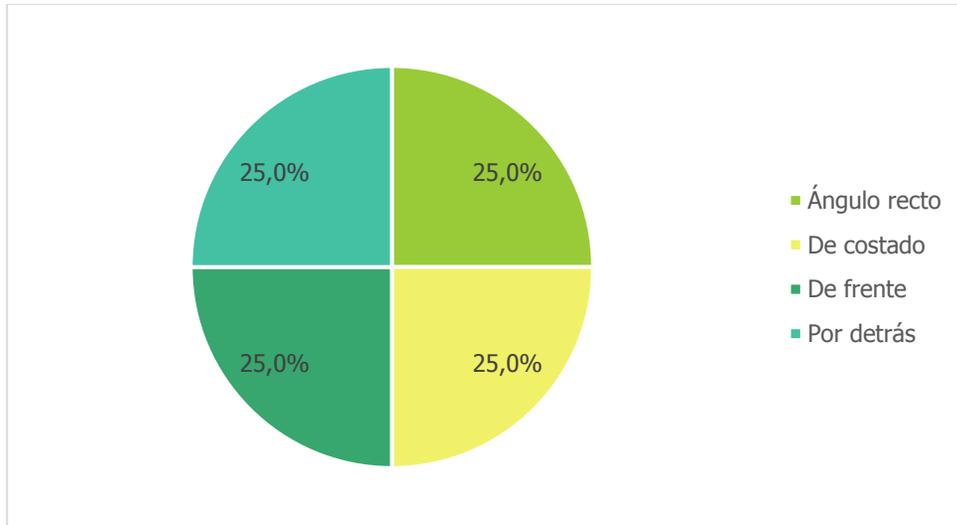
**Figura 119. Porcentaje de choques según severidad en la entrada a Quebrada Ganado 2**

Los vehículos involucrados fueron en iguales proporciones automóvil, microbús, motocicleta y desconocido.



**Figura 120. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en entrada a Quebrada Ganado**

De igual modo, en proporciones iguales hubo choques en ángulo recto, de costado, de frente y por detrás.



**Figura 121. Porcentaje de choques según sentido de circulación en la entrada a Quebrada Ganado 2**

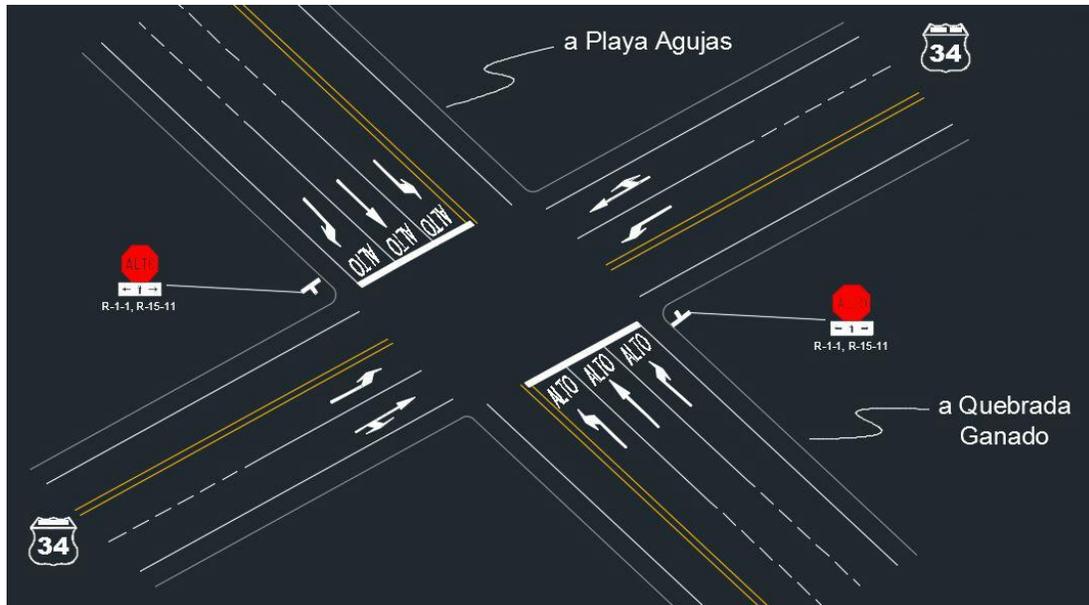
Para el acceso se recomienda colocar carriles exclusivos de giro a la izquierda y de giro a la derecha para incorporarse a la carretera principal. Implementar esta medida generalmente es complicado por problemas en el derecho de vía, sin embargo, en este caso hay espacio para poder aplicarla (ver Figura 122).



**Figura 122. Acceso en la entrada a Quebrada Ganado 2**  
(Enero, 2016)

Adicionalmente, se recomienda realinear esta intersección con la entrada a Playa Agujas, la cual registra un total de 5 choques de solo daños materiales y con esto crear una intersección tipo Cruz, en la cual se mejore la visibilidad, el alineamiento y se provea de buena demarcación.

Considerando lo anterior, se propone realinear la intersección como se muestra en la Figura 123.



**Figura 123. Propuesta de alineamiento de la Entrada a Quebrada Ganado 2**

### **5.2.8 Segmento 32: Punta Leona, Tárcoles**

Se ubica en Tárcoles, Garabito, Puntarenas, cerca de la entrada a Punta Leona. Tiene una longitud de 878,00 m, la zona es rural, cuenta con dos carriles y es un segmento ondulado. Seguidamente se muestran algunas imágenes del sitio.



**Figura 124. Imagen satelital del segmento 32**

Fuente: Google Earth, 2016



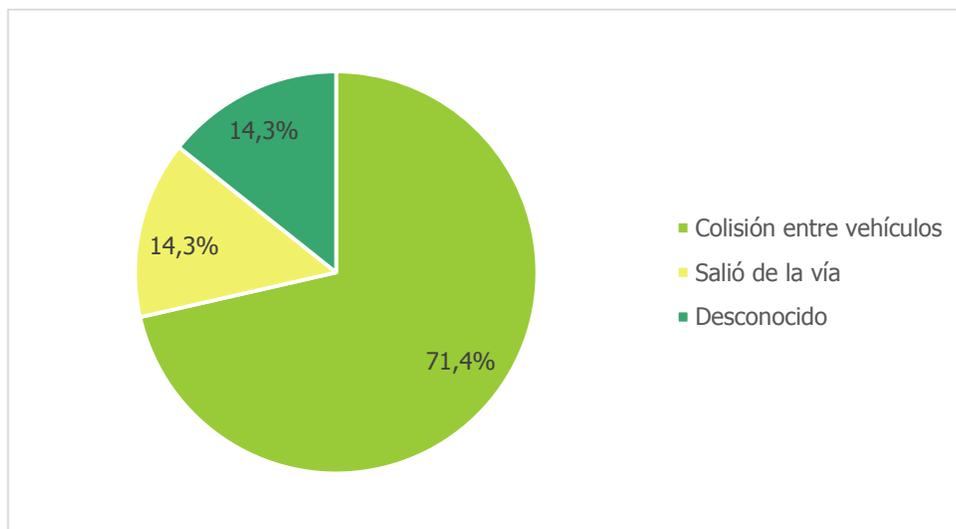
**Figura 125. Fotografía del segmento 32**

(Marzo, 2015)

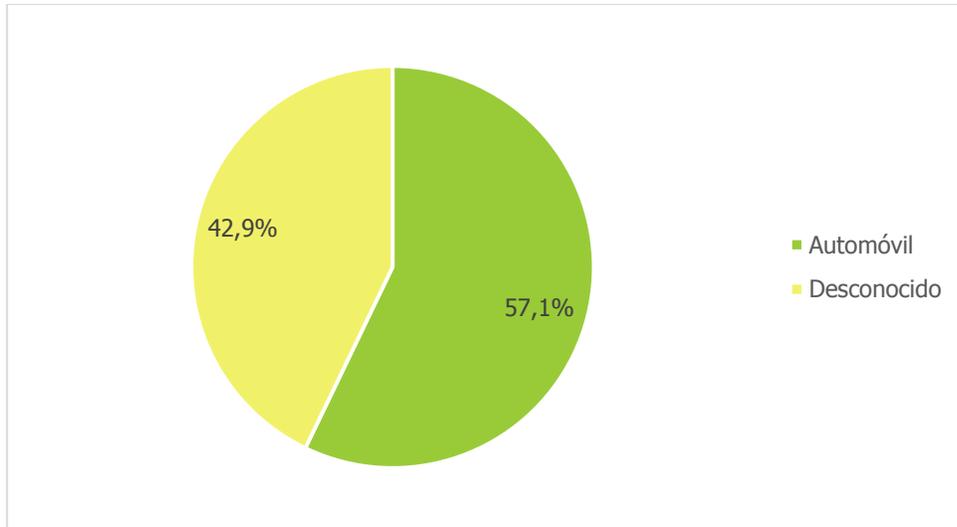


**Figura 126. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 32**

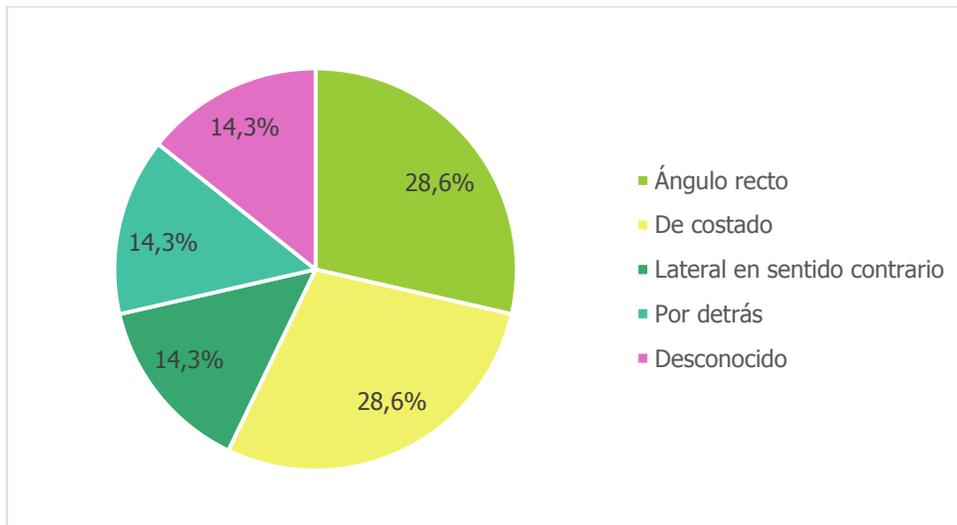
El total de choques es 7. El tipo de choque en su mayoría fue de colisión entre vehículos, todos los choques fueron de solo daños materiales, la mayoría de vehículos involucrados fueron automóviles y se reportaron colisiones en varios sentidos. A continuación se muestran estos resultados más detalladamente.



**Figura 127. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 32**



**Figura 128. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 32**



**Figura 129. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 32**

Como lo muestra la Figura 127, en este sitio siguen habiendo problemas con vehículos que se salen de la vía, sin embargo, en varios tramos de este segmento hay sistemas de contención ya colocados, solo que estos sistemas son de concreto, lo cual los hace elementos muy rígidos (ver Figura 130) y se recomienda que si hay suficiente espacio entre el obstáculo y el borde de la vía, es preferible utilizar barreras flexibles o semirrígidas, ya que este tipo de sistemas “imponen menores fuerzas de impacto a los ocupantes del vehículo” (Valverde, 2011, p.15) y de esta manera se reduce la posibilidad de que sufran lesiones severas. Por lo que se

recomienda realizar el estudio necesario para determinar con certeza qué tipo de barrera se necesita en este segmento. Además, se recomienda ampliar el ancho de espaldón.



**Figura 130. Barrera de contención colocada en el segmento 32**  
(Marzo, 2015)

### **5.2.9 Segmento 33: Villa Caletas, Tárcoles**

Este tramo tiene una longitud de 1 891,15 m y pertenece a Tárcoles, Garabito, Puntarenas. Es un segmento ondulado, la zona es rural y cuenta con carril de ascenso. Este segmento se encuentra seguido al segmento 32 (Punta Leona, Tárcoles).



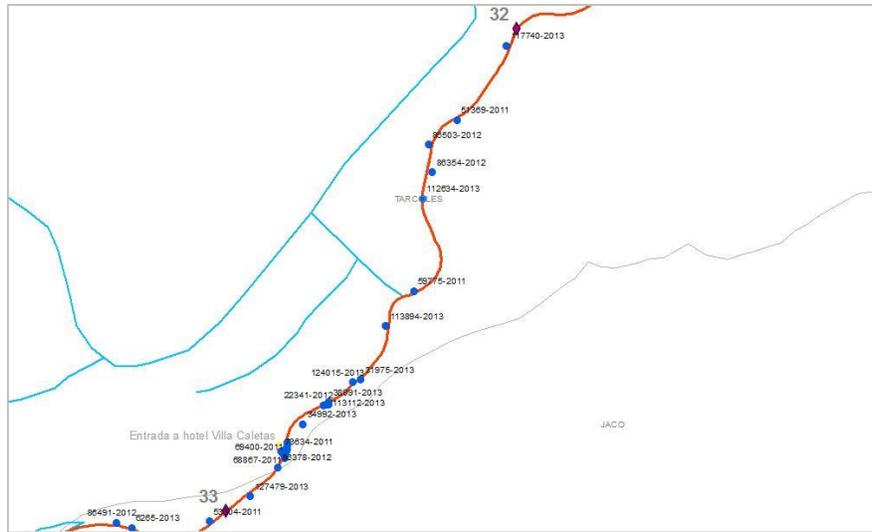
**Figura 131. Imagen satelital del segmento 33**

Fuente: Google Earth, 2016



**Figura 132. Fotografía del segmento 33**

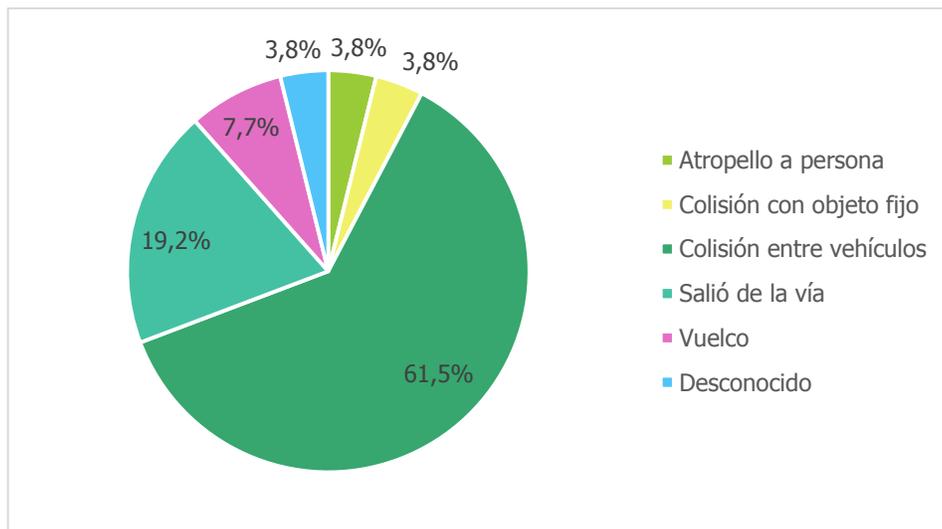
(Marzo, 2015)



**Figura 133. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 33**

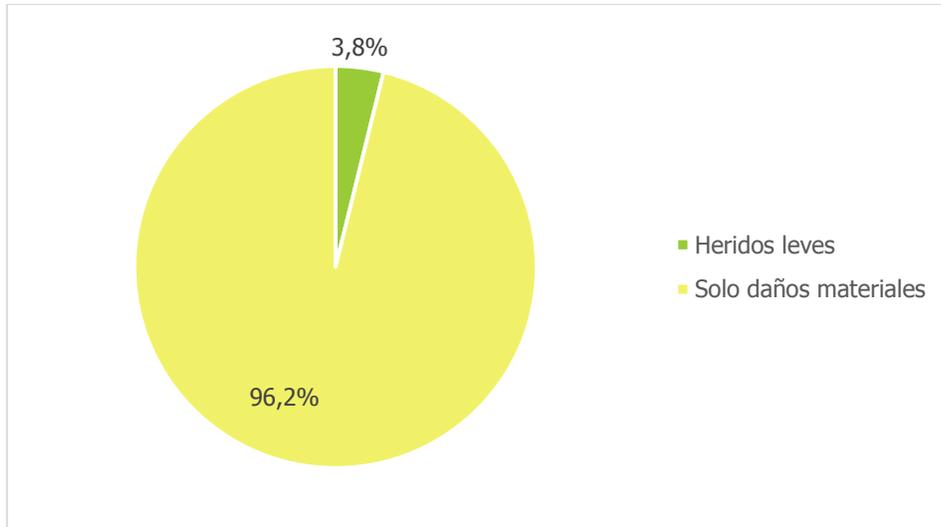
En este tramo se registraron 26 choques, de los cuales aproximadamente el 38% se dieron en la entrada al hotel Villa Caletas y varios más en sus cercanías.

La mayoría de choques se debieron a colisiones entre vehículos, salieron de la vía o sufrieron un vuelco.



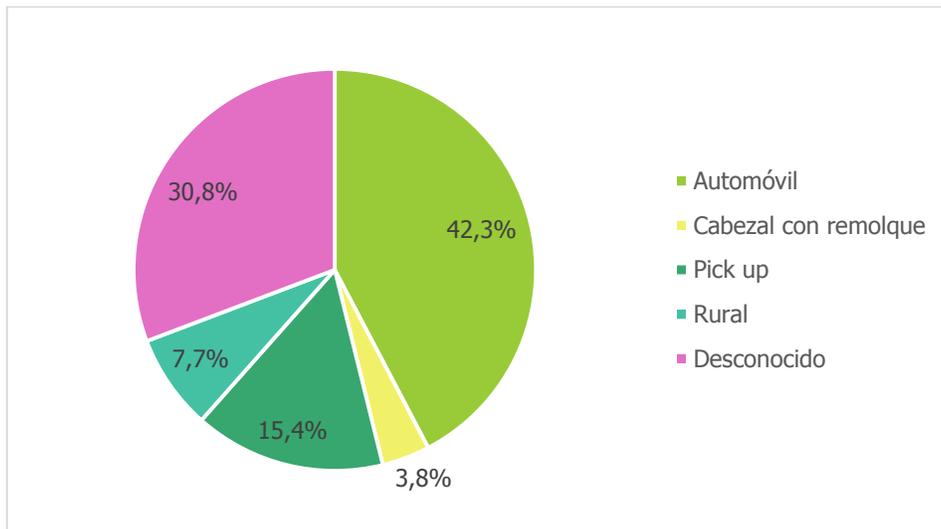
**Figura 134. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 33**

Uno de los choques reportó un herido leve y el resto fueron de solo daños materiales.



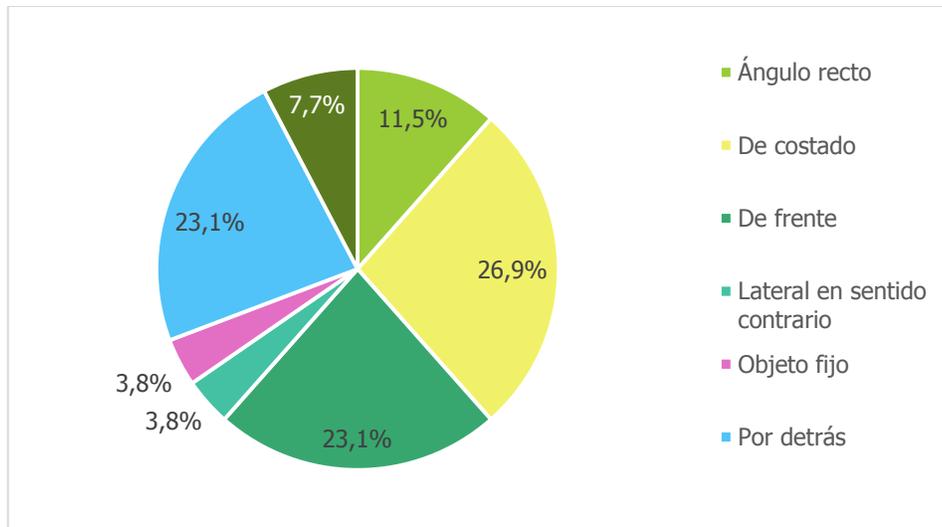
**Figura 135. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 33**

Hubo involucrados tanto automóviles, como *pick up*, vehículos rurales y un cabezal con remolque.



**Figura 136. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 33**

Predominaron los choques de costado, sin embargo, hubo colisiones en casi todos los sentidos de circulación.



**Figura 137. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 33**

Existen una serie de factores en este sitio que hacen que se ubique en el *ranking* 3 de segmentos con exceso de frecuencia de choques. Primeramente, existen tramos en los cuales no hay espaldón y hay otros en los cuales existe pero está lleno de maleza u objetos, por ejemplo rocas (ver Figura 138).



**Figura 138. Presencia de obstáculos en el espaldón**  
(Marzo, 2015)

Además, hay zonas como la mostrada en la Figura 139 en las cuales el sistema de contención se encuentra en el espaldón por lo que este pierde la funcionalidad y se aumenta el riesgo de choques.



**Figura 139. Barrera de seguridad colocada en el espaldón**  
(Marzo, 2015)

Por otra parte, en las visitas a la zona se pudo observar que el carril de ascenso termina antes de lo que debería y que los carriles son muy estrechos.

Aunado a esto, tal y como se mencionó, la entrada al hotel Villa Caletas (ver Figura 140), presenta una cantidad de choques muy alta.



**Figura 140. Entrada a hotel Villa Caletas**

(Enero, 2016)

Por lo tanto, para reducir la frecuencia de choques en este segmento se recomienda: ampliar los espaldones existentes y colocar los que no existen; remover los obstáculos que se encuentran en el espaldón y cerca de la vía, corregir los problemas en el carril de ascenso, ampliar el ancho de carril e indicar al hotel que debe realinear la entrada, colocando al menos un carril extra a la derecha.

### **5.2.10 Segmento 34: Mantas, Tárcoles**

Segmento de 1 893,16 m, ubicado igualmente en Tárcoles, Garabito, Puntarenas. También se encuentra en una zona rural y cuenta con carril de ascenso. Se clasificó como muy ondulado. Los segmentos 32, 33 y 34 se encuentran seguidos.

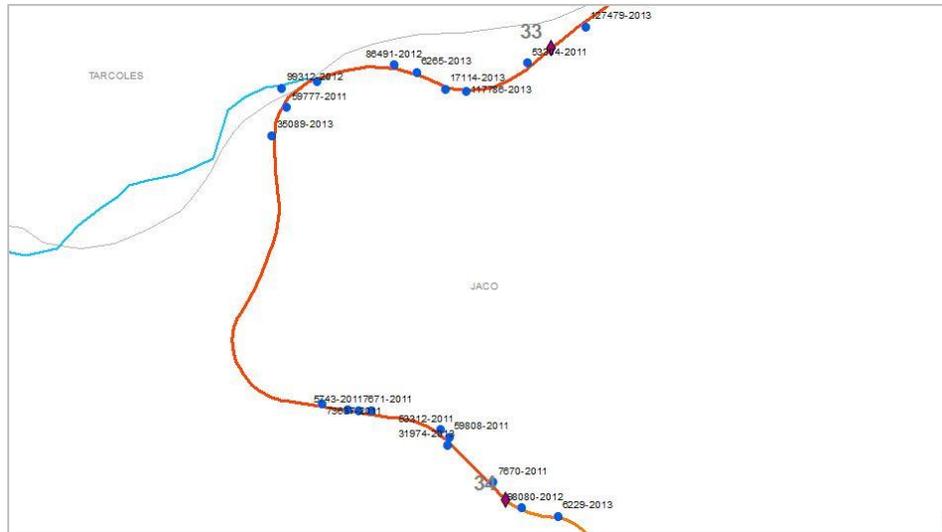


**Figura 141. Imagen satelital del segmento 34**

Fuente: Google Earth, 2016

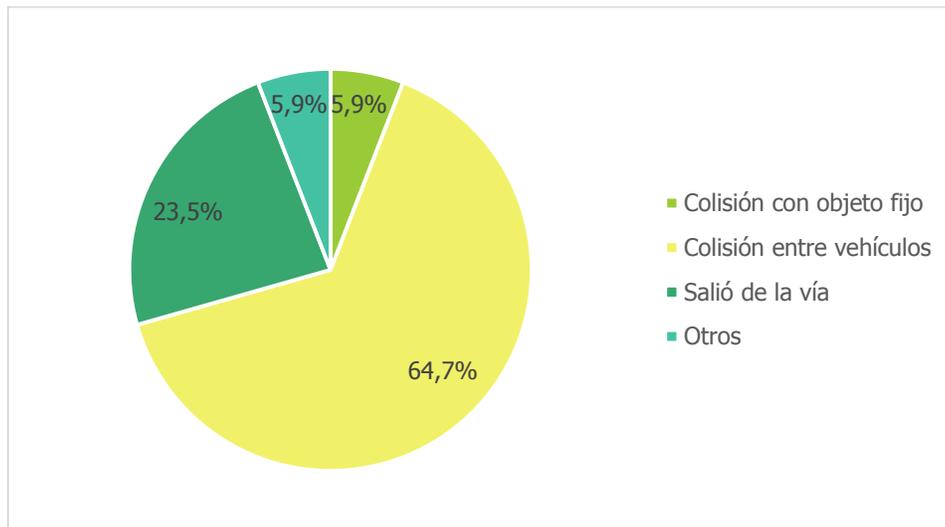


**Figura 142. Fotografía del segmento 34**



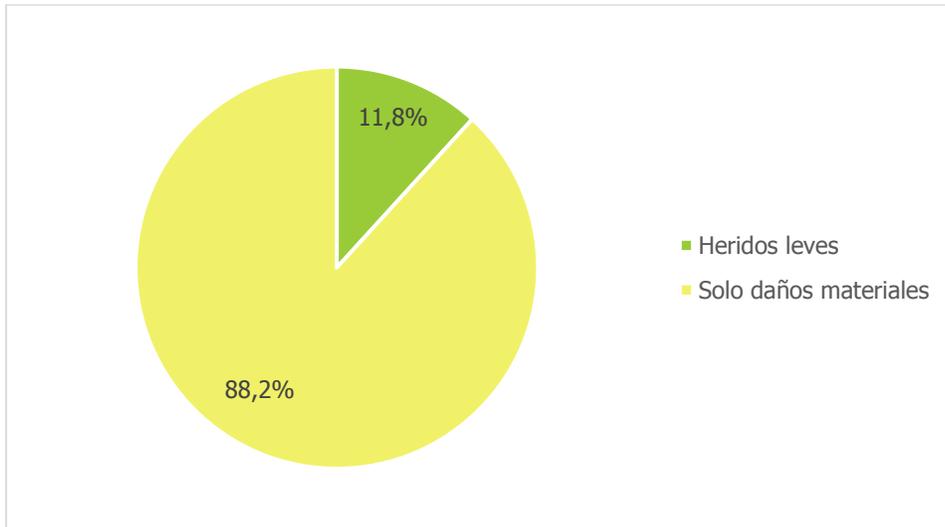
**Figura 143. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 34**

Un total de 17 choques fueron registrados en este segmento, de los cuales 11 fueron colisiones entre vehículos, pero también se observan problemas con vehículos que salieron de la vía.



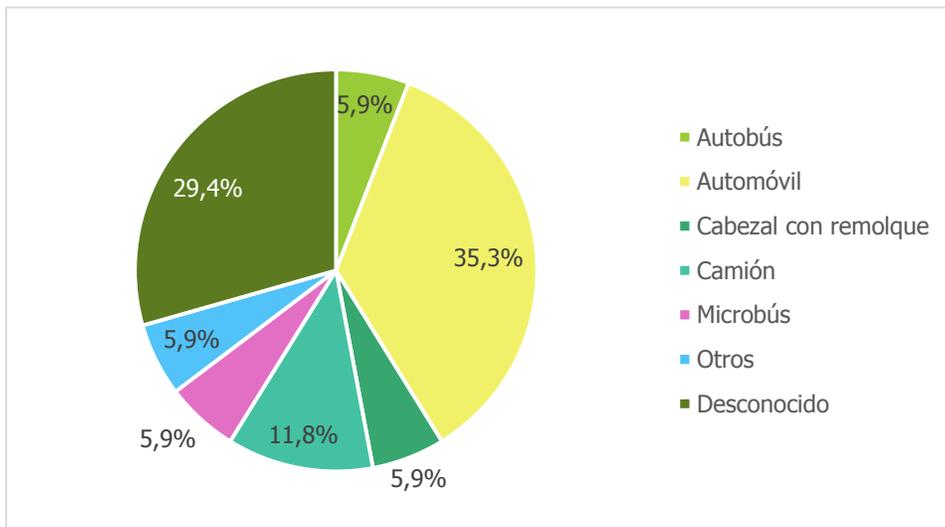
**Figura 144. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 34**

Dos del total de choques implicaron heridos leves, el resto fueron de solo daños materiales.

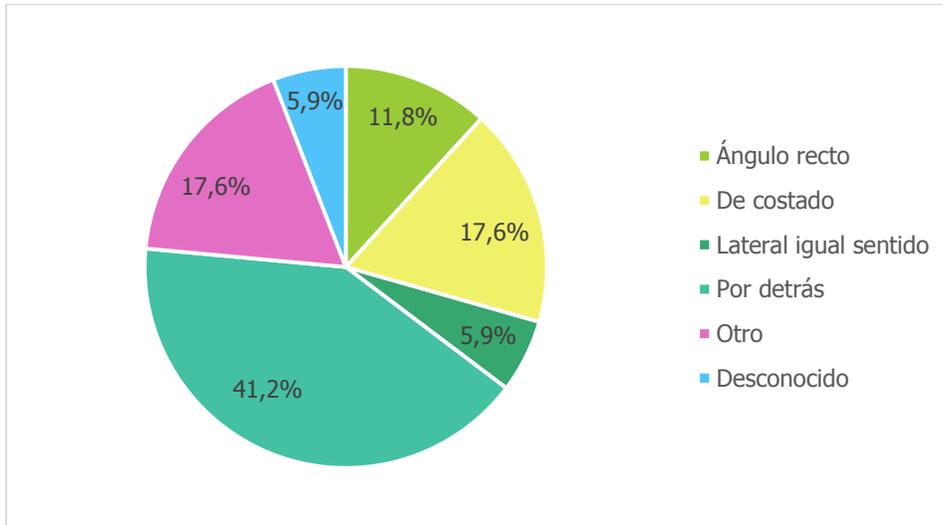


**Figura 145. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 34**

Fueron registrados choques con varios tipos de vehículos y varios sentidos de circulación, sin embargo predominaron los automóviles y los choques por detrás, respectivamente.



**Figura 146. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 34**



**Figura 147. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 34**

Al igual que en el segmento anterior hay problemas con el espaldón (ver Figura 148).



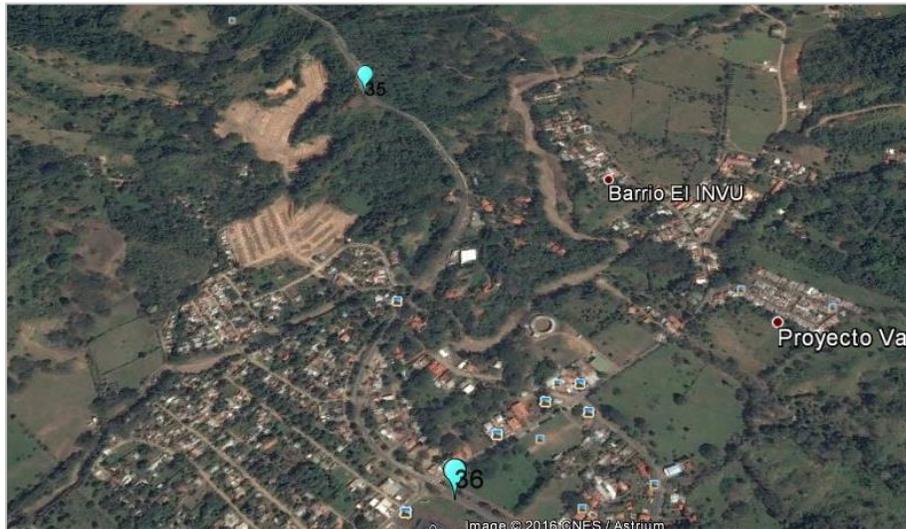
**Figura 148. Ausencia de espaldón en el segmento 34**  
(Marzo, 2015)

Por lo tanto, se recomienda corroborar si en las mejoras de espaldones que se estaban realizando al momento de realizar la gira del 21 de enero, se incluyó este segmento y si no ensancharlo a por lo menos 2 m.

Además, en este segmento el límite de velocidad es de 60 km/h, pero no se encuentra lo suficientemente demarcado y señalado por lo que se recomienda aplicar esta medida. Otro tratamiento que se puede aplicar en este caso, tomando en cuenta que este es un segmento muy ondulado, es colocar señalización combinada mediante ensambles de cambio en el alineamiento horizontal y límite de velocidad preventivo o reglamentario determinado mediante un estudio de velocidad.

### **5.2.11 Segmento 36: Herradura centro**

Este segmento se ubica en Herradura de Jacó, Garabito, Puntarenas y tiene una longitud de 805,95 m. Corresponde a un segmento ondulado y la zona es urbana, principalmente comercial.



**Figura 149. Imagen satelital del segmento 36**

Fuente: Google Earth, 2016

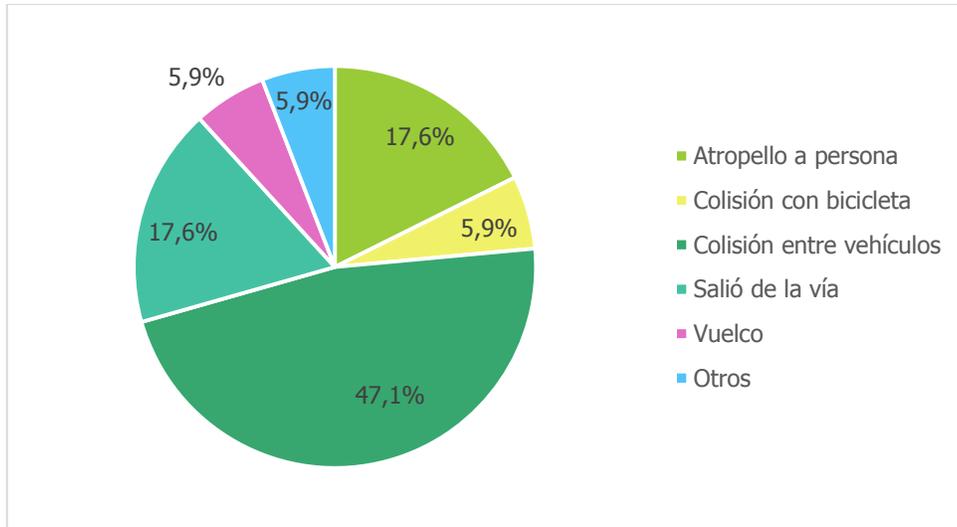


**Figura 150. Fotografía del segmento 36**  
(Marzo, 2015)



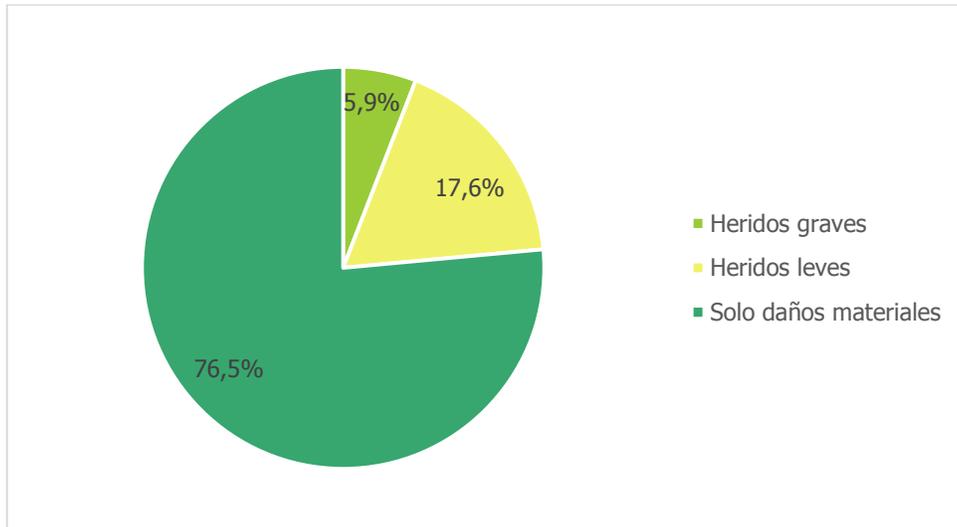
**Figura 151. Alineamiento horizontal y concentración de choques del segmento 36**

Se reportaron un total de 17 choques en este segmento. La mayoría de los choques fueron de nuevo, colisiones entre vehículos, pero un 23% involucraron usuarios vulnerables en la vía, es decir, peatones y ciclistas. Además hubo reportes de salidas de la vía y un vuelco.



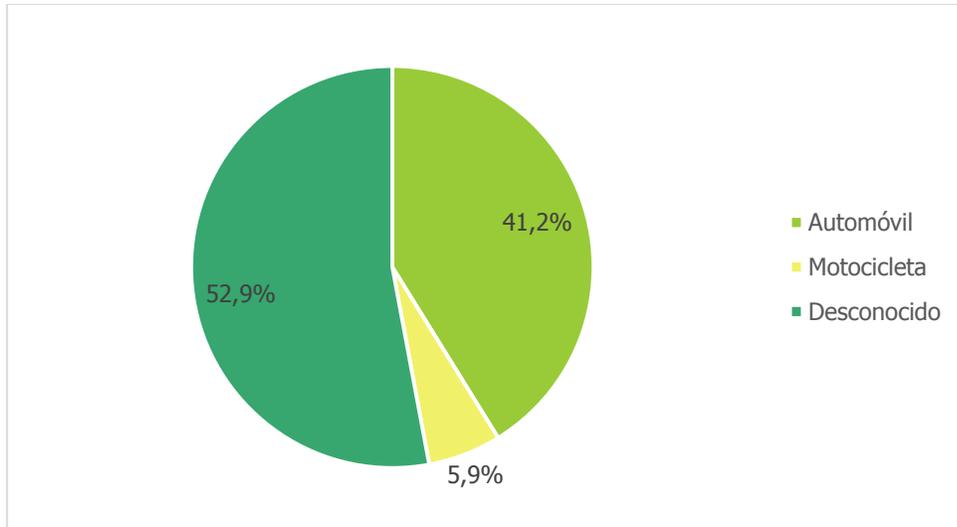
**Figura 152. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 36**

En este caso, además de los heridos leves y los choques de solo daños materiales, se reportó un herido grave.



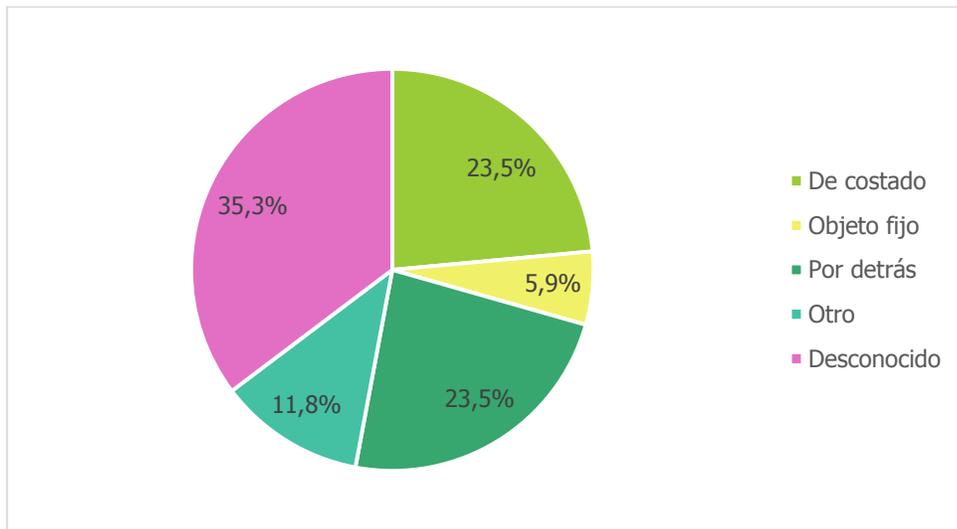
**Figura 153. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 36**

La mayoría de las boletas no reportaron el tipo de vehículo relacionado, sin embargo, aunque no aparece en esta información, al menos se debió incluir una bicicleta por la colisión con bicicleta reportada.



**Figura 154. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 36**

En el caso del sentido de circulación también hubo muchas boletas sin información. De las que sí contaban con información, predominaron los choques de costado y por detrás.



**Figura 155. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 36**

Como se puede ver, los choques en este segmento reflejaron grandes debilidades en las facilidades peatonales, sin embargo, en noviembre de 2014 (según información del COSEVI), se colocó un puente peatonal en este tramo, cerca de la intersección Cruce Herradura (ver Figura 156). Este puente representa un aporte importante, sin embargo, se debería evaluar su

desempeño e impacto en la mitigación de choques, así como implementar medidas alternativas para fomentar su uso.

Aun así, existen otros problemas asociados a los peatones en este segmento, como lo son las paradas de autobuses a la orilla de la carretera, lo que los hace exponerse en gran medida, por lo que se recomienda construir bahías para autobuses.



**Figura 156. Puente peatonal ubicado en Herradura**  
(Marzo, 2015)

Por otro lado, existen problemas también con ciclistas (ver Figura 157), pues en esta zona muchas personas se movilizan utilizando este medio de transporte sin contar con facilidades para hacerlo. En este y otros segmentos e intersecciones de esta zona, se presentó el mismo problema con este tipo de usuarios, por lo que se recomienda colocar una ciclovía entre Herradura y Jacó. En el Plan Regulador Cantonal Rural de Garabito realizado por ProDUS-UCR en el año 2013 se incluyen varias propuesta de peatonización y colocación de ciclovías en varios tramos del cantón que coinciden con los sitios con problemas observados en este proyecto, por lo que se evidencia la importancia de construcción de estos espacios.



**Figura 157. Ciclista y peatones transitando por el segmento 36**  
(Enero, 2016)

Otro problema que también es frecuente en los segmentos urbanos de esta carretera es la densidad tan alta de accesos. Para corregir este problema, se recomienda unificar las entradas y salidas mediante la colocación de una calle marginal, de manera que los comercios y casas ubicadas en este segmento sigan teniendo acceso a la carretera pero de una manera más controlada.

También, se recomienda demarcar la zona, pues la mayor parte de este segmento se encuentra sin demarcar (ver Figura 158).



**Figura 158. Fotografía de la falta de demarcación del segmento 36**  
(Marzo, 2015)

Y por último, se recomienda mejorar la seguridad del puente Caña Blancal (ver Figura 159), pues como se puede ver no hay barrera en la longitud de aproximación lo cual aumenta el riesgo de que algún vehículo pueda caer en el precipicio.



**Figura 159. Fotografía del puente Caña Blancal**  
(Marzo, 2015)

### **5.2.12 Intersección 34: Entrada frente al Super Diana, Herradura**

Intersección tipo T, ubicada en Herradura de Jacó, Garabito, Puntarenas (aproximadamente en las coordenadas 9°39'54,65"N, 84°38'23,98"O). El tipo de zona es urbana residencial-comercial y la carretera secundaria en cantonal.



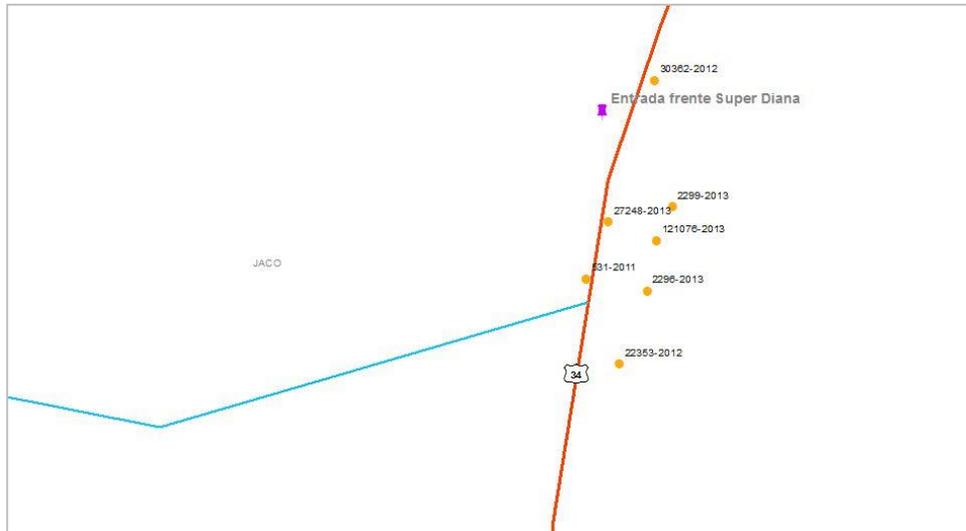
**Figura 160. Imagen satelital de la entrada frente al Super Diana**

Fuente: Google Earth, 2016



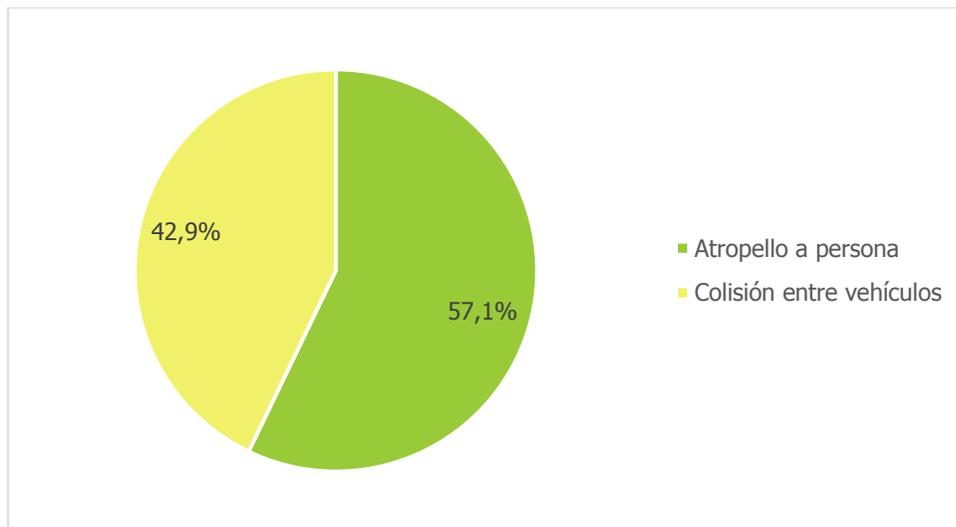
**Figura 161. Fotografía de la entrada frente al Super Diana**

(Enero, 2016)

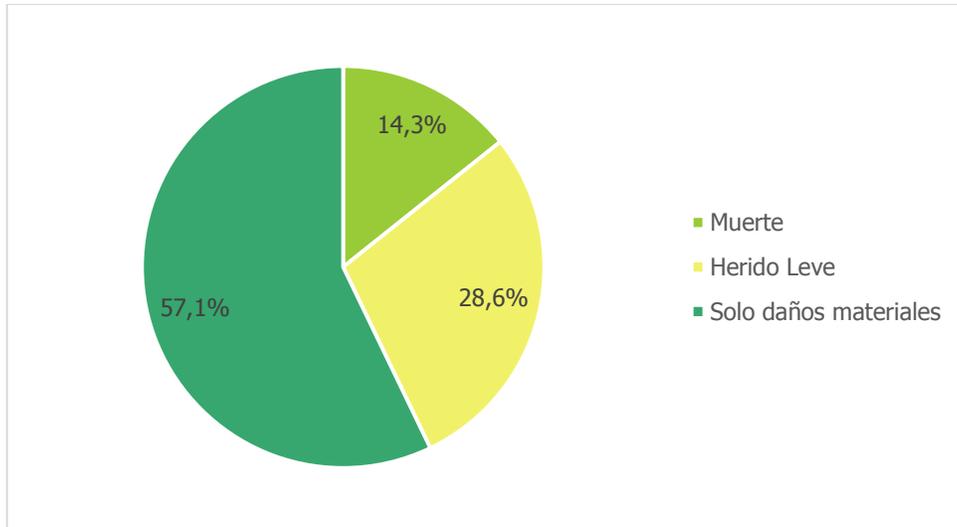


**Figura 162. Alineamiento horizontal y concentración de choques en la entrada frente al Super Diana**

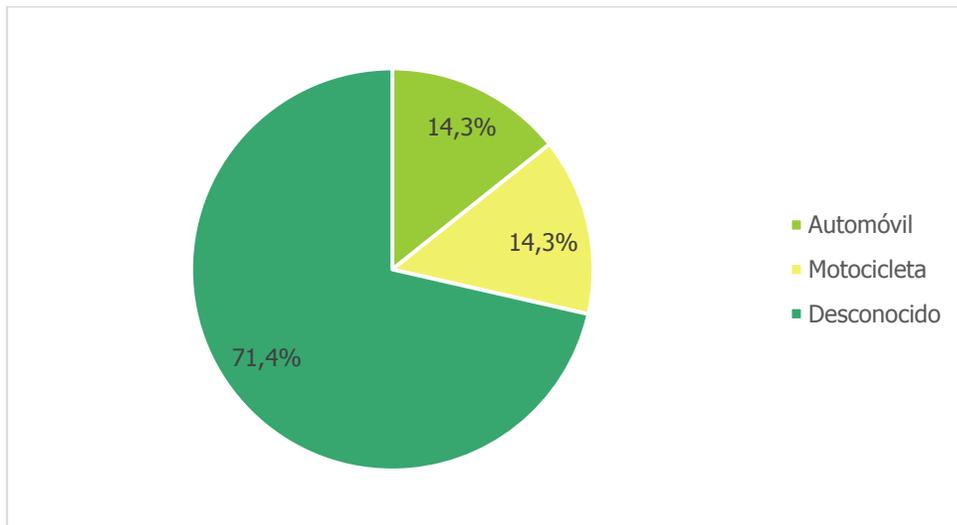
En esta intersección se tiene un total de choques de 7. Predominan los atropellos a personas, donde uno inclusive resultó en la muerte del peatón. No se cuenta con suficiente información acerca del tipo de vehículo relacionado, ni del sentido de circulación.



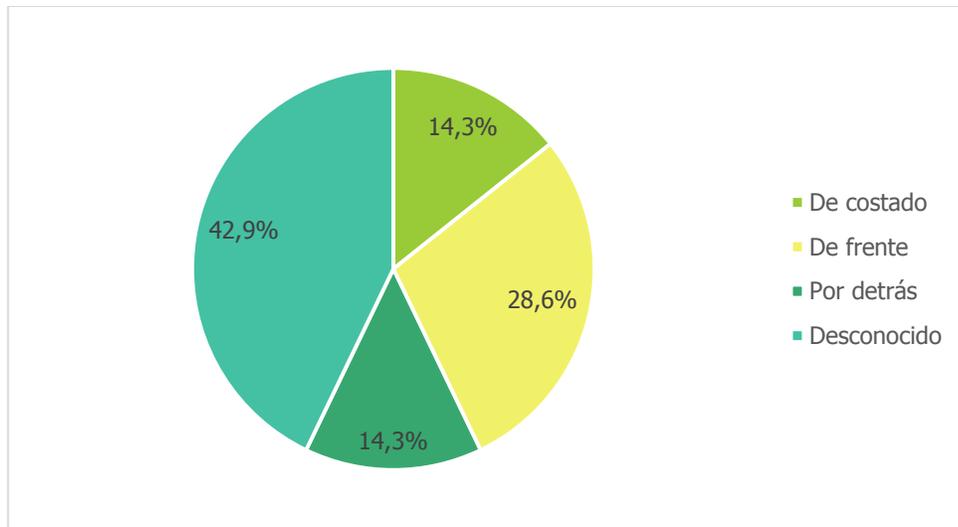
**Figura 163. Porcentaje de choques según el tipo de choque en la entrada frente al Super Diana**



**Figura 164. Porcentaje de choques según severidad en la entrada frente al Super Diana**



**Figura 165. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en la entrada frente al Super Diana**



**Figura 166. Porcentaje de choques según sentido de circulación en la entrada frente al Super Diana**

Esta intersección presenta problemas de visibilidad, pues el acceso tiene una pendiente elevada, además de que muy cerca hay una curva horizontal en la carretera principal.

El problema con los peatones, al igual que en el resto del segmento (ya que esta intersección forma parte del segmento 36, previamente analizado) es evidente, primero porque la Ruta Nacional 34 divide una zona residencial de una zona con presencia de comercios como el Super Diana, lo que provoca que los vecinos (que salen del acceso de la entrada frente al Super Diana) tengan que cruzar la calle constantemente. Además, en las visitas a la zona se pudo observar que hay dos paradas de autobuses cerca de la intersección, lo que causa que peatones requieran constantemente estar cruzando la calle en este punto (ver Figura 167).

Aunque como se afirmó anteriormente, existe un puente peatonal cerca de la Plaza Herradura, ubicada a unos 400 m de esta intersección, los peatones prefieren arriesgarse a cruzar la calle en este punto en vez de caminar hasta el paso peatonal.



**Figura 167. Peatones cruzando cerca de la intersección**  
(Enero, 2016)

Considerando todos estos factores se recomienda primeramente reducir la velocidad de la carretera principal, que actualmente tiene un límite de 60 km/h. Una medida que se puede aplicar es el uso de rayas logarítmicas como las que se recomendaron para la Rotonda Pozón, pues estas demarcaciones también son útiles en la proximidad a intersecciones, en las cuales sea necesario advertir riesgos y donde no exista un debido respeto al cumplimiento de los límites de velocidad establecidos y señalizados.

Para este caso, las líneas deben ser igualmente blancas, tener un ancho de 0,6 m, cumplir con el distanciamiento al borde de la calzada de mínimo de 0,3 m, el espaciamiento de las líneas y la cantidad, reduciendo la velocidad de 60 km/h a 40 km/h, se muestra en el siguiente cuadro.

**Cuadro 20. Cantidad de líneas y espaciamiento para reducir la velocidad en entrada frente al Super Diana**

<b>Número de líneas</b>	<b>Espaciamiento entre líneas (m)</b>
13	15,25
12	11,75
11	9,55
10	8,05
9	6,95
8	6,10
7	5,50
6	4,95
5	4,50
4	4,15
3	3,85
2	3,55
1	0,00
<b>Longitud de espaciamiento (m)</b>	84,15
<b>Longitud total (m)</b>	91,95

Fuente: SIECA, 2014

También, se recomienda demarcar y delinear bien la intersección, así como colocar iluminación para la noche.

### ***5.2.13 Intersección 12: Cruce Herradura***

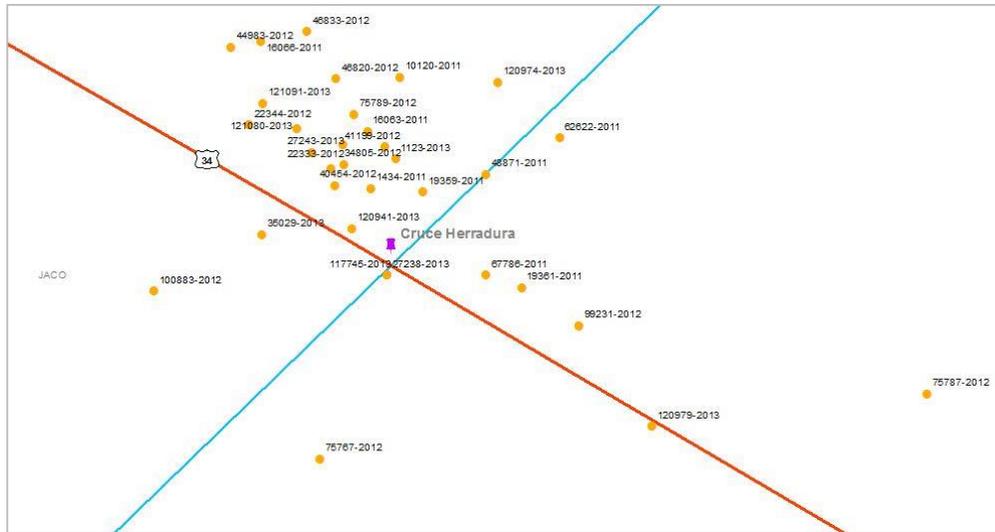
Corresponde a una intersección tipo cruz ubicada en Herradura de Jacó, Garabito, Puntarenas (aproximadamente en las coordenadas 9°39'45,77"N, 84°38'18,77"O). Uno de los accesos es el ingreso a la Plaza Herradura. El tipo de zona es urbana, principalmente comercial y la carretera secundaria es cantonal. Cuenta con semáforos y tiene cerca el puente peatonal anteriormente descrito, pues esta intersección también se ubica en el segmento 36.



**Figura 168. Imagen satelital del cruce Herradura**  
Fuente: Google Earth, 2016

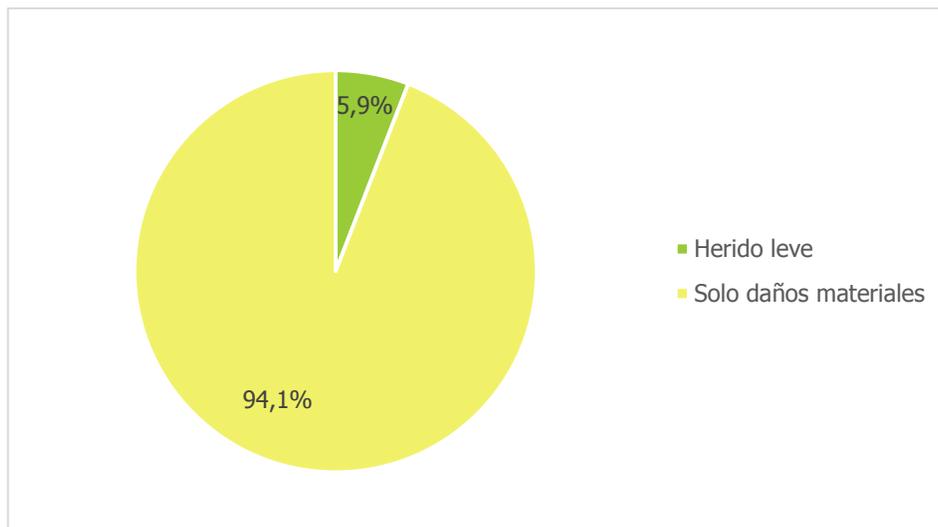


**Figura 169. Fotografía del cruce Herradura**  
(Marzo, 2015)

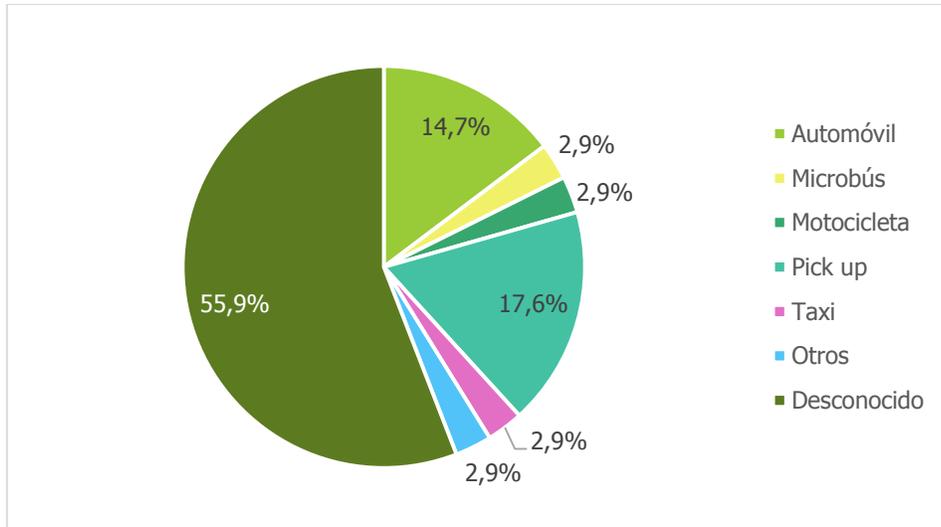


**Figura 170. Alineamiento horizontal y concentración de choques del cruce Herradura**

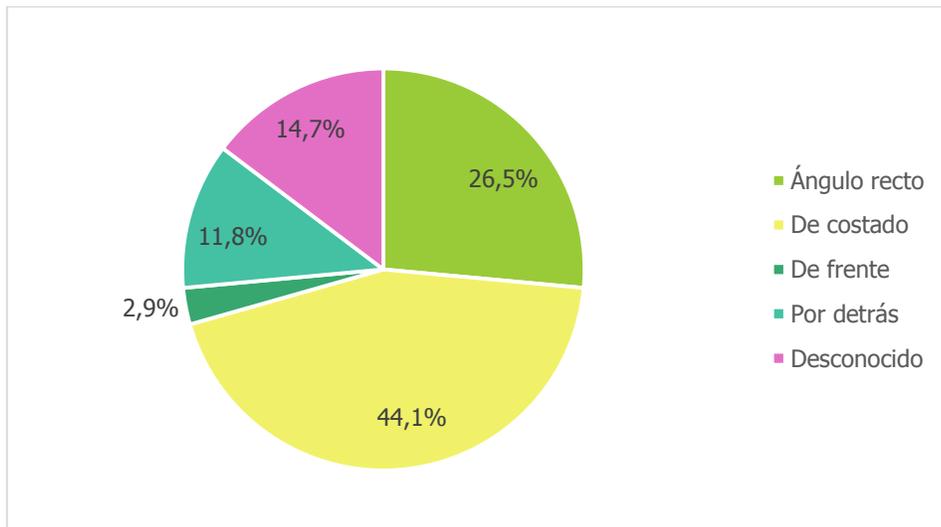
Es importante destacar que esta es la intersección más crítica según los resultados del modelo de choques totales. El total de choques registrados para esta intersección es de 34, de los cuales todos corresponden a colisiones entre vehículos. La mayoría de los choques solo implicaron daños materiales, hay poca información sobre el tipo de vehículo relacionado y predominaron los choques en ángulo recto y de costado.



**Figura 171. Porcentaje de choques según severidad en el cruce Herradura**

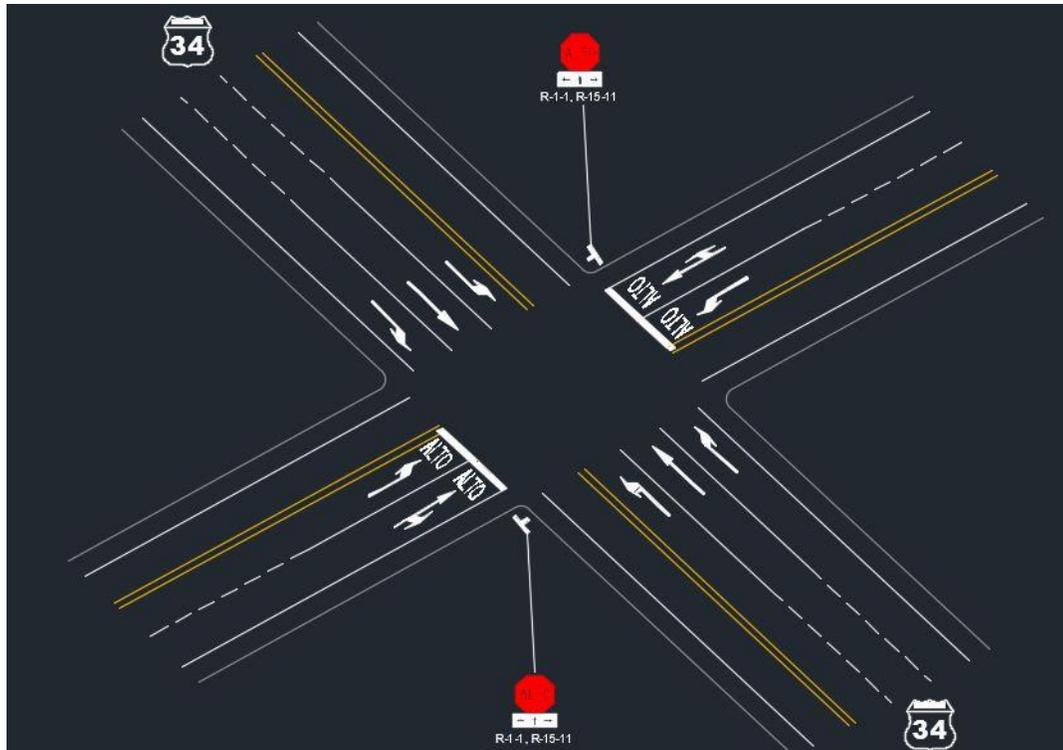


**Figura 172. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el cruce Herradura**



**Figura 173. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el cruce Herradura**

Para reducir la frecuencia de choques en esta intersección se recomienda poner carriles exclusivos de giro en la carretera principal, así como ensanchar los accesos y poner carriles exclusivos de giro también (ver Figura 174).



**Figura 174. Propuesta de mejoramiento para el cruce de Herradura**

Además, actualmente solo hay un semáforo de prevención, por lo que se recomienda estudiar la posibilidad de semaforizar la intersección, siempre procurando mantener un buen nivel de servicio pero con seguridad para los usuarios.

Por otra parte, se recomienda demarcar la intersección, pues como se ve en la Figura 169, actualmente carece de señalamiento horizontal. Y además se debe demarcar bien el paso de dos carriles a cuatro y viceversa e identificar los carriles de giro exclusivo para guiar adecuadamente a los conductores.

Por último se recomienda reducir la velocidad a 40 km/h y colocar tanto señalización horizontal como vertical indicando el límite de velocidad.

### **5.2.14 Intersección 31: Entrada frente a la gasolinera Delta Herradura**

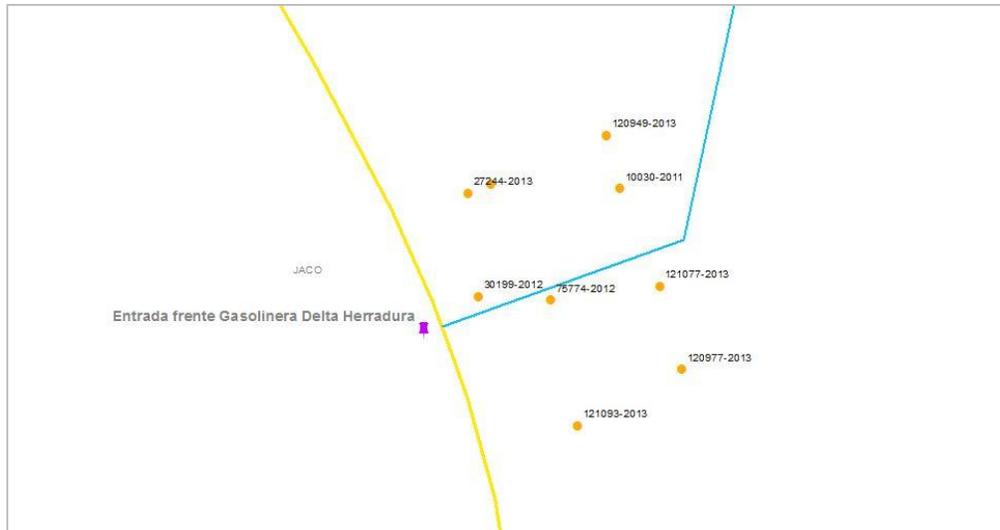
Intersección tipo T ubicada en Herradura de Jacó, Garabito, Puntarenas (aproximadamente en las coordenadas 9°39'37,13"N, 84°38'7,49"O). Queda frente a la Gasolinera Delta Herradura. El tipo de zona es urbana comercial y la carretera secundaria es cantonal.



**Figura 175. Imagen satelital de la entrada frente a la gasolinera Delta**  
Fuente: Google Earth, 2016

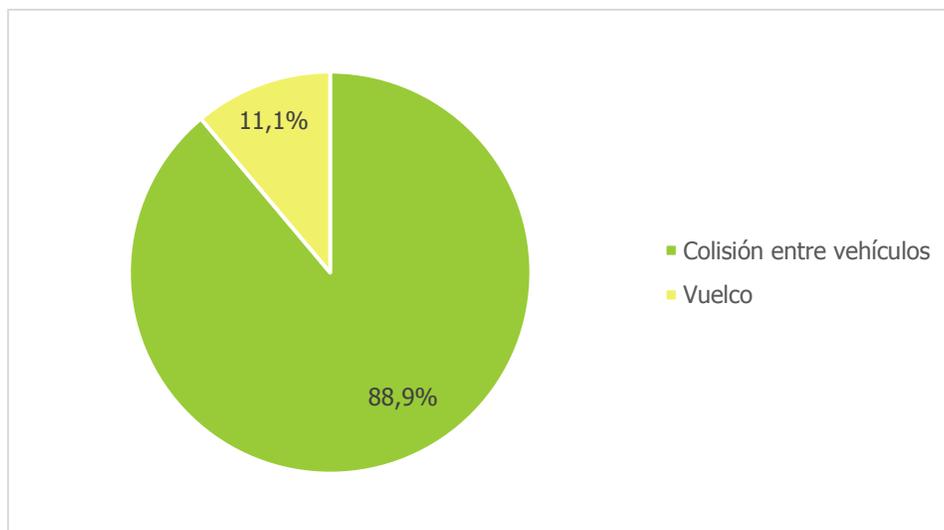


**Figura 176. Fotografía de la entrada frente a la gasolinera Delta**  
(Marzo, 2015)

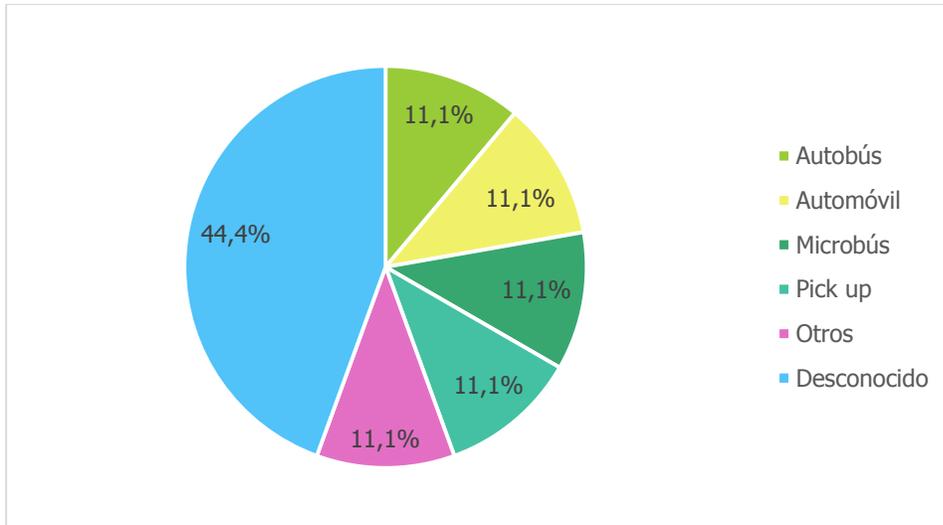


**Figura 177. Alineamiento horizontal y concentración de choques de la entrada frente a la gasolinera Delta**

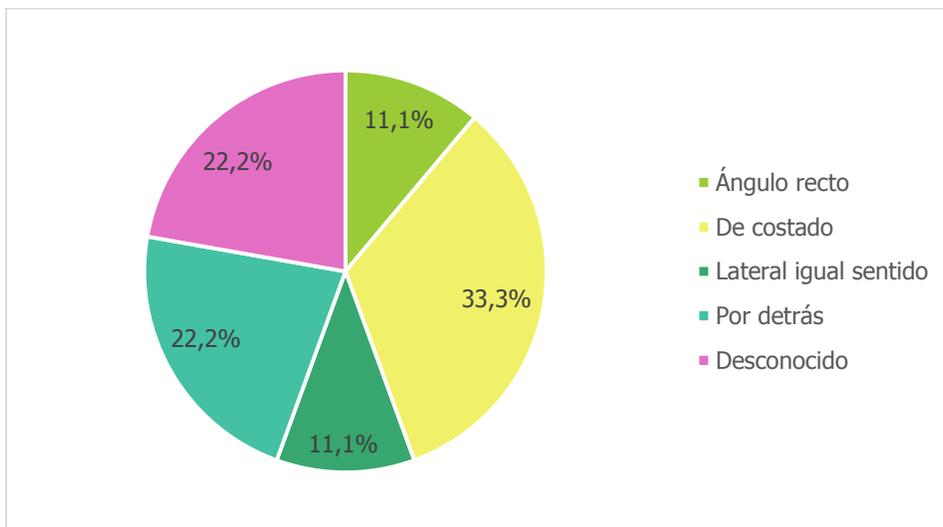
Se registraron 9 choques de los cuales uno fue un vuelco y el resto colisiones entre vehículos, todos fueron de solo daños materiales, no hubo una tendencia marcada en el tipo de vehículo relacionado y la mayoría de choques fueron de costado.



**Figura 178. Porcentaje de choques según tipo de choque en la entrada frente a la gasolinera Delta**



**Figura 179. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en la entrada frente a la gasolinera Delta**



**Figura 180. Porcentaje de choques según sentido de circulación en la entrada frente a la gasolinera Delta**

Si bien esta intersección ya no pertenece al segmento 36, las características de la zona son muy similares pues se encuentran muy cerca.

La visibilidad de la intersección es regular, sin embargo, su comportamiento se ve influenciado por la presencia de la Gasolinera Delta Herradura, la cual se ubica muy cerca. Para esta estación de servicio se recomienda colocar un carril exclusivo de giro a la izquierda en la principal para

entrar a la bomba y además debe tener solo una entrada y una salida para disminuir el impacto de los vehículos entrando y saliendo de este punto. Es importante aclarar que todas estas modificaciones las debe cubrir la estación de servicio.

Finalmente, se recomienda construir bahías para autobuses a ambos lados de la vía, pues los autobuses actualmente paran a la orilla de la carretera y esto genera no solamente problemas a los usuarios de autobús sino también a los peatones y a los flujos vehiculares que se ven interrumpidos.

#### ***5.2.15 Segmento 44: Jacó por el colegio***

La longitud de este tramo es de 1 097,65 m y se ubica en Jacó, Garabito, Puntarenas. Es un segmento recto y el tipo de zona es urbana residencial-comercial.

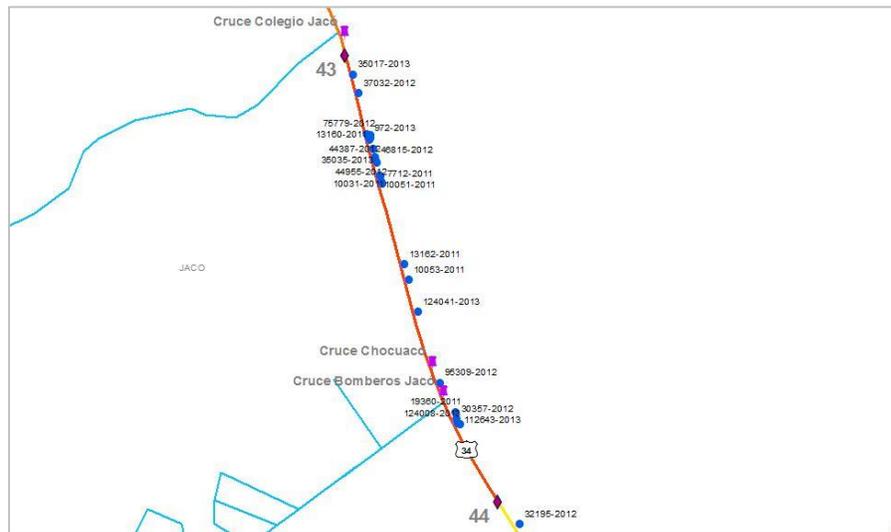


**Figura 181. Imagen satelital del segmento 44**

Fuente: Google Earth, 2016

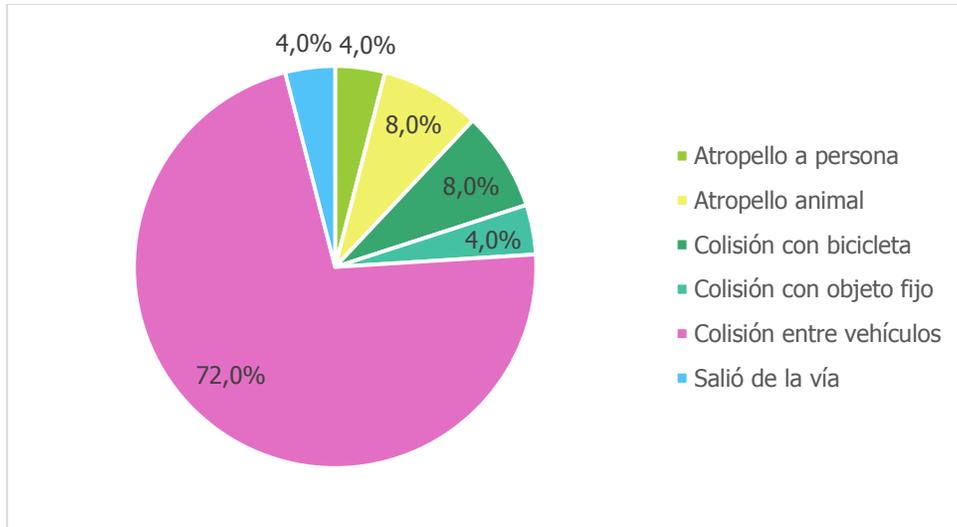


**Figura 182. Fotografía del segmento 44**  
(Marzo, 2015)

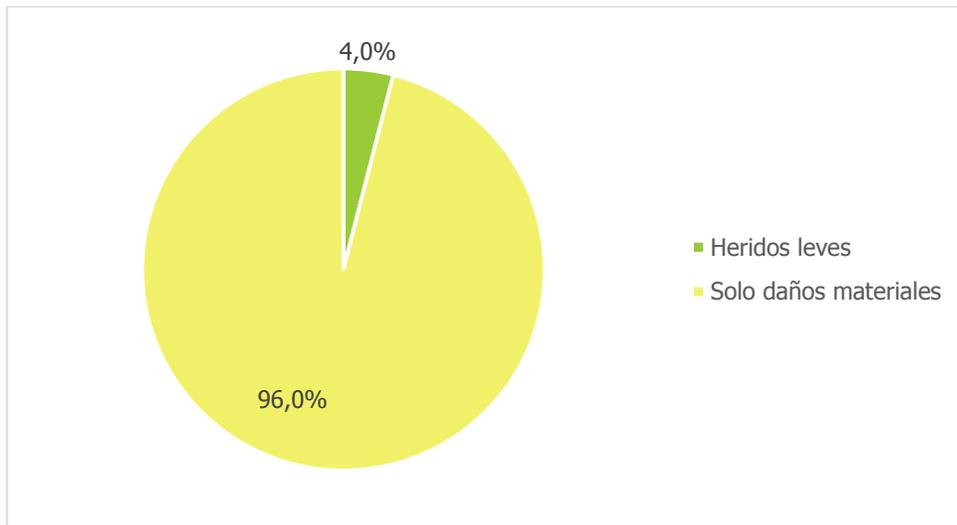


**Figura 183. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 44**

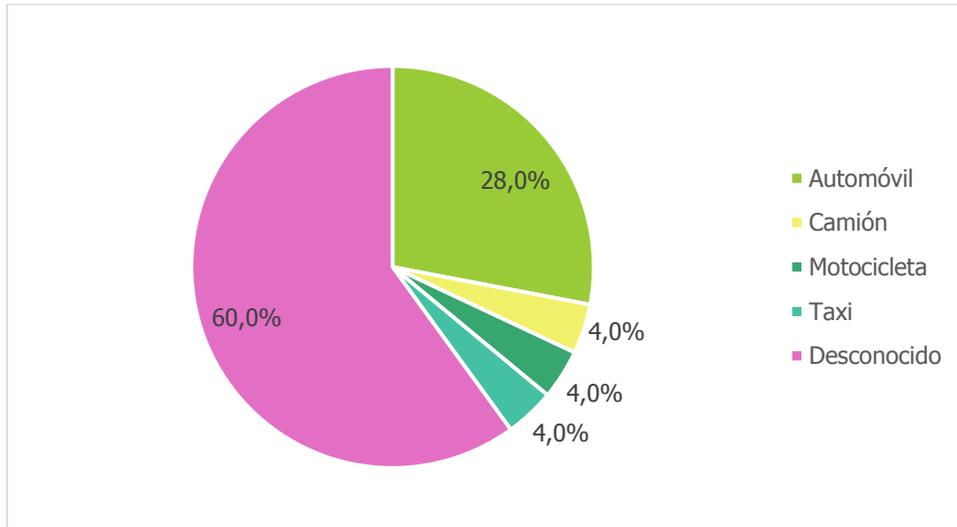
En este segmento se registraron 25 choques, de los cuales 18 fueron colisiones entre vehículos, pero también se evidencian problemas como en algunos segmentos anteriores con peatones y ciclistas. La mayoría de los choques fueron de solo daños materiales, en los cuales los vehículos más involucrados fueron automóviles y se dieron en varios sentidos de circulación.



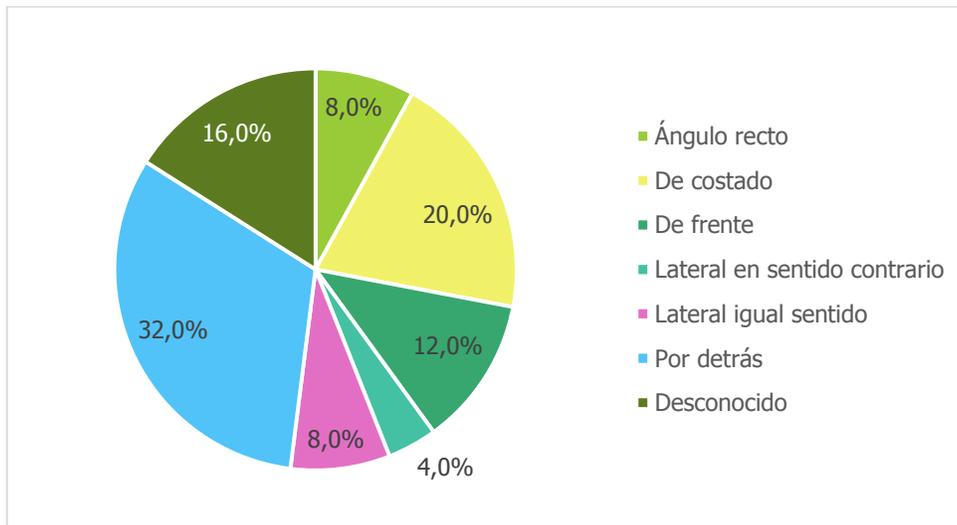
**Figura 184. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 44**



**Figura 185. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 44**



**Figura 186. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 44**



**Figura 187. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 44**

Los problemas presentes en este segmento coinciden en gran medida con los expuestos en el segmento 36, debido a que ambos se encuentran muy cercanos y sus características son muy parecidas, por esta razón, las medidas recomendadas también coinciden con las que se dieron para el segmento 36.

En este tramo también hay una densidad de accesos muy grande, por ello se recomienda consolidar estos accesos y colocar una carretera marginal.

Los problemas con las bicicletas también continúan (ver Figura 188), de ahí que se recomendó que la ciclovía que sale de Herradura llegue hasta Jacó.



**Figura 188. Ciclista transitando en el segmento 44**  
(Marzo, 2015)

Aunado al problema de presencia de usuarios vulnerables en la vía sin ninguna facilidad, la carretera en este tramo se encuentra sin demarcar, por lo que se recomienda pintar las líneas de borde, la línea de centro y colocar espaldones.

#### ***5.2.16 Intersección 4: Cruce Chocuaco***

Se encuentra ubicada en Jacó, Garabito, Puntarenas (aproximadamente en las coordenadas 9°37'12,05"N, 84°37'17,74"O) y es una intersección tipo Cruz. La zona es urbana, principalmente comercial y queda dentro del segmento 44. La carretera secundaria es la Calle Lapa Verde.



**Figura 189. Imagen satelital del cruce Chocuaco**

Fuente: Google Earth, 2016



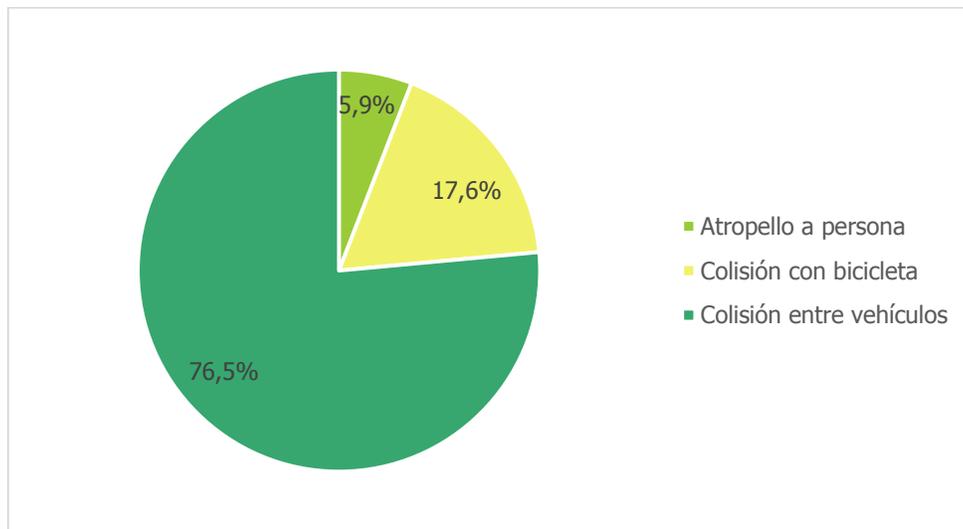
**Figura 190. Fotografía del cruce Chocuaco**

(Marzo, 2015)



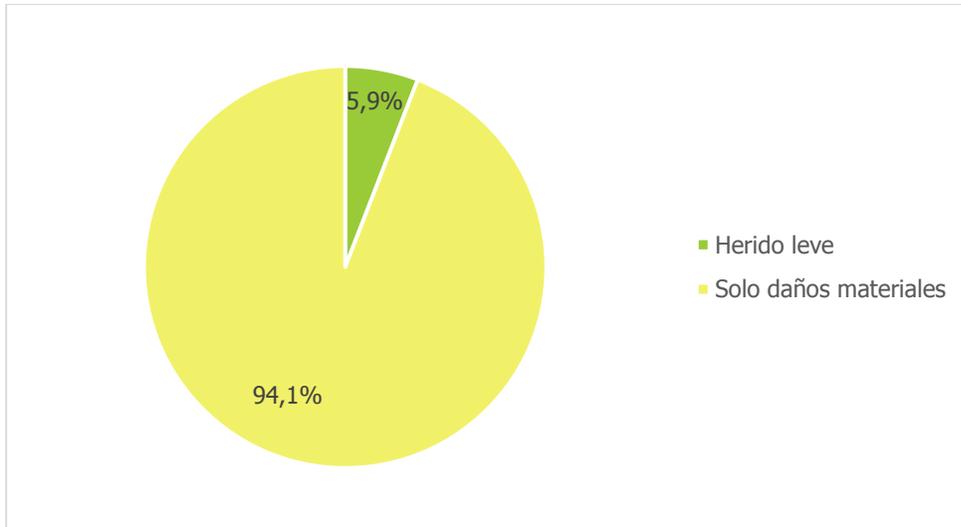
**Figura 191. Alineamiento horizontal y concentración de choques del cruce Chocuado**

Se identificaron 17 choques en esta intersección. Se puede observar cómo, tal como se ha venido observando en otras intersecciones y segmentos de esta zona, hay problemas con los peatones y ciclistas.



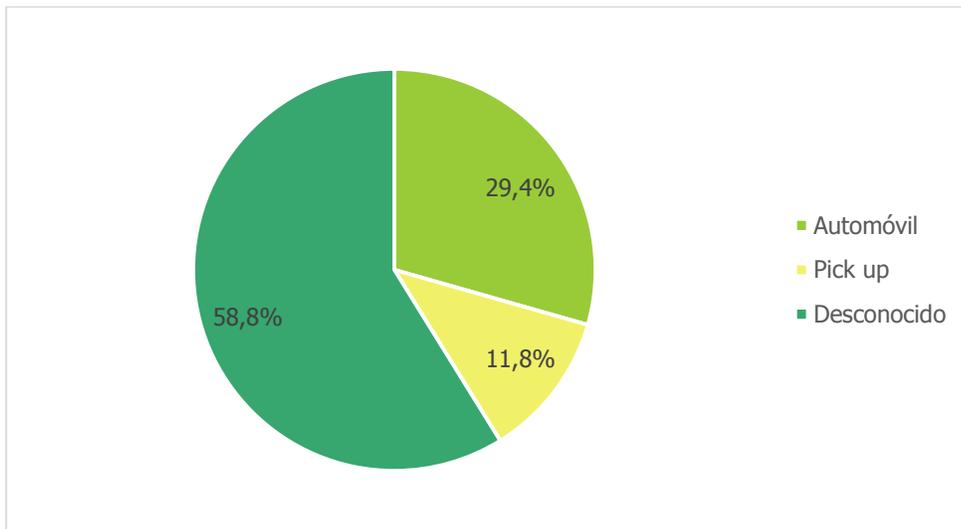
**Figura 192. Porcentaje de choques según tipo de choque en el cruce Chocuaco**

Uno de los choques incluyó un herido leve, el resto solo implicaron daños materiales.



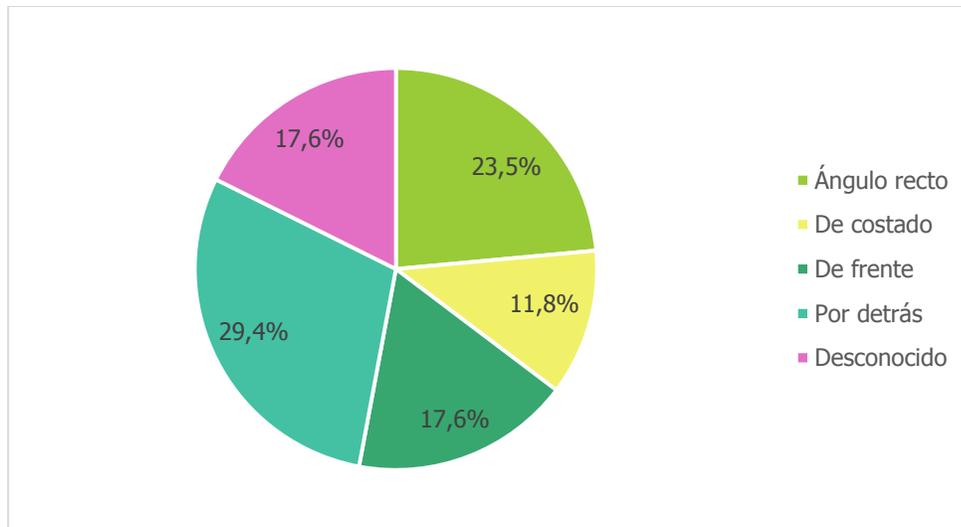
**Figura 193. Porcentaje de choques según severidad en el cruce Chocuaco**

Automóvil sigue siendo el tipo de vehículo más involucrado, seguido de *pick up*, sin embargo, igual que en otros casos, hubo muchas boletas sin información.



**Figura 194. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el cruce Chocuaco**

No se observa una tendencia muy fuerte a la ocurrencia de un solo tipo de choques sino que se reportaron de varios tipos.



**Figura 195. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el cruce Chocuaco**

Por formar parte del segmento 44, esta intersección cumple con muchas de las características descritas en el punto anterior, como por ejemplo en la necesidad de la implementación de una ciclo vía.

Por su parte, si bien es una intersección con buena visibilidad, se recomienda realinearla (ver Figura 196) y colocar carriles exclusivos de giro a la izquierda y a la derecha en la principal. Además de proveerla de la demarcación necesaria para guiar a los conductores a la hora de realizar maniobras en esta intersección. Y por último, se recomienda estudiar la posibilidad de colocar semáforos.

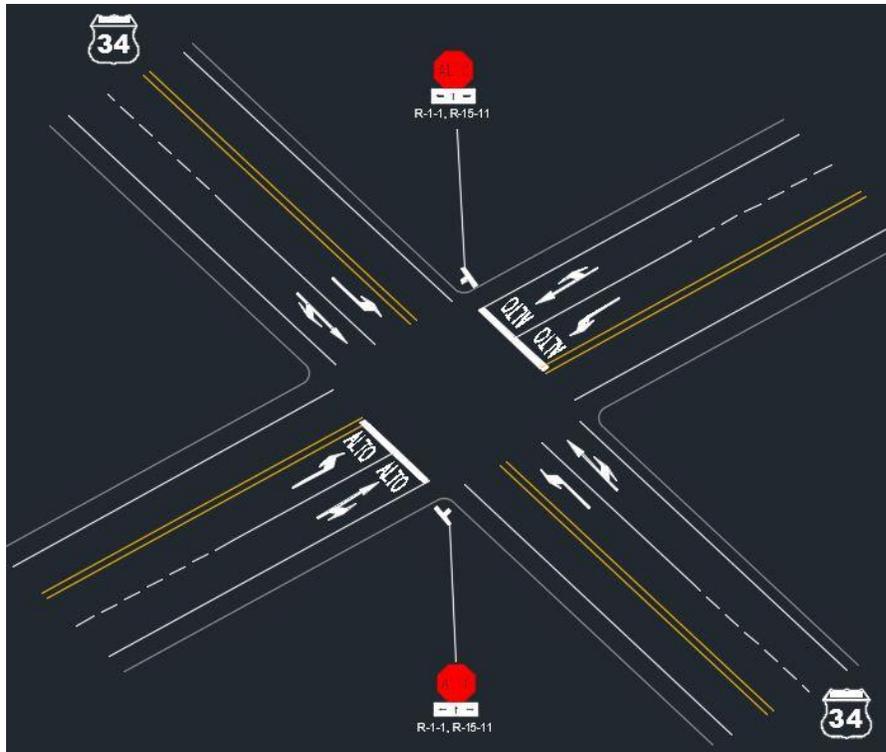


Figura 196. Propuesta de alineamiento para el Cruce Chocuaco

**5.2.17 Segmento 47: Salida de Jacó**

Tiene una longitud de 1 010,59 y se ubica en Jacó, Garabito, Puntarenas. Es un segmento ondulado y el tipo de zona es rural.

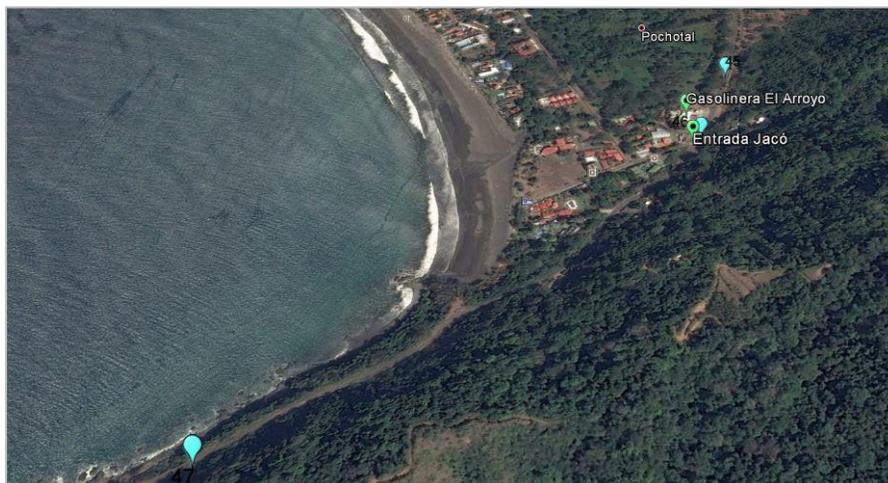


Figura 197. Imagen satelital del segmento 47

Fuente: Google Earth, 2016

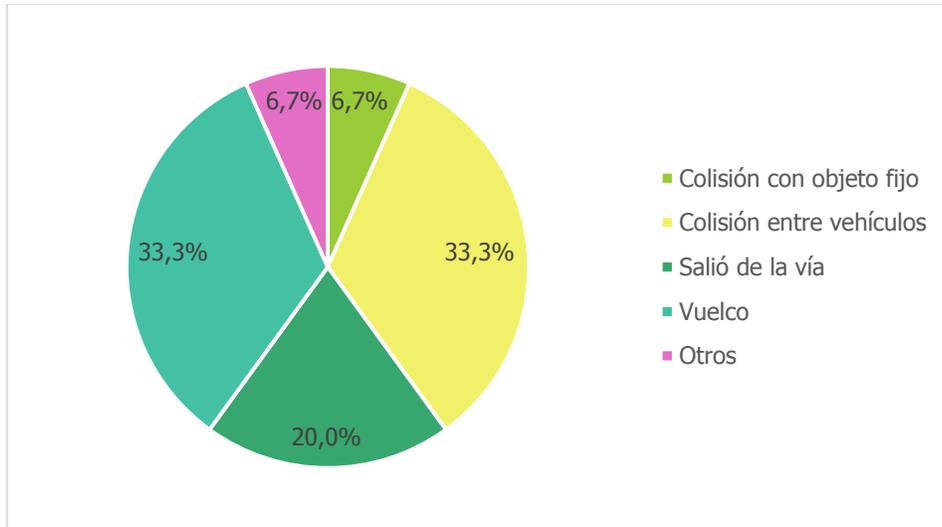


**Figura 198. Fotografía del segmento 47**  
(Marzo, 2015)

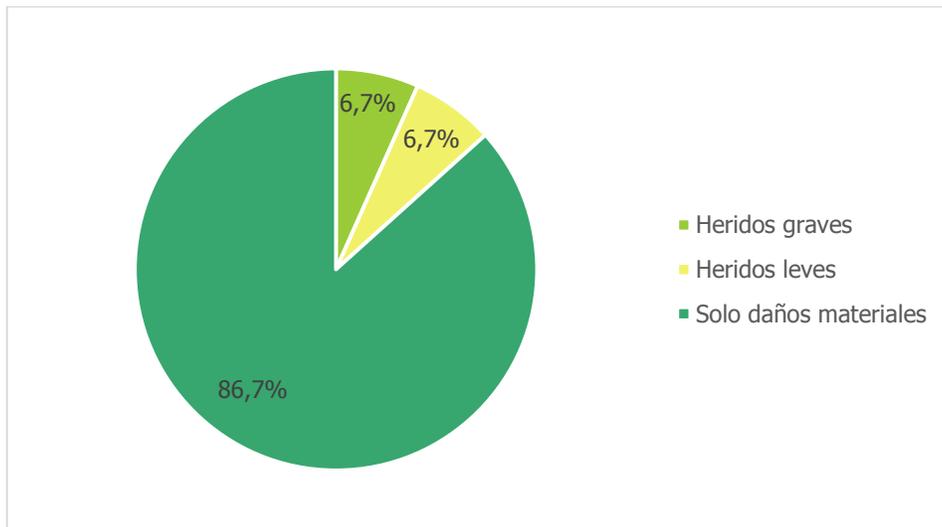


**Figura 199. Alineamiento horizontal y concentración de choques del segmento 47**

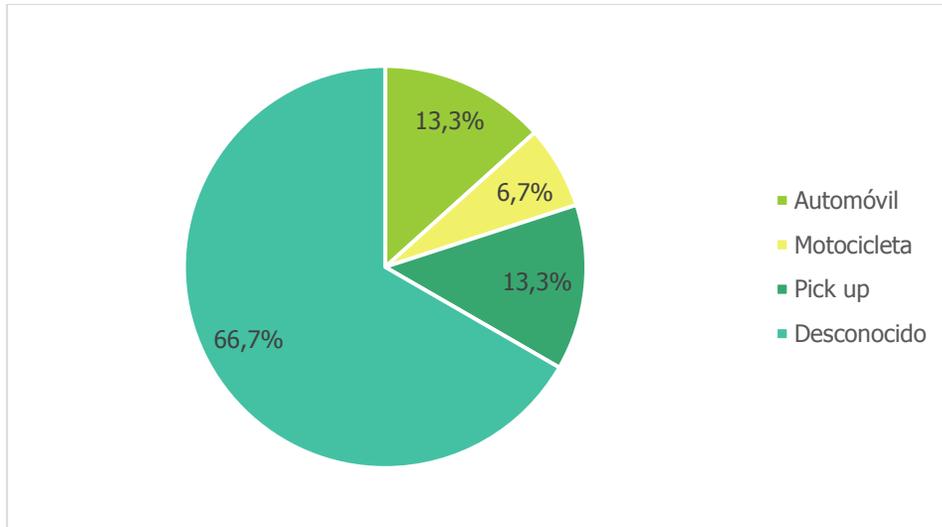
De los 15 choques totales se reportaron en su mayoría colisiones entre vehículos y vuelcos. En cuanto a la severidad, hubo aparte de los choques con solo daños materiales, un herido grave y un herido leve. Y casi no se cuenta con información del tipo de vehículo relacionado ni del sentido de circulación.



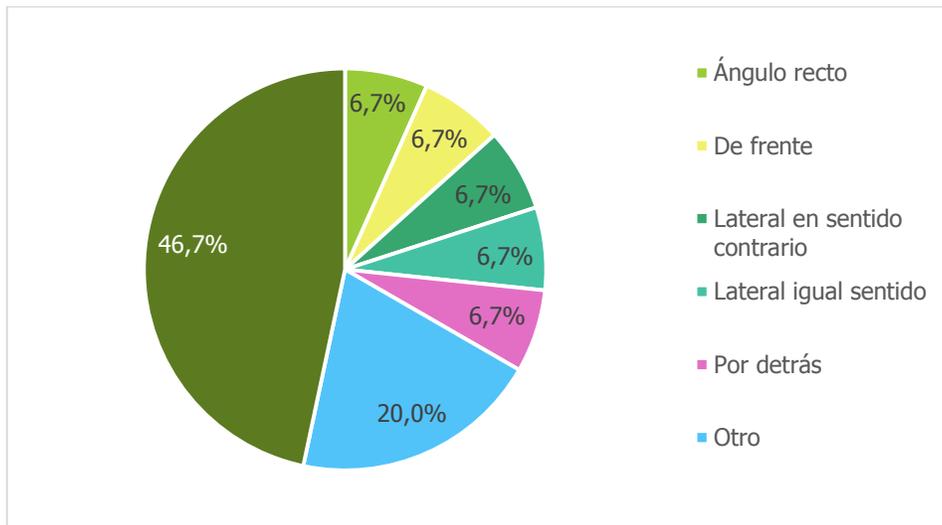
**Figura 200. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 47**



**Figura 201. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 47**



**Figura 202. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 47**



**Figura 203. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 47**

Este segmento presenta el problema de que no solo tiene muchos accesos, sino que muchos de los accesos están ubicados en curva, por lo que se recomienda realizar una adecuada gestión de los accesos. Particularmente, muchos de los accesos presentes en este tramo corresponden a entradas al mirador, por lo que se recomienda unificarlas.

Además de eso, se recomienda realizar un estudio para determinar si la barrera rígida colocada actualmente (ver Figura 204) es la adecuada para este segmento o se debe reemplazar por una más flexible y adicionalmente colocarla fuera del espaldón, porque si no pierde su utilidad.



**Figura 204. Presencia de barrera rígida en el segmento 47**  
(Marzo, 2015)

### ***5.2.18 Segmento 69: La Palma - La Bandera, Parrita***

Segmento recto ubicado en La Palma de Parrita, Parrita, Puntarenas. Está en una zona urbana residencial-comercial y tiene una longitud de 1 997,83 m.

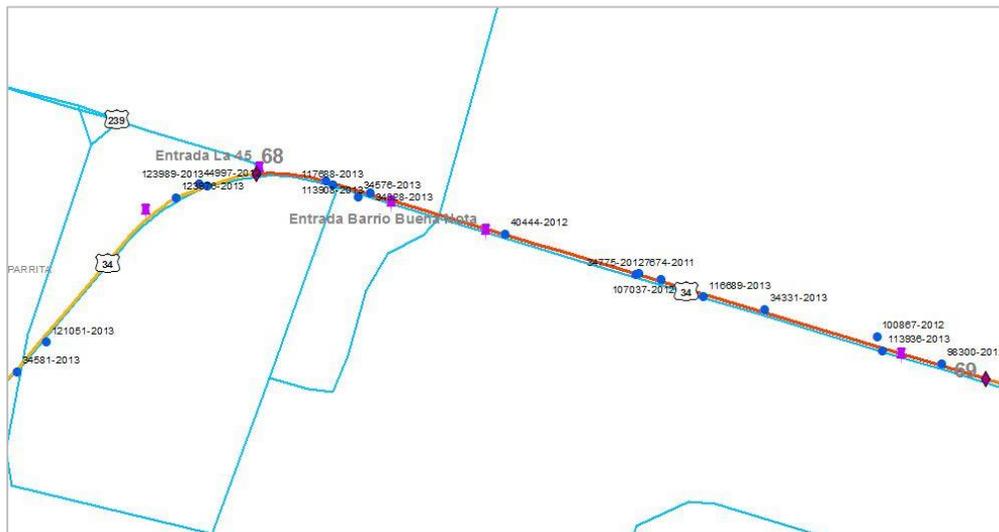


**Figura 205. Imagen satelital del segmento 69**

Fuente: Google Earth, 2016

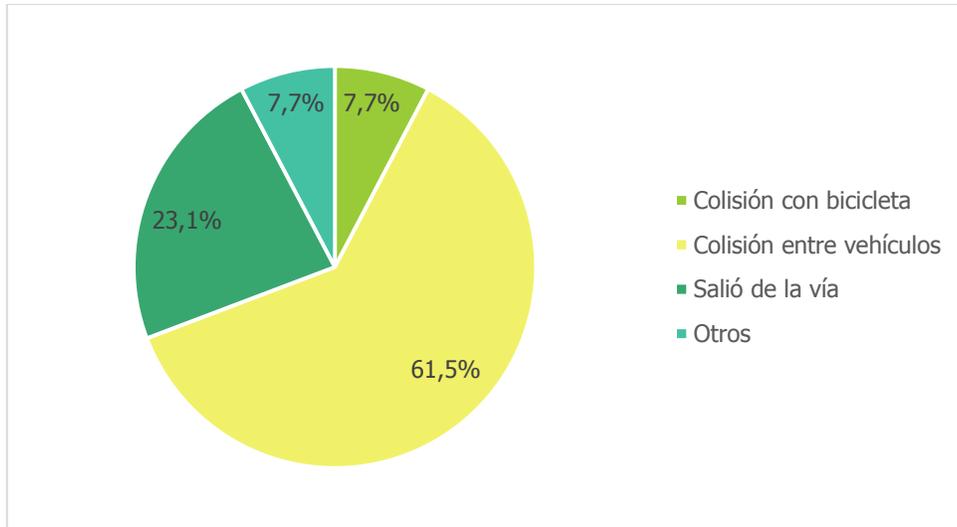


**Figura 206. Fotografía del segmento 69**  
(Marzo, 2015)



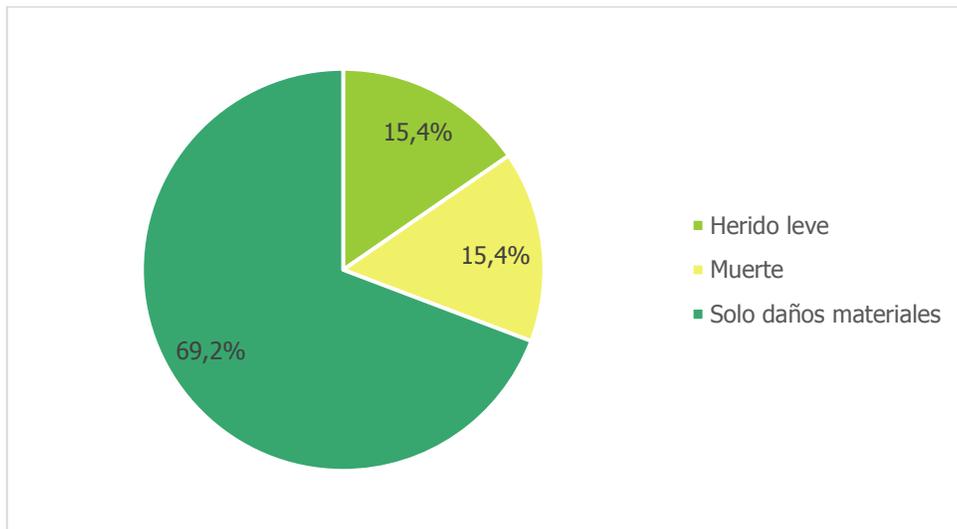
**Figura 207. Alineamiento horizontal y concentración de choques del segmento 69**

Se reportaron 13 choques en este tramo y nuevamente predominaron las colisiones entre vehículos.



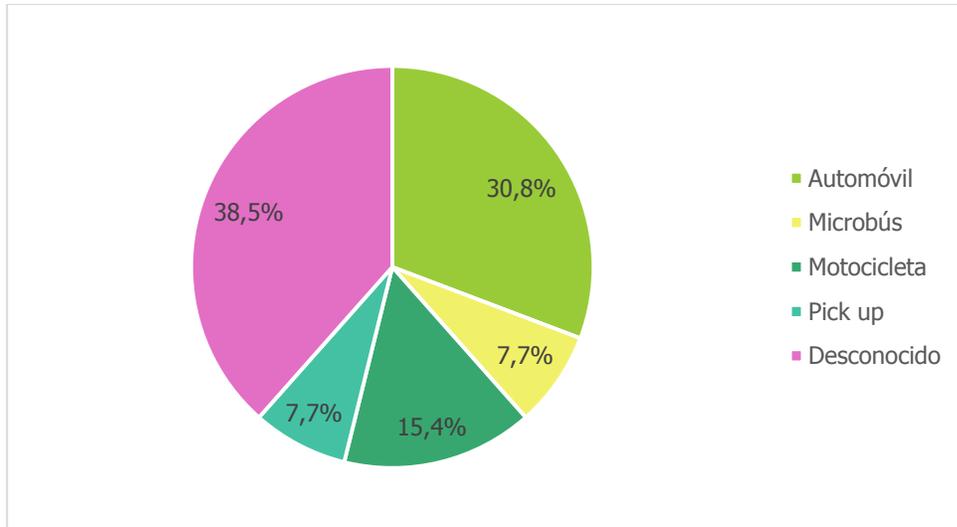
**Figura 208. Porcentaje de choques según tipo de choque del segmento 69**

Este segmento se eligió justamente porque aparte de los 9 choques con solo daños materiales hubo dos muertes y dos heridos leves como resultado de accidentes viales en este tramo.



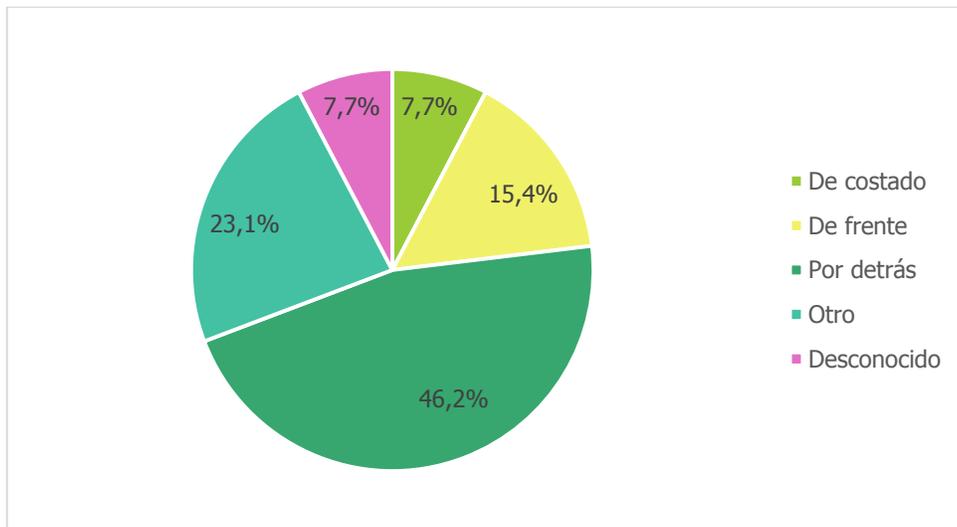
**Figura 209. Porcentaje de choques según severidad del segmento 69**

Se reportaron choques con automóviles, motocicletas, microbús y *pick up*, pero varias boletas no incluían esta información.



**Figura 210. Porcentaje de choques según tipo de vehículo del segmento 69**

En este caso sí se muestra una predominancia de choques por detrás.



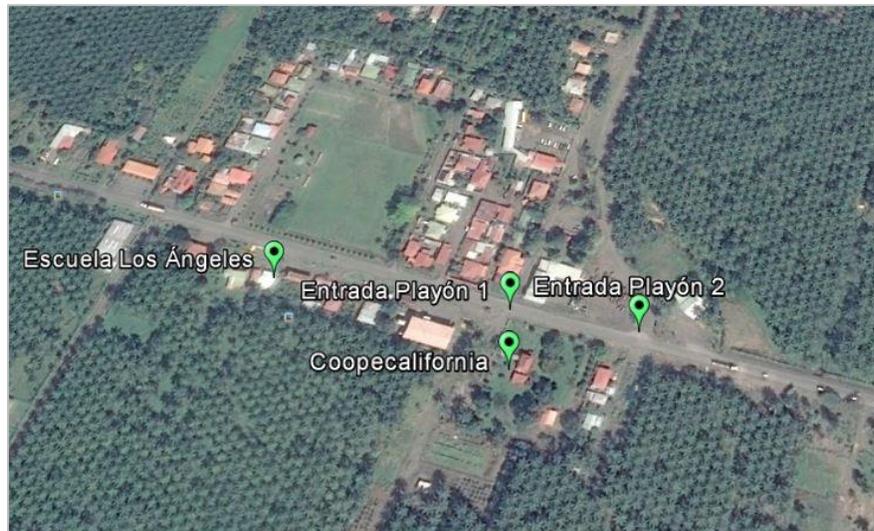
**Figura 211. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 69**

En este tramo se puede observar la gran cantidad de accesos demarcados que hay en el sitio, los cuales se deben procurar reducir para que no haya tanta interrupción del flujo de vehículos en la vía.

Además se recomienda ampliar o colocar espaldones, en el caso de que no haya, e instalar una ciclo vía en Parrita. Y por último se recomienda proveer al segmento de la demarcación necesaria.

### **5.2.19 Intersección 60: Entrada Playón 1**

Intersección tipo T, ubicada en Parrita, Parrita, Puntarenas (aproximadamente en las coordenadas 9°31'33,71"N, 84°20'55,44"O). El tipo de zona es urbana residencial-comercial y la carretera secundaria es cantonal.



**Figura 212. Imagen satelital de las entradas a Playón**

Fuente: Google Earth, 2016

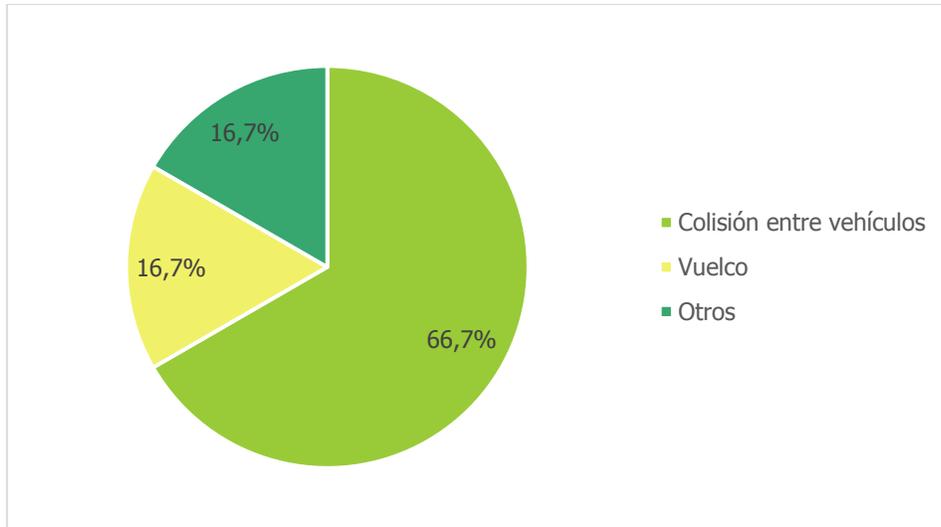


**Figura 213. Fotografía de la entrada a Playón**  
(Enero, 2016)

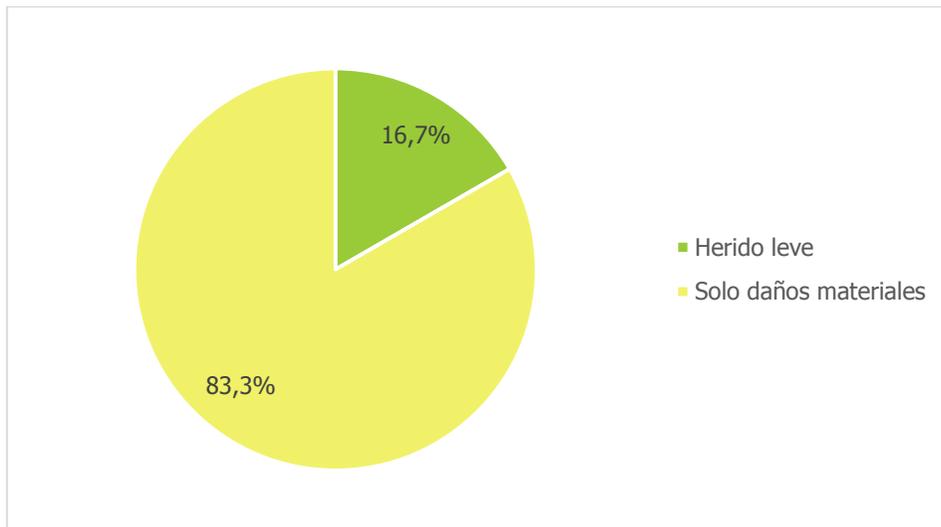


**Figura 214. Alineamiento horizontal y concentración de choques en la entrada a Playón**

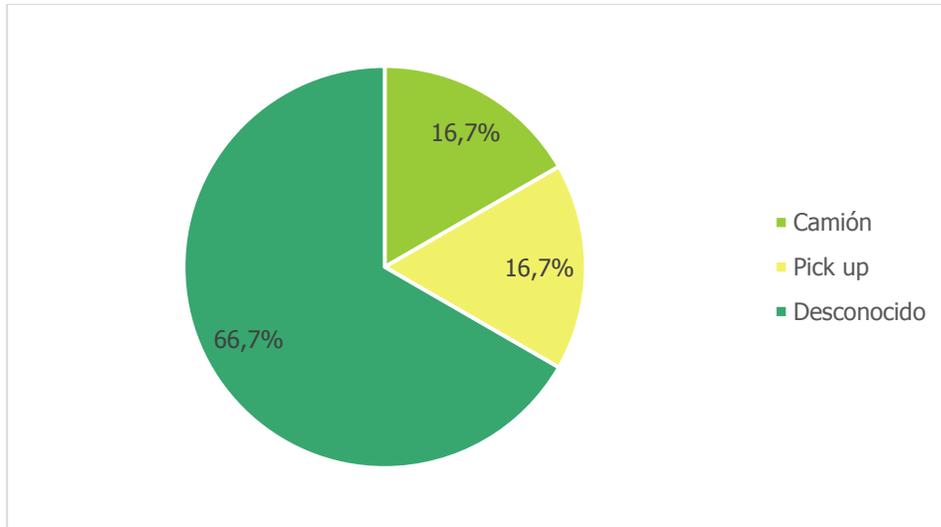
De los 6 choques totales, se reportaron colisiones entre vehículos y un vuelco. Nuevamente predominaron los choques de solo daños materiales, pero hubo un herido leve y casi no se reportó información con respecto al tipo de vehículo relacionado y el sentido de circulación.



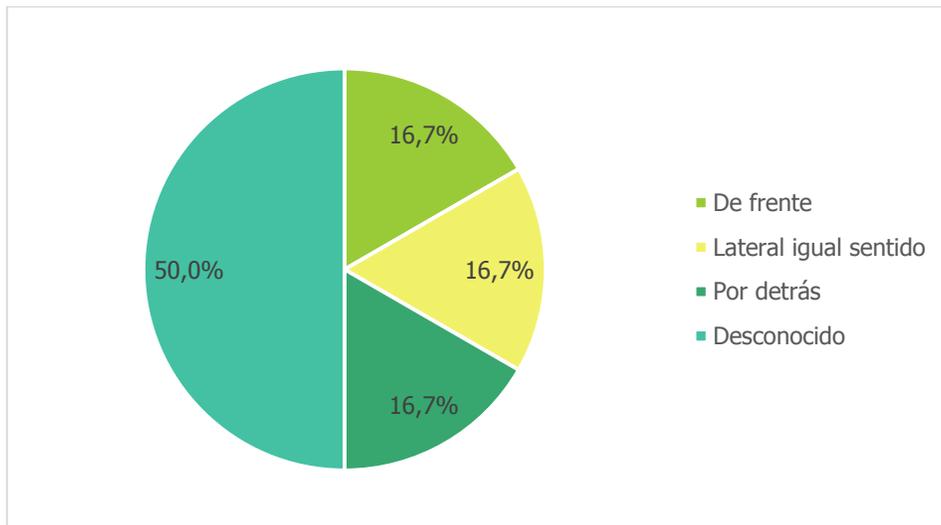
**Figura 215. Porcentaje de choques según tipo de choque en la entrada a Playón**



**Figura 216. Porcentaje de choques según severidad en la entrada a Playón**



**Figura 217. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en la entrada a Playón**



**Figura 218. Porcentaje de choques según sentido de circulación en la entrada a Playón**

Como se puede observar en la Figura 212, hay dos entradas a Playón, esta con 6 choques y la entrada a Playón 2 con 4 choques, se debe intervenir ambas, por lo que se recomienda o cerrar una de las dos y dejar un único acceso o dejar un acceso únicamente como entrada y el otro solo como salida (ver Figura 219).



**Figura 219. Propuesta de mejoramiento para la entrada a Playón**

Del mismo modo que en los otros casos, se recomienda demarcar adecuadamente la intersección y los carriles exclusivos de giro.

### **5.2.20 Segmento 71: El INVU, Parrita**

Segmento recto ubicado en Parrita Centro, Parrita, Puntarenas en una zona urbana residencial-comercial. La longitud del tramo es de 1 329,81 m.



**Figura 220. Imagen satelital del segmento 71**

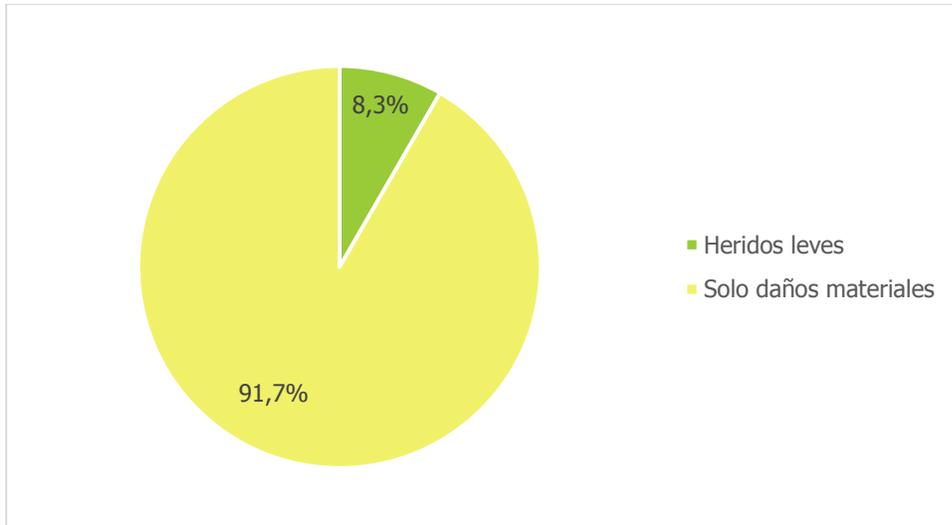
Fuente: Google Earth, 2016



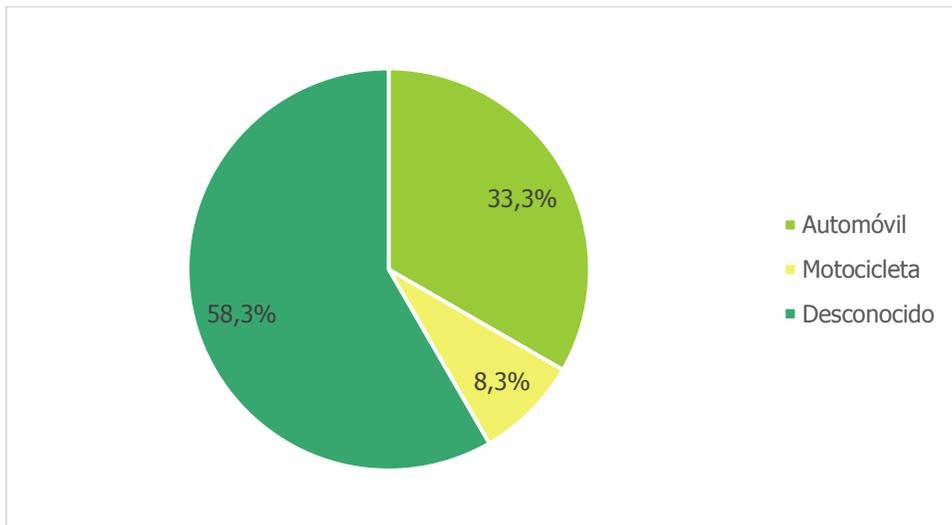
**Figura 221. Fotografía del segmento 71**

(Marzo, 2015)

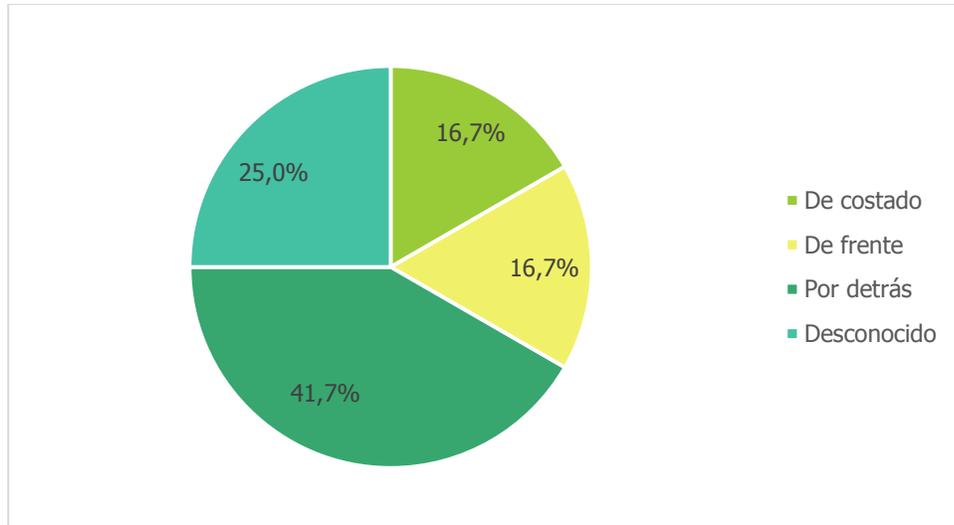




**Figura 224. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 71**



**Figura 225. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 71**



**Figura 226. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 71**

El principal problema de este segmento es que tiene una densidad de accesos muy alta, sin embargo aquí no hay suficiente espacio como en los otros casos para hacer una carretera marginal, por lo que se recomienda buscar la manera de consolidar los accesos y redirigirlos a una carretera marginal en la medida de lo posible.

Por otra parte, según se puede observar en la Figura 227, hay varias zonas de este segmento donde no hay espaldón y nuevamente, como en el caso de Jacó hay gran presencia de usuarios vulnerables y aunque en una parte hay acera, esta no es continua. Por lo que se recomienda ampliar el espaldón pavimentado.



**Figura 227. Ausencia de espaldón en algunas partes del segmento 71**  
(Marzo, 2015)

Adicionalmente, se recomienda evaluar la posibilidad de colocar una ciclovía desde La Palma hasta el puente sobre el río Parrita, lo cual corresponde a aproximadamente una distancia de 6 km, pues muchos usuarios utilizan este medio de transporte en este tramo sin ninguna facilidad (ver Figura 228).



**Figura 228. Presencia de ciclistas en el segmento**  
(Marzo, 2015)

Por otro lado, la velocidad en este segmento está definida en 60 km/h, sin embargo no siempre se cumple este límite y además por la densidad tan alta de accesos y la presencia de peatones

y ciclistas se recomienda aplicar medidas para tráfico calmado tanto a este segmento como al 72 que se detallará más adelante.

Una medida que se puede aplicar es la instalación de umbrales, los cuales tienen como función que el conductor perciba que va ingresando a un lugar con características diferentes. Se recomienda instalarlas cuando exista un exceso de velocidad al ingresar a una zona urbana o travesías en vías de zonas rurales.

Según CONASET (2010), no deben instalarse a menos de 20 m de una intersección y su ubicación no debe interferir con accesos vehiculares ni elementos de servicio.

Los umbrales pueden consistir en la instalación de señales verticales acompañadas de un cambio en el color del pavimento o bien pueden ser estructuras sólidas dependiendo del entorno urbano. Si se utilizan estructuras, la distancia mínima al borde de la calzada no debe ser menor a 50 cm y la altura libre de acuerdo a lo que indique la reglamentación. Si se utilizan señales verticales, estas también deben cumplir con la reglamentación vigente.

Esta medida se puede aplicar previo a ingresar a los segmentos 71 y 72 tanto en el sentido Coyolar-Palmar, como Palmar-Coyolar.

### **5.2.21 Segmento 72: Parrita Centro**

Tramo recto de 785,15 m de longitud, ubicado en Parrita Centro, seguido del tramo 71. El tipo de zona es urbana comercial.



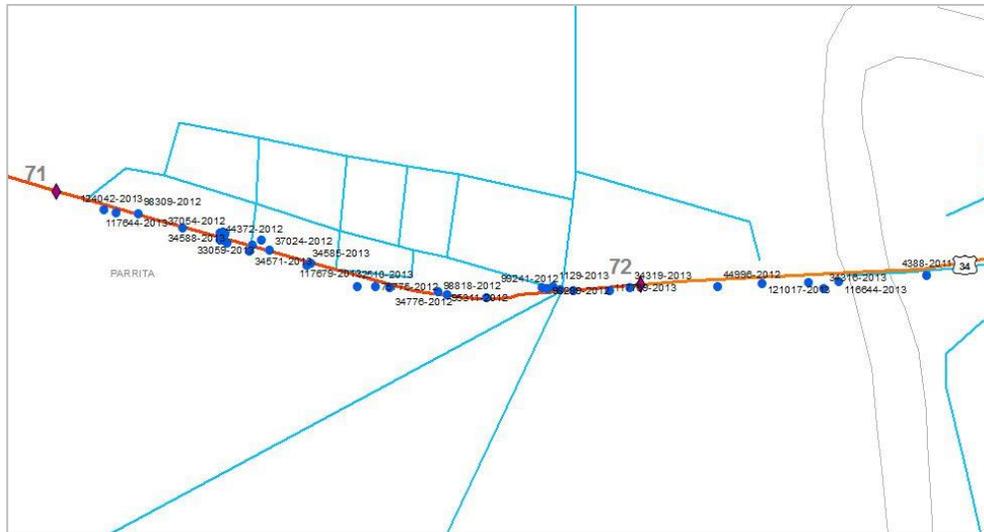
**Figura 229. Imagen satelital del segmento 72**

Fuente: Google Earth, 2016



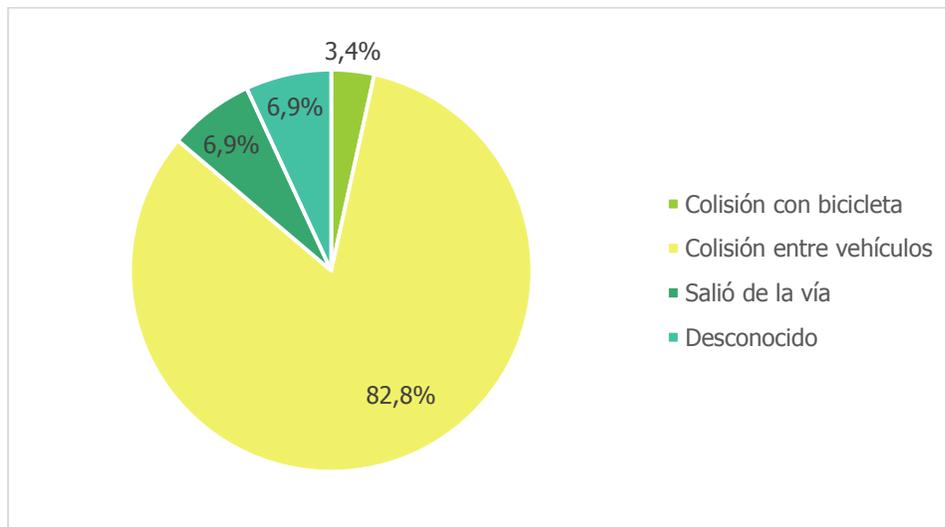
**Figura 230. Fotografía del segmento 72**

(Marzo, 2015)



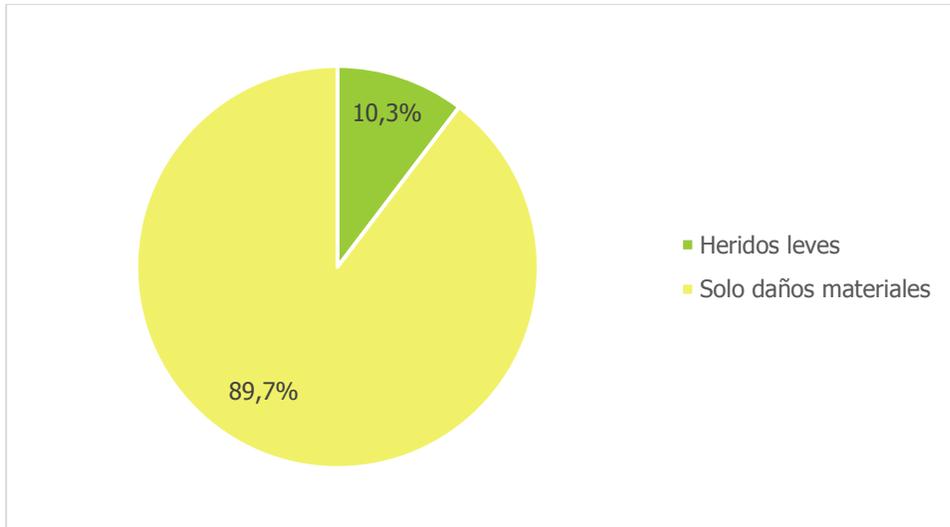
**Figura 231. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 72**

Este es el más crítico de todos los segmentos con 29 choques en total, el mayor porcentaje de los cuales corresponde a colisiones entre vehículos, pero también se reportaron vehículos saliendo de la vía y una colisión con bicicleta como se puede observar en la siguiente figura.



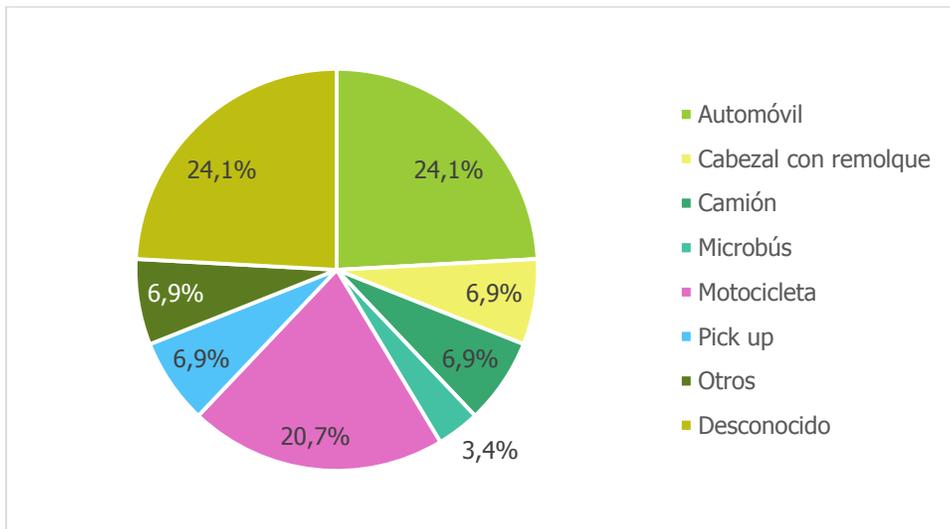
**Figura 232. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 72**

Tres de los choques dejaron como resultado heridos leves, el resto solo daños materiales.



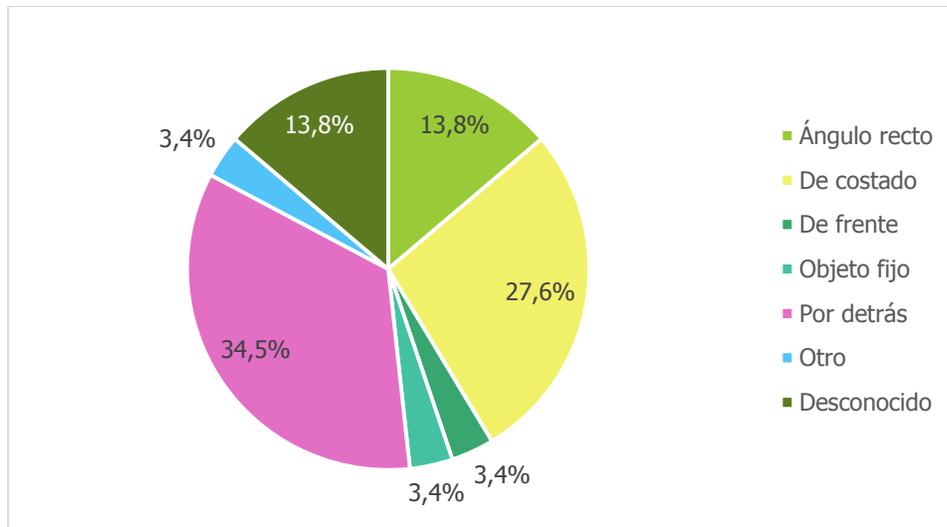
**Figura 233. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 72**

Muchos tipos de vehículos se vieron involucrados en los accidentes ocurridos en este segmento, pero predominaron los automóviles y las motocicletas, de los choques con información.



**Figura 234. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 72**

Del mismo modo, los choques se dieron en varios sentidos de circulación diferentes, aunque la mayoría fueron por detrás y de costado.



**Figura 235. Porcentaje de choques según tipo de circulación en el segmento 72**

La mayor parte de las soluciones propuestas para este segmento se explicaron en el punto anterior, pues estos segmentos al estar unidos comparten muchas características y por tanto muchos problemas de inseguridad. De este modo, se recomienda ampliar los espaldones, colocar una ciclovía y aplicar medidas de tráfico calmado.

Adicionalmente, se puede implementar otra medida de tráfico calmado en este segmento, no precisamente en la vía principal sino en los accesos, porque por la manera en que se desarrolló el pueblo de Parrita alrededor de la carretera, es complicado eliminar o consolidar los accesos, entonces al menos se debe procurar reducir la velocidad con la que ingresan los vehículos desde estos accesos. Sumado a esto, se debe buscar en todo momento dar facilidades a los peatones que en gran cantidad transitan por esta zona. Por lo que se recomienda realizar un estudio de tránsito para determinar si se pueden colocar aceras continuas, las cuales tienen la función de reducir la velocidad promedio a 30 km/h o menos.

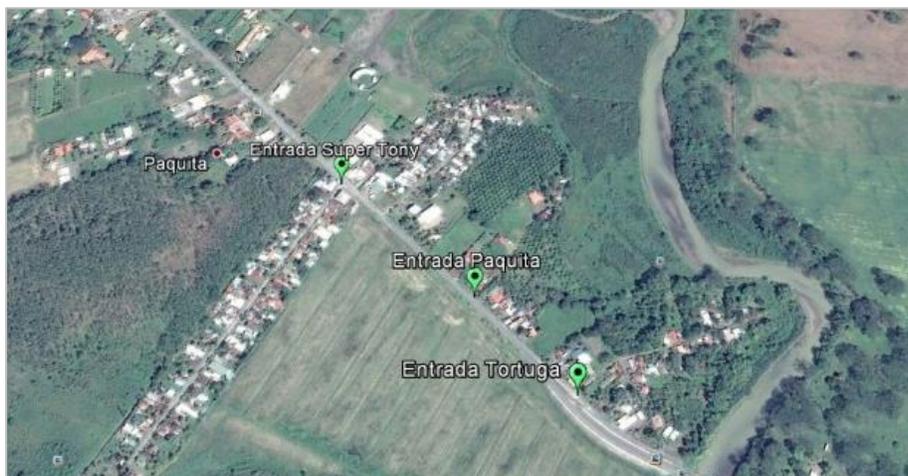
Algunas de las características de diseño de las aceras continuas según la SIECA (2014) son: el ancho debe ser acorde al ancho de la acera que prolonga, lo deseable es que sea de 2,75 m y mínimo de 1,80 m. La pendiente máxima de la superficie de transición entre el nivel de la calle y la acera debe ser de 0,08 m de alto por cada 0,90 de largo. Se deben construir en concreto con refuerzo de acero y las transiciones pueden construirse en asfalto.

Otra medida que se recomienda para los peatones es la colocación de un semáforo peatonal, para que puedan atravesar la calle de manera segura, además de que se debe considerar, como se puede ver en la Figura 230, que esta es una calle ancha.

Otro problema que se observó en las visitas es que había vehículos parqueados a ambos lados de la carretera y en los espaldones, lo que hace que estos pierdan su función. Como se vio, existen varias medidas que se pueden aplicar para solucionar o mitigar este problema, como prohibir el estacionamiento en la carretera, regular el estacionamiento o implementar restricciones de tiempo limitado para el estacionamiento en la carretera. Lo ideal sería, del todo prohibir el estacionamiento en esta vía, sin embargo, como se trata de una zona comercial, es complicado porque los proveedores deben entregar los pedidos en los comercios, entre otros, por lo que se recomienda, implementar restricciones de tiempo limitado para estacionarse y además gestionar para que en la medida de lo posible, estas tareas se hagan en su mayoría en los accesos y no en la vía principal. Para los vehículos particulares se recomienda prohibir el estacionamiento en la carretera.

### ***5.2.22 Intersección 74: Entrada Super Tony***

Intersección tipo T, ubicada en Paquita de Quepos, Quepos, Puntarenas (aproximadamente en las coordenadas 9°27'37,32"N, 84°10'51,77"O). La zona es urbana residencial-comercial y la carretera secundaria es cantonal.



**Figura 236. Imagen satelital de la entrada al Super Tony**

Fuente: Google Earth, 2016

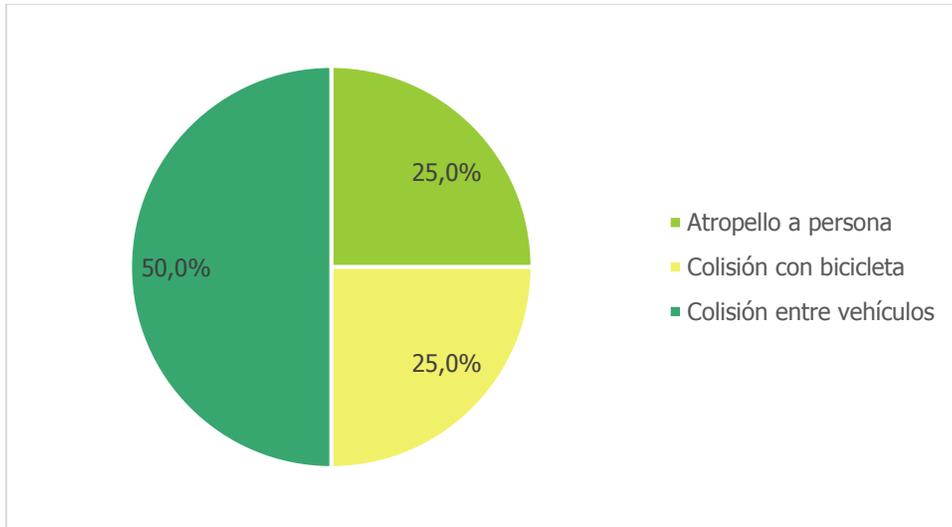


**Figura 237. Fotografía de la entrada al Super Tony**  
(Enero, 2016)

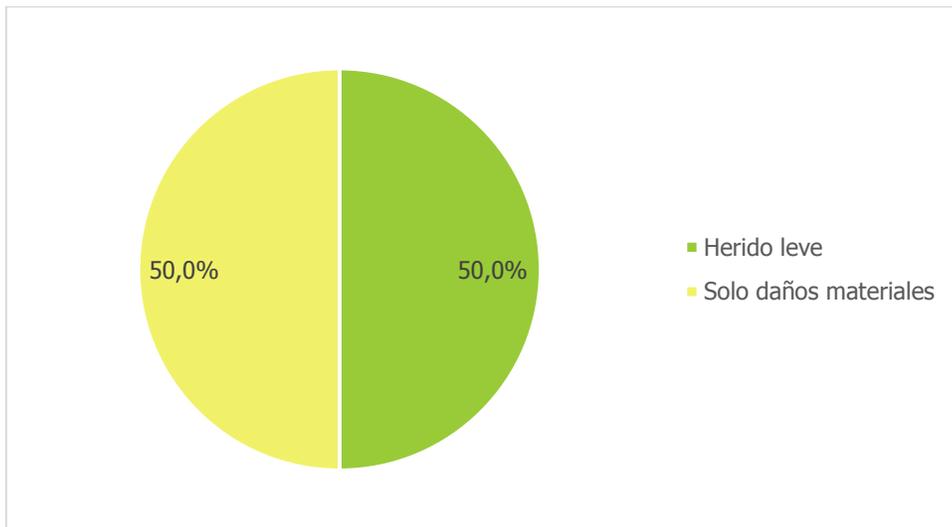


**Figura 238. Alineamiento horizontal y concentración de choques en la entrada al Super Tony**

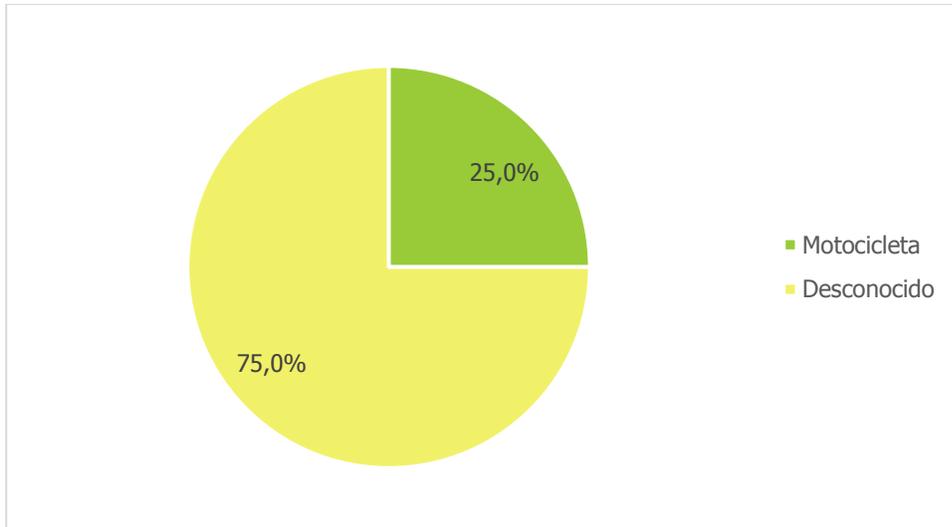
Como se puede ver, de los 4 choques totales, la mitad incluyen problemas con usuarios vulnerables y hubo en igual proporción choques con heridos leves como con solo daños materiales. Por otra parte, de la información disponible solo se evidencia un choque con motocicleta y el sentido de circulación no muestra ninguna tendencia.



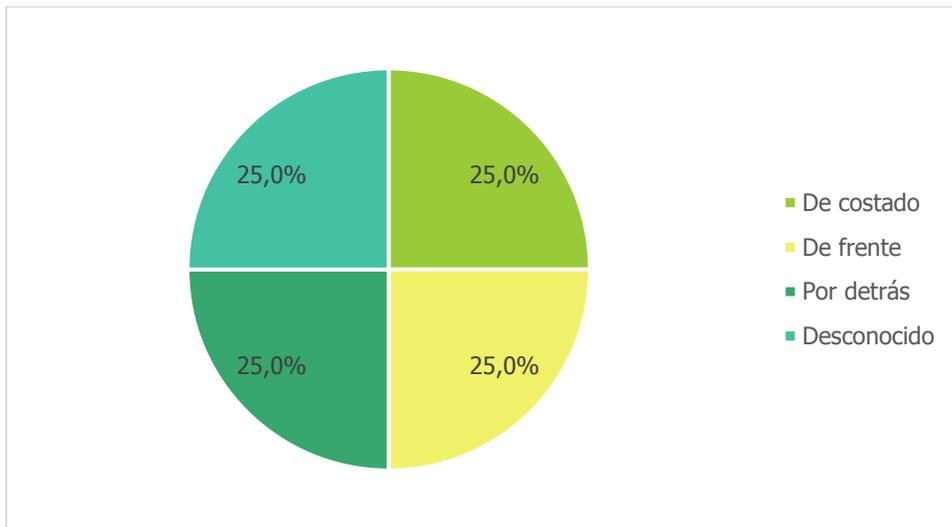
**Figura 239. Porcentaje de choques según tipo de choque en la entrada al Super Tony**



**Figura 240. Porcentaje de choques según severidad en la entrada al Super Tony**



**Figura 241. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en la entrada al Super Tony**



**Figura 242. Porcentaje de choques según sentido de circulación en entrada al Super Tony**

A pesar de ser una zona en la que se evidencian problemas con los peatones, al momento de las visitas se observó que ya hay un semáforo peatonal (ver Figura 243), el cual, por información de los vecinos se colocó el año pasado, por tanto se debe verificar que esta medida de mitigación esté dando los resultados esperados.



**Figura 243. Semáforo peatona ubicado cerca de la intersección**  
(Enero, 2016)

Con respecto al semáforo, y por observación de los vecinos, se pudo observar que, del lado opuesto a la escuela, el tiempo para que el semáforo cambie a rojo es de 45 s, mientras que del lado de la escuela tarda 10 s, por lo que se deben reajustar estos tiempos.

Otra de las observaciones que se pudo hacer en la visita fue el irrespeto al semáforo, esto conlleva a una problemática aún mayor y a la búsqueda de soluciones para mejorar la educación vial de la población, así como a la aplicación de medidas correctivas eficaces para los usuarios que incumplan la Ley de Tránsito.

### **5.2.23 Segmento 86: Paquita, Quepos**

Segmento recto de 1 337,73 m de longitud, ubicado en Paquita de Quepos, Quepos, Puntarenas. La zona es rural y dentro del segmento se encuentra el puente sobre el Río Cotos.



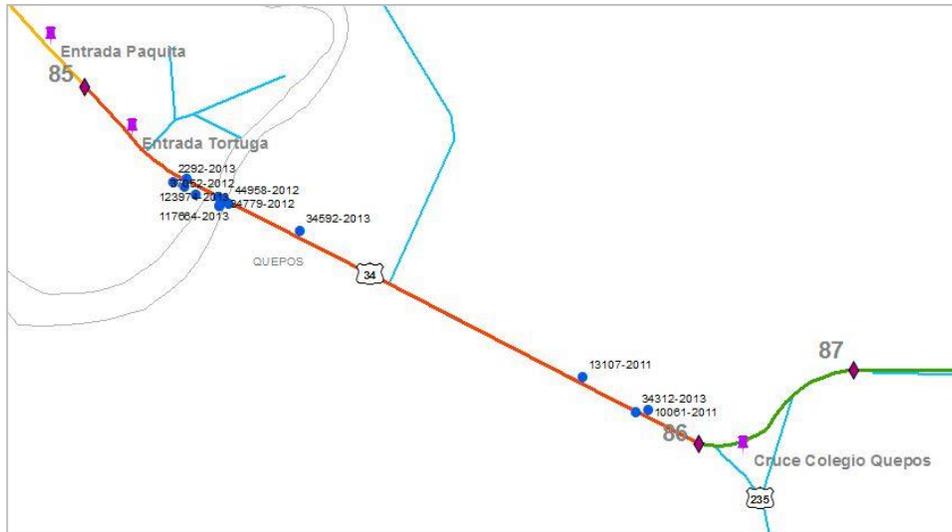
**Figura 244. Imagen satelital del segmento 86**

Fuente: Google Earth, 2016



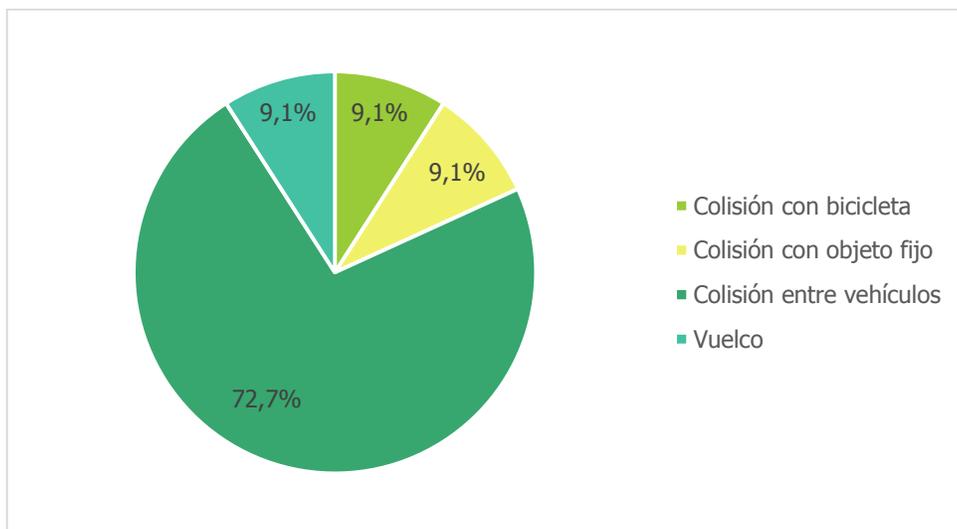
**Figura 245. Fotografía del segmento 86**

(Marzo, 2015)

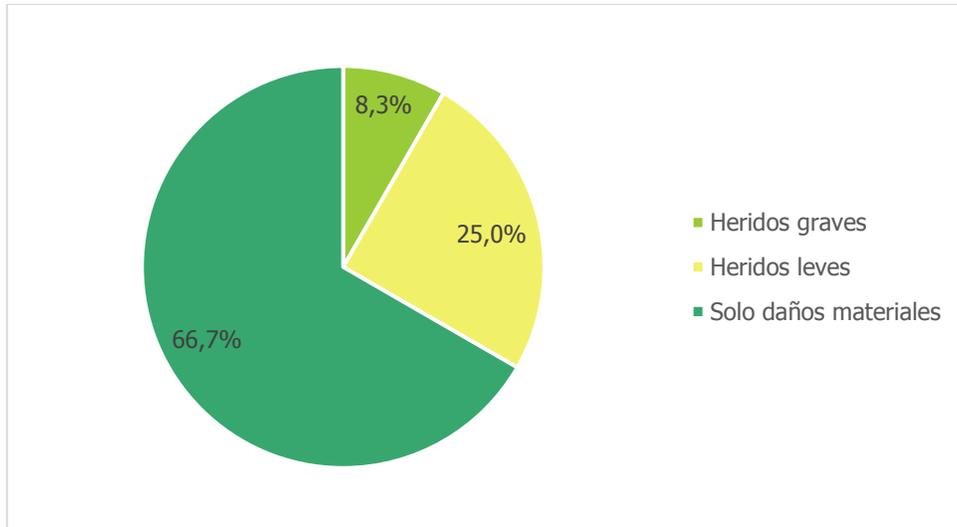


**Figura 246. Alineamiento horizontal y concentración de choques del segmento 86**

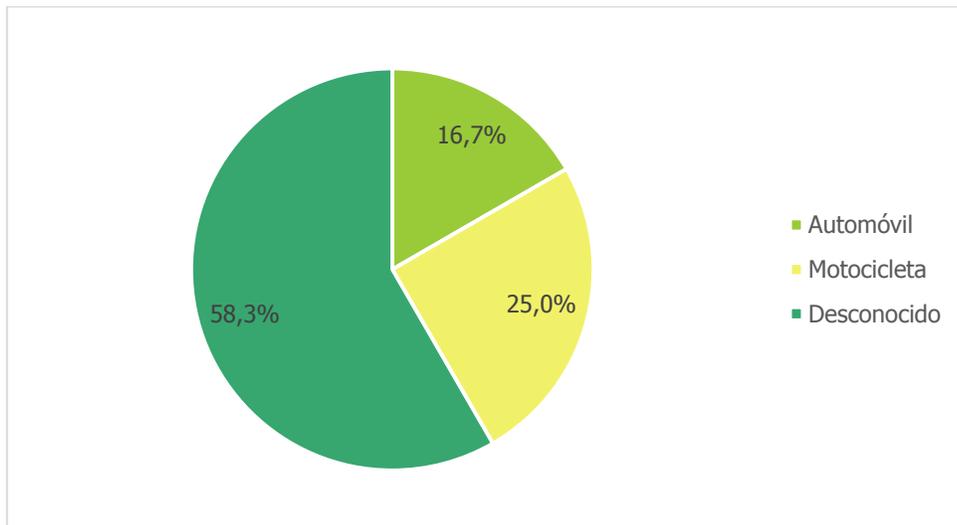
12 choques fueron asociados a este segmento, en los cuales aventajó la colisión entre vehículos, los choques con solo daños materiales, el tipo de vehículo motocicleta y los choques de frente y de costado. Es importante resaltar que en cuanto a severidad también hubo choques con heridos leves y un choque con herido grave.



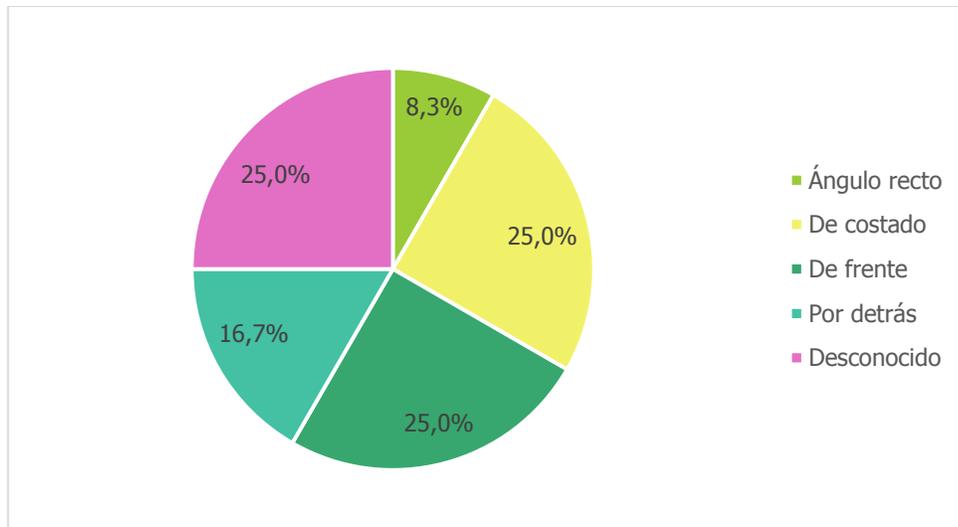
**Figura 247. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 86**



**Figura 248. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 86**



**Figura 249. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 86**



**Figura 250. Porcentaje de choques según sentido de circulación del segmento 86**

Uno de los problemas que se encontró en este segmento es que los bordillos ubicados en el puente, no se encuentran pintados ni cuentan con bandas reflectivas que ayuden a verlos en la noche (ver Figura 251), por lo que se recomienda aplicar estas correcciones.



**Figura 251. Bordillos en el puente sobre el Río Cotos**  
(Marzo, 2015)

Además, actualmente este segmento no cuenta con ningún tipo de demarcación (ver Figura 252), por tanto se recomienda pintar la línea de centro y las líneas de borde.



**Figura 252. Ausencia de demarcación en el segmento 86**  
(Marzo, 2015)

Como se pudo ver en la imagen, aunque no esté demarcado, se puede notar como tampoco hay espacio para los espaldones y este hecho se repite en la mayor parte de este tramo, por lo que se recomienda colocar espaldones pavimentados.

La colocación de espaldones o de una ciclovía, es importante en este tramo no solo porque por esta zona también transitan muchos ciclistas, sino porque aunque el límite de velocidad es de 75 km/h, por tratarse de un segmento recto y plano, los conductores tienden a utilizar velocidades mayores.

Una vez más se observa que no se provee de los dispositivos necesarios a toda la zona de peligro del puente, lo cual puede provocar que los vehículos caigan en el precipicio.



**Figura 253. Falta de protección en el puente**

(Marzo, 2015)

Por otro lado, si bien este segmento termina justo donde inicia el cruce del Colegio de Quepos, los problemas asociados a esta intersección también afectan a este tramo. En la evaluación de seguridad vial que realizó el Lanamme en el tramo Quepos-Barú, se realizó la siguiente observación: "Otra observación realizada corresponde a la salida del colegio de Quepos, la cual posee un acceso ubicado en curva y cuyo diseño geométrico no es adecuado, pues los buses deben invadir el carril contrario para poder ingresar o salir, generando un peligro potencial de accidentes" y junto a esta observación se adjuntaron las siguientes fotografías.



**Figura 254. Salida de buses directamente a la vía principal**

Fuente: Evaluación de seguridad vial en la RN34, Lanamme, 2011

Por lo que se recomienda mejorar el alineamiento y la demarcación de esta intersección.

### **5.2.24 Intersección 13: Cruce La Managua**

Intersección tipo Cruz con las rutas nacionales 616 y 235, ubicada en Quepos, Quepos, Puntarenas (aproximadamente en las coordenadas  $9^{\circ}26'45,16''N$ ,  $84^{\circ} 8'13,26''O$ ). En un costado se ubica la gasolinera La Managua. Es una zona urbana residencial-comercial.



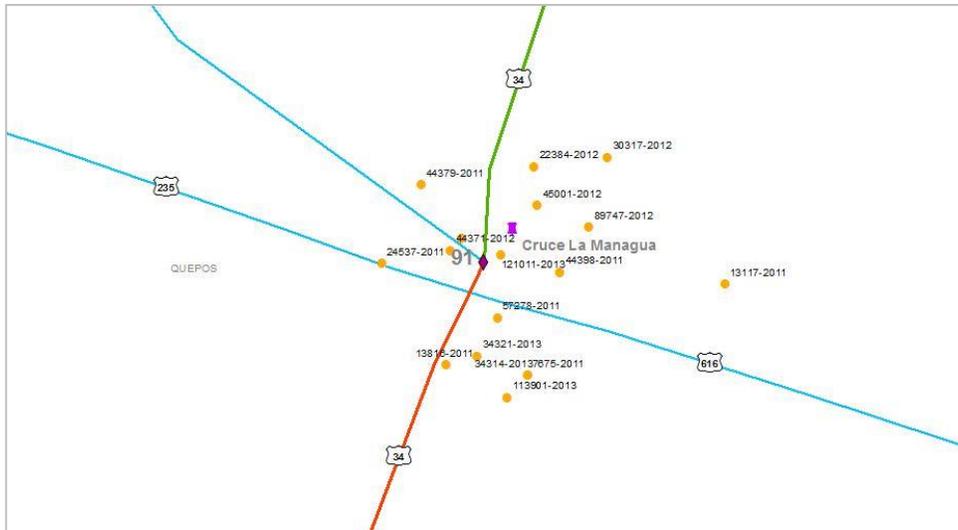
**Figura 255. Imagen satelital del cruce La Managua**

Fuente: Google Earth, 2016



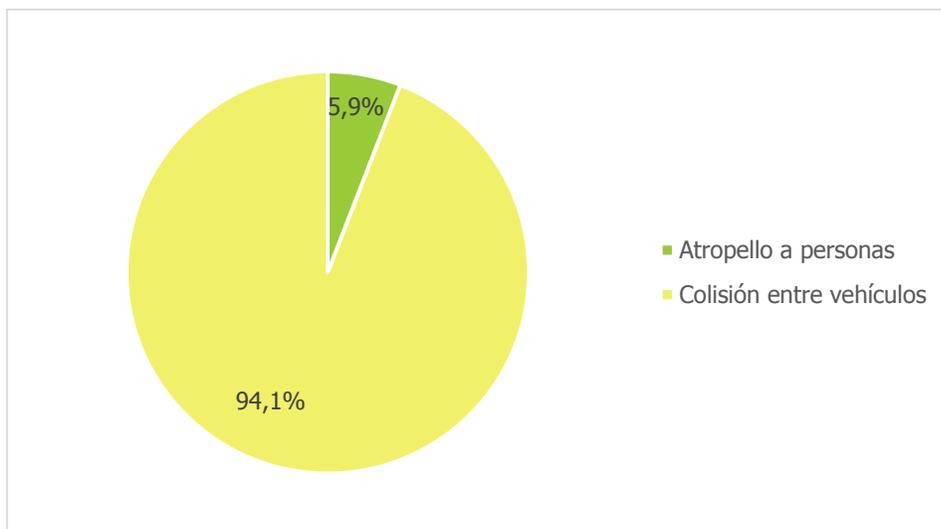
**Figura 256. Fotografía del cruce La Managua**

(Marzo, 2015)

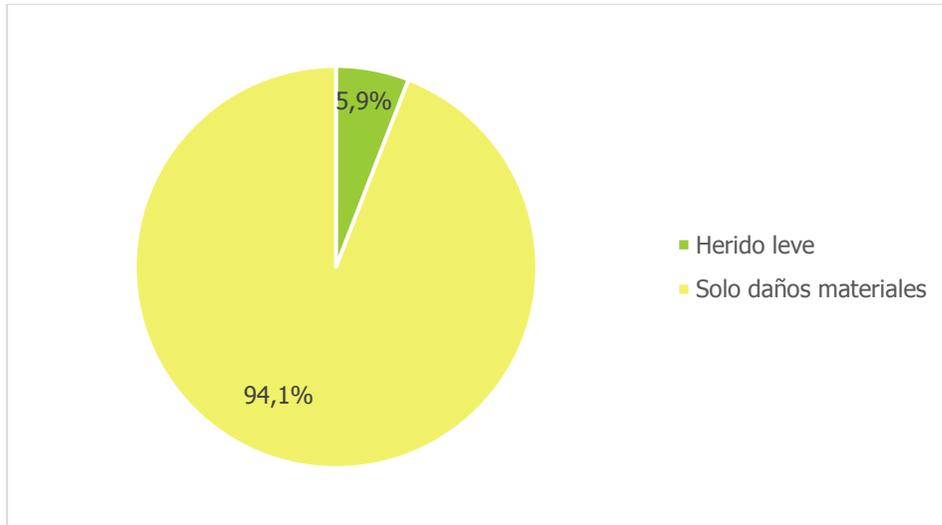


**Figura 257. Alineamiento horizontal y concentración de choques del cruce La Managua**

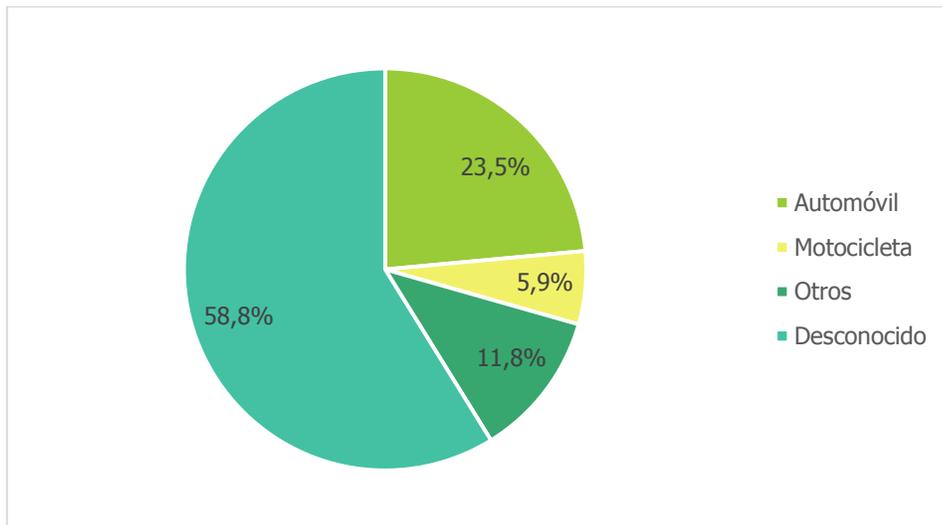
El total de choques reportados en este sitio fueron 17. Entre las características sobresalientes de los datos de choques en esta intersección están que en uno de los casos se registró un atropello a persona, un choque involucró un herido leve y predominaron los choques en ángulo recto.



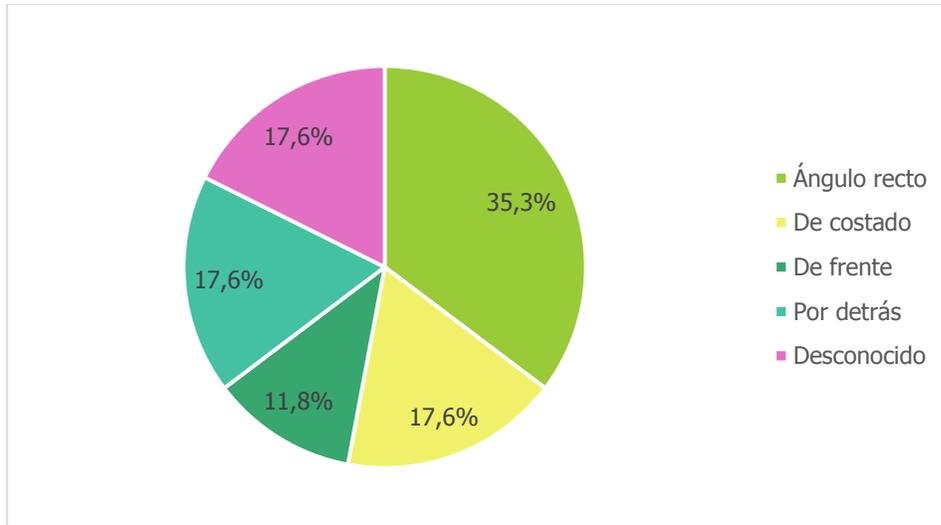
**Figura 258. Porcentaje de choques según tipo de choque en el cruce La Managua**



**Figura 259. Porcentaje de choques según severidad del cruce La Managua**



**Figura 260. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el cruce La Managua**



**Figura 261. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el cruce La Managua**

En esta intersección hay buena visibilidad y el alineamiento también se encuentra bien, el problema se debe a la velocidad de operación porque aunque la velocidad del segmento es de 80 km/h, la intersección está demarcada a 40 km/h pero no se cumple; por tanto, se recomienda aplicar alguna medida para llamar la atención del usuario y que este note que tiene que reducir la velocidad, pueden ser bandas vibratorias.

Al momento de la visita se observó que había unas líneas blancas transversales en la carretera pero no eran vibratorias, ni tampoco parecían demarcaciones alertadoras porque el espaciamiento entre ellas no se reducía o se reducía muy poco y no daba esa percepción.

### **5.2.25 Segmento 92: La Managua, Quepos**

La longitud del este segmento ondulado es de 582,31 m y se ubica en La Managua de Quepos, Quepos, Puntarenas. El tipo de zona es urbana comercial y el segmento cuenta con cuatro carriles.



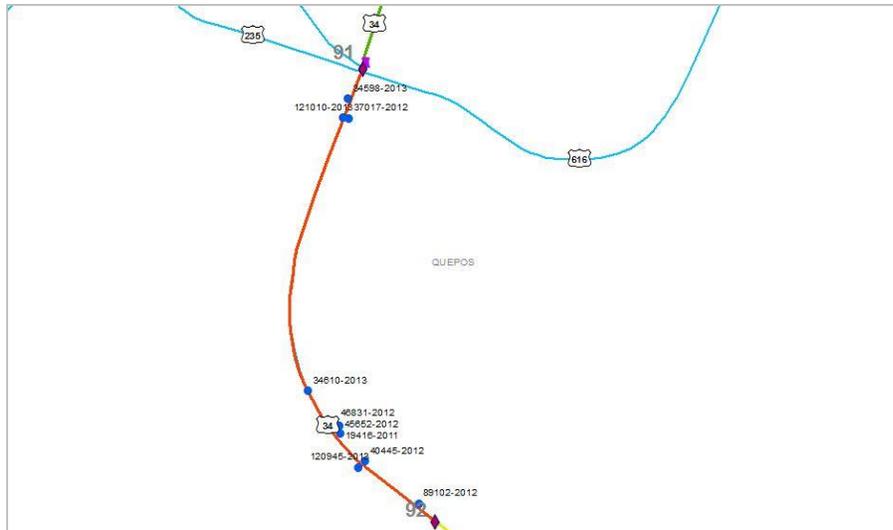
**Figura 262. Imagen satelital del segmento 92**

Fuente: Google Earth, 2016



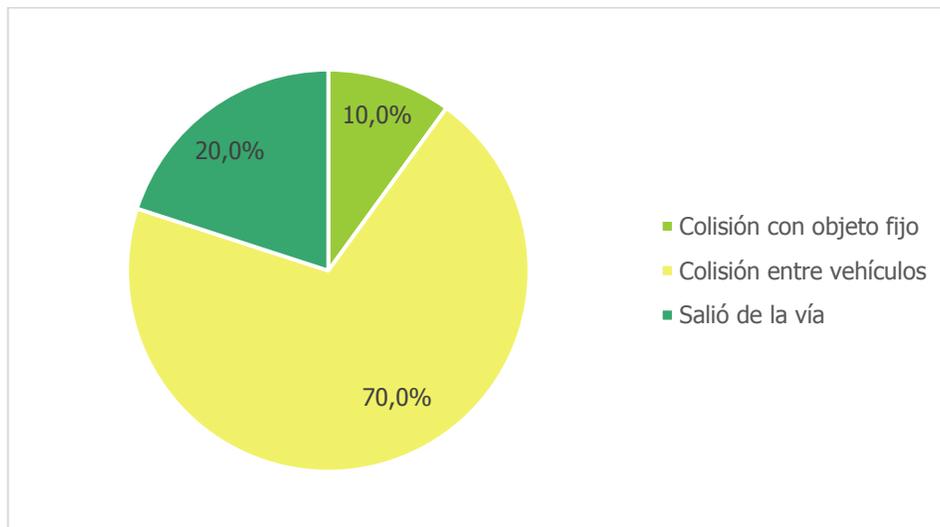
**Figura 263. Fotografía del segmento 92**

(Marzo, 2015)

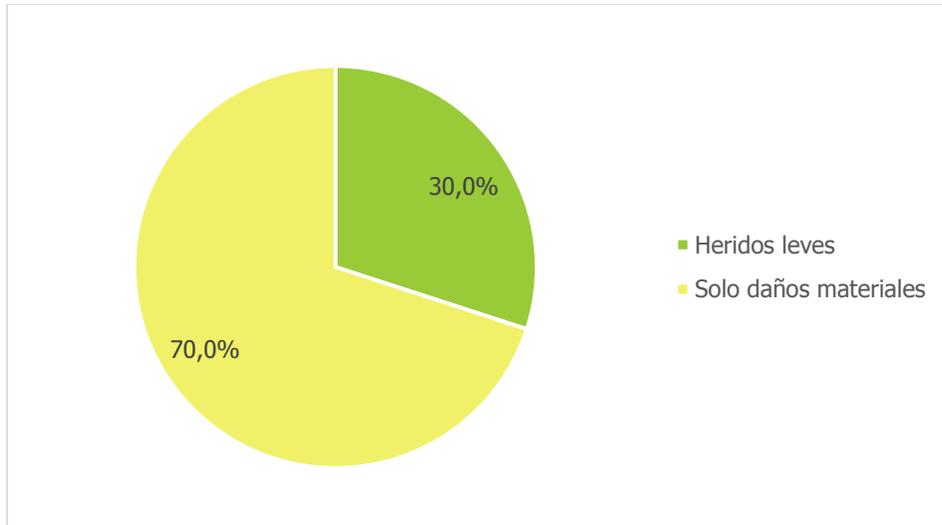


**Figura 264. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 92**

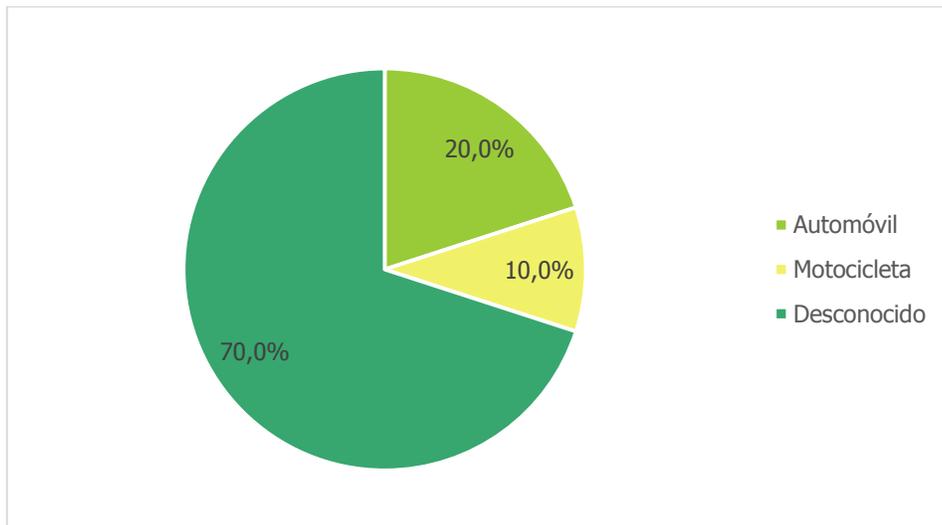
Entre los 10 choques totales, resaltaron las colisiones entre vehículos y los choques de solo daños materiales, aunque también se dieron 3 choques con heridos leves. De los demás datos, la información estaba muy incompleta.



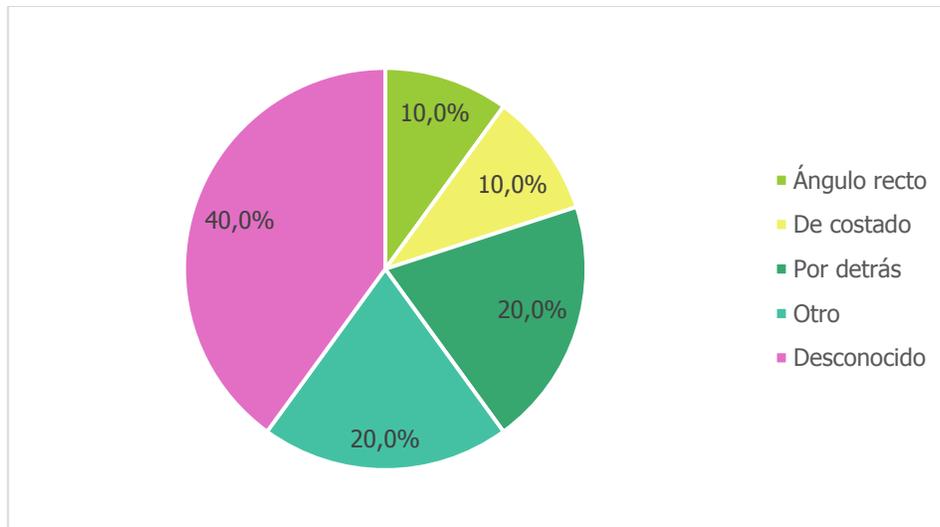
**Figura 265. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 92**



**Figura 266. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 92**



**Figura 267. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 92**



**Figura 268. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 92**

El problema de este segmento es también la velocidad, pues, aunque está definido en 80 km/h, en campo se observó que está demarcado en 40 km/h. Además de eso, tiene dos accesos que implican muchos vehículos entrando y saliendo, estos son la gasolinera La Managua y el hospital Max Terán Valls, por lo que es imperativo reducir la velocidad a 40 km/h y a 25 km/h en las cercanías del hospital, de acuerdo con la Ley de tránsito por las vías públicas terrestres y seguridad vial (2012), pero sobre todo hay que asegurarse de que esta medida se respete. Para esto, y en conformidad con lo expuesto para el Cruce La Managua, se recomienda colocar reductores de velocidad vibratorios y además demarcar adecuadamente el segmento con pintura y en caso de que esto no sea suficiente, colocar demarcación resaltada con tachuelones o postes abatibles. Muchas de estas medidas se pueden costear y aplicar en conjunto con el Servicentro La Managua.

### **5.2.26 Segmento 112: Portalón, Savegre**

Tramo recto de 1 891,05 m en zona rural. Se ubica en Portalón de Savegre, Quepos, Puntarenas y cuenta con dos carriles.



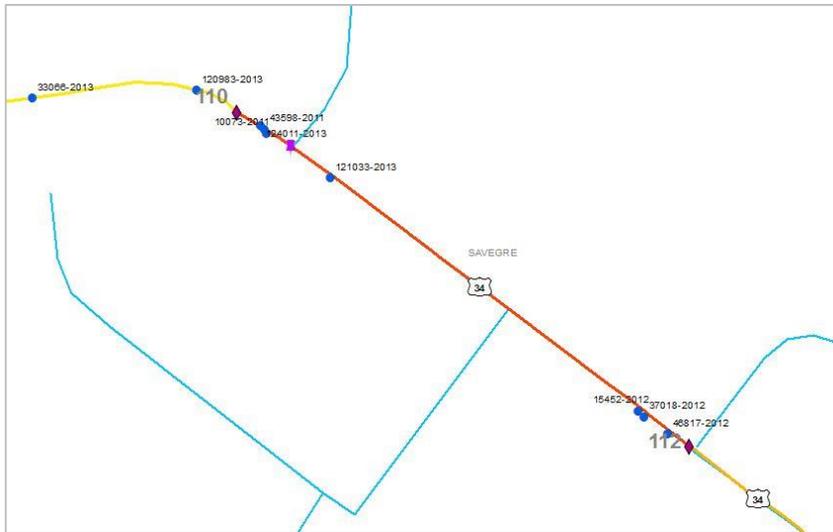
**Figura 269. Imagen satelital del segmento 112**

Fuente: Google Earth, 2016



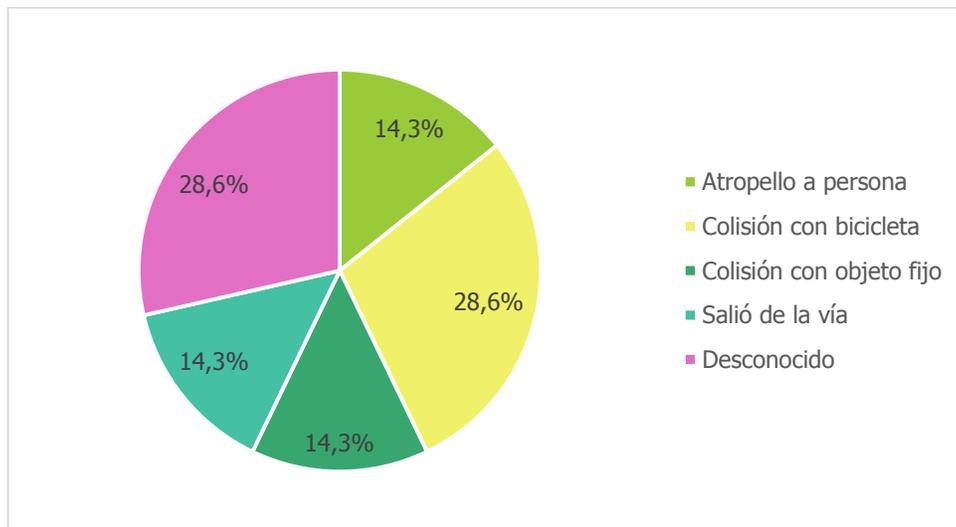
**Figura 270. Fotografía del segmento 112**

(Marzo, 2015)

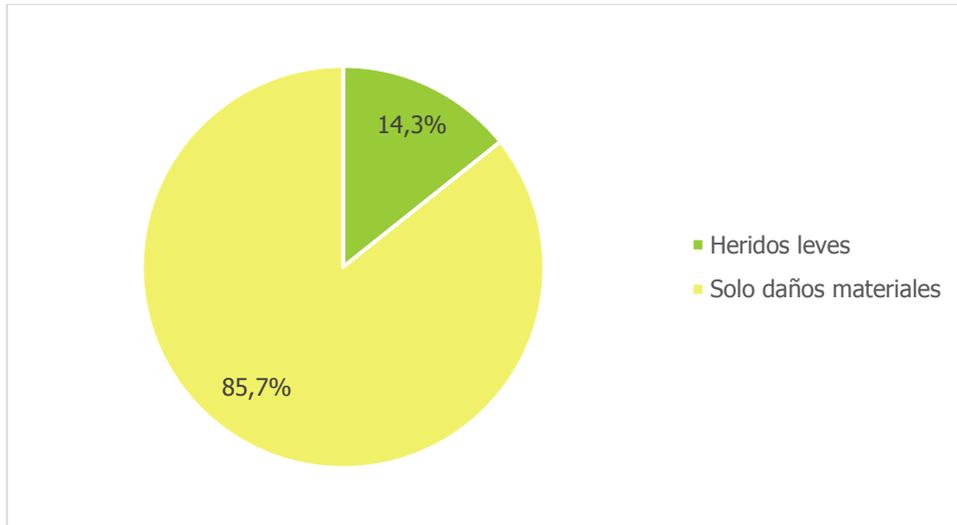


**Figura 271. Alineamiento horizontal y concentración de choques en el segmento 112**

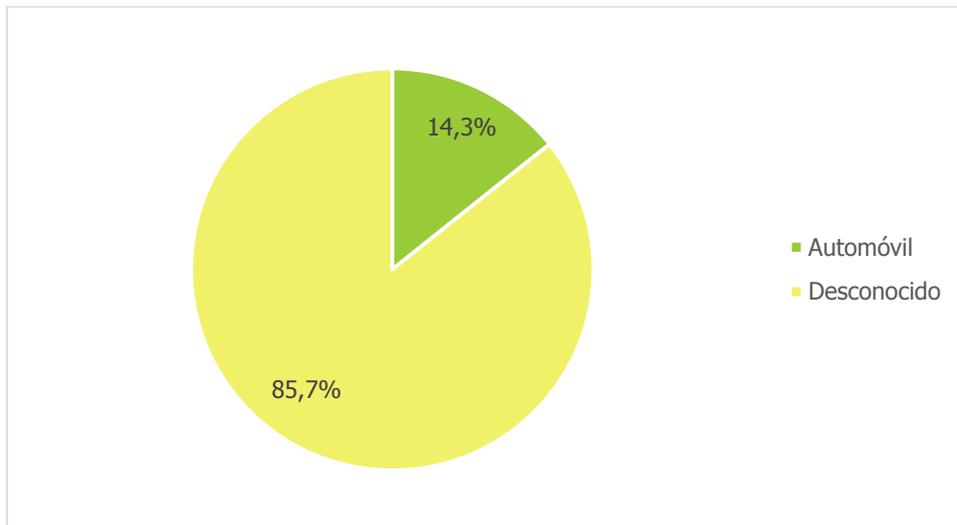
No se indicó suficiente información de los 7 choques ocurridos en este segmento, pero se sabe que se dieron varios tipos de colisiones y la mayoría de choques (menos uno) fueron de solo daños materiales.



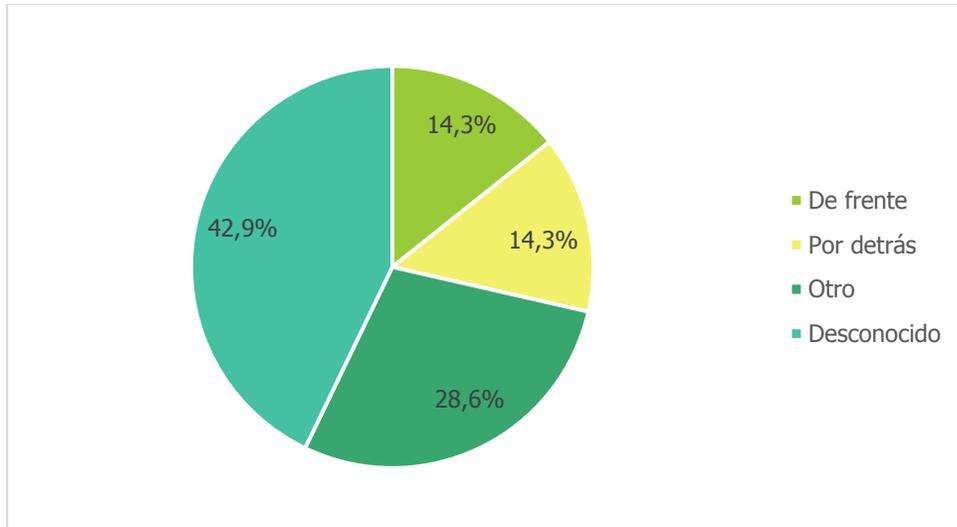
**Figura 272. Porcentaje de choques según tipo de choque en el segmento 112**



**Figura 273. Porcentaje de choques según severidad en el segmento 112**



**Figura 274. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en el segmento 112**



**Figura 275. Porcentaje de choques según sentido de circulación en el segmento 112**

En este segmento de la carretera hay varias bahías de autobuses (ver Figura 276), sin embargo, no se debería permitir el adelantamiento en estos tramos para no aumentar el riesgo de choques y atropellos. Además, en general, en los sitios donde hay bahías no se construyeron carriles de aceleración y desaceleración que permitan la salida y entrada de autobuses sin obstruir el paso normal de vehículos.



**Figura 276. Bahía de autobús en el segmento 112**

(Marzo, 2015)

Además de eso, siguen habiendo problemas con los espaldones pues en algunos casos son de grava y en otros son muy angostos, por lo que se recomienda ampliarlos y pavimentarlos.

Por otro lado, hay una parte de este segmento que tiene una reducción de velocidad a 60 km/h, pero el resto está en 80 km/h, se recomienda reducir todo el segmento a 60 km/h y demarcarlo adecuadamente.

Una vez más, el puente sobre el río Portalón (ver Figura 277) no cumple con la protección adecuada en sus aproximaciones. Además se puede ver cómo la acera y la barrera invaden el espaldón. Se recomienda corregir estos problemas.



**Figura 277. Puente sobre el Río Portalón**

(Marzo, 2015)

Además, las terminales de las barreras de seguridad no son las adecuadas de acuerdo con las normativas internacionales y las buenas prácticas de la ingeniería pues son muy agresivas y en caso de ocurrir un accidente pueden aumentar la gravedad del mismo. Según se explica en el informe de evaluación de seguridad vial en el tramo Quepos Barú, realizado por el Lanamme, las terminales tipo “cola de pez”, como el de la Figura 278, constituyen un elemento peligroso para los usuarios porque si un vehículo colisiona de frente contra este elemento, podría

atravesarlo, agravando las condiciones del accidente. Este tipo de terminales, no se utiliza en países desarrollados desde hace 30 años.



**Figura 278. Terminales de las barreras de contención colocadas en el segmento 112**  
(Marzo, 2015)

Una terminal adecuada debe tener el anclaje necesario para asegurar la suficiencia estructural del resto de la barrera, esto se logra mediante abatimiento, es decir, enterrando la terminación de la barrera en el suelo y esviaje, o sea, retirando la sección terminal gradualmente de la carretera.

### **5.2.27 Intersección 50: Entrada Ojo de Agua**

Intersección tipo T, ubicada en Ciudad Cortés, Osa, Puntarenas (aproximadamente en las coordenadas 8°59'26,31"N, 83°32'55,78"O). El tipo de zona urbana comercial-residencial y la carretera secundaria es cantonal.



**Figura 279. Imagen satelital de la entrada a Ojo de Agua**  
Fuente: Google Earth, 2016

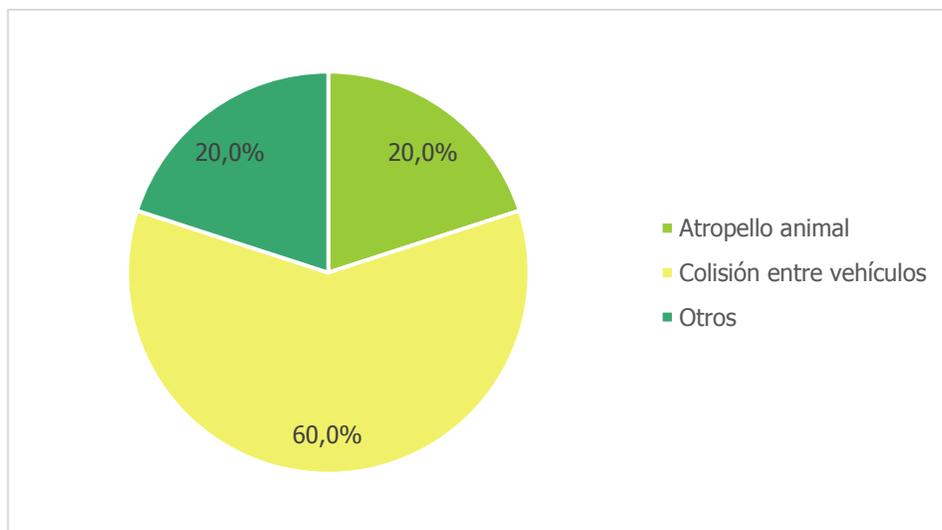


**Figura 280. Fotografía de la entrada a Ojo de Agua**  
(Enero, 2016)



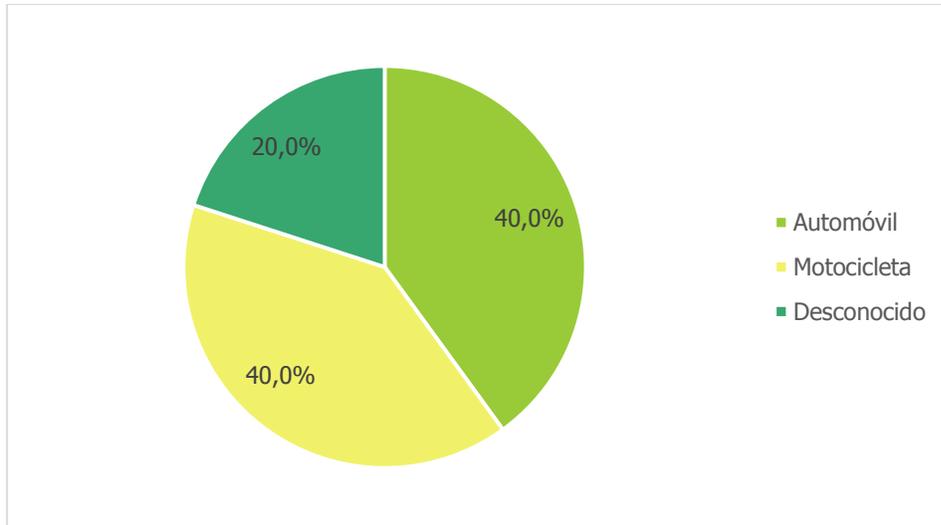
**Figura 281. Alineamiento horizontal y concentración de choques en la entrada a Ojo de Agua**

En total 5 choques se registraron en este tramo. Todos los choques fueron de solo daños materiales. Con respecto al tipo de choque hubo atropello animal, colisión entre vehículos y otros. Se dieron choques con motocicleta y con automóvil y en ángulo recto y de costado.

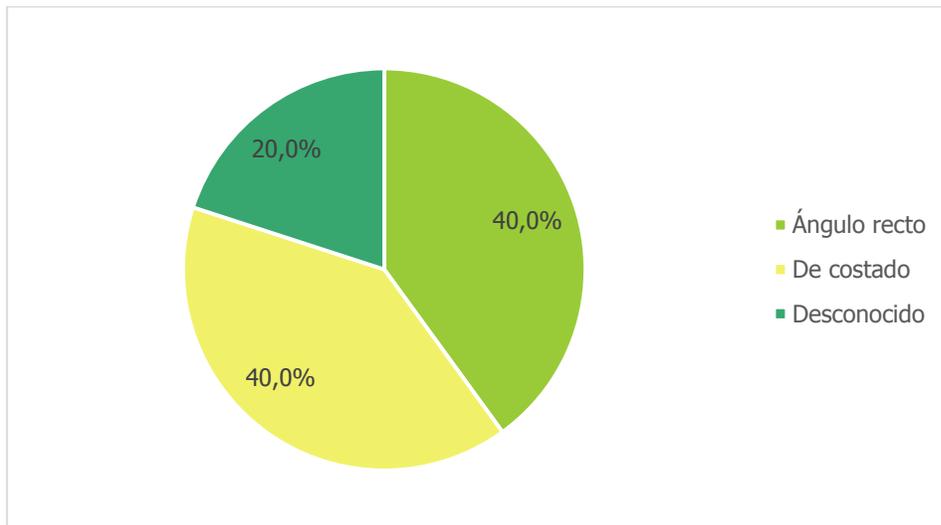


**Figura 282. Porcentaje de choques según tipo de choque en la entrada a Ojo de Agua**

Todos los choques registrados en esta intersección fueron de solo daños materiales.



**Figura 283. Porcentaje de choques según tipo de vehículo en la entrada a Ojo de Agua**



**Figura 284. Porcentaje de choques según sentido de circulación en entrada a Ojo de Agua**

Esta intersección tiene buena visibilidad, pero tiene problemas de velocidad y de demarcación, por lo que se recomienda reducir la velocidad de 80 km/h a 60 km/h e indicarlo tanto mediante demarcación horizontal como con señalamiento vertical.

Además, se deben remarcar las líneas de borde, la línea de centro y las líneas de canalización, así como el CEDA, con el fin de guiar de una mejor manera a los usuarios.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

Existe una gran variedad de métodos de medición de desempeño que pueden ser utilizados para evaluar el potencial de reducción de choques en un sitio. Las consideraciones clave en la selección del método de medición de desempeño son: la disponibilidad de datos, el sesgo de regresión a la media y cómo se establece el umbral de desempeño. El método de exceso de frecuencia de choques esperados con ajuste de Bayes empírico toma en cuenta estas consideraciones y además es un método preciso y confiable.

El modelo binomial negativo se basa en la distribución de Poisson pero permite que la varianza sea mayor que el promedio, lo cual es conveniente para este tipo de estudios pues los choques viales presentan más dispersión que la que una distribución de Poisson puede explicar y por tanto se ven mejor representados de esta manera.

En Costa Rica se cuenta con la información necesaria para realizar este tipo de estudios (al menos en las vías principales) y los resultados obtenidos lo comprueban, pues algunos de los sitios que resultaron críticos en el modelo ya han sido evaluados con otros métodos y en otros estudios (aunque no con el mismo detalle) alertando que presentan problemas de seguridad vial.

En total, para esta ruta, se obtuvieron 2 195 boletas, equivalentes a 1 032 partes, de los cuales únicamente 430 contaban con las coordenadas (43%).

Para realizar este proyecto se utilizó el proceso de gestión de seguridad vial publicado en el Manual de Seguridad en Carreteras (HSM) en 2010 por la AASHTO. Este es un método actualizado y que ha dado resultados confiables, además de que se adapta de buena manera a las carreteras costarricenses y a la información disponible. Entre las ventajas de utilizarlo está que es un proceso sistemático y repetible tanto en esta como en otras carreteras del país.

Únicamente se contó con la información de los choques de los años 2011, 2012 y 2013, porque en el COSEVI se desecha la información de más de cinco años de antigüedad y la información del 2014, aún no se encontraba procesada al momento en que se envió la base de datos de los otros tres años y esperar a que estuviera lista hubiera atrasado aún más el proyecto. Este

problema se va a eliminar porque ahora todos los choques se están procesando en formato digital por lo que para estudios futuros se va a poder contar con más información.

Con respecto a los sitios analizados, de los 18 segmentos originales del Inventario de la Red Vial Nacional equivalentes a los aproximadamente 203 km de carretera, se obtuvieron 171 segmentos homogéneos con longitudes entre 500 m y 2000 m, divididos utilizando los siguientes criterios: número de carriles, tipo de zona y alineamiento horizontal. Por otra parte, en total se determinaron 162 intersecciones a lo largo de la carretera.

Con respecto a los choques, de los 1 032 choques totales, 301 fueron choques de intersección y 731 fueron choques de segmento.

Las variables analizadas en este proyecto fueron las obtenidas de la información disponible en las boletas emitidas por los oficiales de tránsito, la información de la Red Vial Nacional obtenida del Departamento de Planificación Sectorial del MOPT y las que se pudieron obtener por observación con base en las características de la zona en la cual se ubicó cada choque y de la información recopilada en las visitas al sitio. Del análisis de las variables se obtuvieron las siguientes conclusiones.

- La hora en que se reportaron más choques fue a las 4:00 p.m. y en general se observa cómo el pico de la tarde presenta mayor frecuencia de choques viales.
- Los fines de semana presentan mayor frecuencia de choques, principalmente el día sábado. Por su parte, el día jueves fue el día que menos choques presentó.
- El mes con más choques reportados fue diciembre y el mes con menos choques fue octubre.
- El año con mayor frecuencia de choques según las boletas fue el 2013 y el año con menor frecuencia fue el 2011, sin embargo, el periodo de tiempo es muy corto como para determinar si hay una tendencia al aumento en la frecuencia de choques.
- La condición de la calzada en la cual se reportaron más choques fue seca.
- El estado de la calzada con mayor frecuencia de choques fue buena.
- El estado del tiempo con mayor número de choques registrados fue buen tiempo.

- El tipo de choque más frecuente fue colisión entre vehículos (64,0%), seguido de salió de la vía (10,9%), vuelco (6,1%), atropello a persona (4,7%), colisión con bicicleta (4,2%) y colisión con objeto fijo (4,2%).
- El tipo de calzada en la cual se presentaron más choques fue asfalto, lo cual es esperable porque toda la carretera es de asfalto, con excepción de algunas entradas y puentes.
- El tipo de circulación que registró más choques fue por detrás, seguido por de costado, de frente y ángulo recto. Los choques por detrás se dan, en su mayoría, porque el vehículo del frente debe disminuir la velocidad de manera repentina y al vehículo de atrás no le da tiempo de reaccionar o la distancia entre ambos no es la suficiente para evitar el choque, es por eso que se deben evitar los cambios repentinos en la carretera y proveer de una buena señalización.
- Muchas boletas no contaban con la información del tipo de vehículo relacionado, sin embargo, de las boletas con información predominó el automóvil.
- La severidad de los choques se calculó con el total de boletas, pues se emite una boleta por cada persona involucrada en el choque, tomando en cuenta esto, se obtuvo la siguiente distribución: 23 muertes, 102 heridos graves, 361 heridos leves y 1 569 casos de solo daños materiales.
- Como es esperable, el rol predominante de las personas involucradas en los choques fue el de conductor.
- De los datos con información, el rango de edad de las personas involucradas en los choques que predominó fue de 26 a 30 años.
- El sexo predominante de las personas involucradas en las boletas con información fue masculino (65,8%).
- Para el caso de los conductores, se obtuvo que se dio mayor cantidad de choques para los hombres con edades entre 26 y 30 años y para las mujeres con edades entre 31 y 35 años. Además de que predominaron los choques en los cuáles el conductor era hombre.
- En la descripción de los datos de los segmentos se pudo observar que todos los histogramas están sesgados a la izquierda, lo que indica que la mayoría de segmentos poseen pocos choques y que una pequeña parte posee un aumento de choques.
- Los choques de segmento predominaron en tramos rectos y ondulados.

- Orotina y Garabito fueron los cantones en donde hubo mayor frecuencia de choques.
- Hubo una mayor tendencia a la ocurrencia de choques en segmentos con cuatro carriles.
- La mayor cantidad de choques se dieron en sitios demarcados, sin embargo un 43% se dieron en sitios sin demarcación, lo cual alerta sobre la necesidad de mejorar la demarcación, pues con esta medida muchos choques se pueden evitar.
- De los resultados obtenidos, no se evidencia que la presencia de bahías haya afectado a la ocurrencia de choques.
- Se observó una tendencia a la ocurrencia de choques en intersección en los casos que implicaron maniobras más complejas, como la rotonda, las intersecciones tipo T con rampas y las intersecciones tipo cruz, respectivamente. Mientras que las intersecciones tipo T mostraron una menor tendencia a la ocurrencia de choques, aunque la mayoría de choques de intersección fueron en intersecciones tipo T, pero se debe considerar que de las 162 intersecciones totales, 139 son tipo T.
- La mayoría de choques de intersección se dieron cuando la carretera secundaria era cantonal.
- El tipo de zona también fue determinante en la ocurrencia de choques, pues hubo una frecuencia de choques mayor en la zona urbana.
- También hubo mayor ocurrencia de choques en los segmentos con límite de velocidad en 60 km/h.
- Para segmentos, solo se utilizó el modelo de choques totales, porque el modelo de choques equivalentes no dio variables significativas. En el modelo de choques totales para segmentos, las variables que dieron significativas fueron densidad de accesos, carreteras con tres y cuatro carriles y el tipo de zona urbana. Mientras que las variables que dieron significativas para los modelos tanto de choques totales como de choques equivalentes a solo daños materiales en las intersecciones fueron el TPDA de la primaria, las carreteras secundarias cantonales, intersección tipo "otras" e intersección tipo T. Los resultados de los modelos escogidos para intersecciones fueron congruentes entre sí.
- Los pesos que se utilizaron para calcular los choques equivalentes a solo daños materiales fueron: un choque con víctimas mortales equivalente a cuarenta choques con solo daños materiales, un choque con heridos graves equivalente a doce choques

con solo daños materiales y un choque con heridos graves equivalente a tres choques con solo daños materiales.

- De las 162 intersecciones se seleccionaron para el análisis 11, equivalente a aproximadamente un 7%; y de los 171 segmentos, se eligieron 16, correspondiente a aproximadamente un 9%.

De acuerdo con los resultados, se evidencia que existen problemas de seguridad vial en esta carretera. Una de las principales problemáticas encontradas es la falta de facilidades para peatones y ciclistas, así como problemas con la gestión de accesos, anchos de espaldón, velocidad y diseño de intersecciones.

Las medidas de mitigación propuestas se obtuvieron realizando un diagnóstico detallado de cada sitio seleccionado y de la información obtenida mediante revisión bibliográfica, tanto de documentos elaborados en el país como de medidas implementadas y recomendadas a nivel nacional e internacional. Las principales medidas de mitigación propuestas son las siguientes.

- El ancho de carril mínimo en una carretera con las características de la Ruta Nacional 34 es de 3,6 m, por lo que se recomienda modificarlo a este ancho en los casos en que no se cumpla, principalmente en los segmentos 5 y 33.
- En muchos segmentos el ancho de espaldón es insuficiente o inexistente y como se sabe, los espaldones son muy importantes para atender cualquier desperfecto en los vehículos, proporcionar confort a los usuarios de la carretera y para el tránsito de peatones y ciclistas en caso de que no existan otras facilidades para estos usuarios vulnerables en la vía. Por lo que se recomienda ampliarlo a por lo menos 2,0 m – 2,5 m en las cercanías al cruce La Vaquita y en los segmentos 17, 28, 32, 33, 34, 36, 69, 71, 72, 86 y 112.
- Remover los obstáculos que hay en el espaldón del segmento 33 (Villa Caletas), además de sacar la barrera de seguridad del espaldón y colocarla adecuadamente.
- Realizar un estudio para determinar el tipo de barrera adecuado en los segmentos 32 y 44.
- Mejorar los sistemas de contención de puentes y sus aproximaciones para evitar que los vehículos caigan en el precipicio. Se recomienda aplicar esta medida en el puente

sobre el río Tárcoles, el puente Caña Blancal en Herradura y el puente ubicado justo antes del Colegio Técnico Profesional de Quepos.

- Estudiar la posibilidad de colocar barreras de seguridad en el segmento 17 para evitar que los vehículos se salgan de la vía.
- Cambiar las terminales de las barreras de contención que sean tipo “cola de pez” por terminales con el adecuado abatimiento y esviaje.
- Pintar y colocar bandas reflectivas en los bordillos del puente sobre el Río Cotos.
- Mejorar el alineamiento de las intersecciones y accesos cruce La Vaquita, entrada a Quebrada Ganado, entrada al hotel Villa Caletas, cruce Herradura, entrada frente a la gasolinera Delta Herradura, cruce Chocuaco, entrada a Playón y entrada al Colegio Técnico de Quepos.
- Corregir el carril de ascenso en el segmento 33 pues termina antes de lo que debería.
- Instalar señalización combinada de alineamiento horizontal y límites de velocidad en el segmento 34.
- Reemplazar los dispositivos y señales dañadas en la rotonda de Pozón y en el cruce La Vaquita.
- Mejorar la delineación y demarcación de la rotonda de Pozón, el ingreso a la gasolinera La Puesta del Sol, el ingreso a la gasolinera Costa Verde, el segmento 34, el segmento 36, la entrada frente al Super Diana, el cruce Herradura, el segmento 44, la entrada a Playón, el segmento 86, la entrada al Colegio Técnico de Quepos, el cruce La Managua, el segmento 92 y la entrada a Ojo de Agua
- Realizar un estudio de velocidades para reducir la velocidad del cruce La Vaquita, así como cerca de la intersección entrada frente al Super Diana, el cruce Herradura, el segmento 92 y la entrada a Ojo de Agua.
- Colocar bandas sonoras y vibratorias para reducir la velocidad del segmento 17, el cruce La Managua y el segmento 92.
- Colocar postes delineadores abatibles en la entrada a la gasolinera La Puesta del Sol y el segmento 92.
- Aplicar medidas de tráfico calmado en la rotonda de Pozón y en la entrada frente al Super Diana, mediante la utilización de rayas logarítmicas realzadas y realizar un estudio de tránsito en Parrita para determinar si se pueden colocar umbrales y aceras continuas.

- Prohibir el estacionamiento de vehículos particulares y regular el de vehículos proveedores en Parrita centro.
- Evaluar el desempeño del paso peatonal ubicado en Herradura.
- Mejorar las facilidades peatonales en la rotonda de Pozón, dándole continuidad a la acera ya existente y además estudiando la posibilidad de colocar un paso peatonal cercano a esta intersección.
- Crear un mirador antes del puente sobre el Río Tárcoles, de modo que las personas puedan seguir observando los cocodrilos sin exponer su vida.
- Construir bahías para autobuses en Herradura.
- Restringir el adelantamiento en los tramos donde haya bahías para autobuses para no aumentar el riesgo de choques y atropellos y construir carriles de aceleración y desaceleración que permitan la salida y entrada de autobuses sin obstruir el paso normal de vehículos.
- Evaluar la posibilidad de colocar una ciclovía entre Herradura y Jacó, otra en Parrita y otra antes de la entrada al Colegio de Quepos.
- Mejorar la iluminación en los segmentos 5 y 28 y la entrada frente al Super Diana.
- Gestionar los accesos en la vía en Herradura, Jacó y Parrita consolidándolos y creando vías marginales.
- Evaluar el desempeño del semáforo peatonal colocado en la entrada frente al Super Tony y ajustar los tiempos de espera a ambos lados de la carretera.
- Revisar las fases del semáforo colocado en el cruce Herradura para garantizar un buen nivel de servicio.
- Colocar un semáforo peatonal en el centro de Parrita para facilitar el cruce de peatones en este segmento.
- Evaluar la posibilidad de colocar un semáforo en el cruce Chocuaco.
- Limpiar la materia vegetal del cruce La Vaquita para mejorar la visibilidad tanto de la señal de alto como de la carretera principal.
- Darle mantenimiento a la carpeta asfáltica, a las cunetas, puentes y todo tipo de dispositivos colocados en la carretera para que las condiciones actuales no empeoren sino que mejoren o al menos se mantengan.

Finalmente, a continuación se enuncian algunas recomendaciones generales tanto para un correcto aprovechamiento de esta investigación como para futuros proyectos.

- Considerando el esfuerzo y el aporte tan importante que hace la Universidad de Costa Rica en cuanto a investigación, se recomienda tomar este trabajo como punto de partida para el mejoramiento de la seguridad vial de la Ruta Nacional 34 y realizar estudios de tránsito más detallados en cada uno de los sitios críticos.
- Debido a que el método utilizado en este proyecto es sistemático y repetible y a que ahora se cuenta con más información respecto a la aplicación y respuesta del mismo, se recomienda aplicarlo en otras rutas del país.
- La información de las boletas emitidas por los oficiales de tránsito presenta muchas inconsistencias que se pueden mejorar replanteando los formularios de las boletas, capacitando a los oficiales de tránsito y proveyéndolos de dispositivos GPS para la ubicación de los choques, que como no en todos los casos cuentan con este equipo, este resultó ser el proceso más largo en la realización de esta investigación y limitó a que todos los choques se pudieran ubicar por la falta de información.
- Debido a los costos sociales, económicos y principalmente humanos se evidencia la importancia de aumentar la inversión en investigación y aplicación de medidas de seguridad vial en las carreteras del país y del mundo.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

- Agüero-Valverde, J., Jovanis, P.P. (2006). *Identifying Road Segments with High Risk of Weather-Related Crashes Using Full Bayesian Hierarchical Models*. TRB Annual Meeting Washington, D.C., Estados Unidos.
- Agüero-Valverde, J., Jovanis, P.P. (2008). Analysis of Road Crash Frequency with Spatial Models. *Transportation Research Record* 2061, 55-63.
- Agüero-Valverde, J., Jovanis, P.P. (2009). Bayesian Multivariate Poisson Lognormal Models for Crash Severity Modeling and Site Ranking. *Transportation Research Record* 2136, 82-91.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2010). *Highway Safety Manual*. (Primera Edición).
- 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.
- Castro, E., Agüero-Valverde, J. (2015). *Aplicación del método Bayes empírico en análisis de seguridad vial: el caso de la ruta 32 en Costa Rica*. Revista Ingeniería 25 (I), 13-33.
- Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (CONASET). (2010). *Guía de criterios para la aplicación, ubicación, diseño y señalización de medidas para el tráfico calmado*. Santiago, Chile.
- Hauer, E. (1992). Empirical Bayes approach to the estimation of “unsafety”: the multivariate regression method. *Accident Analysis & Prevention*, 24(5), 456-478.
- Hauer, E. (1996). Identification of Sites with Promise. *Transportation Research Board*, 1542, 54-60.
- Hauer, E. (2001). Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial. *Transportation Research Board*, 1784, 126-131.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2013). *Panorama demográfico: Año 2013*. Consultado el 29 de diciembre de 2015 en: [http://www.inec.go.cr/wwwisis/documentos/INEC/Boletines/Panorama%20Demografico/Panorama\\_Demogr%C3%A1fico\\_2013.pdf](http://www.inec.go.cr/wwwisis/documentos/INEC/Boletines/Panorama%20Demografico/Panorama_Demogr%C3%A1fico_2013.pdf)
- Ley N° 9078: Ley de tránsito por vías públicas terrestres y seguridad vial. Diario oficial La Gaceta, San José, Costa Rica. 26 de octubre de 2012.

- Lord, D., Washington, S. Ivan, J. (2005). Poisson, poisson-gamma and zero-inflated regression models of motor vehicle crashes: balancing statistical fit and theory. *Accident Analysis and Prevention*, 37, 35-46.
- Lord, D. & Mannering, F. (2010). The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44, 291-305.
- Leandro, A. (1971). *Normas geométricas de diseño para el Proyecto Costanera Sur*. Tesis de Grado para optar por el título de Ingeniero Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2011). *Inventario de la Red Vial Nacional*. Dirección de Planificación Sectorial. San José, Costa Rica.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2013). *Anuario de información de tránsito 2013*. Dirección de Planificación Sectorial, Unidad de Estudios de Tráfico a Investigación. San José, Costa Rica.
- Núñez, J. (2005). *Análisis de vulnerabilidad física ante amenazas naturales del tramo Quepos-Barú de la Costanera Sur, ruta 34*. 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.
- Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS-UCR). (2013). Plan Regulador Cantonal Rural de Garabito Fase de Propuestas. Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Pujol, R. (2008). *El contexto territorial de la seguridad vial: algunas lecciones de Costa Rica*. Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). *Lesiones causadas por el tránsito*. Consultado el 29 de diciembre de 2015 en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/es/>
- Orozco, C. (2008). *Obras a implementar en el diseño de una carretera desde el punto de vista de seguridad vial*. 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.

- Sánchez, L., Agüero-Valverde, J., Pujol, R. (2015). *Costos de los choques viales en Costa Rica*. Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). (2014). *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito*. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Shankar, V., Mannering, F. & Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis and Prevention*, 27 (3), 371-389.
- Unidad de Auditorías Técnicas LanammeUCR-PITRA. (2010). *Evaluación de Seguridad Vial Proyecto Costanera Sur, Ruta Nacional N° 34 Sección: Quepos-Barú*. Informe de auditoría técnica externa. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional LanammeUCR-PITRA. (2011). *Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica: Identificación de zonas de riesgo de accidentes Rutas 1, 2, 32 y 34*. Programa de Infraestructura del Transporte. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Valverde, G. (2011). *Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras*. Vicerrectoría de Investigación. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

## **APÉNDICES**

---

## Apéndice A. Resultados del modelo binomial negativo

### *Modelo choques totales para segmentos*

---

```
Call:
glm.nb(formula = Total_choq ~ log(TPDA) + offset(log(Long_km)) +
  Den_acc + as.factor(Num_carr) + as.factor(Tipo_zona), data = segmentos,
  init.theta = 2.651443235, link = log)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.5776  -0.9564  -0.1820   0.3962   3.1996

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)    -4.66293    1.31623   -3.543 0.000396 ***
log(TPDA)       0.54900    0.13772   3.986 6.71e-05 ***
Den_acc         0.08968    0.03205   2.798 0.005141 **
as.factor(Num_carr)3  0.49351    0.20218   2.441 0.014650 *
as.factor(Num_carr)4  0.53837    0.38800   1.388 0.165279
as.factor(Tipo_zona)Urbana 0.68086    0.15542   4.381 1.18e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(2.6514) family taken to be 1)

Null deviance: 313.85  on 170  degrees of freedom
Residual deviance: 184.13  on 165  degrees of freedom
AIC: 810.14

Number of Fisher Scoring iterations: 1

              Theta:  2.651
            Std. Err.:  0.499

2 x log-likelihood:  -796.135
```

---

### *Modelo choques equivalentes a solo daños materiales para segmentos*

---

```
Call:
glm.nb(formula = Choq_equiv ~ log(TPDA) + offset(log(Long_km)) +
  Den_acc + as.factor(Num_carr) + as.factor(Tipo_zona), data = segmentos,
  init.theta = 1.087336407, link = log)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.2358  -1.0276  -0.4318   0.2445   2.6544

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)    0.04112    1.61436   0.025   0.980
log(TPDA)      0.14044    0.16975   0.827   0.408
Den_acc        0.06435    0.04226   1.523   0.128
as.factor(Num_carr)3  0.29045    0.27669   1.050   0.294
```

```

as.factor(Num_carr)4      0.56030    0.45903    1.221    0.222
as.factor(Tipo_zona)Urbana 0.80115    0.20293    3.948 7.88e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(1.0873) family taken to be 1)

Null deviance: 245.71 on 170 degrees of freedom
Residual deviance: 192.99 on 165 degrees of freedom
AIC: 1053.5

Number of Fisher Scoring iterations: 1

      Theta: 1.087
Std. Err.: 0.139

2 x log-likelihood: -1039.502

```

---

### ***Modelo choques totales para intersecciones***

```

Call:
glm.nb(formula = Total_choq ~ log(TPDA_Prim) + as.factor(Tipo_sec) +
  as.factor(Tipo_inter), data = intersecciones, init.theta = 0.8146400449
, link = log)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.7535  -1.1878  -0.7778   0.3425   1.9644

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)    -4.5637     2.6002  -1.755  0.07923 .
log(TPDA_Prim)  0.7004     0.2662   2.631  0.00851 **
as.factor(Tipo_sec)1 -0.8009     0.4894  -1.637  0.10172
as.factor(Tipo_inter)Otras -0.1524     0.7144  -0.213  0.83107
as.factor(Tipo_inter)T -1.4029     0.3128  -4.485 7.27e-06 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(0.8146) family taken to be 1)

Null deviance: 222.38 on 161 degrees of freedom
Residual deviance: 163.21 on 157 degrees of freedom
AIC: 542.01

Number of Fisher Scoring iterations: 1

      Theta: 0.815
Std. Err.: 0.182

2 x log-likelihood: -530.005

```

---

### ***Modelo choques equivalentes a solo daños materiales para intersecciones***

---

```
Call:
glm.nb(formula = Choq_equiv ~ log(TPDA_Prim) + as.factor(Tipo_sec) +
       as.factor(Tipo_inter), data = intersecciones, init.theta = 0.4261126815
       , link = log)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.5437	-1.1978	-0.6383	0.2079	3.0261

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	-7.1295	3.1269	-2.280	0.02260 *
log(TPDA_Prim)	0.9969	0.3189	3.126	0.00177 **
as.factor(Tipo_sec)1	-0.7861	0.6379	-1.232	0.21782
as.factor(Tipo_inter)Otras	-0.4408	0.9535	-0.462	0.64383
as.factor(Tipo_inter)T	-1.2551	0.4034	-3.111	0.00186 **

---  
Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(0.4261) family taken to be 1)

Null deviance: 193.97 on 161 degrees of freedom  
Residual deviance: 154.95 on 157 degrees of freedom  
AIC: 632.06

Number of Fisher Scoring iterations: 1

Theta: 0.4261  
Std. Err.: 0.0715

2 x log-likelihood: -620.0590

---

**Apéndice B. Frecuencia de la cantidad de choques según severidad en segmentos e intersecciones**

**Cuadro B-1. Frecuencia de la cantidad de choques con solo daños materiales en segmentos**

<b>Cantidad de choques</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Porcentaje acumulado (%)</b>
0	41	24,0	24,0
1	50	29,2	53,2
2	21	12,3	65,5
3	17	9,9	75,4
4	12	7,0	82,5
5	10	5,8	88,3
6	2	1,2	89,5
7	7	4,1	93,6
8	2	1,2	94,7
9	1	0,6	95,3
10	2	1,2	96,5
11	2	1,2	97,7
12	1	0,6	98,2
13	0	0,0	98,2
14	0	0,0	98,2
15	0	0,0	98,2
16	0	0,0	98,2
17	0	0,0	98,2
18	0	0,0	98,2
19	1	0,6	98,8
≥20	2	1,2	100,0

**Cuadro B-2. Frecuencia de la cantidad de choques con heridos leves en segmentos**

<b>Cantidad de choques</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
0	96	56,1	56,1
1	53	31,0	87,1
2	10	5,8	93,0
3	11	6,4	99,4
4	1	0,6	100,0

**Cuadro B-3. Frecuencia de la cantidad de choques con heridos graves en segmentos**

<b>Cantidad de choques</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
0	147	86,0	86,0
1	23	13,5	99,4
2	1	0,6	100,0

**Cuadro B-4. Frecuencia de la cantidad de choques con muertes en segmentos**

<b>Cantidad de choques</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
0	167	97,7	97,7
1	2	1,2	98,8
2	2	1,2	100,0

**Cuadro B-5. Frecuencia de la cantidad de choques para choques totales en segmentos**

<b>Cantidad de choques</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
0	20	11,7	11,7
1	30	17,5	29,2
2	25	14,6	43,9
3	26	15,2	59,1
4	12	7,0	66,1
5	15	8,8	74,9
6	10	5,8	80,7
7	8	4,7	85,4
8	6	3,5	88,9
9	0	0,0	88,9
10	4	2,3	91,2
11	1	0,6	91,8
12	3	1,8	93,6
13	4	2,3	95,9
14	0	0,0	95,9
15	1	0,6	96,5
16	0	0,0	96,5
17	2	1,2	97,7
18	1	0,6	98,2
19	0	0,0	98,2
≥20	3	1,8	100,0

**Cuadro B-6. Frecuencia de la cantidad de choques para choques equivalentes a solo daños materiales en segmentos**

<b>Cantidad de choques</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
0	20	11,7	11,7
1	23	13,5	25,1
2	13	7,6	32,7
3	15	8,8	41,5
4	11	6,4	48,0
5	12	7,0	55,0
6	7	4,1	59,1
7	9	5,3	64,3
8	5	2,9	67,3
9	5	2,9	70,2
10	7	4,1	74,3
11	3	1,8	76,0
12	4	2,3	78,4
13	2	1,2	79,5
14	8	4,7	84,2
15	2	1,2	85,4
16	1	0,6	86,0
17	3	1,8	87,7
18	2	1,2	88,9
19	1	0,6	89,5
≥20	18	10,5	100,0

**Cuadro B-7. Frecuencia de la cantidad de choques con solo daños materiales en intersecciones**

<b>Cantidad de choques</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
0	85	52,5	52,5
1	26	16,0	68,5
2	18	11,1	79,6
3	13	8,0	87,7
4	3	1,9	89,5
5	9	5,6	95,1
6	1	0,6	95,7
7	0	0,0	95,7
8	1	0,6	96,3
9	2	1,2	97,5
10	0	0,0	97,5
11	1	0,6	98,1
12	0	0,0	98,1
13	0	0,0	98,1
14	0	0,0	98,1
15	0	0,0	98,1
16	2	1,2	99,4
17	0	0,0	99,4
18	0	0,0	99,4
19	0	0,0	99,4
≥20	1	0,6	100,0

**Cuadro B-8. Frecuencia de la cantidad de choques con heridos leves en intersecciones**

<b>Cantidad de choques</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
0	139	85,8	85,8
1	18	11,1	96,9
2	4	2,5	99,4
3	1	0,6	100,0

**Cuadro B-9. Frecuencia de la cantidad de choques con heridos graves en intersecciones**

<b>Cantidad de choques</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
0	158	97,5	97,5
1	4	2,5	100,0

**Cuadro B-10. Frecuencia de la cantidad de choques con muertos en intersecciones**

<b>Cantidad de choques</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
0	160	98,8	98,8
1	2	1,2	100,0

**Cuadro B-11. Frecuencia de la cantidad de choques para choques totales en intersecciones**

<b>Cantidad de choques</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
0	78	48,1	48,1
1	29	17,9	66,0
2	16	9,9	75,9
3	14	8,6	84,6
4	6	3,7	88,3
5	9	5,6	93,8
6	1	0,6	94,4
7	2	1,2	95,7
8	1	0,6	96,3
9	2	1,2	97,5
10	0	0,0	97,5
11	0	0,0	97,5
12	0	0,0	97,5
13	0	0,0	97,5
14	1	0,6	98,1
15	0	0,0	98,1
16	0	0,0	98,1
17	2	1,2	99,4
18	0	0,0	99,4
19	0	0,0	99,4
≥20	1	0,6	100,0

**Cuadro B-12. Frecuencia de la cantidad de choques para choques equivalentes a solo daños materiales en intersecciones**

<b>Cantidad de choques</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Porcentaje acumulado</b>
0	78	48,1	48,1
1	22	13,6	61,7
2	13	8,0	69,8
3	16	9,9	79,6
4	4	2,5	82,1
5	12	7,4	89,5
6	2	1,2	90,7
7	1	0,6	91,4
8	2	1,2	92,6
9	2	1,2	93,8
10	0	0,0	93,8
11	0	0,0	93,8
12	0	0,0	93,8
13	1	0,6	94,4
14	0	0,0	94,4
15	1	0,6	95,1
16	0	0,0	95,1
17	1	0,6	95,7
18	1	0,6	96,3
19	2	1,2	97,5
≥20	4	2,5	100,0

**ANEXOS**

---

**Anexo 1. Secciones de control del Tránsito Promedio Diario Anual en la Ruta Nacional 34**

<b>Estación</b>	<b>Sección de control</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ubicación</b>
653	21 300	Radial de Pozón, Coyolar-Límite entre Alajuela y Puntarenas	Pozón (0+500 m después inicio ruta)
EP-21	60 170	Límite entre Alajuela y Puntarenas-Río Agujas, Quebrada Ganado	
EP-21	60 162	Río Agujas, Quebrada Ganado-Cruce centro población, Herradura	Herradura (0+100 m antes entrada principal)
791	60 161	Cruce centro población, Herradura-Primera entrada Jacó	Jacó (Puente Río Quebrada Mona)
744	60 140	Primera entrada Jacó-Límite entre Garabito y Parrita	
744	60 082	Límite entre Garabito y Parrita-La Palma (Ruta 239)	Loma (0+200 n antes final Ruta 239)
744	60 081	La Palma (Ruta 239-Río Parrita, La Julieta)	
744	60 120	Río Parrita, La Julieta-Límite entre Parrita y Quepos	
239	60 113	Límite entre Parrita y Quepos-Junta Naranjo (Ruta 235)	Plaza de Damas
448	60 112	Junta Naranjo (Ruta 235)- Cruce La Managua (Rutas 234 y 616)	Junta Naranjo (0+200 m después Liceo Quepos)
240	60 111	Cruce La Managua (Rutas 234 y 616)- Escuela Marítima	Managua (0+100 m después Hospital Max Terán)
443	60 102	Escuela Marítima-Escuela Matapalo	Plaza de Matapalo
443	60 101	Escuela Matapalo-Límite entre cantón de Quepos y Osa	
270	60 091	Límite entre cantón de Quepos y Osa-Cruce centro población, Uvita	
270	60 092	Cruce centro población, Uvita-Río Punta Mala, Punta Mala	Uvita (0+100 m después entrada principal)
244	60 093	Río Punta Mala, Punta Mala-Barrio El Mango, Puerto Cortés (Ruta 168)	
244	60 094	Barrio El Mango, Puerto Cortés (Ruta 168)-Palmar Norte	Palmar Norte (1 km antes final ruta)