

**ESPACIALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE MUERTES POR ACCIDENTES DE  
TRÁNSITO EN LA ZONA URBANA DE SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA  
DURANTE EL PERIODO 2004-2014.**

ROBIN ALEXIS OLAYA



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA “ESPECIALIZACIÓN EN SIG”  
MANIZALES  
2015**

**ESPACIALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE MUERTES POR ACCIDENTES DE  
TRÁNSITO EN LA ZONA URBANA DE SANTIAGO DE CALI, COLOMBIA  
DURANTE EL PERIODO 2004-2014.**

**ROBIN ALEXIS OLAYA**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de  
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Presidente

**ALBERTO BOADA RODRÍGUEZ**  
MSc. SIG en Aplicaciones Urbanas.

Vice-Presidente

**CIRO JARAMILLO**  
Doctor en Ingeniería de Transporte.

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA “ESPECIALIZACIÓN EN SIG”  
MANIZALES  
2015**



## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

MSc. Alberto Boada, Estadístico, Ingeniero Industrial y Maestro en Sistemas de Geoinformación para Aplicaciones Urbanas, ITC de Holanda. Por su acompañamiento, conocimiento y aportes en Geoestadística y estadística aplicada al sistema vial.

Doctor Ciro Jaramillo, Ingeniero Civil y Doctor en Ingeniería de Transporte de la Universidad Politécnica de Valencia en España, Posdoctoral en Urbanismo y Ordenación del Territorio de la Universidad de Granada en España. Por su acompañamiento, conocimiento y aportes en el comportamiento del tránsito y los actores en el sistema vial.

Karen Gaviria, Ingeniera Topográfica, Proyecto PIMU – DAPM. Por sus aportes en la captura y requerimientos de información.

A mi Abuela, Esposa, Familia, amigos, colegas y compañeros de trabajo por su acompañamiento, ánimos y paciencia durante el proceso.

## CRÉDITOS

Las personas que participaron en este proyecto fueron las siguientes:

<b>NOMBRE COMPLETO</b>	<b>FUNCIÓN EN EL PROYECTO</b>	<b>DIRECCIÓN DE CONTACTO</b>	<b>CORREO ELECTRÓNICO</b>
Robin Alexis Olaya	Autor		robalexo@hotmail.com
Alberto Boada	Presidente		aboadar@umanizales.edu.co
Ciro Jaramillo	Vicepresidente		ciro.jaramillo@correounivalle.edu.co



## PÁGINA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

**<NOMBRE COMPLETO>  
JURADO**

---

**<NOMBRE COMPLETO>  
JURADO**

---

**<NOMBRE COMPLETO>  
JURADO**

Manizales, 24 de abril de 2015

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	15
2. ÁREA PROBLEMÁTICA .....	16
3. OBJETIVOS .....	17
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	17
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4. JUSTIFICACIÓN .....	18
5. MARCO TEÓRICO.....	19
5.1. CIUDAD SANTIAGO DE CALI.....	19
5.2. ACCIDENTE DE TRANSITO .....	21
5.3. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	22
5.3.1. Tipos de datos de un SIG. ....	23
5.3.2. Fases para la elaboración de un SIG.....	24
5.3.3. Base de Datos Geográfica (BDG).....	25
5.3.4. Geocodificación.....	27
5.3.5. Análisis de Puntos Calientes.....	28
5.3.6. Interpolación de datos.....	30
5.4. ANTECEDENTES EN EL ANÁLISIS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN CALI .....	32
5.4.1. Identificación de puntos críticos en Cali (2011). ....	32
5.4.2. Propuestas de investigación en Cali (2013) .....	33
5.4.1. Muertes por Accidentes de Tránsito en Cali – CISALVA 2009.....	34
5.4.1. Explicación sobre la accidentalidad vial en Colombia (2014).....	35
6. METODOLOGÍA.....	36
6.1. TIPO DE TRABAJO .....	36
6.2. PROCEDIMIENTO.....	36
6.2.1. Fase 1. Recopilación y revisión de información.....	36
6.2.2. Fase 2. Análisis de requerimientos.....	41
6.2.3. Fase 3. Espacialización de la información.....	45
6.2.1. Fase 4. Identificación de patrones puntuales y zonas críticas. ....	48
7. RESULTADOS .....	52
7.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.....	52
7.1.1. Espacialización de MPAT durante el periodo 2004 – 2014 .....	52
7.1.2. Análisis de puntos calientes de MPAT durante el periodo 2004 - 2014. ....	56
7.1.3. Análisis de superficie de interpolación de puntos calientes de MPAT.....	65
7.1.4. Identificación de Zonas críticas de MPAT en la zona urbana de Cali. ....	69
7.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	70
8. CONCLUSIONES.....	72
9. RECOMENDACIONES .....	73
10. BIBLIOGRAFÍA .....	74



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Cali Urbana y Rural. ....	19
Ilustración 2. Causas de mortalidad en Cali. ....	20
Ilustración 3. Muertes según día de ocurrencia, año 2013. ....	20
Ilustración 4. Accidente de tránsito. ....	21
Ilustración 5. Elementos de un Sistema de Información geográfica. ....	23
Ilustración 6. Formato vectorial (Comunas) vs Raster (Densidad). ....	23
Ilustración 7. Fases para la elaboración de un SIG. ....	24
Ilustración 8. Diagrama E-R. ....	25
Ilustración 9. Modelo relacional de bases de datos. ....	25
Ilustración 10. Modelo orientado a objetos. ....	26
Ilustración 11. Etapas de diseño de una BD. ....	26
Ilustración 12. Geocodificación de direcciones. ....	27
Ilustración 13. Geocodificación de la dirección "Carrera 1D #62-70". ....	28
Ilustración 14. Análisis de puntos calientes y fríos. ....	28
Ilustración 15. Distribución Normal estándar. ....	29
Ilustración 16. Interpolación mediante IDW. ....	30
Ilustración 17. Función IDW - Interpolación. ....	31
Ilustración 18. Muertos por accidentes de tránsito en Colombia. ....	32
Ilustración 19. Enfoque geográfico de las investigaciones realizadas. ....	33
Ilustración 20. Accidentes de motociclistas en Cali. ....	34
Ilustración 21. Triangulo de la accidentalidad vial, ONU. ....	35
Ilustración 22. Ejemplo columnas o atributos de las MPAT. ....	37
Ilustración 23. Inconsistencias en las direcciones registradas. ....	37
Ilustración 24. Extracto del Formato Policial de AT. ....	38
Ilustración 25. Secretaría de Tránsito y Transporte. ....	38
Ilustración 26. Secretaría de Infraestructura y Valorización. ....	39
Ilustración 27. Departamento Administrativo de Planeación Municipal. ....	39
Ilustración 28. Página web del instituto CISALVA. ....	40
Ilustración 29. Mapa base de Cali. ....	41
Ilustración 30. Diagrama del diseño conceptual de la BDG. ....	43
Ilustración 31. Diagrama del diseño lógico de la BDG. ....	44
Ilustración 32. Diagrama de clases, relaciones, dominios y subtipos de la BDG. ....	44
Ilustración 33. Atributos de la malla vial. ....	46
Ilustración 34: Geocodificación de una dirección. ....	46
Ilustración 35. Proceso de Re-Codificación con Arcgis Desktop. ....	47
Ilustración 36. Análisis de puntos calientes Gi*. ....	48
Ilustración 37. Preparación de incidentes para el análisis de puntos calientes. ....	49
Ilustración 38. Análisis de incidentes de muertes por manzana. ....	50
Ilustración 39. Histograma de la superficie IDW. ....	50
Ilustración 40. Interpolación de incidentes a una superficie de predicción. ....	51
Ilustración 41. Levantamiento de información de las zonas críticas visitadas. ....	51
Ilustración 42. Geocodificación de direcciones de MPAT. ....	52
Ilustración 43. Reajuste de geocodificación. ....	53
Ilustración 44. Direcciones de MPAT ubicadas geográficamente. ....	53
Ilustración 45. MPAT por Año. ....	54
Ilustración 46. Aumento del parque automotor en Cali 2004 - 2014. ....	54
Ilustración 47. MPAT por comunas. ....	55
Ilustración 48. MPAT anual por día de la semana. ....	55
Ilustración 49. MPAT Anual por mes. Fuente: ....	56

Ilustración 50. MPAT anual por rango de edad. ....	57
Ilustración 51. MPAT anual por estrato moda.....	57
Ilustración 52. MPAT anual por género y estado civil.....	58
Ilustración 53. MPAT anual por nivel de escolaridad.....	59
Ilustración 54. MPAT anual por característica del accidente.....	60
Ilustración 55. MPAT anual por condición de la víctima.....	60
Ilustración 56. MPAT anual por tipo de vehículo.....	61
Ilustración 57. MPAT anual por tipo de accidente.....	62
Ilustración 58. Exploración del tipo de distribución de las MPAT.....	63
Ilustración 59. Puntos calientes Cali.....	64
Ilustración 60. Análisis de puntos calientes y fríos para los años 2004 - 2014.....	64
Ilustración 61. Superficie IDW potencia 2.....	65
Ilustración 62. Superficie IDW cuadrada para el periodo 2004 - 2014.....	66
Ilustración 63. IDW <sup>2</sup> de MPAT periodo 2004-2014.....	66
Ilustración 64. Análisis del promedio del vecino más próximo (2004-2007).....	78
Ilustración 65. Análisis del promedio del vecino más próximo (2008-2011).....	79
Ilustración 66. Análisis del promedio del vecino más próximo (2012-2014).....	80
Ilustración 67. HotSpot año 2004, FDB = 192,72m. Fuente: Elaboración propia.....	81
Ilustración 68. HotSpot año 2005, FDB = 193,06m. Fuente: Elaboración propia.....	81
Ilustración 69. HotSpot año 2006, FDB = 202,28 m. Fuente: Elaboración propia.....	82
Ilustración 70. HotSpot año 2007, FDB = 230,61 m. Fuente: Elaboración propia.....	82
Ilustración 71. HotSpot año 2008, FDB = 207,78 m. Fuente: Elaboración propia.....	83
Ilustración 72. HotSpot año 2009, FDB = 207,92 m. Fuente: Elaboración propia.....	83
Ilustración 73. HotSpot año 2010, FDB = 201,67 m. Fuente: Elaboración propia.....	84
Ilustración 74. HotSpot año 2011, FDB = 202,28 m. Fuente: Elaboración propia.....	84
Ilustración 75. HotSpot año 2012, FDB = 193,06 m. Fuente: Elaboración propia.....	85
Ilustración 76. HotSpot año 2013, FDB = 235,38 m. Fuente: Elaboración propia.....	85
Ilustración 77. HotSpot año 2014, FDB = 260,13 m. Fuente: Elaboración propia.....	86
Ilustración 78. Zona critica #1. Fuente: Elaboración propia.....	87
Ilustración 79. Zona critica #2. Fuente: Elaboración propia.....	87
Ilustración 80. Zona critica #3. Fuente: Elaboración propia.....	88
Ilustración 81. Zona critica #4. Fuente: Elaboración propia.....	88
Ilustración 82. Zona critica #5. Fuente: Elaboración propia.....	89
Ilustración 83. Zona critica #6. Fuente: Elaboración propia.....	89
Ilustración 84. Zona critica #7. Fuente: Elaboración propia.....	90
Ilustración 85. Zona critica #8. Fuente: Elaboración propia.....	90
Ilustración 86. Zona critica #9. Fuente: Elaboración propia.....	91
Ilustración 87. Zona critica #10. Fuente: Elaboración propia.....	91
Ilustración 88. Zona critica #11. Fuente: Elaboración propia.....	92
Ilustración 89. Zona critica #12. Fuente: Elaboración propia.....	92





## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Proyectos sobre accidentalidad vial en Cali – resumen. ....	33
Tabla 2. Metodología del proyecto. ....	36
Tabla 3. Información obtenida por fuente. ....	37
Tabla 4. Depuración de la BD de MPAT. ....	38
Tabla 5. Metadatos de cartografía base obtenida. ....	40
Tabla 6. Variables depuradas de la BD. ....	42
Tabla 7. Variables de una dirección (nomenclatura) para Cali. ....	45
Tabla 8. Registros con mayor número de ocurrencia de MPAT. ....	51
Tabla 9. Edición de direcciones por fuera del perímetro urbano. ....	52
Tabla 10. Identificación de zonas críticas de MPAT en Cali. ....	69

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO 1. ASPECTOS NORMATIVOS A CONSIDERAR.....	75
ANEXO 2. FORMATO DE INFORME POLICIAL DE ACCIDENTES DE .....	76
ANEXO 3. RESULTADO EXPLORATORIO DE DATOS. ....	78
ANEXO 4. ANÁLISIS DE PUNTOS CALIENTES POR AÑO.....	81
ANEXO 5. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS DE MPAT.....	87



## GLOSARIO

**Accidente de Tránsito:** Es un evento aquel que ocurre sobre una vía de manera inesperada por varios factores humanos, mecánicos o climatológicos.

**Análisis Espacial:** Es el proceso de crear o extraer información geográfica a través de un conjunto de elementos con el fin de evaluar adaptabilidad, capacidad, estimaciones, predicciones o interpretaciones de fenómenos espaciales.

**Arcgis Desktop:** Software de la empresa ESRI utilizado para procesamiento, edición y producción de información geográfica y análisis espacial.

**Depuración:** Proceso mediante el cual se identifica y corrigen errores en la información para una mejor administración de la misma.

**Exploración Estadística:** Es un análisis estadístico de la información con el fin de detectar posibles errores, valores extremos, variabilidad de la información o patrones en la misma.

**Geocodificación:** Proceso mediante el cual se asigna coordenadas geográficas a la información alfa-numérica a través de códigos como la dirección domiciliaria entre otros.

**Georreferenciación:** Proceso mediante el cual se realiza un posicionamiento espacial de la información en una localización geográfica específica definida a través de un sistema de referencia.

**Magna – Sirgas:** Marco Geocéntrico Nacional de Referencia y Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas producto de la densificación de una red de estaciones GNSS de alta precisión en el área continental.

**Modelo:** Es una abstracción de la realidad construido a partir de un análisis y una predicción de información a través de técnicas como interpolación, entre otras.

**Patrón puntual:** Permite analizar la tendencia de un grupo de información puntual a través de análisis estadísticos con el fin de determinar agrupamientos o dispersión de la información.

**Peatón:** Persona o individuo que transita a pie en una vía.

**Predicción:** Técnica estadística para pronosticar o estimar una situación futura con información temporal anterior a través de análisis estadísticos.

**Punto caliente:** Es un indicador de un valor altamente significativo dentro de un análisis espacial o que ocurre con mayor frecuencia dentro de una zona dada.

**Tasa de mortalidad:** Está dada por la cantidad de personas que mueren por una causa específica en un periodo de tiempo dentro de una población.

**Zona Urbana:** Se puede definir como la zona específica dentro de un municipio donde se concentra la mayor parte de la población y el desarrollo urbanístico del mismo.

**Zona Crítica:** Zona susceptible a un evento específico lo cual produce riesgo.

### ABREVIATURAS

AT:	Accidente de Tránsito
BD:	Base de Datos
BDG	Base de Datos Geográfica
MPAT:	Muertes por Accidentes de Tránsito
SIG:	Sistemas de Información Geográfica
WGS84:	World Geodetic System 1984 (Sistema Geodésico Mundial 1984)
IDW:	Inverse Distance Weighed (Distancia Inversa Ponderada)
HS:	Puntos Calientes (Hot Spot)

### SIGLAS FUENTE DE INFORMACIÓN

CDAV:	Centro de Diagnóstico Automotor del Valle
DANE:	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DAPM:	Departamento Administrativo de Planeación Municipal - Cali
ESRI:	Environmental Systems Research Institute
FPV:	Fondo de Prevención Vial
IDESC:	Infraestructura de Datos Espaciales de Cali
MIO:	Transporte Masivo Integrado de Occidente
OMS:	Organización Mundial de la Salud
PIMU:	Plan Integral de Movilidad Urbana – Cali
STTM:	Secretaría de Tránsito y Transporte Municipal



## RESUMEN

Se presentan los resultados y conclusiones obtenidos después de georeferenciar y analizar los accidentes de tránsito que causaron muertes en el área urbana de Santiago Cali, Valle del Cauca, Colombia durante el periodo 2004 – 2014.

El análisis espacial permitió determinar las zonas críticas donde se presentaron muertes por accidentes de tránsito en mayor número y frecuencia, a partir de una exploración estadística que permite determinar la presencia de patrones puntuales en el fenómeno estudiado.

El estudio de los factores o variables presentes en las zonas críticas obtenidas son la base para efectuar planes y programaciones orientadas a prevenir y disminuir los niveles de accidentalidad y mejorar los índices de seguridad vial y movilidad en la ciudad de Cali.

**PALABRAS CLAVES:** modelo de muertes por accidentes de tránsito en Cali, probabilidad, prevención, predicción, análisis espacial, puntos calientes, patrones puntuales, exploración estadística, georeferenciación y geocodificación.

## **ABSTRACT**

The results and conclusions obtained, after georeferencing and perform spatial analysis of traffic accidents resulting in deaths in urban areas of Santiago Cali, Valle del Cauca, Colombia, during 2004-2014 period, are presented.

The spatial analysis identified critical areas where deaths occur in traffic accidents in greater numbers and frequency, from a statistical exploration to determine the presence of specific patterns in the studied phenomenon.

The study of the factors or variables in critical areas obtained are the basis for making plans and schedules to prevent and reduce levels of accident rates and improve road safety and mobility in the city of Cali.

**KEYWORDS:** model of deaths from traffic accidents in Cali, probability, prevention, prediction, spatial analysis, hot spots, spot patterns, scan statistic, georeferencing and geocoding.

## 1. INTRODUCCIÓN

La accidentalidad vial es un problema mundial; según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013), en un día mueren aproximadamente 3000 personas en el mundo a causa de accidentes de tránsito; el 22% de ellas son peatones, 23% motociclistas y 5% ciclistas. En Colombia es un problema que se concentra de manera predominante en la zona urbana de los municipios con un porcentaje del 64.1% según el Fondo de Prevención Vial (Febrero 2013); el 58% de las muertes se concentran en los municipios de Antioquia, Valle del Cauca y Cundinamarca, Siendo Cali (Municipio del Valle del Cauca) una de las ciudades con mayor tasa de mortalidad a causa de accidentes de tránsito, por encima de la tasa nacional de 12.5 muertos por cada 100.00 habitantes.

A lo anterior sumándole las 50 millones de personas que sufren traumatismos a causa de un accidente de tránsito al año en el mundo, esto hace que sea un problema de salud que afecta la calidad de vida de los actores que transitan por las vías. Para poder analizar las causas de accidentes de tránsito se deben identificar las variables (directas o indirectas) que participan en el hecho o fenómeno.

En Cali, según las cifras de la Secretaria de Gobierno y la Secretaria de Tránsito y Transporte Municipal, desde el año 2007 hasta el año 2012 se presentaron en promedio 303 homicidios por accidentes de tránsito y solo en el 2012 un total de 2.477 lesiones. Estas cifras tan altas, por encima de la tasa nacional, hacen suponer que existen deficiencias en la movilidad, infraestructura o conciencia ciudadana sobre esta problemática en la ciudad.

El estudio geográfico de este fenómeno permitirá sustentar que las muertes por accidentes de tránsito, a pesar de que ocurren de manera espontánea o aleatoriamente, pueden presentar agrupaciones o patrones puntuales en ciertas zonas geográficas, donde puede ser posible definir zonas potencialmente susceptibles a un accidente y, posteriormente con una visita a esas zonas, se puedan identificar las variables involucradas en la ocurrencia de dicho fenómeno.

Este estudio, apoyado de diferentes herramientas tecnológicas, permitirá generar metodologías que pueden resultar de gran utilidad en el desarrollo de estrategias de planificación urbana para los fines de prevención y reducción de este suceso.

## 2. ÁREA PROBLEMÁTICA

Los accidentes de tránsito son un fenómeno geográfico que no se puede predecir, ya que puede suceder de forma espontánea y aleatoria donde influyen variables climáticas, humanas, mecánicas, civiles, entre otras; es mucho más difícil predecir la muerte de las personas involucradas en el suceso.

Santiago de Cali, actualmente, presenta un alto grado de accidentalidad vehicular y muertes por accidentes de tránsito, de acuerdo a los informes entregados por la Secretaría de Tránsito Municipal STM y Medicina Legal, ocupando el segundo lugar a nivel de país con 307 casos durante el año 2013.

La información de accidentes de tránsito en Cali, es registrada a través de formatos análogos (informe policial de accidentes de tránsito, establecidos según la Resolución 001814 de 2005) donde se especifican la dirección aproximada del hecho (en muchas ocasiones poco exacta) y algunos datos de los vehículos y actores involucrados. En este formato no se reportan o tienen en cuenta las particularidades de la zona, las características físicas y geométricas de la vía, así como otras variables importantes que pueden explicar el suceso.

Como se dijo anteriormente, la accidentalidad vehicular es un fenómeno geográfico que hipotéticamente no sigue ningún patrón espacial. Actualmente, en Cali, las entidades involucradas directamente con el fenómeno, no cuentan con una metodología apropiada para la recopilación y espacialización de la información de accidentes de tránsito al momento de su ocurrencia que facilite organizar la información en un base de datos geográfica (no en Excel) y generar análisis y reportes cartográficos que permita reducir los índices de accidentalidad en las zonas donde se agrupen estos hechos.

Es importante también tener en cuenta el periodo de registro de la información, que puede ser importante para explicar la ocurrencia de accidentes de tránsito causada por cambios climáticos abruptos, aumento del parque automotor u obras de construcción sobre las vías de gran impacto para la ciudad (MIO, Mega Obras, etc.).

Aun así, contando con las herramientas tecnológicas adecuadas y las variables determinantes, es posible identificar patrones o comportamientos que siguen otra distribución diferente a la aleatoria y analizar espacialmente los datos históricos para identificar zonas críticas donde se presente con mayor frecuencia muertes vehiculares accidentales y proponer estrategias para reducir la accidentalidad y mejorar la seguridad y movilidad vial.



### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Espacializar y analizar las muertes por accidentes de tránsito en la ciudad de Cali, Colombia para el periodo 2004 – 2014.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Espacializar la ubicación de las MPAT ocurridas a partir del año 2004 hasta el año 2014 en un mapa base de la ciudad de Cali.
- Realizar un análisis exploratorio que demuestre la presencia o no de conglomerados o clúster en las ubicaciones de MPAT.
- Realizar un análisis de puntos calientes de MPAT para identificar la ubicación de patrones puntuales y conglomerados por año.
- Construir una superficie continua que permita detectar las zonas críticas y tendencia de MPAT desde el año 2004 al 2014.

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Las herramientas tecnológicas actuales y los sistemas de información geográfica (SIG) son muy importantes como apoyo a la toma de decisiones en múltiples proyectos, ya que permiten establecer diferentes escenarios a través del tiempo utilizando la información geográfica histórica y/o actual y el modelamiento del territorio.

Con los avances tecnológicos actuales y el procesamiento de software, se pueden generar modelos de la realidad de forma rápida y confiable, utilizar funciones de análisis espacial, estadístico y probabilístico como base para la realización de planes de prevención y manejo en diferentes aspectos del territorio y en cualquier proyecto que tenga que ver implícita o explícitamente con información geográfica.

Con la elaboración de una metodología que permita espacializar la información de MPAT a través de herramientas tecnológicas y software de SIG, se puede mejorar el manejo de la información, visualizar y administrar los datos de mortalidad registrados por los agentes de tránsito, identificar las zonas donde se presentan concentraciones geográficas de MPAT, patrones y tendencias con el fin implementar medidas de reducción de la accidentalidad en Cali.

Por lo tanto, la ventaja de utilizar herramientas tecnológicas y software de procesamiento geográfico en la visualización y análisis de MPAT puede ayudar a explicar la concentración del fenómeno en ciertas zonas de Santiago de Cali y construir una metodología que permita su reducción.

## 5. MARCO TEÓRICO

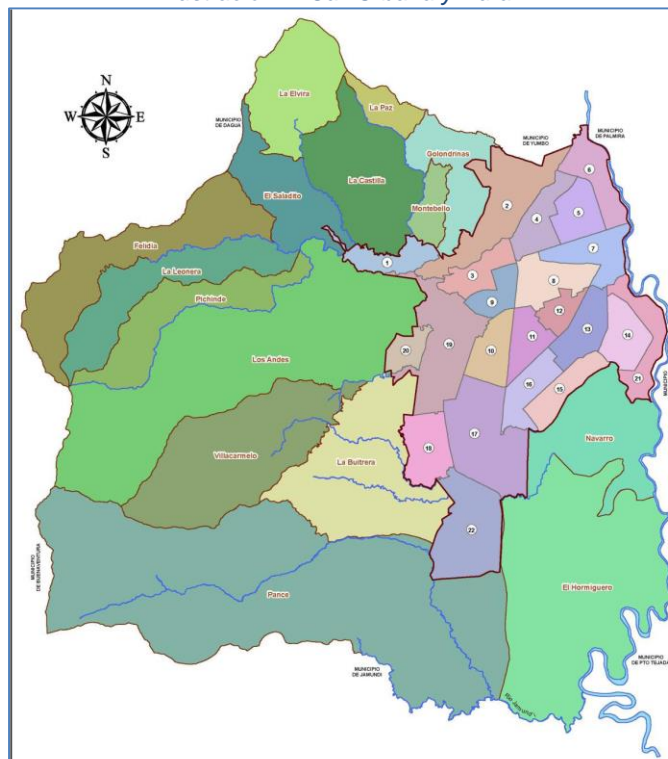
### 5.1. CIUDAD SANTIAGO DE CALI

Santiago de Cali es la ciudad capital del Departamento del Valle del Cauca en Colombia; fue fundada el 25 de julio de 1536 por Sebastián de Belalcazar, siendo la tercera ciudad más poblada de Colombia y una de las ciudades más antiguas de América.<sup>1</sup>

Cali es una ciudad empresarial y cultural con una economía en crecimiento y un foco central para el país por su ubicación geográfica y cercanía con el pacífico colombiano. Denominada 'capital de la salsa', rodeada por 7 ríos, entre ellos el Cauca, uno de los ríos más grandes de Colombia.

Cali cuenta con un área urbana de unos 28 kilómetros de largo aproximadamente (N-S) dividida en 22 comunas que la sectorizan política, social y económicamente. La zona rural está dividida en 15 corregimientos. Cali limita al Norte con los municipios de La Cumbre y Yumbo, al Oriente con los municipios de Palmira, Candelaria y Puerto Tejada, al Sur con el municipio de Jamundí y al Occidente con los Municipios de Buenaventura y Dagua (DAPM, 2013), Ver Ilustración 1.

Ilustración 1. Cali Urbana y Rural.



Fuente 'Cali en cifras 2013'.

<sup>1</sup> Tomado de la página web de la Alcaldía de Santiago de Cali, 2004.

Cali cuenta con una población estimada de 2'333.213 habitantes, según lo reporta el DANE, y cada año mueren aproximadamente 380 personas por accidentes de tránsito, siendo la 10 causa principal de muerte en la ciudad como lo muestra la Ilustración 2. (DAPM, 2013).

A pesar de no ser una causa que genere gran cantidad de muertes, es un fenómeno al que se debe prestar atención, ya que va aumentando a través del tiempo; a medida que crece el parque automotor, con la construcción de obras de infraestructura y con deficiencias en el sistema de transporte actual.

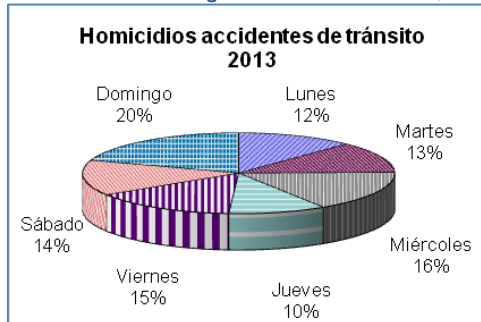
*Ilustración 2. Causas de mortalidad en Cali.*

CAUSAS	2009		2010		2011		2012	
	Nº	Orden	Nº	Orden	Nº	Orden	Nº	Orden
Homicidios	1,794	1	1,827	1	1,904	1	1,859	1
Enfermedades hipertensivas	874	3	894	3	987	2	973	2
Enfermedades cerebrovasculares	942	2	921	2	893	3	843	3
Otras enfermedades del aparato respiratorio	735	4	710	4	752	4	741	4
Enfermedades isquémicas del corazón	625	5	673	5	691	5	740	5
Otras neumonías	567	6	615	6	582	6	685	6
Otras formas de enfermedades del corazón	553	7	512	7	510	7	476	7
Tumor maligno de hígado y vías biliares	389	8	363	8	343	8	398	8
Diabetes mellitus	344	10	316	10	330	9	322	9
<b>Accidentes de vehículos de motor</b>	<b>371</b>	<b>9</b>	<b>339</b>	<b>9</b>	<b>291</b>	<b>11</b>	<b>320</b>	<b>10</b>
Tumor maligno tráquea bronquios y pulmón	278	13	260	13	273	13	275	11
Tumor maligno del estomago	283	12	297	11	291	12	270	12
Otras enfermedades del aparato digestivo	290	11	261	12	296	10	267	13
Resto de tumores malignos	247	14	240	14	222	14	236	14
SIDA	190	15	199	17	214	15	195	20
Resto de Causas	3,641		3,831		3,811		3,824	
Total Causas	12,123		12,258		12,390		12,424	

*Fuente: Secretaría de Salud Municipal, DAP.*

Las muertes por accidentes de tránsito se pueden clasificar por día, hora, edad, género de la víctima entre otros. Según cifras de la secretaría de gobierno, STTM y CDAV, Mueren más personas por accidentes de tránsito los fines de semana (en especial el día domingo), entre las 6:00pm y 12:00am y las victimas más frecuentes son Hombres entre los 20-30 años o mayores de 60 años.

*Ilustración 3. Muertes según día de ocurrencia, año 2013.*



*Fuente: 'Cali en Cifras 2013'.*

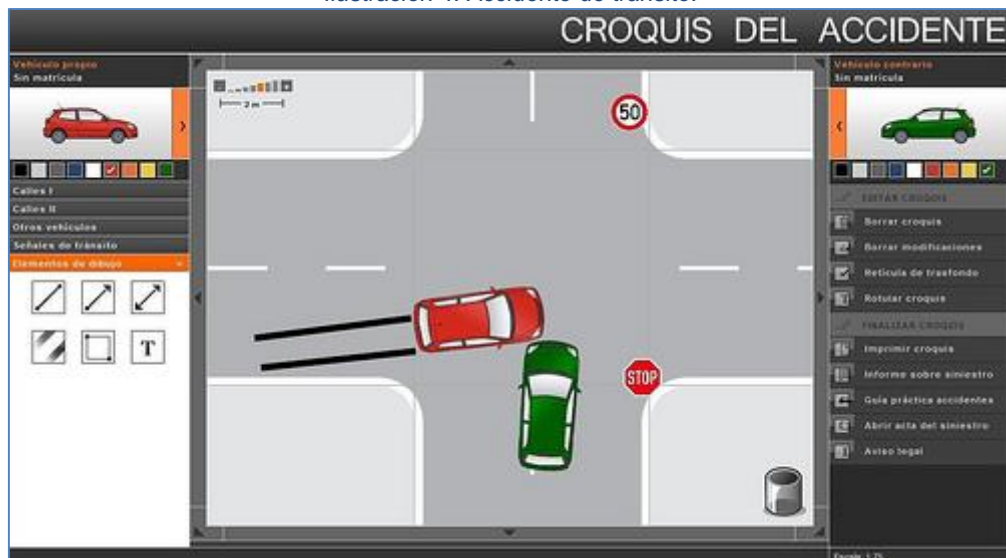
## 5.2. ACCIDENTE DE TRANSITO

Según el artículo 2 de la Ley 769 de 2002 – Código Nacional de Tránsito en Colombia, El accidente de tránsito es un “Evento, generalmente involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas y bienes involucrados en él e igualmente afecta la normal circulación de los vehículos que se movilizan por la vía o vías comprendidas en el lugar o dentro de la zona de influencia del hecho” (Ley 769 de 2002, Código Nacional de Transito).

Pero debemos incluir el espacio geográfico y temporalidad en la definición, así como lo expresan (Chías & Luna, 1999), que definen el accidente como “*un evento espacial y temporal, resultado del movimiento entre personas y vehículos en un espacio determinado que está interrelacionado con otras variables socioeconómicas dinámicas y complejas*”.

Las estadísticas de accidentes de tránsito a nivel mundial han permitido que los estudios sobre accidentalidad y seguridad vial cobren mayor importancia, aumentando el desarrollo de investigaciones que permitan estudiar el fenómeno y ocurrencia de los accidentes; relacionándolos con aspectos de otros tipos como la infraestructura vial, espacio geográfico, el clima, los aspectos técnicos del vehículo, los aspectos psicológicos de las personas, la rama judicial y legal del hecho, el aspecto cultural, socioeconómico y conductual de las personas, entre otros.

Ilustración 4. Accidente de tránsito.



Fuente: [ergow.wordpress.com](http://ergow.wordpress.com)

Según lo expresado en la tesis de ingeniería (E & T, 2011), un accidente se puede conceptualizar y analizar a partir de 3 factores descritos a continuación:

**Factor Humano:** Según estudios, la causa principal de accidentes de tránsito se atribuye a las personas y especialmente al conductor. Es quien conduce el vehículo quien debe estar atento a lo que ocurre en la vía, los pequeños detalles y cambios en la 'armonía' de la misma y el que debe tomar las decisiones correspondientes en caso de un evento. Debe ser una persona emocional y psicológicamente estable, debe tener buena salud visual y general, no debe conducir bajo efectos de alcohol o alucinógenos y respetar todas las señales y normas de tránsito.

**Factor Vehicular:** incide en un accidente principalmente por fallas mecánicas que se atribuyen a una mala mantención del vehículo o por antigüedad del mismo. También es importante recalcar que el aumento del parque automotor puede influir en el incremento de los accidentes de tránsito si no se realiza un plan de contingencia, mantenimiento de las vías o medidas que permitan mantener la armonía en las calles.

**Factor Físico:** Es la influencia del entorno y medio ambiente que incide en la accidentalidad por malas condiciones en la vía (fisuras, huecos, pavimento), falta de señalización (puentes peatonales, semáforos, cebras, puentes), congestión vehicular, diseño geométrico, condiciones climáticas adversas entre otros (derrames de líquidos, paso de animales, obras de construcción).

El estudio de los factores causales de los accidentes de tránsito en las zonas donde se presenta un mayor número de estos, permiten entender mejor el fenómeno y diseñar planes de acción y manejo para la prevención de muertes.

### 5.3. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

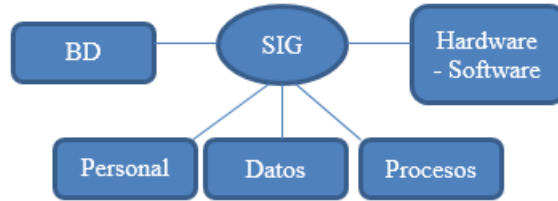
Un Sistema de Información hace referencia a un conjunto de elementos organizados, planificados y estructurados para la producción de información específica. Este conjunto está constituido por datos o información inicial (insumo), personal calificado para el manejo de la información y construcción del SIG, hardware – software y una serie de procesos y procedimientos para el análisis, procesamiento y producción de nueva información (resultados). Un Sistema de Información geográfica cumple con el mismo criterio anterior, donde el insumo son datos con características geográficas (ubicación). (Apuntes de clase, 2014)

En un SIG se busca modelar la realidad del entorno geográfico o zona de estudio del proyecto mediante una serie de variables de entrada y funciones u operaciones que permitan producir nueva información digital y gráfica que dé solución al problema inicial o hipótesis.

Generalmente a un SIG se le relaciona con una Base de Datos ya que cumple una estructura y organización que permite el manejo de la información digital; cabe resaltar que no necesariamente toda la información dentro de un SIG debe ser digital o geográfica, el SIG debe verse como todo un proyecto, planificado, con una

serie de actividades, donde se busca obtener un resultado (físico, digital, escrito) a partir de una información inicial y operaciones relacionadas con el entorno geográfico.

Ilustración 5. Elementos de un Sistema de Información geográfica.



Fuente: Elaboración propia.

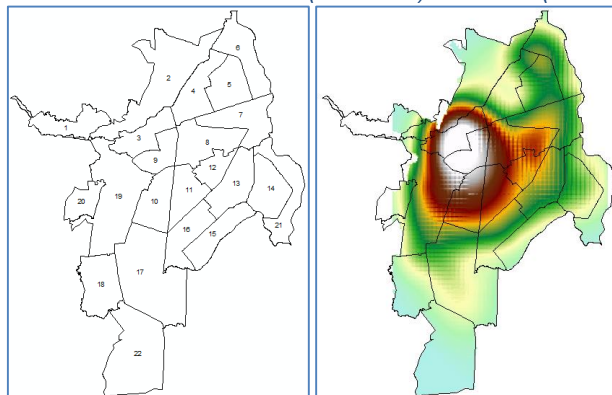
### 5.3.1. Tipos de datos de un SIG.

Un SIG maneja dos tipos de datos digitales: Vectorial y Raster (Ilustración 6).

El formato **vectorial** representa información discreta y está compuesto por tres tipos de geometrías básicas (punto, línea y polígono) que permite representar detalles naturales o artificiales del terreno o espacio geográfico a modelar. Este tipo de geometría permite dar precisión en límites (perímetro y área) y conservar relaciones topológicas entre las entidades representadas. Una de las ventajas principales de este formato de datos es que permite tener la información gráfica relacionada con una tabla de atributos alfa-numérica; los atributos representan las características de la entidad que se está representando, pe. Un Río (línea) donde los atributos pueden ser ancho, caudal, nombre del río, etc. (Apuntes de clase, 2014).

El formato **Raster** representa información continua del tipo superficie y está compuesto por una cuadrícula de tamaño fijo denominado pixel. Cada pixel guarda información del valor de la entidad que se está representando, pe. Un Raster de **Alturas** donde cada pixel almacena la información de la elevación. Este formato solo permite almacenar un valor por pixel, no conserva relación topológica, pero es útil para realizar operaciones matemáticas y el más usado en análisis espaciales.

Ilustración 6. Formato vectorial (Comunas) vs Raster (Densidad).



Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.2. Fases para la elaboración de un SIG.

Un Sistema de Información Geográfica debe pasar por varias fases para su elaboración y desarrollo (Whitten, Benthley, & Barlow, 1996). (Ilustración 7).

En la fase de **Planeación** se deben establecer los objetivos generales, específicos, necesidades de la organización, usuarios del sistema y necesidades, datos e información existente y requerida, alcance del sistema, productos esperados, entre otros.

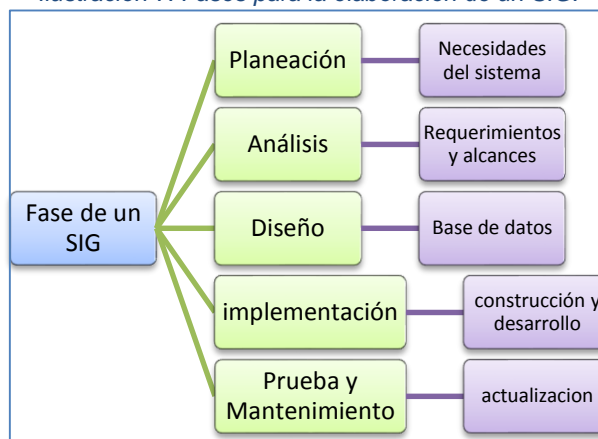
El **Análisis** define los requerimientos, necesidades y prioridades de la organización y/o de los usuarios. Se debe tener en cuenta la viabilidad del proyecto, sistemas existentes y una revisión de la información que se necesita y que se quiere generar.

El **Diseño** está pensado para evaluar y detallar la elaboración del sistema informático y sus componentes. Se deben evaluar varias alternativas de solución, teniendo en cuenta criterios como viabilidad técnica, operática, económica y temporal; se debe realizar una evaluación de Hardware y Software y un esquema de integración del sistema con los existentes. Normalmente esta etapa se relaciona con la elaboración de una base de datos.

La **Implementación** permite la construcción y “puesta en marcha” del sistema. En esta fase se deben realizar pruebas a la base de datos, redes internas o externas, aplicaciones; incluye la instalación, entrega y funcionamiento del sistema.

La fase de **Prueba y Mantenimiento** donde se evalúan los resultados del sistema en términos de precisión, calidad y productos esperados y se brinda un soporte continuo en corrección de errores, recuperación de fallos del sistema y adaptación a nuevas necesidades. También es importante tener en cuenta la **Documentación** del SIG para su manejo y actualización.

Ilustración 7. Fases para la elaboración de un SIG.



Fuente: Elaboración Propia.



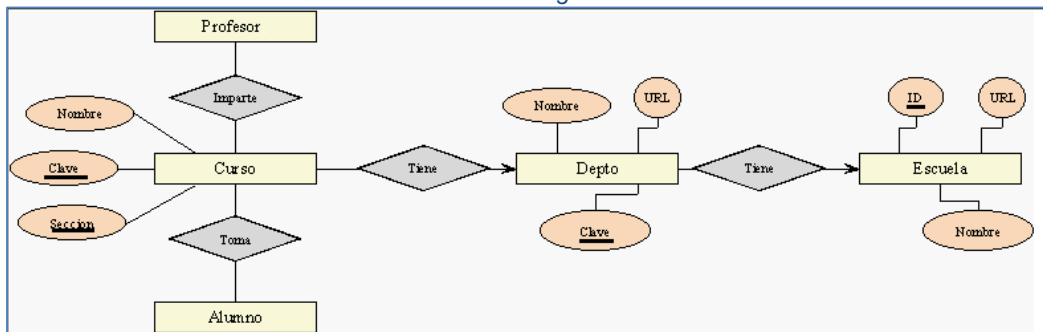
### 5.3.3. Base de Datos Geográfica (BDG)

Es una colección de datos geográficos organizados de tal forma que cumple con criterios de relación espacial, relación topológica, dominios y operaciones siguiendo un lenguaje de datos (modelo) que faciliten el análisis y gestión de la información geográfica dentro del sistema.

Existen varios tipos de modelos de datos que definen una BDG y el lenguaje utilizado, que describe la estructura, reglas y operaciones dentro de la base de datos. Entre los modelos más comunes tenemos el modelo entidad-relación el modelo relacional, y el modelo orientado a objetos principalmente.

El **Modelo Entidad-Relación** representa a través de un diagrama, los objetos del mundo real a través de entidades únicas (según sus atributos) y sus relaciones con otros objetos. Ver Ilustración 8.

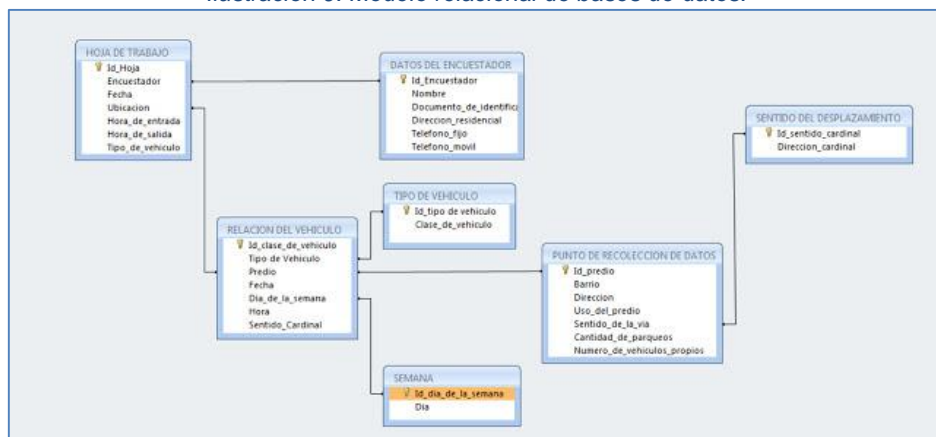
Ilustración 8. Diagrama E-R.



Fuente: Carlos Proal Aguilar - Modelo relacional, Cap. 3.

El **Modelo Relacional** permite estructurar la información en tablas y definir relaciones únicas entre ellos. Cada tabla es una composición de tuplas (filas) y atributos (columnas) y cumple conceptos de herencia, relación, integridad entre otras. Es fácil pasar de un diagrama **E-R** a un modelo **Relacional**. Ver Ilustración 9.

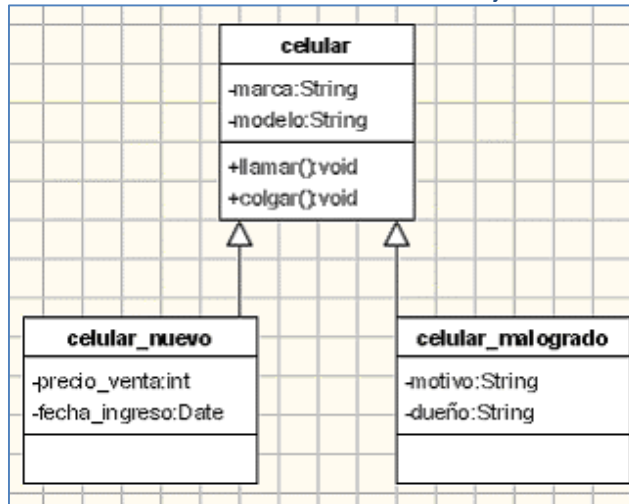
Ilustración 9. Modelo relacional de bases de datos.



Fuente: Renato Descartes, Ingeniería Civil.

El **Modelo orientado a Objetos** sigue las bases de la programación orientada a objetos donde cada elemento que se desea modelar de la realidad representa un objeto (clase) que en sí mismo tiene unas características (atributos) y unas operaciones (métodos) que se relacionan con otros objetos dentro del sistema.

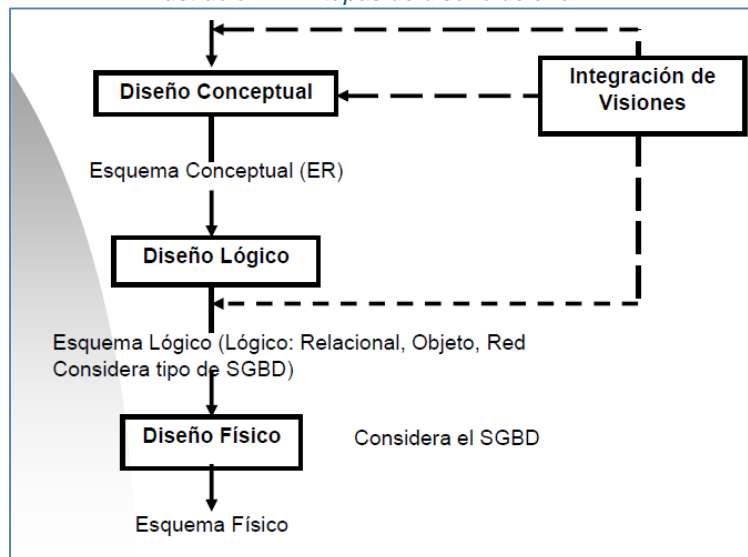
Ilustración 10. Modelo orientado a objetos.



Fuente: POO– <http://Ciberaula.com>

El diseño de la BDG pasa por tres etapas desde su conceptualización hasta su puesta en marcha y son: **diseño conceptual**, **diseño lógico** y **diseño físico** correspondientes al análisis de requerimientos y esquema conceptual, el diseño interno del sistema con el modelo y lenguaje a utilizar y la implementación de la base de datos respectivamente. Ver Ilustración 11.

Ilustración 11. Etapas de diseño de una BD.



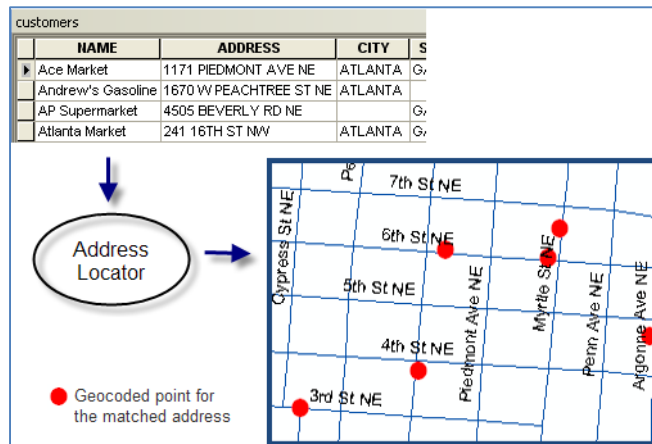
Fuente: Programación al extremo - (<http://cpxall.com>).

### 5.3.4. Geocodificación

Es el proceso mediante el cual se busca ubicar geográficamente, una descripción de un lugar sobre la superficie de la tierra. Según la empresa Google define “La codificación geográfica como el proceso de transformar direcciones en coordenadas geográficas, que se pueden utilizar para colocar marcadores o situar el mapa”.

La ‘espacialización’ de la información (georeferenciación) se realiza teniendo como referente un sistema de coordenadas y una base cartográfica codificada que se relacione con los datos de entrada (direcciones, código postal, red telefónica, etc.).

Ilustración 12. Geocodificación de direcciones.



Fuente: Arcgis Desktop Help.

Los atributos de la BD codificada permiten transformar direcciones de los datos de entrada en puntos ubicados sobre la malla vial utilizando las intersecciones de la vía y la distancia desde la intersección mediante un proceso de software.

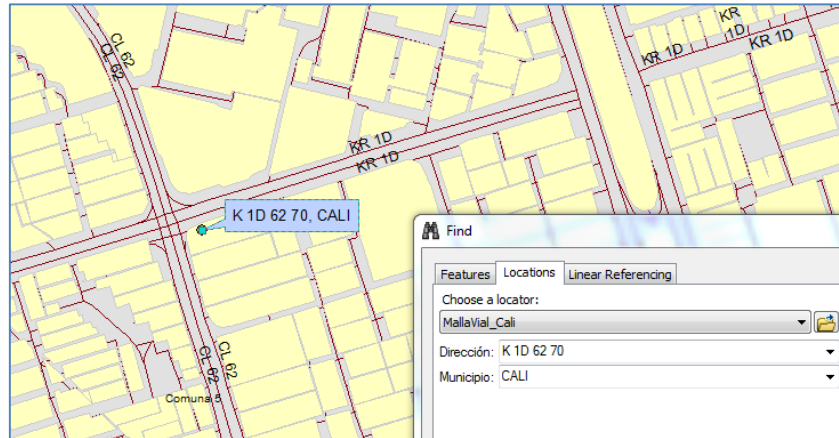
Previamente al proceso de Geocodificación, se debe realizar una **estandarización** de las direcciones de los datos de entrada con el fin de que los códigos coincidan con la base cartográfica utilizada. Esta estandarización consiste en convertir las direcciones al mismo lenguaje de la base utilizada.

Por ejemplo, la dirección **Carrera 1D # 62-70** será estandarizada y codificada de la siguiente forma:

**“KR 1 D 62 – 70”**

El software utiliza la primera parte de la dirección (KR 1 D) para ubicar la vía principal; la segunda parte de la dirección (62) para ubicar la intersección de la vía principal, en este caso con una calle (CL 62); la última parte de la dirección (70) es el número que representa la distancia en metros desde la intersección (KR1D-CL62). De esta forma, el software ubica la dirección y la representa mediante un punto en el sistema de referencia actual, sobre la malla vial. Ver Ilustración 13.

Ilustración 13. Geocodificación de la dirección "Carrera 1D #62-70".



Fuente: Elaboración Propia.

El proceso de Geocodificación es una aproximación; los programas que utilizan esta función ofrecen un porcentaje de acierto entre la dirección y la ubicación geográfica que se le asigna y el usuario debe decidir finalmente el nivel de confianza de los datos para trabajar con ellos.

### 5.3.5. Análisis de Puntos Calientes

Permite identificar agrupaciones (puntos calientes) o dispersiones (puntos fríos) de la información de manera espacial, a través de la relación de cada dato con la cercanía a sus datos más próximos (vecinos).

Se utiliza la estadística  $G_i^*$  de Getis-Ord (Getis & Ord., 1992) para cada punto de información georreferenciado con el fin de calcular las puntuaciones  $z$  (desviación estándar) y los valores  $p$  (probabilidad) que permitan identificar los valores altos y bajos. (Esri, 2015). Ver Ilustración 14.

Ilustración 14. Análisis de puntos calientes y fríos.



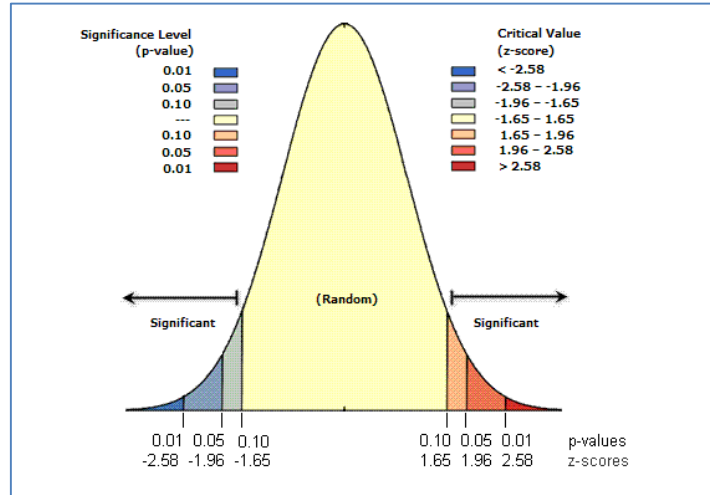
Fuente: Esri Resources.

Como el objetivo estadístico en este caso es el de rechazar la hipótesis nula (de que los datos se agrupan de manera aleatoria CSR<sup>2</sup>), un **valor p** bajo indica que es muy poco probable que el patrón espacial observado sea el resultado de procesos aleatorios. Entre más alto sea el **valor z** (negativo o positivo) existe mayor

<sup>2</sup> Aleatoriedad Espacial Completa (CSR por sus siglas en inglés)

significancia estadística en el valor obtenido al alejarse de la media (aleatoriedad) en una distribución normal. Todo lo anterior depende del nivel de confianza que busca el usuario para rechazar la hipótesis nula (90, 95, 99%). (Esri, 2015).

Ilustración 15. Distribución Normal estándar.



Fuente: Esri Resources.

La estadística  $G_i^*$  devuelve una puntuación z positiva y negativa. Entre más alto sea el valor z +, más intenso es el clustering de valores altos (punto caliente), mientras que para el valor z - entre más bajo sea, más intensa será la dispersión (puntos fríos). Las entidades en los bins +/-3 reflejan una importancia estadística con un nivel de confianza del 99%; las entidades en los bins +/-2 reflejan una importancia estadística con un nivel de confianza del 95 %; las entidades en los bins +/-1 reflejan una importancia estadística con un nivel de confianza del 90 %; el clustering para las entidades en el bin 0 no es estadísticamente significativo. (Esri, 2015).

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo de  $G_i^*$ .

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j}x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{i,j}\right)^2}{n-1}}}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2}$$

- $x_j$  = valor del atributo para entidad j.
- $w_{i,j}$  = peso espacial entre la entidad i y la entidad j.
- $n$  = número total de entidades.

Fuente: Esri Resources.

Para el análisis de puntos calientes existen consideraciones a tener en cuenta:

- Se puede realizar un análisis exploratorio de los datos previamente para detectar el tipo de distribución de los mismos.
- El mínimo de entidades para un análisis confiable es de 30 entidades.
- Determinar si el análisis sigue una relación espacial simple o una relación espacio – temporal.
- Determinar el tipo de relación espacial a utilizar, ya sea banda de distancia fija o umbral, adecuado y las relaciones de las entidades con sus vecinos.
- Calcular el punto con el valor  $z +$  más alto (mayor intensidad de clúster).
- Si el sistema de coordenadas es desconocido o geográfico, las distancias se calculan mediante mediciones de cuerda.

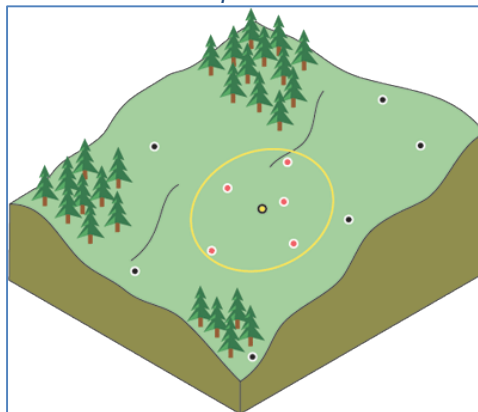
### 5.3.6. Interpolación de datos

La interpolación es el proceso de generación de una superficie continua (predicción) a partir de datos discretos (muestra) utilizando los valores de un punto conocido para obtener valores en cualquier punto de la superficie. En otras palabras, obtener una  $f(x)$  para un  $x$  arbitrario a partir de la construcción de una curva o superficie dados unos  $x$  conocidos o medidos (Prieto, 2012).

Existen varios tipos de interpolación (modelo) según el tipo de función a utilizar (lineal, polinómica, spline cubica, etc.). El método utilizado depende de la información inicial y del uso que se le pretende dar al modelo.

Los métodos determinísticos asignan valores basándose en los valores medidos alrededor y en fórmulas matemáticas específicas (IDW, Vecino Natural, Tendencia, Spline). Los métodos de estadísticas geográficas (Kriging) están basados en modelos estadísticos que incluyen autocorrelación (relación estadística de los puntos medidos) que permiten producir una superficie de predicción y proporcionan medidas de certeza o exactitud sobre ella. (Esri, 2015)

*Ilustración 16. Interpolación mediante IDW.*

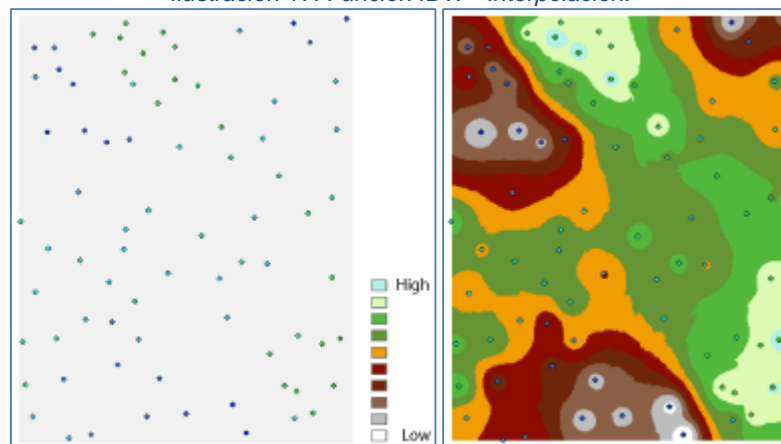


*Fuente: Esri Resources.*

La interpolación mediante la Distancia Inversa Ponderada (IDW por sus siglas en inglés), determina los valores de celda a través de una combinación ponderada lineal de un conjunto de puntos de muestra. La ponderación es una función inversa de la distancia. La superficie interpolada es una variable dependiente de la ubicación (Esri, 2015). Ver Ilustración 17.

En este método, la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra. Entre más cercanos estén los valores del punto muestreado, mayor influencia tendrán sobre ellos y la superficie tomará un valor más alto. Es una función que depende de la distancia de un punto y sus vecinos. Adecuada para radios de búsqueda o zonas de influencia.

*Ilustración 17. Función IDW - Interpolación.*



*Fuente: Esri Resources.*

## 5.4. ANTECEDENTES EN EL ANÁLISIS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN CALI

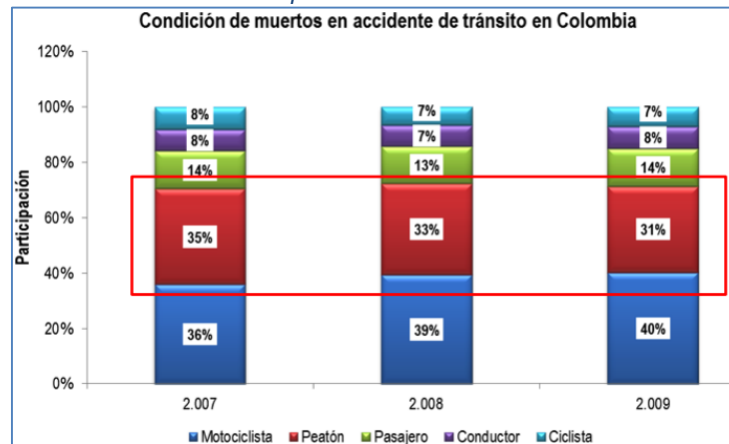
### 5.4.1. Identificación de puntos críticos en Cali (2011).

El Fondo de Prevención Vial desde el año 2011 viene desarrollando un estudio que permite identificar las zonas más susceptibles de accidentes de tránsito en las principales ciudades de Colombia con el objetivo de reducir a 2.571 el número de muertos por siniestros viales en Colombia para 2020. (Fondo de Prevención Vial, 2011).

El estudio busca actuar en cuatro frentes (Infraestructura, Institucionalidad, Comportamiento Humano y Equipo y Vehículo) para plantear alternativas de solución aplicables en el corto y mediano plazo que contribuyan a reducir los accidentes de tránsito.

El estudio muestra que los peatones son los actores de la vía que más expuestos se encuentran y los que tienen mayores repercusiones cuando ocurre un accidente de tránsito en Colombia.

Ilustración 18. Muertos por accidentes de tránsito en Colombia.



Fuente: FPV.

Según el estudio, Cali presentó un total de 1983 lesionados y 399 muertos en el año 2009, con una equivalencia de 7.763<sup>3</sup>, siendo la tercera ciudad con mayor equivalencia solo por debajo de Medellín y Bogotá.

La metodología utilizada por el FPV consistió en analizar la accidentalidad, identificar los puntos críticos en las ciudades evaluadas, evaluar detalladamente cada uno de los puntos críticos establecidos y formular soluciones y recomendaciones de mejora.

<sup>3</sup> Equivalencia = lesionados\*(accidente lesionados y accidente simple=1.5) + muertos\*(accidente lesionados y accidentes con muerto = 12)

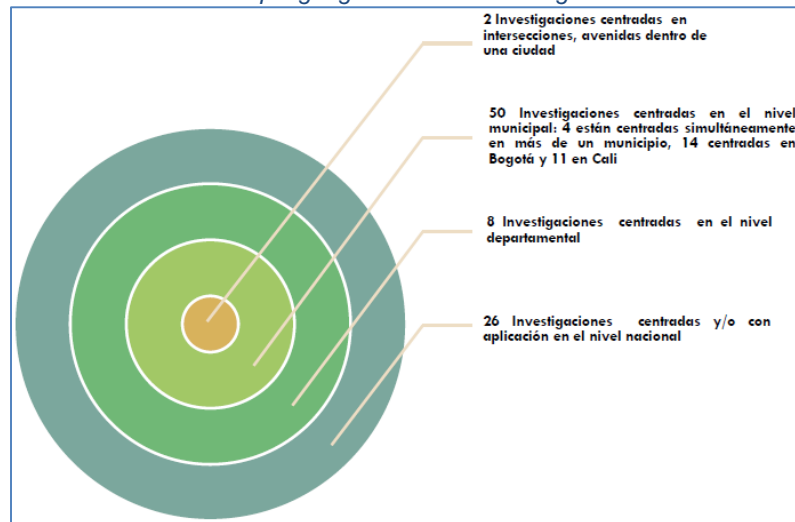


Se tienen en cuenta aspectos físicos de la vía pero principalmente señalizaciones, paso a nivel y puentes peatonales para mejorar el cruce de peatones por las carreteras identificadas en las zonas críticas de la ciudad de Cali.

#### 5.4.2. Propuestas de investigación en Cali (2013)

El Fondo de Prevención Vial publica un documento para el año 2013 con una investigación con el fin de recopilar en un documento, una gran cantidad de proyectos y propuestas de estudios de investigación sobre accidentalidad vial en Colombia. (Perczek, 2013)

Ilustración 19. Enfoque geográfico de las investigaciones realizadas.



Fuente: FPV.

Las propuestas y proyectos para Cali se resumen en la Tabla 1:

Tabla 1. Proyectos sobre accidentalidad vial en Cali – resumen.

Comportamiento de los homicidios por accidentes de tránsito en Cali
Análisis socioeconómico y accidentes de tránsito en Cali
Población de ciclistas en Cali
Identificación de puntos críticos de accidentalidad y propuestas para cinco ciudades (incluida Cali).
Factores de riesgo asociados a lesiones en niños peatones de Cali
Evaluación del impacto de medidas para la prevención de la accidentalidad vial en Cali
Precepción de transitabilidad por parte de los peatones en Cali
Línea de base del impacto de la moto-vía en Cali
Medición uso de medidas protectoras para motociclistas en la ciudad de Cali
Efecto de las intervenciones para reducir muertes de motociclistas en Cali
Factores de riesgo para la mortalidad de peatones en Cali

Fuente: Elaboración Propia.

Con este documento es posible identificar proyectos, trabajos, estudios e investigaciones recientes sobre el tema de accidentes de tránsito en Cali, abordar el tema de las muertes teniendo como base dichos documentos, conclusiones, resultados y caracterizar mejor el fenómeno conociendo la problemática desde diferentes puntos de vista.

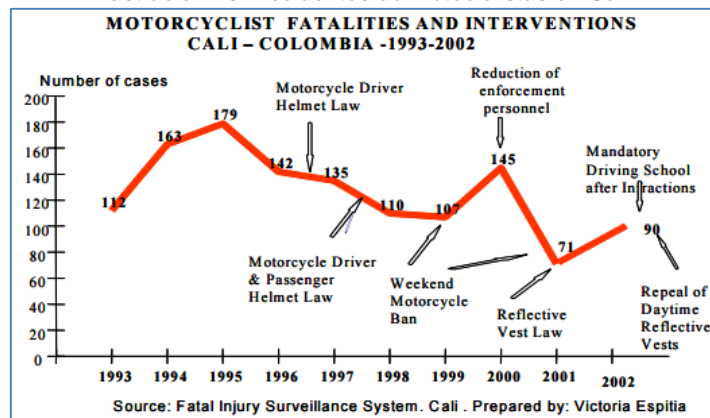
#### 5.4.1. Muertes por Accidentes de Tránsito en Cali – CISALVA 2009.

El Instituto de Investigación y Desarrollo en Prevención de la Violencia y Promoción de la Convivencia Social – CISALVA, dentro de una de sus líneas de investigación sobre Seguridad Vial, ha desarrollado un gran número de proyectos sobre accidentalidad vial en Cali.

En el año 2009-2010 ejecutaron el proyecto “*Factores de riesgo y de protección asociados al trauma fatal y no fatal por accidentes de tránsito*”, donde se encargan de determinar los factores de riesgo existentes en un accidente de tránsito que puede ocasionar lesiones fatales o graves en las personas con el fin de caracterizar las condiciones en la que una zona sea susceptible a ellos; pero sin llegar a determinar dichas zonas críticas en un entorno geográfico. Otras publicaciones que podemos encontrar en el instituto son:

- “*Motorcyclist Injuries Prevention Strategies 2003*”, Se plantean estrategias de prevención de accidentes de motociclistas determinando las principales causas de accidentalidad vial por este medio de transporte desde el año 1997 hasta el año 2002. El uso de Motos se han incrementado en gran porcentaje a la fecha.
- “*Lesiones fatales ocasionadas por vehículo motor a personas mayores de 60 años en Cali, 1993 – 1997*”. Presenta estadísticas y hechos que demuestran que para ese periodo las personas mayores de 60 años sufrían más accidentes por vehículos con motor. Cosa que hoy en día ha cambiado.

Ilustración 20. Accidentes de motociclistas en Cali.



Fuente: CISALVA.

#### 5.4.1. Explicación sobre la accidentalidad vial en Colombia (2014)

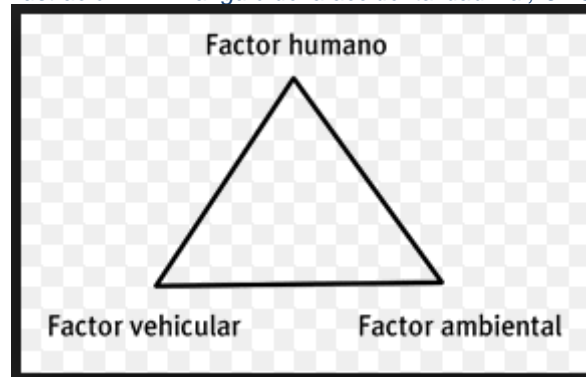
Este artículo busca analizar el factor humano como el principal incidente en la accidentalidad vial en Colombia. (Norza C., Granados L., Useche H., Romero H., & Moreno R., 2014).

A través de encuestas, cuestionarios y una metodología descriptivo-correlacional, se realiza una muestra no probabilística intencional a 16.322 personas, entre ellas, 8.631 conductores de automotores, 5.133 motociclistas y 2.558 peatones, pasajeros o acompañantes.

Dentro de los resultados se puede concluir que el nivel educativo influye en los accidentes, un nivel educativo alto en los conductores incide en menos accidentes de tránsito. Los peatones con un nivel educativo menor inciden en mayor número de accidentes o conductas riesgosas. Las mujeres tienen una mejor actitud frente a las campañas de prevención vial. Estados de ánimo (agresividad, estrés, hostilidad) en la persona y estilos de conducción (velocista, iracundo, ansioso, riesgoso) comenten mayor número de infracciones de tránsito que es una de las principales causas de la accidentes de tránsito.

Se propone estudiar la inteligencia criminal que atenta contra la seguridad vial para disminuir la incertidumbre durante la toma de decisiones y calcular los daños en contra de la seguridad pública con el fin de disminuir la accidentalidad.

*Ilustración 21. Triangulo de la accidentalidad vial, ONU.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. TIPO DE TRABAJO

Este trabajo es un estudio descriptivo que se centra en la recopilación de información de accidentes de tránsito que han causado muertes durante el periodo 2004 – 2014 y el análisis de los resultados con el fin de obtener zonas críticas a partir de procesos de conglomerados y puntos calientes. La metodología se presenta con más detalle en la Tabla 2:

*Tabla 2. Metodología del proyecto.*

Fase 1. Recopilación y revisión de información.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilación de Registros de MPAT.</li> <li>• Recopilación de la información del Agente de Tránsito.</li> <li>• Fuentes de Información.</li> <li>• Base Cartográfica.</li> </ul>
Fase 2. Análisis de requerimientos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura de la información y variables requeridas.</li> <li>• Diseño conceptual.</li> <li>• Diseño lógico.</li> <li>• Diseño físico.</li> </ul>
Fase 3. Espacialización de la información.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estandarización de las direcciones registradas.</li> <li>• Geocodificación de direcciones estandarizadas.</li> <li>• Depuración y ajuste de direcciones no concordantes.</li> <li>• Georreferenciación de las direcciones Geocodificadas.</li> <li>• Estadísticas y resultados con las MPAT georeferenciadas.</li> </ul>
Fase 4. Identificación de patrones puntuales y zonas críticas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de puntos calientes y fríos de MPAT.</li> <li>• Creación de Superficie de MPAT.</li> <li>• Identificación de zonas críticas de MPAT.</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia.*

### 6.2. PROCEDIMIENTO

#### 6.2.1. Fase 1. Recopilación y revisión de información.

En esta fase se realiza la búsqueda, recopilación y organización de la información alfa-numérica de muertes causadas por accidentes de tránsito en la zona urbana de Cali durante el periodo 2004-2014 (10 años).

- **Recopilación de Registros de MPAT.** Se realiza una búsqueda de registros de las MPAT en las entidades relacionadas durante un periodo mínimo de 10 años para poder realizar un análisis multi-temporal y tendencia consistente.

Con ayuda de la Secretaría de Tránsito y Transporte, la Secretaría de Infraestructura y Valorización y en especial al Departamento Administrativo de Planeación Municipal y sus grupos de trabajo IDESC y PIMU, se logra recopilar la información necesaria para los análisis requeridos y se muestra en la Tabla 3:

*Tabla 3. Información obtenida por fuente.*

Base de datos en formato Excel 2007 con información de 3300 registros de MPAT durante un periodo de 10 años (2004-2014); Fuente PIMU.
Parque Automotor anual de Cali; Fuente CDAV.
Información de modificaciones en la Malla Vial; Fuente Secretaría de Infraestructura y Valorización.
Registros de tránsito y aforos; Fuente Secretaría de Tránsito y Transporte.
Cartografía base; Fuente IDESC.

*Fuente: Elaboración propia.*

La información de MPAT debe ser depurada para determinar las variables que serán utilizadas en los análisis.

*Ilustración 22. Ejemplo columnas o atributos de las MPAT.*

K	L	M	N	O	P	Q
EDAD	Rango edad IRTAD	RANGOEDAD	SEXO	ESTADOCIVIL	NACIONALIDAD	ESCOLARIDAD
36	3	3	M	UNION LIBRE	COLOMBIA	PRIMARIA
24	2	2	M	CASADO (A)	COLOMBIA	SECUNDARIA
64	6	6	M	CASADO (A)	COLOMBIA	SECUNDARIA
59	5	5	M	SIN INFORMACION	COLOMBIA	NO SABE / NO RESPONDE O SIN I
75	7	7	M	CASADO (A)	COLOMBIA	PRIMARIA

*Fuente: Elaboración propia.*

Muchas de las direcciones que se encuentran en la BD están incompletas o no se registraron correctamente por parte del agente de tránsito en el momento del accidente. Esas inconsistencias afectan la georeferenciación de los registros porque el software no podrá relacionar correctamente las direcciones no coincidentes con la malla vial.

*Ilustración 23. Inconsistencias en las direcciones registradas.*

SIN DATOS
K 5 CON CL 15 00
SIN DATO
K 5 CON CL 34 00
CL 33 CON TV
AV CAÑASGORDAS
CL 25 CON K 29 03
VIA CALI JAMUNDI
VEREDA BOCA DEL MONTVE
K 23 CON CL 15 00
CL 70 CON K 1 A 13
K 28 D CON CL 72 L 00
TV 29 CON K 23 00
BUENAVENTURA

*Fuente: Elaboración Propia.*

Las estadísticas que no dependan de la variable espacial serán calculadas con todos los registros, incluyendo aquellos que no sean georeferenciados correctamente o que contengan vacíos de información en algunos atributos.

Se realiza una depuración de la BD para eliminar los registros que se ubican en otros municipios del Valle del Cauca, por fuera del perímetro urbano de Cali (corregimientos o vías regionales), o que no tengan evidencia de ser ubicados dentro de la zona urbana (sin información). Ver tabla 4:

Tabla 4. Depuración de la BD de MPAT.

Número de registros antes de la depuración	Número de registros después de la depuración	Diferencia (#)	Diferencia (%)
3300	2781	519	15.7

Fuente: Elaboración propia.

- **Recopilación de la información del Agente de Tránsito.** En el momento del accidente, el agente de tránsito encargado de establecer las causas y hechos del accidente recopila toda esa información utilizando un formato especial para ello (**Ministerio de Transporte, 2005**). En este formato se describen los hechos, causas y lugar del accidente de manera textual y gráfica (mano alzada).

El documento establece los pasos a seguir en el momento de un accidente y hace énfasis en la determinación del lugar exacto del accidente. Cosa que, revisando la información obtenida, no se realiza siempre. Los formatos se pueden encontrar en el Anexo 2. Formato Policial de Accidentes de Tránsito.

Ilustración 24. Extracto del Formato Policial de AT.

INFORME POLICIAL DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO N° 00000000

1. OFICINA: 1 1 0 0 1 0 0 0 0 2. GRAVEDAD: CON MUERTOS 1, CON HERIDOS 2, SOLO DAÑOS 3

SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE BOGOTÁ

3. CLASE DE ACCIDENTE: CHOQUE 1, CAIDA OCUPANTE 4, ATROPELLO 2, INCENDIO 5, VOLCAMIENTO 3, OTRO 6

3.1 CHOQUE CON: VEHICULO 1, SEMOVIENTE 3, TREN 2, OBJETO FIJO 4

3.2 OBJETO FIJO: MURO 01, INMUEBLE 06, POSTE 02, HIDRANTE 07, ARBOL 03, VALLA, SEÑAL 08, BARANDA 04, TARIMA, CASETA 09, SEMAFORO 05, VEHICULO ESTACIONADO 10

4. LUGAR: VIA KILOMETRO O SITIO, DIRECCION Y CIUDAD

4.1 LOCALIDAD O COMUNA

5. FECHA Y HORA: DIA, MES, AÑO, HORA OCURRER, HORA LEVANTAMIENTO

6. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR: 6.1 AREA (URBANA 1, RURAL 2), 6.2 SECTOR (RESIDENCIAL 1, INDUSTRIAL 2, COMERCIAL 3, ESCOLAR 4), 6.3 ZONA (PASO A NIVEL 1), 6.4 DISEÑO (TRAMO DE VIA 1, VIA PEATONAL 2, PASO ELEVADO 3, PASO A NIVEL 4), 6.5 TIEMPO (GLORIETA 07, PUENTE 08, VIA TRONCAL 09, LOTE O PREDIO 10, CICLORRUTA 11, NORMAL 1, LLUVIA 2, VIENTO 3, NIEBLA 4)

Fuente: Resolución 6020 de 2006.

- **Fuentes de Información.** A continuación se listan las fuentes de información consultadas, su descripción y su aporte en la recopilación de información.
  - Secretaría de Tránsito y Transporte. Dependencia encargada de la regulación del transporte, tránsito, ordenamiento vial, servicio integral a conductores e infractores y registro de conductores y vehículos. **Aporte:** Estadísticas de accidentes de tránsito y crecimiento del parque automotor.

Ilustración 25. Secretaría de Tránsito y Transporte.



Fuente: Alcaldía de Cali.



- Secretaría de Infraestructura y Valorización. Dependencia encargada del diseño, construcción y mantenimiento de obras civiles de infraestructura vial urbana y rural. **Aporte:** Estado y cambios de la malla vial de Cali durante el periodo 2004 - 2014.

Ilustración 26. Secretaría de Infraestructura y Valorización.



Fuente: alcaldía de Cali.

- Departamento Administrativo de Planeación municipal. Encargada del desarrollo integral sostenible de Cali a través del ordenamiento territorial y urbanístico de la ciudad; Actualmente cuenta, con proyectos como IDESC y PIMU. **Aporte:** Cartografía Base digital georeferenciada y sitios de interés.

Ilustración 27. Departamento Administrativo de Planeación Municipal.



Fuente: Alcaldía de Cali.

- Instituto de Investigación y Desarrollo en Prevención de la Violencia y Promoción de la Convivencia Social. Grupo de investigación cuya finalidad de diseñar, ejecutar y evaluar programas-proyectos-metodologías que contribuyan al entendimiento y prevención de la violencia, y búsqueda de

soluciones que disminuyan esta problemática de salud pública en el mundo. Una de sus líneas de investigación es la Seguridad Vial. **Aporte:** Documentos e información sobre AT y MPAT.

Ilustración 28. Página web del instituto CISALVA.



Fuente CISALVA

- **Base Cartográfica.** Para la ubicación geográfica de las MPAT y su contextualización dentro de la zona urbana de la ciudad de Cali, es necesario contar con una base cartográfica confiable, consistente y actualizada. Las coberturas de la base cartográfica se obtuvieron en formato digital a través del grupo IDESC y mapas base ESRI y Google Maps. Es importante tener coberturas de diferentes años para los análisis multi-temporales pertinentes.

La base cartográfica utilizada se presenta en la Tabla 5.

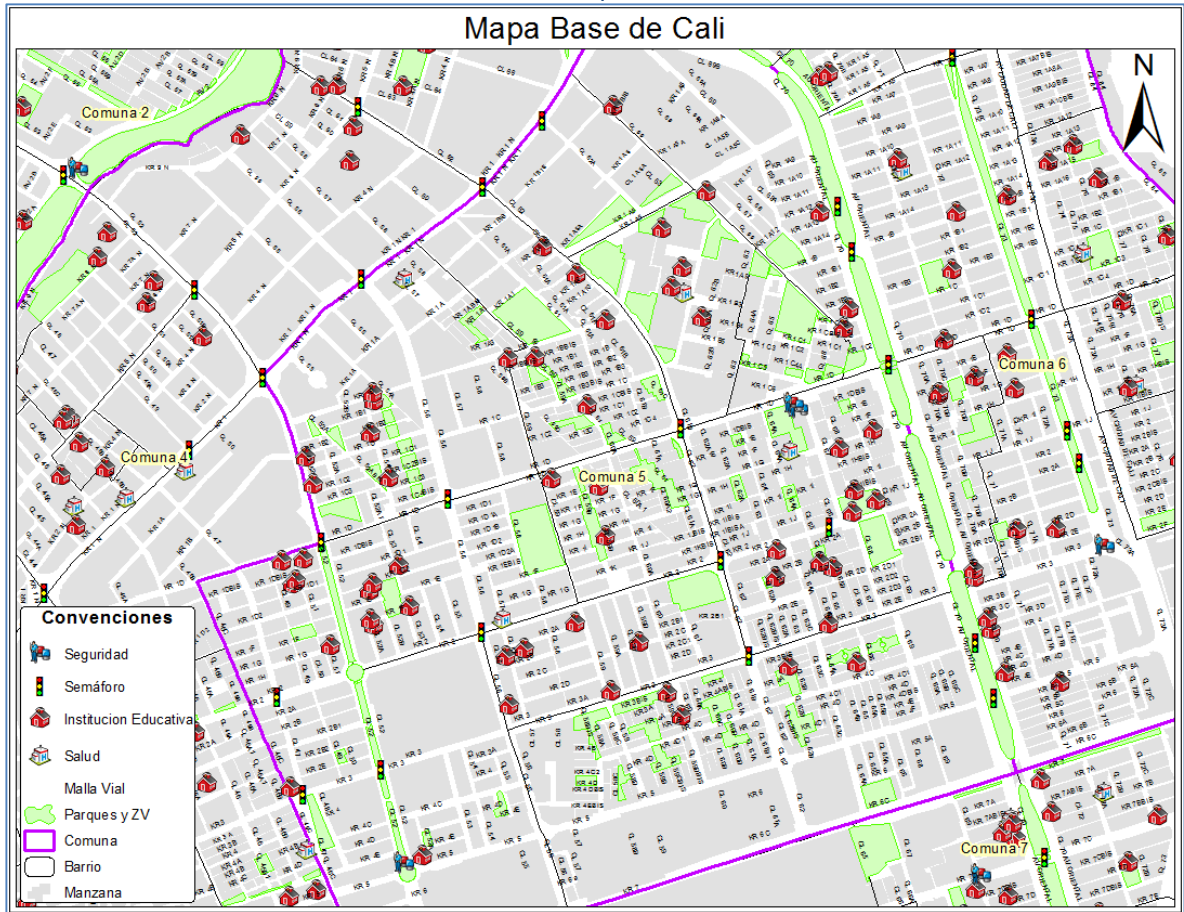
Tabla 5. Metadatos de cartografía base obtenida.

Cobertura	Fuente	Año - Versión	Atributos	Sistema de Referencia
1. Zona Urbana	DAPM IDESC	2010 - 2014	ID	Magna – Sirgas  Cali Valle del Cauca 2009
2. Comunas			Comuna #	
3. Barrios			Nombre Barrio	
4. Manzanas			ID	
5. Rutas MIO			Nombre ruta, Tipo bus	
6. Puestos Salud			Nombre, Tipo	
7. Instituciones educativas			Nombre, Tipo	
8. Semáforos			Nombre, Tipo	
9. Seguridad			Nombre, Tipo	
10. Zonas Verdes			Nombre, Tipo	
11. Malla vial	Esri	2009	Nombre, Tipo Vía, Municipio, Prefijo, FromLeft, ToLeft, FromRight, ToRight	Magna – Sirgas Origen Oeste
12. Imagen Aérea	Google, Esri	2012		WGS 1984

Fuente: Elaboración Propia.



Ilustración 29. Mapa base de Cali.



Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.2. Fase 2. Análisis de requerimientos.

En esta fase se realiza un análisis de los requerimientos necesarios para la identificación de zonas críticas de MPAT.

- **Estructura de la información y variables requeridas.** La BD con información de MPAT obtenida, contiene información de variables registradas al momento en que ocurre un accidente de tránsito; muchas de ellas no son requeridas para el análisis que se presenta.

Otras variables requeridas, relacionadas con las características de la vía y ubicación del accidente de tránsito, no se encuentran en la BD inicial, por lo que será necesario registrarlas en un trabajo de campo, una vez identificadas las zonas críticas donde ocurren agrupamientos de MPAT (Fase 5).

Por lo anterior, se presenta en la Tabla 6, las variables requeridas (agrupadas por tema), sus características o atributos, la descripción de cada una y el análisis que se espera de dicha variable en la BD de MPAT.

Tabla 6. Variables depuradas de la BD.

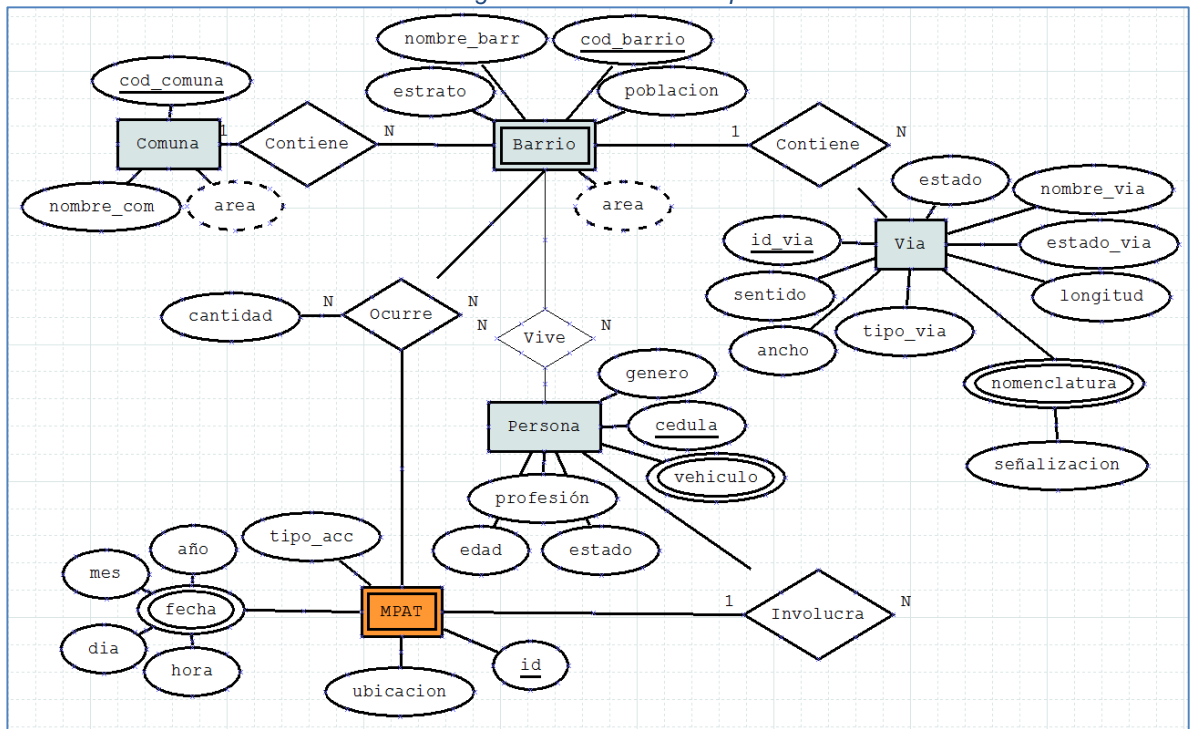
Tema	Variable	Atributo	Descripción	Tipo de análisis (MPAT)
Accidente	Fecha	Año	Año de ocurrencia del AT	% de ocurrencia por Año
		Mes	Mes de ocurrencia del AT	% de ocurrencia por Mes
		Día	Día de ocurrencia del AT	% de ocurrencia por Día
		Hora	Hora de ocurrencia del AT	% de ocurrencia por Horas
	Ubicación	Comuna	Comuna donde se registra el AT	% por Comunas
		Barrio	Barrio donde se registra el AT	% por Barrios
		Manzana	Manzana de Zona urbana de Cali	HotSpot por Manzana
		Dirección	Dirección de ocurrencia	Ubicación de las MPAT
Hecho	Circunstancia	Tipo o causa del accidente	% por tipo de AT	
	Clasificación	Clase de accidente de tránsito	% por clase de AT	
Vehículos	Actor(es)	Tipo vehículo	Tipo de medio de transporte	% por medio de transporte
		Servicio	Tipo de servicio del vehículo	% por tipo de servicio
	Objeto(s)	Tipo Objeto	Tipo de objeto de choque	% por objeto causante
		Servicio	Tipo de servicio del vehículo	% por tipo de servicio
Actores	Actor	Tipo actor	Tipo de víctima.	% por tipo de víctima
		Edad	Edad de la víctima	% de edad de la víctima
		Sexo	Sexo de la víctima	% de sexo de la víctima
		Estado civil	Estado civil de la víctima	% por estado civil
		Nacionalidad	Nacionalidad de la víctima	% por nacionalidad
		Escolaridad	Nivel de escolaridad de la víctima	% por nivel de escolaridad
		Condición	Persona que muere	% por condición de muerte
	Diagnóstico	Tipo o causa de muerte	% por diagnóstico	
	Auxiliar	Tipo Auxiliar 1,2	Segunda persona involucrada	---
Vía	Estado	Tipo Rodadura	Tipo de Rodadura de la vía	Posibles causas de las ocurrencias de MPAT
		Estado de vía	Porcentaje de baches y fisuras	
	Transito	TDV	Transito diario vehicular	
		Diseño geométrico	Numero carriles	
	Velocidad		Velocidad máxima permitida	
	Ancho - Largo		Ancho, largo de la vía	
	Clase de vía		Clase de vía, principal, secundaria	
	Intersecciones		Número y tipo de intersecciones	
	Señalización	Semáforos	Existencia de semáforos y señales	
		Puentes peatonales	Existencia de puentes peatonales y cambios a nivel	
		Zona	Actividad o uso	
Sitios de interés	Colegios, hospitales y sitios cerca			

Fuente: Elaboración propia

- **Diseño conceptual de la BDG.** Para la construcción de una Base de Datos Geográfica para el proyecto, que permita almacenar, organizar y procesar la información obtenida y georeferenciada, se utiliza un modelo orientado a objetos y se realiza el diagrama conceptual, que representa las relaciones entre los objetos (temas definidos en la tabla Análisis de Requerimientos) y sus atributos (variables a trabajar).

El diseño conceptual de la BDG se muestra en la Ilustración 30.

Ilustración 30. Diagrama del diseño conceptual de la BDG.



Fuente: Elaboración propia.

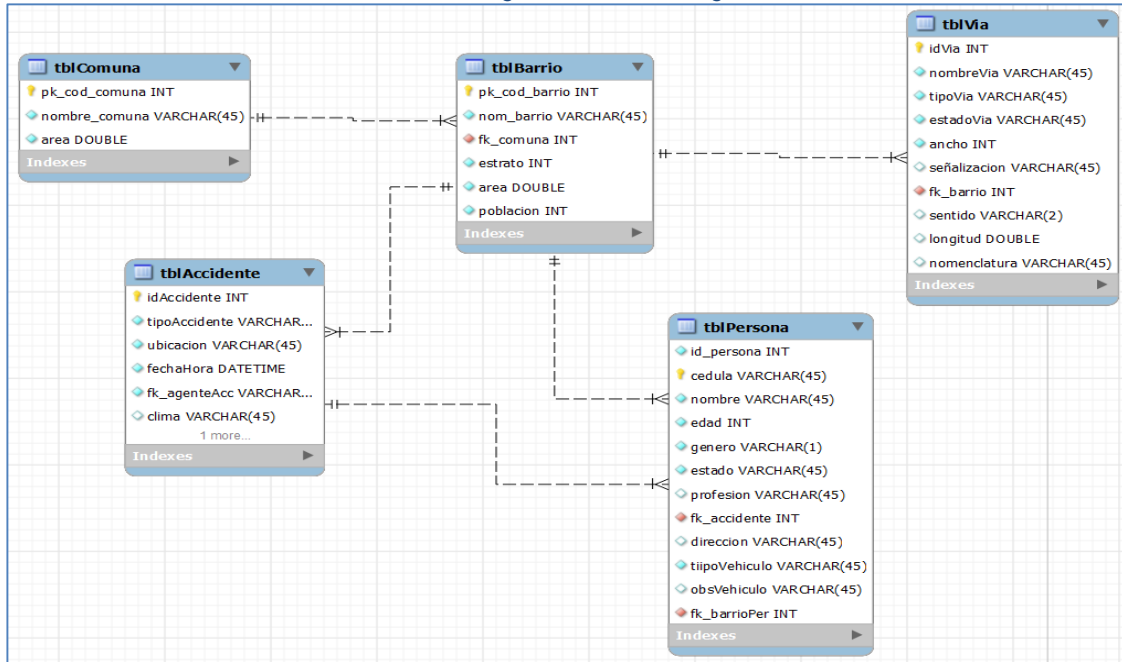
En el diagrama anterior se puede observar que una MPAT es un evento que involucra una o muchas personas (donde puede generar muerte en una o todas las personas involucradas en el mismo). Por lo tanto la relación Accidente – Persona se denomina 1 a muchos.

También se observa la relación de la MPAT con la ubicación (Comuna, Barrio, Vía), por lo tanto no es un evento que se deba manejar de forma aislada, ya que es una variable regionalizada (dependiente de la ubicación geográfica).

- **Diseño lógico de la BDG.** A partir del diagrama conceptual de la BDG se construye el diseño lógico de la misma en el lenguaje del modelo utilizado (Orientado a objetos). En la imagen siguiente se presentan las tablas (Temas), los atributos (variables) las llaves principales y foráneas para las relaciones entre tablas y el tipo de dato de cada uno de los atributos.

A partir del diagrama del diseño lógico se construye la BDG en el software, ver Ilustración 31.

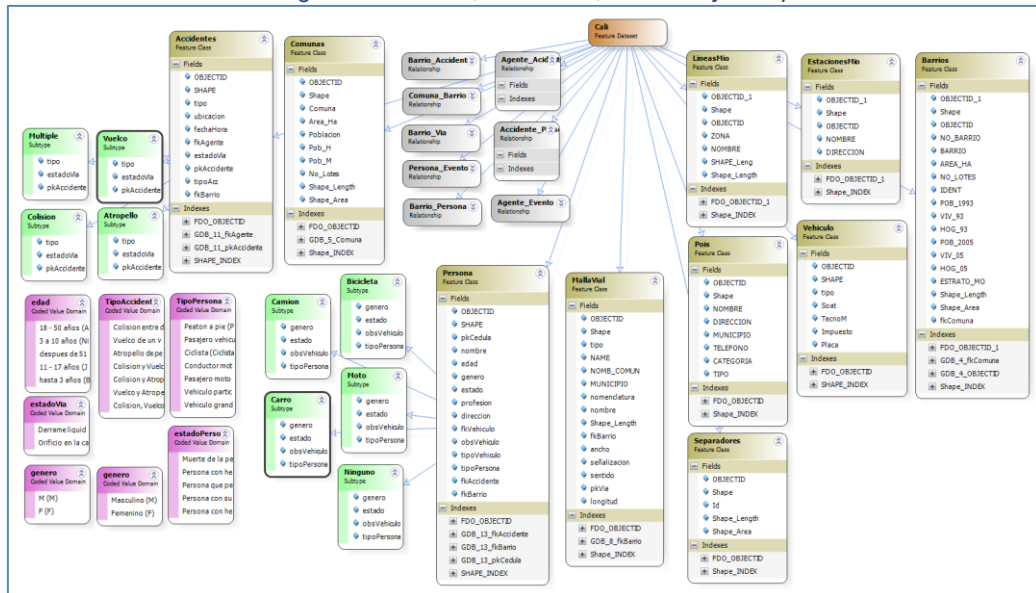
Ilustración 31. Diagrama del diseño lógico de la BDG.



Fuente: Elaboración propia.

- **Diseño físico de la BDG.** En el diagrama del diseño físico se presenta el esquema principal de la BDG en el software Arcgis Desktop. Se construye utilizando clases (tablas) con ubicación geográfica, relaciones, dominios y subtipos. Se inicia con la base cartográfica obtenida (importación al esquema de la BDG) y posteriormente con la georeferenciación de las MPAT.

Ilustración 32. Diagrama de clases, relaciones, dominios y subtipos de la BDG.



Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.3. Fase 3. Espacialización de la información.

En esta fase se realiza una estandarización de las direcciones donde se registraron las muertes causadas por accidentes de tránsito para posteriormente obtener la ubicación geográfica mediante el software (georeferenciación).

- **Estandarización de las direcciones registradas.** La estandarización es un proceso por el cual se sigue un estándar o procedimiento previamente establecido. Para el uso de la herramienta de geocodificación, es necesario realizar una estandarización de las direcciones registradas en la BD dependiendo del tipo de software o herramienta a utilizar.

Al utilizar herramientas de geocodificación (Arcgis Desktop, Google u Online), se construye un archivo que establezca previamente estándares para el manejo de direcciones y forma de ubicarlas, teniendo en cuenta la base cartográfica a utilizar (malla vial). Para este proceso se toma como referencia el documento “Como se deben escribir las direcciones” (Procalculo - Prosis S.A, 2011).

Las partes que conforman una dirección para Cali son (ver ejemplo en Tabla 7):

*Tabla 7. Variables de una dirección (nomenclatura) para Cali.*

Vía principal	Prefijo	Separador	Vía generadora	Separador	número de placa	modificador
Calle 1H		#	63	-	40	
Avenida 2	Norte	#	23	-	05	
Transversal 27		con	Diag. 75		Esquina	BIS

*Fuente: Elaboración propia.*

La estandarización de la BD se realiza, teniendo como base la Tabla 8.

*Tabla 8. Escritura estándar de direcciones para geocodificación.*

Tipo de vía	Formas de escribir	Estándar
Calle	Cl, cll, cal, call, cllc, calle, av calle, ac, cal	CL
Carrera	Kr, car, cra, kra, crra, crr, cr, carrera, avenida carrera, ak	KR
Diagonal	Diag, diagnal, dg. diagonal	DG
Transversal	Tr, tv, tra, trans, transv, trv, tras, transversal	TV
Autopista	au, aut, auto, autop, autopista	AU
Avenida	av, ave, aven, avenida	AV
Prefijo	Formas de escribir	Estándar
Norte	N, NTE, NORTE, NT (N es una letra restringida como separador )	N
Sur	S, SUR	S
Este	E, ESTE	E
Oeste	O, OE, OESTE, W	O

*Fuente: Elaboración propia.*

Finalmente se realiza la estandarización de las 2781 direcciones registradas en la base de datos con el fin de que la geocodificación sea lo más cercana posible al 100% de coincidencia con la malla vial actual, descartando **88** registros con dirección **desconocida**.

- **Geocodificación de direcciones estandarizadas.** Para este proyecto se cuenta con información alfa-numérica de las muertes causadas por accidentes de tránsito en la ciudad de Cali para los años desde 2004 hasta 2014; como base cartográfica codificada, se cuenta con la malla vial de Santiago de Cali (Esri, año 2009) que cuenta con la siguiente información tabular (columnas o atributos):

*Ilustración 33. Atributos de la malla vial.*

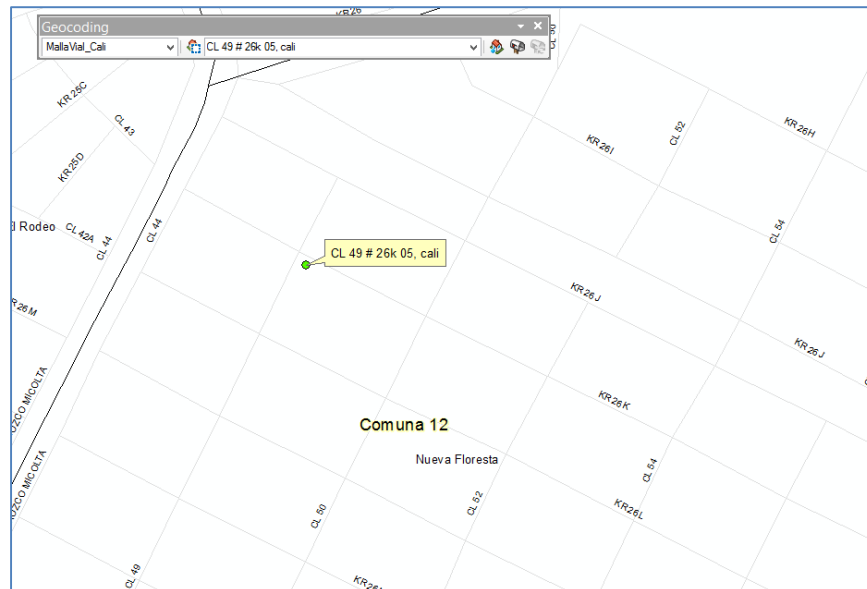
TIPO_VIA	NAME	MUNICIPIO	PREFIJO	FROMLEFT	TOLEFT	FROMRIGHT	TORIGHT
KR	29B-D32	CALI		1	53	2	54
CL	52-11	CALI		-1	-1	2	110
CL	30-4	CALI	N	1	71	2	70
CL	16B-116	CALI		1	49	2	50
CL	48-32B	CALI		-1	-1	2	56
KR	2-46A	CALI		-1	-1	2	96
CL	120M-25	CALI		1	39	2	40
KR	26M-72W	CALI		1	141	2	140

*Fuente: Elaboración Propia.*

Se utiliza el software Arcgis Desktop y se crea un localizador para interpretar correctamente los campos (atributos) de la base cartográfica (malla vial de Cali) para la geocodificación. El archivo de localización tendrá un nivel de confianza (coincidencia) del 90% para poder ubicar una dirección de manera apropiada o lo más cerca posible a la intersección entre vía principal y vía generadora.

- **Georreferenciación de las direcciones Geocodificadas.** Haciendo uso del software, se asigna una posición geográfica a cada registro de la BD a partir de la creación de una capa vectorial de tipo punto cuyas coordenadas planas geográficas corresponden al punto de intersección de la MPAT (dirección de ocurrencia) con la vía principal y la generadora. Finalmente se utiliza el mismo sistema de referencia de la cartografía base Magna Sirgas local Cali Valle 2009.

*Ilustración 34: Geocodificación de una dirección.*



*Fuente: Elaboración propia.*

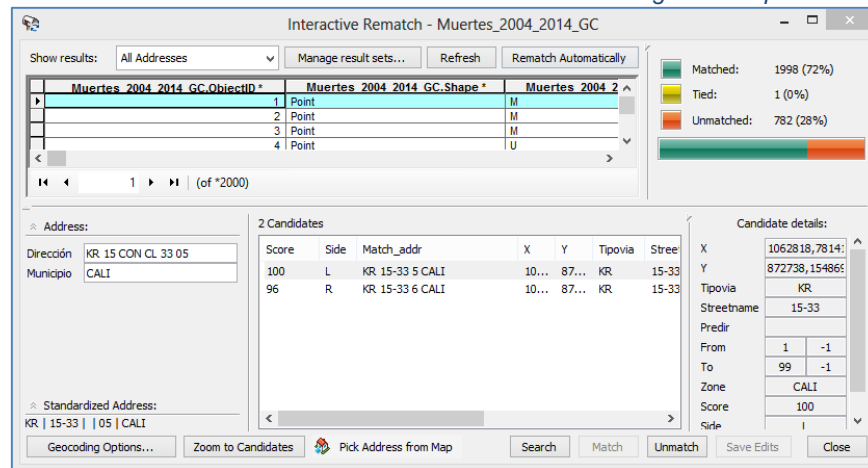


- **Depuración y ajuste de direcciones no concordantes.** Las direcciones que tienen varios candidatos y algunas direcciones no coincidentes automáticamente, se pueden ubicar mediante un proceso de reajuste donde se revisan manualmente (con ayuda del software) cada una de las direcciones faltantes.

Algunas direcciones no coinciden con el primer proceso porque el programa no puede determinar a qué lado de la vía ubicar el punto o porque existen varias posibilidades para una dirección.

Por ejemplo, la dirección Carrera 1C # 23 A 05, el software puede dar opciones en Carrea 1C # 23 A 04 y Carrea 1C # 23 A 05 o tal vez en la base cartográfica actual no está dibujada la vía generadora 23 A y solo llega hasta 23. Automáticamente no puede ubicarla y es necesario revisar esas direcciones de forma manual para tener una mejor certeza.

Ilustración 35. Proceso de Re-Codificación con Arcgis Desktop.



Fuente: Elaboración propia.

- **Estadísticas y resultados con las MPAT georeferenciadas.** Con la BD de las MPAT completa (incluye registros ubicados y no ubicados), se procede a generar estadísticas que puedan ayudar a explicar mejor el fenómeno en la ciudad. Se incluyen también los registros no ubicados geográficamente porque también hacen parte de los registros, una vez realizada la depuración de la BD.

Construyendo una tabla de frecuencias se puede comparar la cantidad de muertes y las variables registradas en la BD (fecha, hora, edad, sexo, etc.). A través de las estadísticas se pueden caracterizar las muertes por accidentes de tránsito de manera más precisa y posteriormente, con un análisis geográfico, se obtendrá una conclusión acertada de la ocurrencia de este fenómeno en Cali.

### 6.2.1. Fase 4. Identificación de patrones puntuales y zonas críticas.

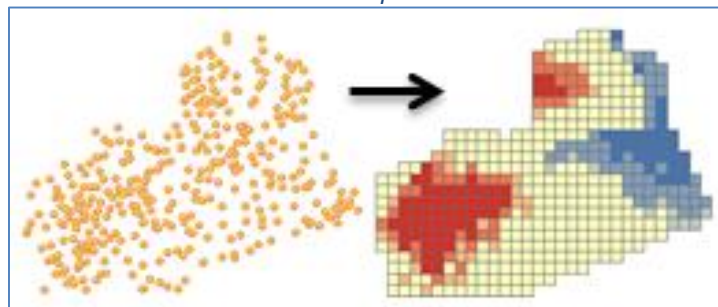
En esta fase se realiza un análisis exploratorio de los datos con el fin de demostrar la existencia de agrupamientos de MPAT en algunas zonas de Cali e identificarlas para caracterizar posteriormente dichos sitios en una visita a campo.

- **Análisis de puntos calientes y fríos de MPAT.** Cuando se realiza un estudio de accidentes de tránsito, la hipótesis nula plantea que éste fenómeno no presenta una distribución homogénea (sino aleatoria) ni en el espacio ni en el tiempo y se pretende eliminar dicha hipótesis al demostrar que geográficamente se pueden generar patrones de agrupamiento o “cluster”.

Al realizar un análisis de puntos calientes (HS), se pueden visualizar zonas donde se presenta acumulación de incidentes mientras que en otras apenas se registran incidentes; si se tiene en cuenta la variable temporal, se puede observar cómo cambian esos patrones a través del tiempo.

Para demostrar que los datos presentan agrupamientos y rechazar la hipótesis nula, se realiza un análisis exploratorio de los datos utilizando la herramienta “Promedio de vecino más cercano”. Esta herramienta permite calcular un índice de vecino más cercano en base a la distancia promedio desde cada entidad hasta la entidad más cercana (Esri, 2015). La herramienta devuelve la distancia media observada, distancia media esperada, índice de vecino más próximo, puntuación z (desviación estándar) y el valor p (índice de significancia. Estos datos permiten rechazar la hipótesis nula y exhibir la distribución de los datos, teniendo en cuenta el área de estudio (Área urbana de Cali 119.205.808,217 m<sup>2</sup>).

Ilustración 36. Análisis de puntos calientes  $G_i^*$ .



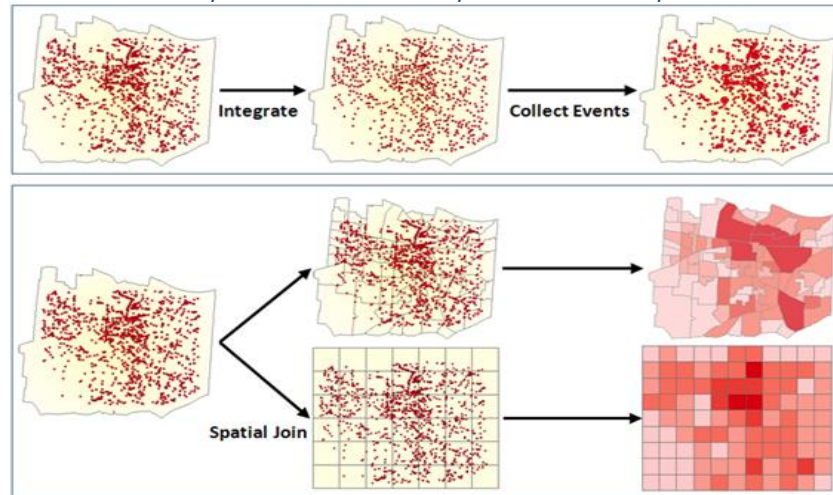
Fuente: Esri.

Al establecer que la información de MPAT presenta patrones de agrupamiento puntual, se procede a realizar un análisis de puntos calientes (HotSpot) a través de la herramienta “Hot Spot Analysis (Getis-Ord  $G_i^*$ )” de Arcgis Desktop por año. Para determinar correctamente las zonas donde se presenta mayor y menor ocurrencia de MPAT se deben aplicar dos procesos a los puntos antes de utilizar la herramienta HotSpot, ya que se necesita un campo (atributo) que contenga la cantidad de MPAT en cada posición geográfica y no eventos individuales.



- Primero, se debe realizar una integración de los datos (Integrate) que permita unificar los puntos cercanos en una misma posición teniendo como base una distancia mínima entre ellos<sup>4</sup>.
- Se debe realizar una agrupación de eventos (Collect Events) para contabilizar la cantidad de puntos para cada posición y registrarlos en un atributo de la tabla.
- Finalmente se realiza el análisis de HS utilizando la relación espacial “*Banda de distancia fija*” (Fixed Distance Band) que permite elegir la distancia mínima con la que se relaciona cada entidad en contexto con sus vecinos. Se calcula estadísticamente (188,83m para el periodo 2004-2014)

Ilustración 37. Preparación de incidentes para el análisis de puntos calientes.



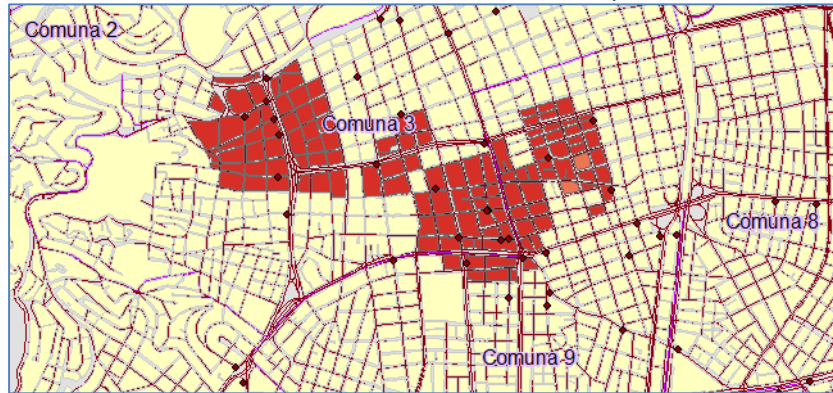
Fuente: Arcgis Resources.

En el Anexo 3 se presenta el análisis exploratorio de los datos por cada año con el fin de determinar clúster en los datos y en el Anexo 4 se muestran las imágenes de puntos calientes por año y sus resultados, con el análisis por comuna y barrio.

- **Creación de Superficie de MPAT.** Este tipo de análisis permite acotar o sesgar el estudio a zonas donde se presenten agrupaciones de incidentes para realizar un análisis de las características de dichos espacios geográficos que estén generando muertes frecuentes por accidentes de tránsito; las características a estudiar pueden ser de la Vía (geometría, ancho, estado), de equipamiento (puentes peatonales, semáforos, señales, cebras de paso) o de la zona (colegios, tráfico diario, etc.). Ejemplo en la Ilustración 38.

<sup>4</sup> Cantidad de incidentes que ocurren alrededor de 100m, que es la distancia promedio entre intersecciones de vía determinadas por manzanas catastrales en Cali, ya que los agentes de tránsito registran los incidentes generalmente en la intersección de la vía principal con la vía generadora.

Ilustración 38. Análisis de incidentes de muertes por manzana.



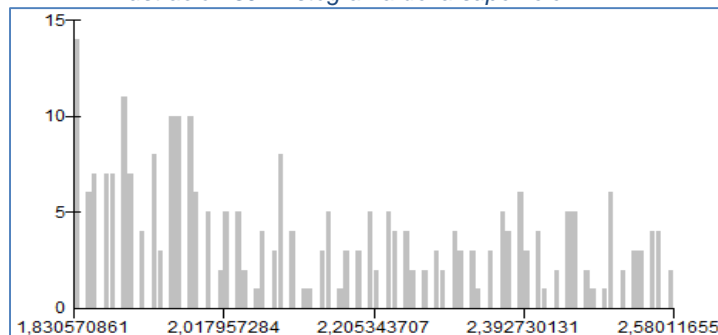
Fuente: Elaboración Propia.

Se realiza un cálculo de superficie (interpolación) de HS de MPAT durante el periodo 2004-2014 y por año. Se utiliza el resultado del análisis de HS (significancia positiva, negativa o nula) como atributo de interpolación. El resultado es una superficie continua que representa los valores de  $G_i^*$  positivos significantes como foco y va disminuyendo en valor a medida que se aleja de las concentraciones de MPAT.

Con este tipo de análisis se pueden determinar zonas de mayor ocurrencia de MPAT y clasificar a nivel de comuna, barrio o manzana con el fin de realizar una visita de campo a esas zonas específicas e identificar aspectos que ayuden a entender la frecuencia con la que se presenta este fenómeno en esos sitios.

Se utiliza una clasificación (cartográfica) utilizando el método “Cortes naturales de Jenks” de 3 clases (alto=rojo, medio=naranja, bajo=amarillo). Este método de clasificación permite agrupar mejor los valores similares y maximiza las diferencias entre clases, identificando y dividiendo los límites de clase donde se detectan diferencias considerables en los valores de los datos. (Esri, 2015).

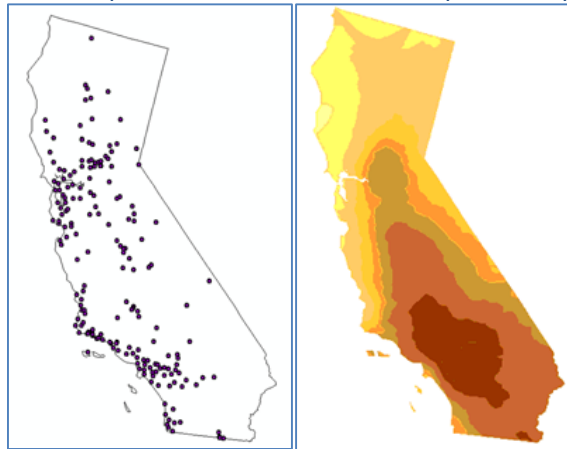
Ilustración 39. Histograma de la superficie IDW.



Fuente: Elaboración propia.

Se obtiene una superficie continua en formato Raster con las zonas críticas (en color rojo).

Ilustración 40. Interpolación de incidentes a una superficie de predicción.



Fuente: Arcgis resources.

- **Identificación de zonas críticas.** Se realiza una comparación de las zonas rojas en el mapa de superficie IDW por año con el fin de determinar las zonas críticas recurrentes durante el periodo 2004 – 2010.

Tabla 8. Registros con mayor número de ocurrencia de MPAT

OBJECTID *	Shape *	ICOUNT
167	Point	39
442	Point	38
141	Point	31
21	Point	18
232	Point	18
243	Point	18
307	Point	18
316	Point	18
212	Point	17
169	Point	16
150	Point	15

Fuente: Elaboración Propia.

Con las zonas donde se registran mayor número de ocurrencia de MPAT y mayor número de conglomerados, se registran en una tabla con el fin de identificarlas, acotarlas y realizar un levantamiento de información de campo y fotográfico. Para mayor información, revisar el Anexo 5. Registro Fotográfico de zonas críticas.

Ilustración 41. Levantamiento de información de las zonas críticas visitadas.



Fuente: Elaboración propia.

## 7. RESULTADOS

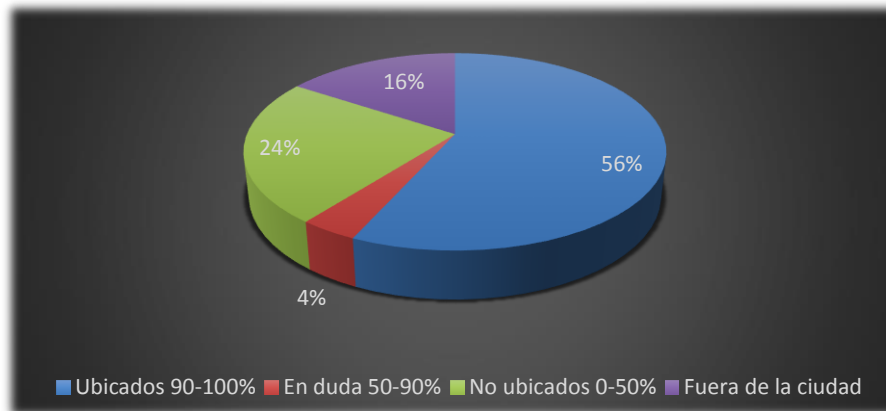
### 7.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la espacialización de 3.300 muertes por accidentes de tránsito y el análisis estadístico descriptivo y espacial de la información utilizando técnicas de patrones puntuales, puntos calientes e interpolación de superficies continuas, durante el periodo de los años 2004 – 2014 en la zona urbana de Santiago de Cali, Colombia.

#### 7.1.1. Espacialización de MPAT durante el periodo 2004 – 2014

El resultado de la geocodificación muestra 1.872 direcciones ubicadas (67%), 126 direcciones en duda (5%) y 783 direcciones que no pudieron ser ubicadas (28%). Para un total de 2.781 direcciones en la BD (luego de la depuración de direcciones vacías, de otros municipios o incorrectas). Ver Ilustración 42.

*Ilustración 42. Geocodificación de direcciones de MPAT.*



*Fuente Elaboración propia.*

El resultado del reajuste muestra 1.998 (+126 con respecto al anterior) direcciones ubicadas (72%), 1 (-125) direcciones en duda (0%) y 782 (-1) direcciones no pudieron ser ubicadas (28%). Para un total de 2781 direcciones en la BD.

Finalmente se ubican geográficamente las direcciones dentro del mapa base de la ciudad, utilizando el software Arcgis Desktop, y se verifica que las MPAT estén ubicadas dentro del perímetro urbano de Cali. Se realiza una edición y depuración de aquellas direcciones que se detectaron por fuera de los límites urbanos.

*Tabla 9. Edición de direcciones por fuera del perímetro urbano.*

Total Registros 2004 - 2014	Registros Depurados – Ciudad de Cali	Registros editados - Zona urbana de Cali	Registros Geocodificados y ubicados	Diferencia (#)	Diferencia (%)
3300	2781	2772	1998	1302	39.4

*Fuente: Elaboración propia.*

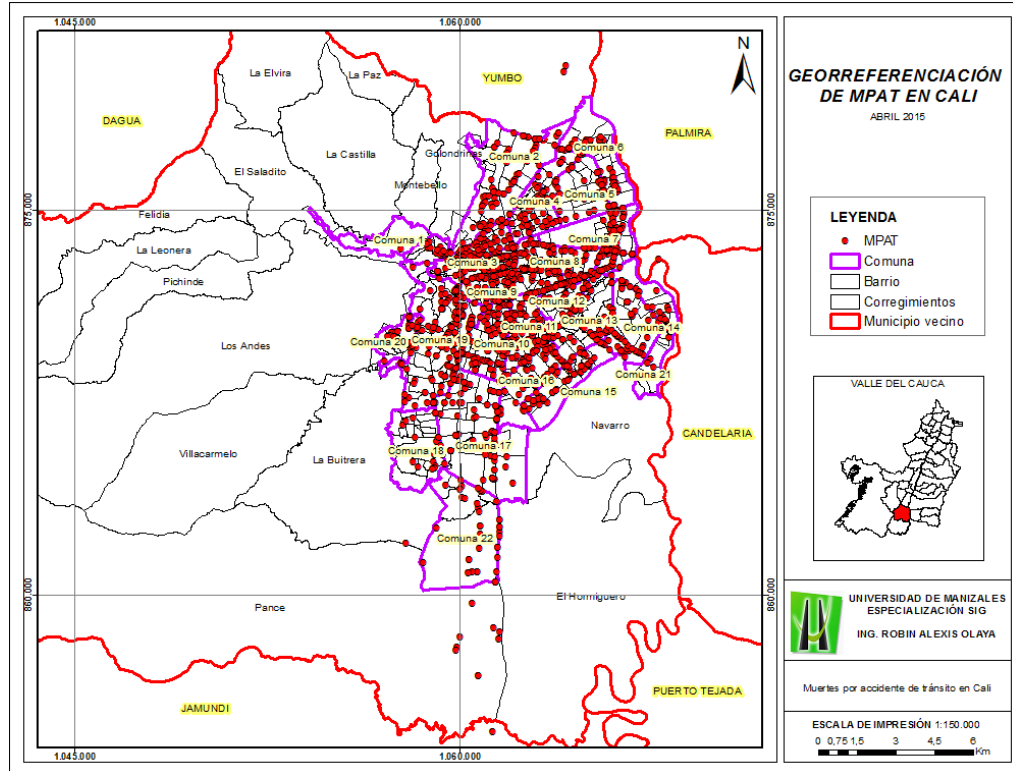
Este proceso arroja un resultado de 1.998 MPAT ubicadas geográficamente dentro del perímetro de la zona urbana de Cali, 774 direcciones que no se pudieron ubicar geográficamente<sup>5</sup> por falta de coincidencia con la malla vial utilizada y 528 direcciones que se encuentran por fuera del perímetro urbano y que no serán utilizadas en los cálculos. Ver Ilustración 43.

Ilustración 43. Reajuste de geocodificación.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 44. Direcciones de MPAT ubicadas geográficamente.



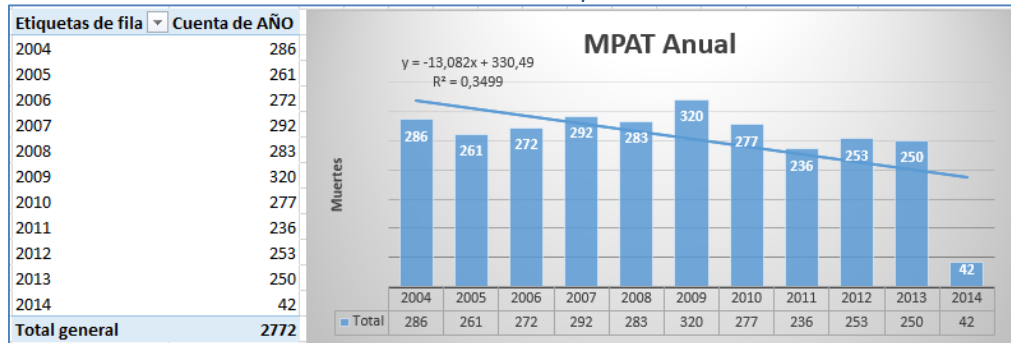
Fuente: Elaboración propia.

<sup>5</sup> Las direcciones que se encuentran en el perímetro urbano pero que no fueron ubicadas, se utilizan en la elaboración de estadísticas de MPAT no relacionadas con la variable geográfica.

### 7.1.2. Análisis de las estadísticas obtenidas de las MPAT.

Se puede observar que, según la estadística de MPAT anual, murieron más personas (320) en Cali solo el año 2009 con un promedio anual de 273 (2004-2013).

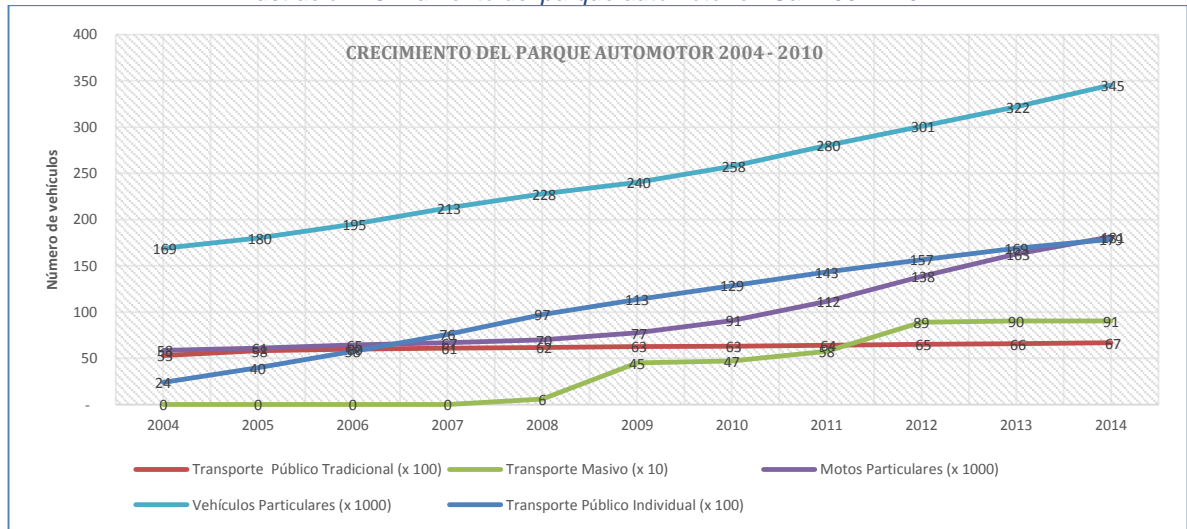
Ilustración 45. MPAT por Año.



Fuente: Elaboración propia.

Si se comparan estas estadísticas con los datos del crecimiento del parque automotor (cantidad de vehículos por tipo de vehículo por año), se puede decir que la inclusión, construcción e implementación del Transporte Masivo (MIO) en el 2008, pudo haber impulsado el aumento de MPAT en la ciudad para esos años, aunque posteriormente a su puesta en marcha, se puede evidenciar una tendencia a disminuir la mortandad; por lo tanto puede ser que su funcionamiento finalmente fue beneficioso. Ver Ilustración 46.

Ilustración 46. Aumento del parque automotor en Cali 2004 - 2014.

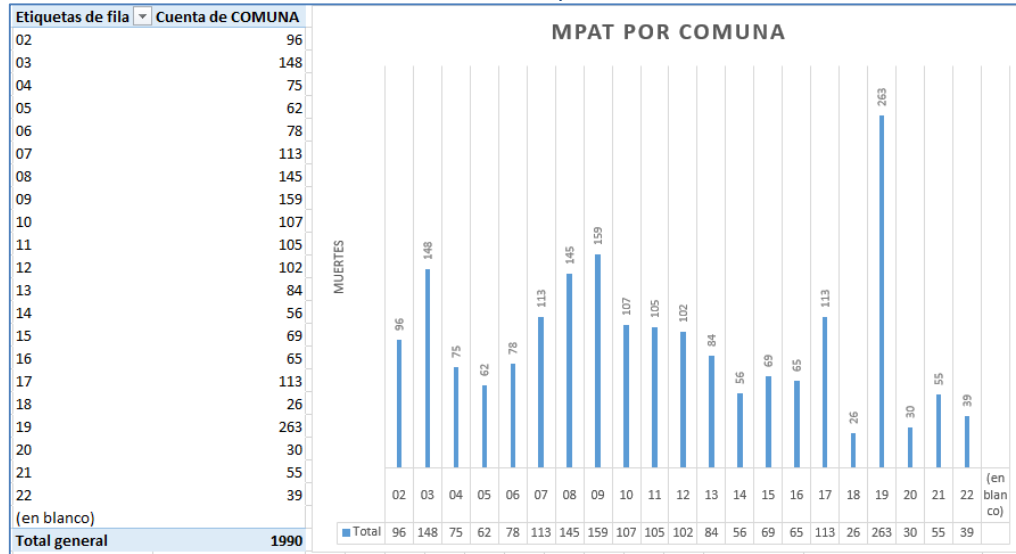


Fuente: Elaboración propia.

La comuna más afectada fue la 19 (263 MPAT) por encima del promedio total anual. Esta cantidad de muertes se atribuyen en mayor cantidad a la Autopista Sur Oriental. En la identificación de las zonas críticas se observa mejor esta tendencia.



Ilustración 47. MPAT por comunas.

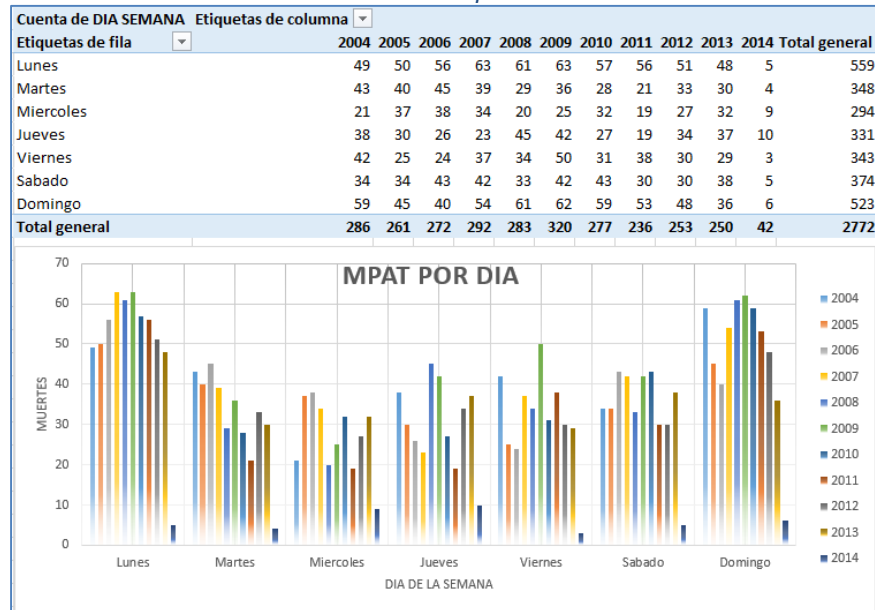


Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.2.1. MPAT por día de la semana.

Muestra la distribución de MPAT anual por cada día de la semana. Se observa que se presenta mayor ocurrencia de muertes los días domingos (523) y lunes (559). Se concluye que la frecuencia de muertes en estos días puede atribuirse a los paseos de familia que se realizan el fin de semana y el regreso a sus lugares de origen, también puede estar relacionada con las fiestas y salidas nocturnas los sábados y domingos y regreso en las horas de madrugada del día domingo y lunes respectivamente.

Ilustración 48. MPAT anual por día de la semana.

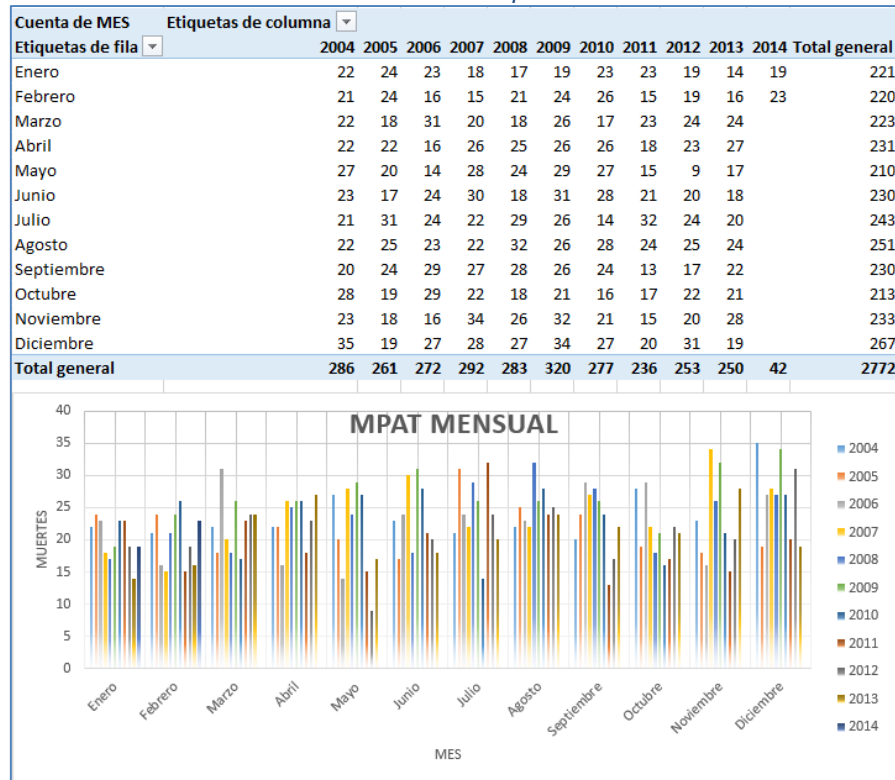


Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.2.2. MPAT Anual por mes del año.

Muestra la distribución de MPAT anual por cada mes del año. Se observa que se presenta mayor ocurrencia de muertes en los meses de diciembre (267) y julio (243). Se concluye que la frecuencia de muertes se puede atribuir a las fiestas decembrinas y a las vacaciones de mediados de año donde hay mayor concurrencia vehicular.

Ilustración 49. MPAT Anual por mes. Fuente:



Elaboración propia.

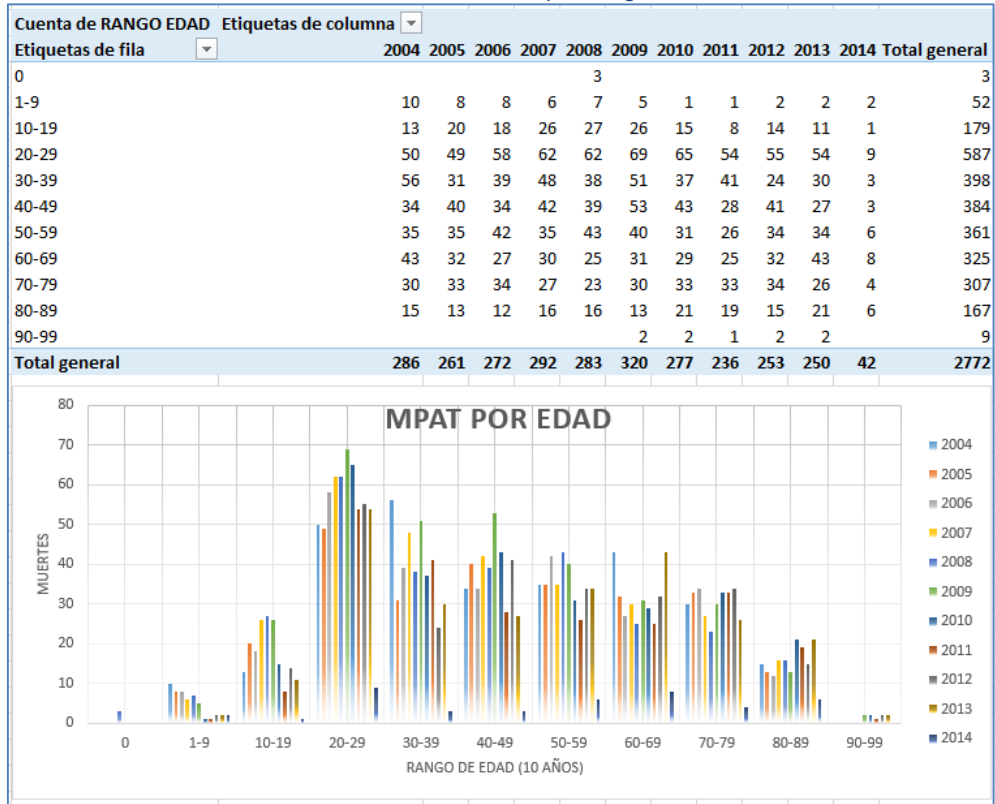
### 7.1.2.3. MPAT por rango de edad de la víctima.

Muestra la distribución de MPAT anual por rango de edad de la víctima, agrupado cada 10 años. Se observa que se presenta mayor ocurrencia de muertes en el rango de edad de 20 a 29 años (587) y menor ocurrencia en el rango de 1 a 9 y 10 a 19 (52, 179).

Se concluye que la frecuencia de muertes en el rango 20-29 puede atribuirse a que a esta edad (adolescencia) se está adquiriendo probablemente el primer automóvil o ya está en edad de conducir y obtener licencia, también al ímpetu de la edad y manejo vehicular bajo efectos de alcohol. Caso contrario con los menores (1-19 años) que aún no pueden conducir, así que las muertes presentadas en estos rangos se deben a pasajeros y acompañantes menores.



Ilustración 50. MPAT anual por rango de edad.

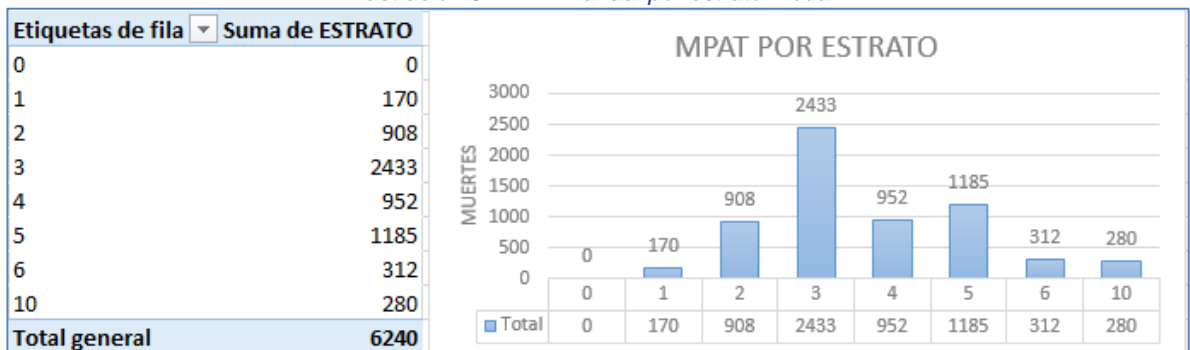


Fuente: Elaboración propia.

#### 7.1.2.4. MPAT por estrato moda.

Muestra la distribución de MPAT anual por estrato moda. Se observa que se presenta mayor ocurrencia de muertes en estrato 3 (811). Se debería comparar estas cifras con la cantidad de personas para determinar una tendencia.

Ilustración 51. MPAT anual por estrato moda.



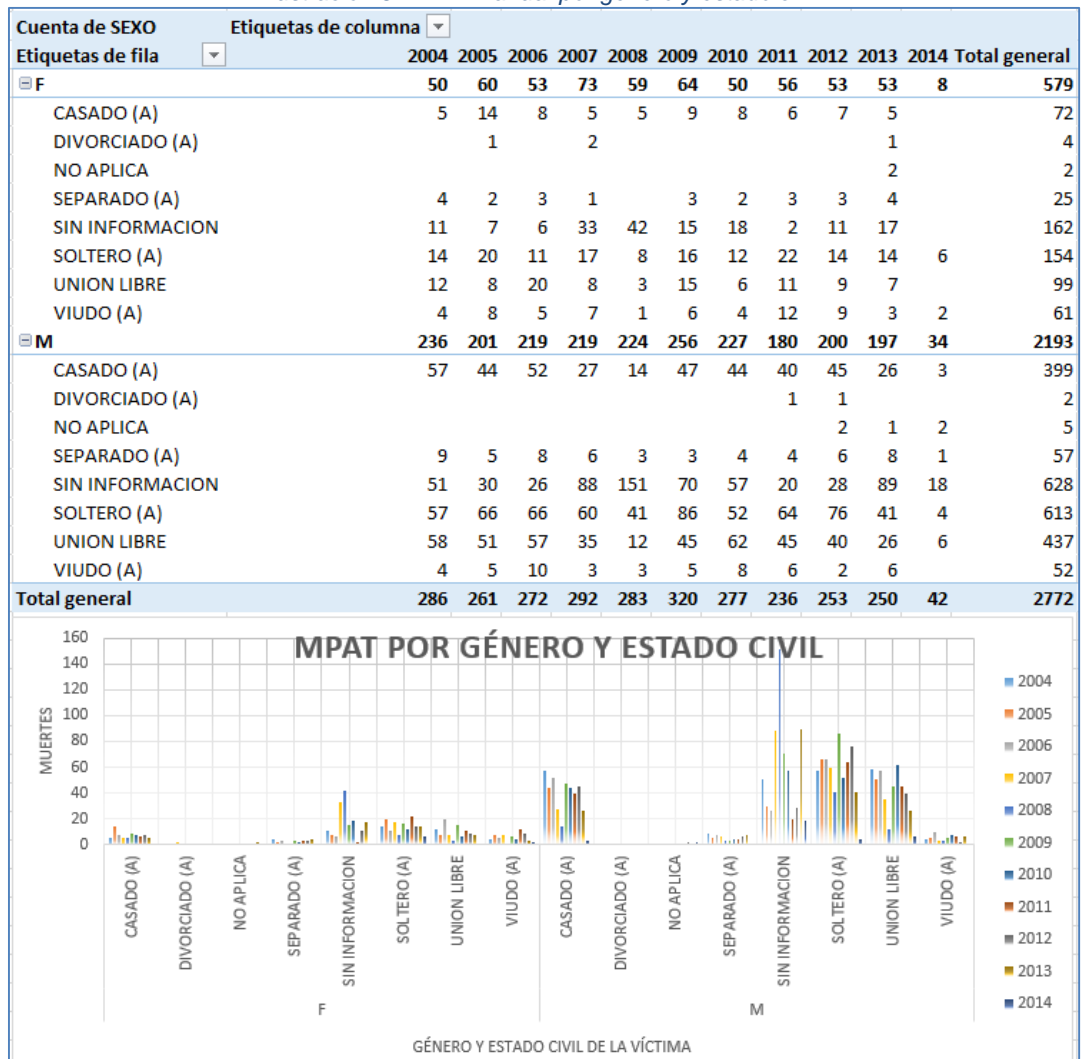
Fuente: Elaboración propia

### 7.1.2.5. MPAT por género y estado civil de la víctima.

Muestra la distribución de MPAT anual por género y estado civil de la víctima. Se observa que se presenta mayor ocurrencia de muertes en los hombres (2193) y la mayoría en hombres solteros (613) en unión libre (437) o casados (399), en el caso de mujeres, fallecen más las solteras (154); En muchos casos no se conoce el estado civil (790).

Se concluye que la frecuencia de muertes para el sexo Masculino puede atribuirse a la cantidad de hombres vs mujeres que manejan vehículos y el estado civil puede influir en el aspecto social de la persona y mayor concurrencia en fiestas y reuniones nocturnas o por fuera del hogar.

Ilustración 52. MPAT anual por género y estado civil.



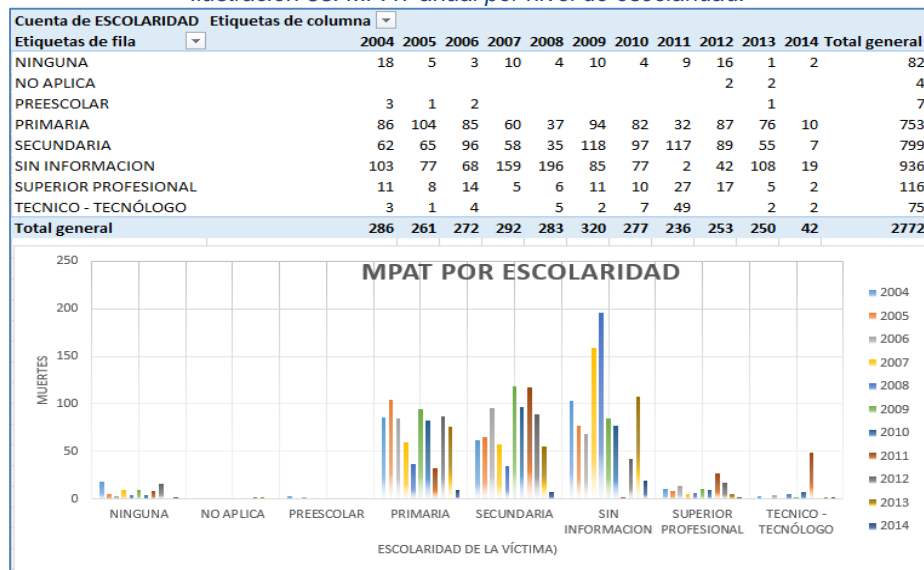
Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.2.6. MPAT por grado de escolaridad de la víctima.

Muestra la distribución de MPAT anual por nivel de escolaridad de la víctima. Se observa que se presenta mayor ocurrencia de muertes en las personas que solo han cursado primaria (753) o secundaria (799); en la mayoría de los casos no se conoce el grado de escolaridad (936) y en menor cantidad personas con un grado de escolaridad superior (116), divorciados (75) o que no tienen ningún grado (82).

Se concluye que la frecuencia de muertes para escolaridad básica primaria o secundaria puede atribuirse a que a mayor educación, mejores maneras a la hora de conducir o manejarse en la vía, aunque también puede decirse que la mayoría de Caleños tienen este grado de escolaridad; las pocas muertes de personas sin grado de escolaridad pueden atribuirse a pasajeros o acompañantes.

Ilustración 53. MPAT anual por nivel de escolaridad.



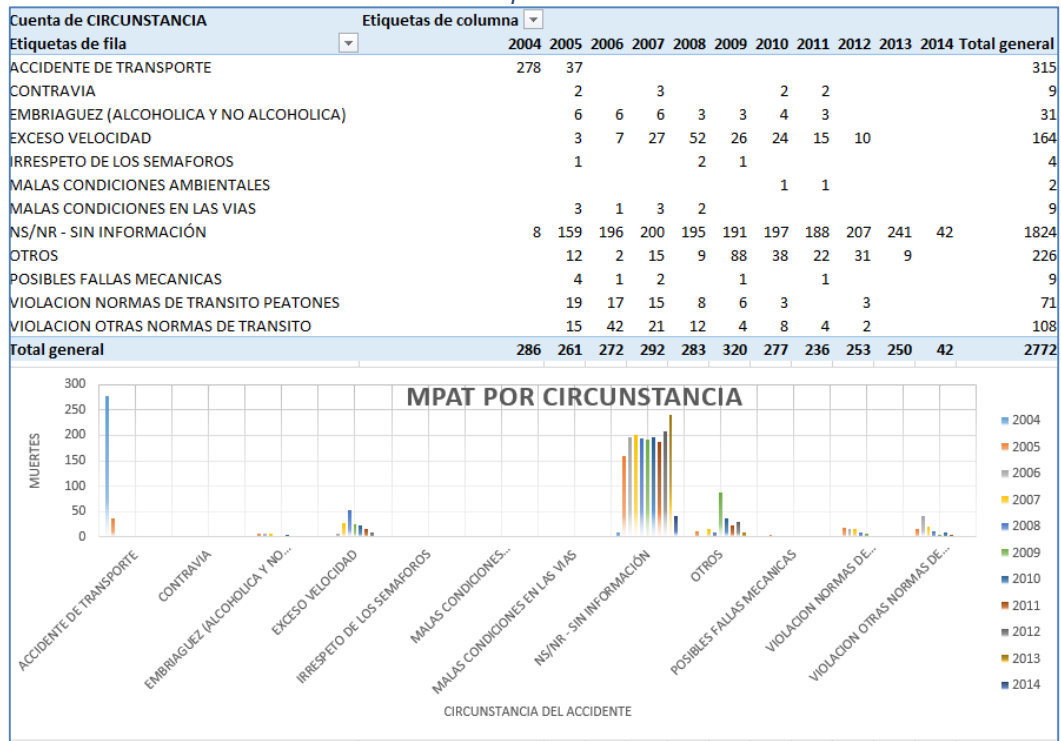
Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.2.7. MPAT por circunstancia del accidente.

Muestra la distribución de MPAT anual por circunstancia del accidente. Se observa mayor ocurrencia de muertes en las personas conducían a exceso de velocidad (164) o irrespetan las señales de tránsito (179); en la mayoría de los casos no se registra causa de accidente (1824) y presenta alto grado de accidentes clasificados como otros (226) y un pico alto en el año 2004 para accidentes de transporte (315).

Se concluye que la frecuencia de muertes según la circunstancia del accidente puede atribuirse al irrespeto por las normas de seguridad, tránsito y señales de máxima velocidad, aunque en el grafico se observa una tendencia a disminuir que puede atribuirse a la implementación de controles, incluyendo las fotomultas.

Ilustración 54. MPAT anual por característica del accidente.

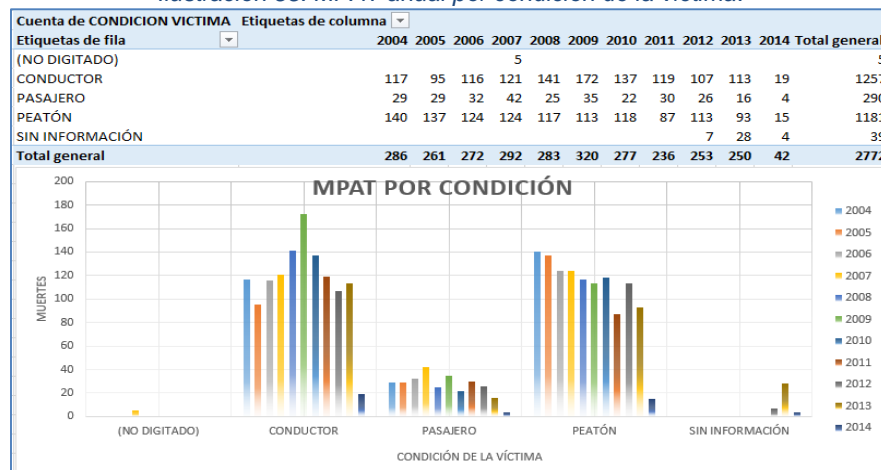


Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.2.8. MPAT por condición de la víctima.

Muestra la distribución de MPAT anual por condición de la víctima. Se observa que se presenta mayor ocurrencia de muertes de los conductores (1257) y peatones (1118). Se concluye que la frecuencia de muertes según la condición de la víctima se debe a que los conductores (mayoría en moto) y peatones son los que reciben el impacto directo del accidente (choque, atropello, volcamiento).

Ilustración 55. MPAT anual por condición de la víctima.



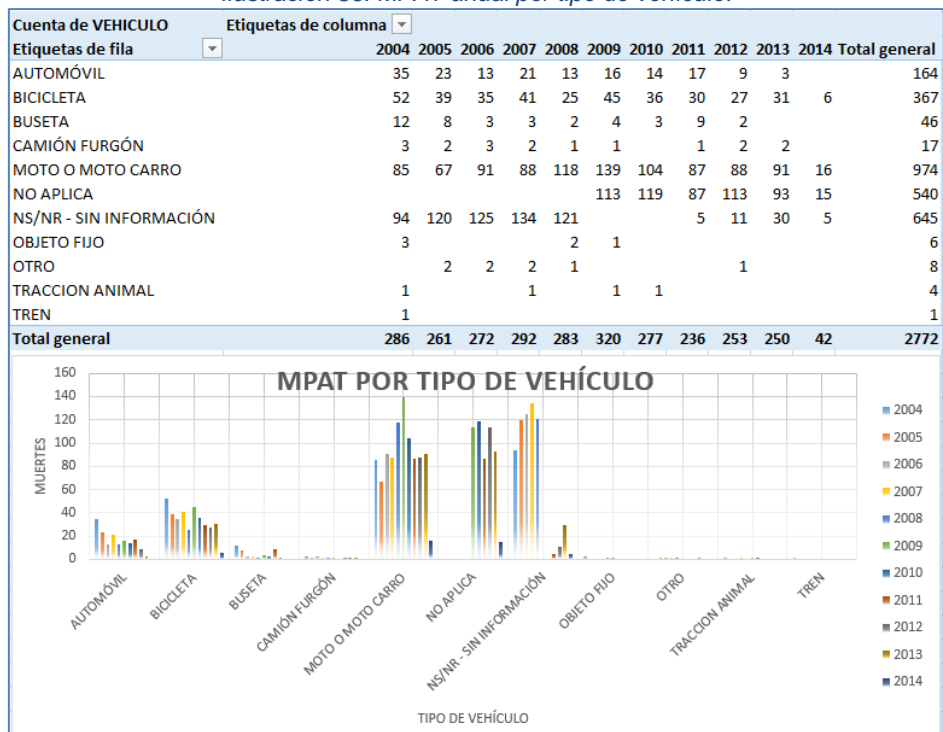
Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.2.9. MPAT por tipo de vehículo.

Muestra la distribución de MPAT anual por tipo de vehículo de la víctima. Se observa que se presenta mayor ocurrencia de muertes en las motos (974) o cuando la víctima no conduce vehículo (540); se observan muchos casos donde no se registra el tipo de vehículo (645).

Se concluye que la frecuencia de muertes según el tipo de vehículo de la víctima se debe al aumento de conductores de motocicletas en Cali y a la falta de respeto de los mismos por las normas de tránsito por conductas riesgosas (zigzag, cambio de carril, paso entre carros, etc.).

Ilustración 56. MPAT anual por tipo de vehículo.



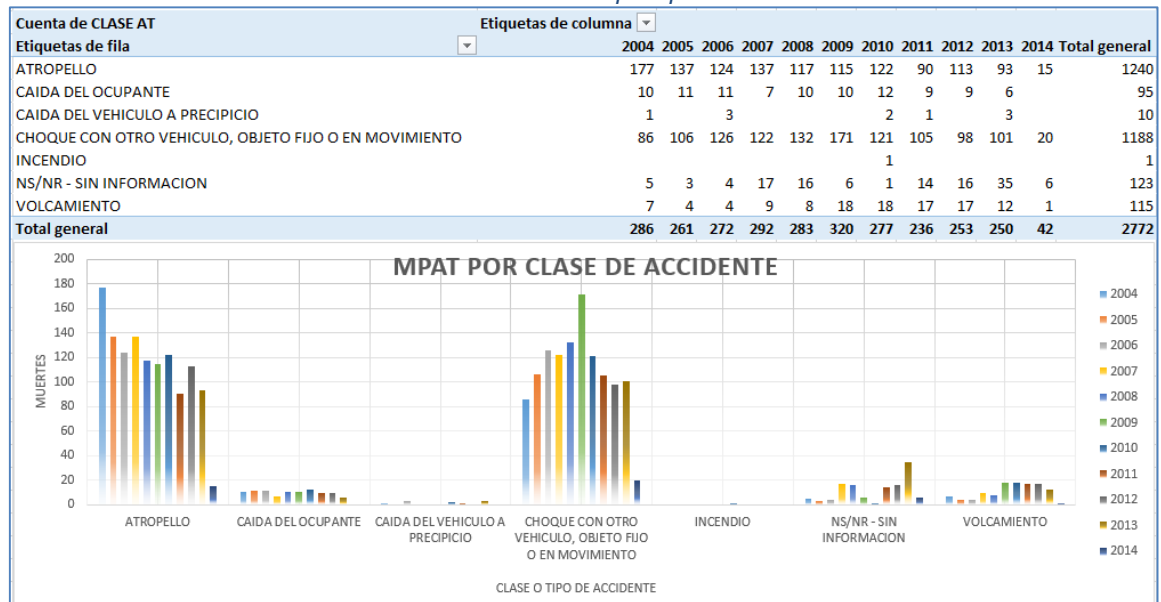
Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.2.10. MPAT por tipo de accidente de tránsito.

Muestra la distribución de MPAT anual por tipo de accidente de tránsito. Se observa que se presenta mayor ocurrencia de muertes por atropello a personas (1240) o por choque con otro vehículo u objeto (1118).

Se concluye que la frecuencia de muertes según el tipo de accidente atropello o choque son los más comunes a nivel mundial y corresponde a las estadísticas de muertes de peatones.

Ilustración 57. MPAT anual por tipo de accidente.



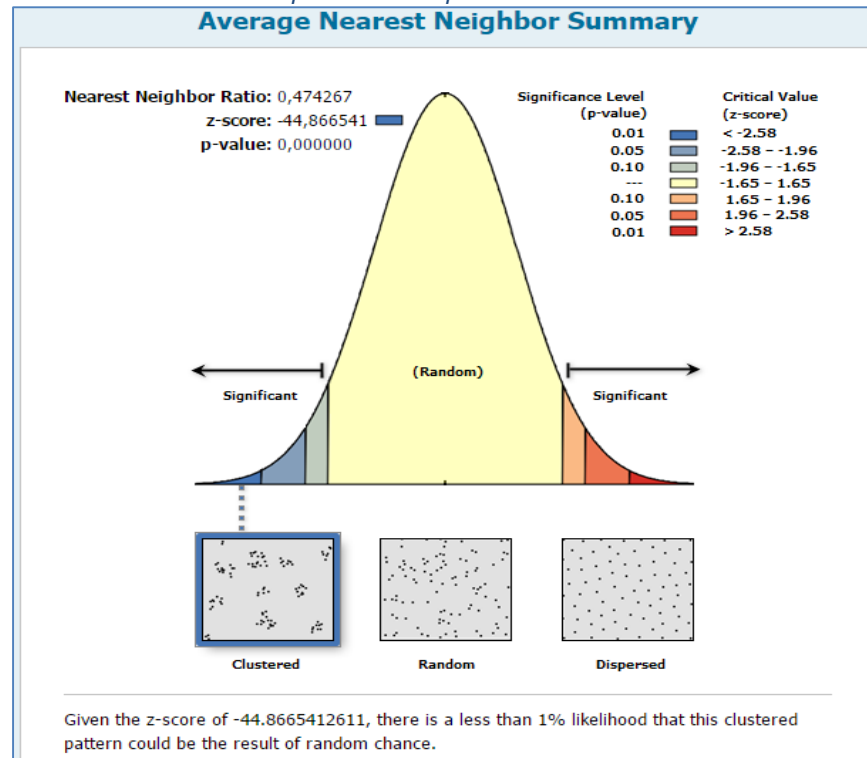
Fuente: Elaboración propia

### 7.1.3. Análisis exploratorio de los datos.

El análisis exploratorio de la información muestra la distribución de los datos en una gráfica donde devuelve cinco valores que muestran la distancia media observada, distancia media esperada, índice de vecino más próximo, puntuación z y valor P.

Con los dos últimos valores (desviación estándar y probabilidad), se puede demostrar una distribución agrupada en los datos, mostrando **patrones puntuales** y de ese modo permite rechazar la hipótesis nula (distribución aleatoria de la información) ver Ilustración 58.

Ilustración 58. Exploración del tipo de distribución de las MPAT.



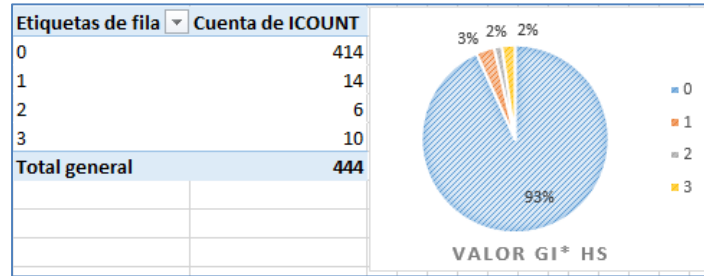
Fuente: Elaboración propia.

En el anexo 3 se pueden revisar los resultados de los análisis exploratorios de las MPAT cada año.

### 7.1.4. Análisis de puntos calientes de MPAT durante el periodo 2004 - 2014.

Los puntos calientes generados forman una agrupación de incidentes en un radio de 100m a la redonda. Utiliza una banda de distancia diferente cada año y tienen en cuenta solo las MPAT georeferenciadas. En el análisis global de todo el periodo se observa que el 93% de los datos no son significantes (pocos incidentes) con los parámetros definidos, y solo el 3% presenta una alta significancia de agrupamiento.

Ilustración 59. Puntos calientes Cali.

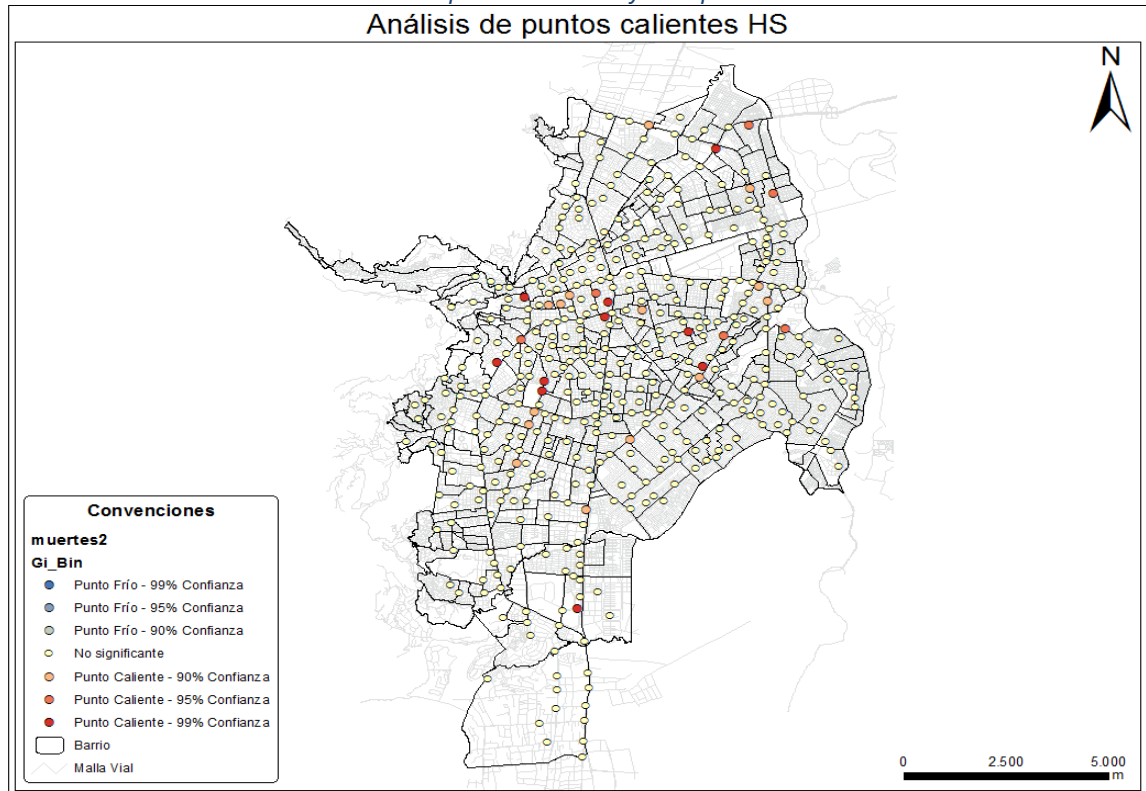


Fuente: Elaboración propia.

El resultado fue una nube de puntos significantes negativos, positivos y no significantes, según el grado de confianza utilizado. Los puntos naranja y rojo muestran agrupación de incidentes (MPAT) con un nivel de confianza de 90 a 99% correspondientemente. Ver Ilustración 60.

Aunque la ubicación del punto caliente no es exactamente la ubicación de las MPAT (por la integración, agrupación y conteo de incidentes cercanos a 100m de distancia), permite identificar las zonas (comuna, barrio, sector, manzana) donde ocurre la mayor cantidad de MPAT en Cali (Zona Urbana).

Ilustración 60. Análisis de puntos calientes y fríos para los años 2004 - 2014.



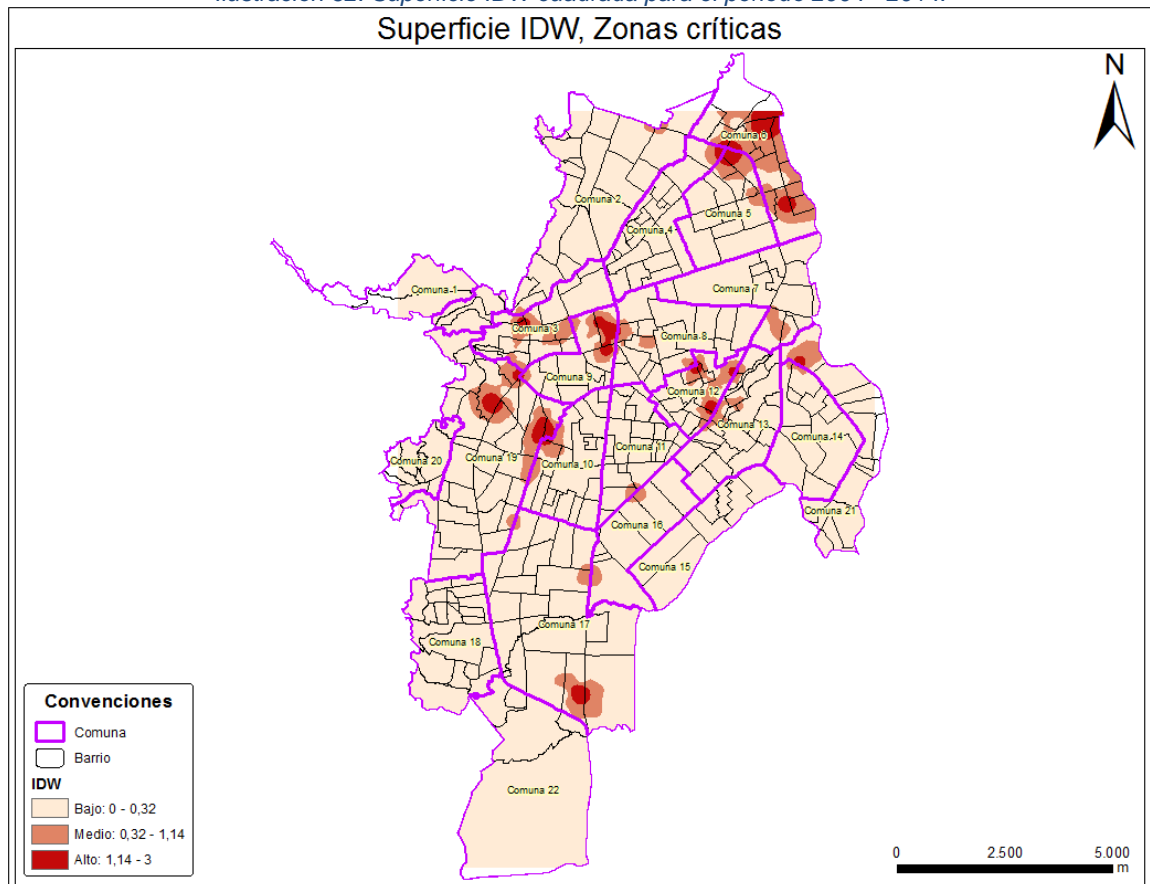
Fuente: Elaboración Propia.

La descripción de los resultados del análisis de puntos calientes de MPAT por año (2004 a 2014) se muestra en el Anexo 4.





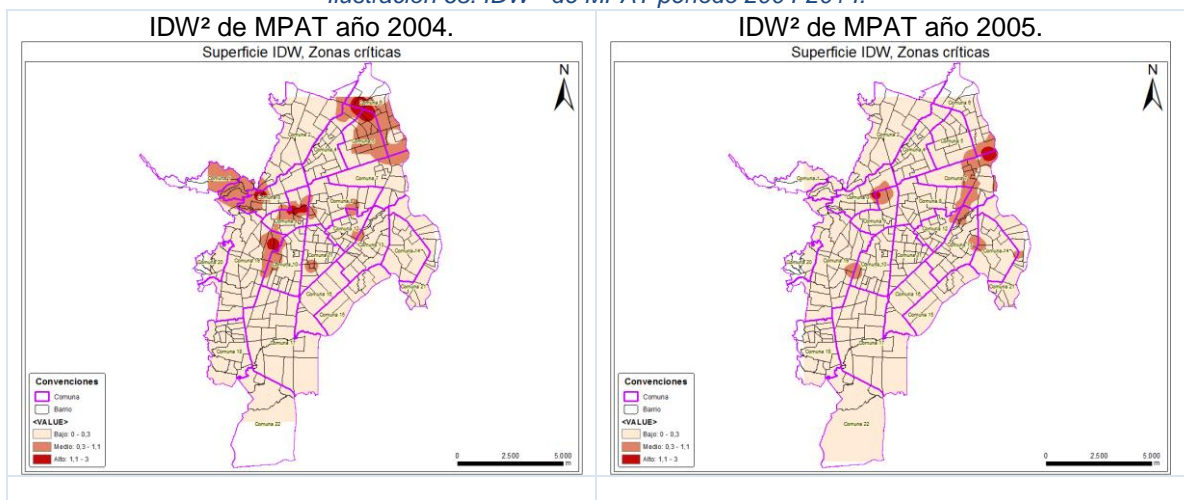
Ilustración 62. Superficie IDW cuadrada para el periodo 2004 - 2014.

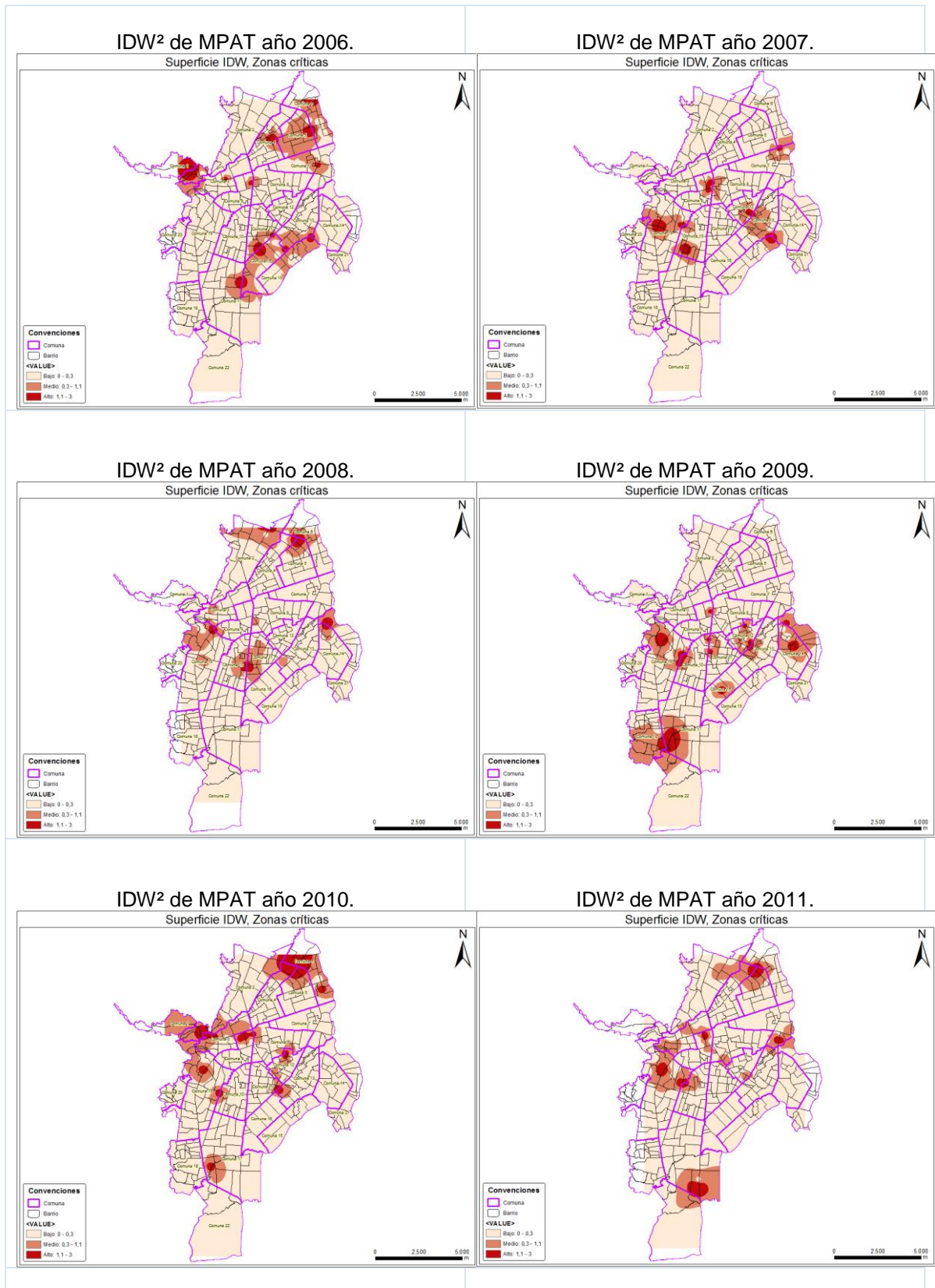


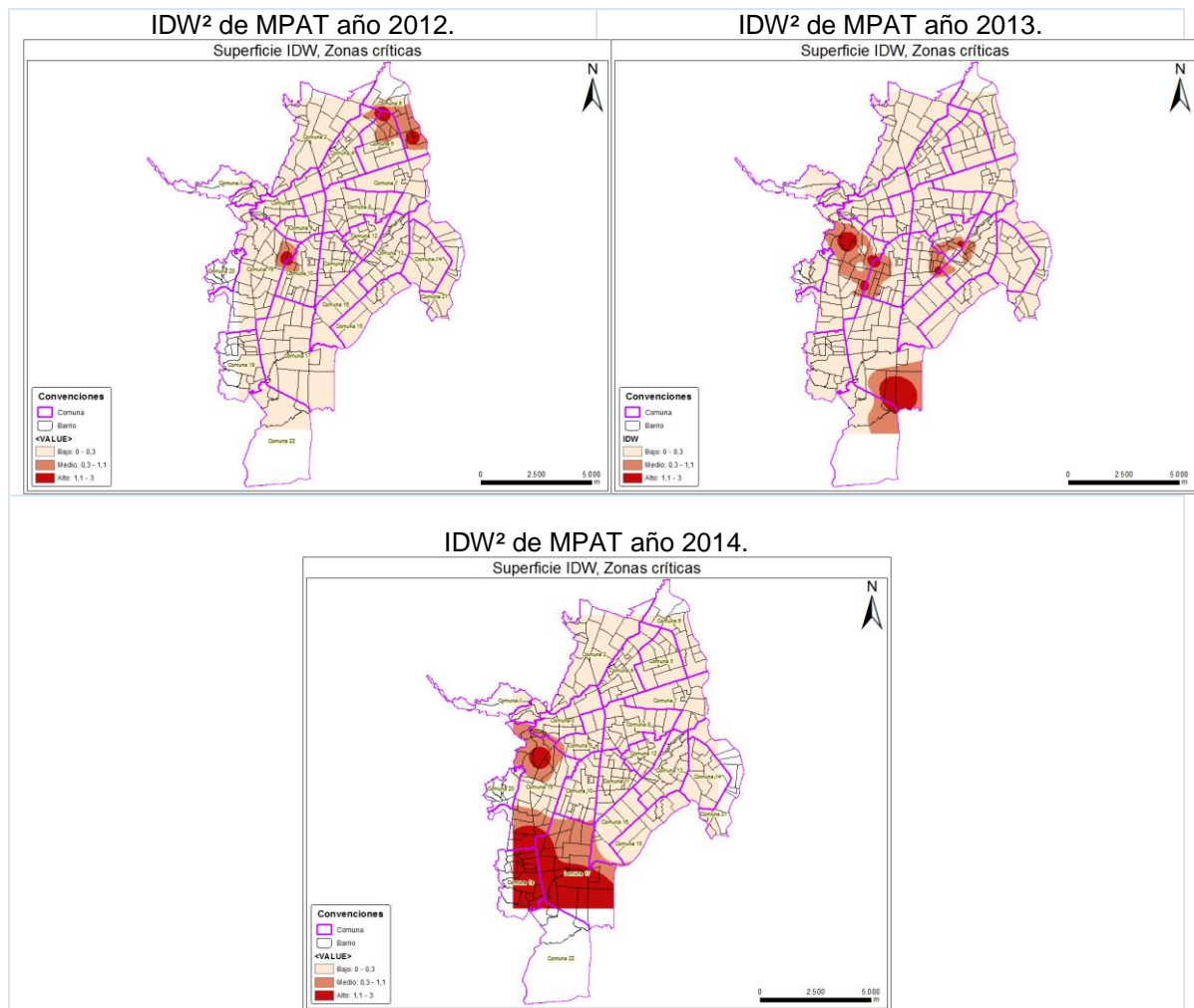
Fuente: Elaboración propia.

La descripción de los resultados del análisis de superficies IDW por año (2004 a 2014) se muestra en la Ilustración 63.

Ilustración 63. IDW<sup>2</sup> de MPAT periodo 2004-2014.







Fuente: Elaboración propia.

De las superficies IDW<sup>2</sup> continuas creadas a partir de los HotSpot se observa que existen zonas críticas frecuentes en varios años a pesar de los grandes cambios en infraestructura vial que se han desarrollado en esos sitios. Las zonas críticas que más se repiten son: Calima, Autopista Sur (Champagnat), Calle 5ta (Estadio y Club Noel), Simón Bolívar (Univalle), El Peñón (Calle 5ta y Hotel Inter), Calle 70 (Vía Férrea y Ciudad de Cali).

Se debe tener en cuenta que los puntos calientes y superficies IDW se construyen a partir de una agrupación de MPAT cercanas (100m) y no se realiza un análisis de cada muerte en el sitio exacto sino en la zona cercana a su ocurrencia; sin embargo con la experiencia, documentación (reportes de prensa, informes, estadísticas) y visita a las zonas se establece el lugar exacto y propenso a accidentes de tránsito.



### 7.1.6. Identificación de Zonas críticas de MPAT en la zona urbana de Cali.

A partir del análisis de las superficies IDW obtenidas, se realiza una identificación de las zonas críticas de MPAT que son recurrentes en el tiempo de manera continua o que se presentan en años que no tienen que ser consecutivos. Las zonas críticas en las que se presentan agrupación de MPAT en un año pero que no son recurrentes, se analizan dentro del contexto de ese año en particular y de los eventos que pudieron intervenir en la ocurrencia del fenómeno.

Se clasificaron las zonas críticas teniendo en cuenta la agrupación de incidentes durante el periodo 2004 – 2014 y posteriormente se relacionan estas zonas año a año según su aparición<sup>6</sup>, como se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 10. Identificación de zonas críticas de MPAT en Cali.*

Zona crítica			Número incidentes periodo 2004 - 2014	Años de recurrencia de zona crítica
Código	Nombre	Ubicación		
Zc1	Nueva Floresta, Au. Simón Bolívar	CL70 entre TV28D y KR23	59	2004, 2005, 2007, 2009, 2013
Zc2	Champagnat, Coleseguros	Autopista Sur C10 entre KR30 y KR36	55	2004, 2007, 2009, 2011, 2012, 2013
Zc3	Obrero, CL 26	CL 26 entre KR 10 y KR15	54	2006, 2007, 2009, 2010, 2011
Zc4	San Fernando viejo, Estadio, Club Noel	CL5 con KR36 y CL5 con KR24	50	2008, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014
Zc5	Calima, Alcázares	CL70 con KR1	38	2004, 2008, 2010, 2011, 2012
Zc6	Belalcazar – KR15	KR 15 entre CL15 y CL26	38	2004, 2007, 2011
Zc7	La Rivera, Ciudad de Cali	CL70 entre CL73A, K1D y KR3	37	2006, 2010, 2012
Zc8	Alfonso López I	CL70 con KR7	29	2005, 2007
Zc9	Asturias, Au-Sur	KR23 con CL44	24	2009, 2010,
Zc10	Urb. San Joaquín, Univalle	KR98 entre CL16 y CL25 (Au. Simón Bolívar)	20	2011, 2013, 2014
Zc11	San Antonio, El Peñón	CL5 entre KR1 y KR10	17	2004, 2010
Zc12	PTAR, Alirio Mora	KR26 entre CL73B y CL74	15	2008, 2009, 2011

*Fuente: Elaboración propia.*

Se identificaron principalmente 12 Zonas críticas en el área urbana de Cali donde se presentaron mayor agrupación de MPAT y una recurrencia durante varios años. El registro fotográfico de cada zona se muestra en el Anexo 5.

<sup>6</sup> Se tiene en cuenta las zonas con un número de incidentes mayor a 10 muertes y que se repita por lo menos en dos años no consecutivos.

## 7.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

No todas las muertes por accidentes de tránsito durante el periodo 2004 y 2014 en la zona urbana de Cali pudieron ser georreferenciadas, es decir que solo el 61% de un total de 3300 pudieron contar con una posición geográfica. Ese 39% de información está excluida de todo tipo de análisis espacial y por lo tanto puede influir drásticamente en los resultados reales en temas de modelos o predicciones. Se deben crear estrategias que permitan posicionar geográficamente la mayor parte de las direcciones ya que se observaron algunos registros con información incompleta que dificulta su correcta ubicación.

Las estadísticas muestran una tendencia directa de las MPAT con el factor humano, lo cual según estudios recientes no es una sorpresa. La relación de muertes entre el género masculino y femenino es de 2 a 1 (Kruger & Nesse, 2004) y por lo general las víctimas son adolescentes y adultos jóvenes entre 20 y 29 años lo cual reafirma lo mostrado por el FPV (2012) durante el recuento de la accidentalidad de los últimos años. Este periodo de edad está relacionado con la actitud de asumir riesgos (Gómez-Jacinto, 2011; Kruger & Fitzgerald, 2011), también puede relacionarse a las actividades a las que frecuentemente acuden los adolescentes y jóvenes adultos que involucra el consumo de licor y alucinógenos.

El nivel educativo y la posición social también está relacionado inversamente con las multas y las muertes, lo cual permite pensar que una persona con un alto nivel escolar y una buena condición económica, exceptuando peatones, tiene una mejor conducta y conciencia a la hora de conducir que aquellos que están sometidos al estrés físico y emocional de su vida cotidiana y a un menor grado de soluciones cognitivas.

De acuerdo al tipo de vehículo que presenta mayor grado de accidentalidad y muerte encontramos las motocicletas. Lo anterior confirma el aumento del número de motociclistas en la vía que se puede evidenciar a diario en noticieros locales o en la misma carretera y se puede ver relacionado al bajo valor de adquisición de este vehículo y las pobres condiciones de transporte a las que están sometidos los caleños que producen un aumento del tráfico en la zona urbana.

Con la acumulación de MPAT creando ocurrencias puntuales, se determinan puntos con mayor número de eventos y realizando una interpolación se generan superficies. Esto permite la identificación de zonas críticas dentro del perímetro urbano de la ciudad que se pueden visualizar año tras año. Algunas de esas zonas 'rojas' son recurrentes en varios años y contrastando con el valor obtenido en los puntos calientes (HS) se puede determinar la frecuencia de MPAT a su alrededor. Las imágenes con los resultados permiten clasificar las zonas críticas por mayor número de frecuencia de MPAT cercanas y mayor recurrencia año tras año.

Según los datos obtenidos de puntos calientes (HS) de cada año se puede concluir que la comuna 19, (San Fernando Viejo, Champagnat) y la comuna 3 (Centro, Obrero, Calvario) presentan un alto grado de ocurrencia de accidentes y MPAT. Estas comunas presentan una afluencia de peatones alta y también un alto flujo vehicular por su nivel turístico, cultural y comercial. Estas dos variables, sumadas a posibles faltas de planificación y de seguridad, producen altas congestiones y frecuentes accidentes.

En los barrios San Antonio, El peñón y zonas altas se puede atribuir las altas tasas de accidentalidad a las velocidades que pueden alcanzar los vehículos en las bajadas y a la falta de control que existía algunos años atrás.

En el barrio Calima ha existido siempre un problema el ancho de la vía frente a la 14 de Calima, ya que las personas prefieren atravesar la carretera de dos calzadas entre 70 y 100m de ancho y no cruzar por los puentes peatonales.

## 8. CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un sistema de información geográfica para la visualización y análisis de 1998 muertes por accidentes de tránsito en la zona urbana de Cali, de un total de 3300. El resto fueron registros que no tenían una buena indicación de la ubicación.
- El no contar con la posición de todos los registros de la BD, se puede ver afectado el análisis geográfico con respecto a las estadísticas obtenidas que trabajan con toda la información alfa-numérica.
- La georeferenciación de las muertes por accidentes de tránsito permitió visualizar los incidentes ocurridos durante los años 2004 a 2010 utilizando cartografía base de comunas, barrios, malla vial en la zona urbana de Cali. Este tipo de visualización permite análisis que no se pueden conseguir solamente con la base de datos alfa - numérica.
- Según el análisis de estadísticas de MPAT se concluye que los meses donde más ocurren incidentes son diciembre (267) y julio (243). Los días de mayor ocurrencia son domingos (523) y lunes (559). La edad de mayor cantidad de muertes es de 20 a 29 años (587). Mayormente ocurren estos accidentes en hombres (2193). Las víctimas tenían en mayor cantidad un grado de escolaridad básica (1552). Mayor causa de MPAT es el exceso de velocidad (164) o irrespeto de señales de tránsito (179). Mueren con mayor frecuencia los conductores (1257) y peatones (1118). El estrato más afectado es el 3 (811). Mueren más personas que conducen moto (974) y la mayor causa es el atropello a personas (1240).
- Se elige una distancia de 100m para considerar agrupar un incidente con otro. Esto se hace teniendo como base el doble del tamaño promedio de una manzana catastral de Cali o distancia promedio entre un semáforo y otro.
- De acuerdo al análisis de puntos calientes se logró identificar que el año donde ocurrieron la mayor cantidad de MPAT fue el 2009 y la comuna con mayores ocurrencias fue la 19, principalmente en la Autopista Sur Oriental de Cali.
- Después del análisis de superficie IDW se logran identificar 12 las zonas críticas donde ocurren la mayor cantidad de MPAT en la zona urbana de Cali. Teniendo en cuenta el número de incidencias desde la mayor hasta un mínimo de incidencias de 10 durante el periodo 2004 - 2014. También se realiza un análisis año por año para detectar la repetición de incidentes por zona.



## 9. RECOMENDACIONES

- Se debe mejorar la metodología, tecnología y formato de registro de los accidentes de tránsito en general para que se pueda georeferenciar de manera eficiente cada incidente. Evitar información redundante e incompleta, y que los incidentes se registren en la dirección exacta o posición (GPS)
- Los incidentes de accidentes de tránsito y muertes deben posicionarse exactamente sobre la vía, eliminando la ubicación del lado derecho o izquierdo que realiza el proceso de Geocodificación.
- Es importante que los organismos de tránsito puedan vincular un sistema de información geográfica, como el realizado en este proyecto, para el manejo y análisis de las muertes por accidentes de tránsito en Cali y poder llevar un registro de las zonas críticas que permita reducir la frecuencia de incidentes en dichas zonas.
- Se debe considerar aplicar la metodología propuesta en este trabajo para la georeferenciación e identificación de zonas críticas en la zona rural de Cali.
- En un estudio posterior se debe realizar una caracterización de las zonas críticas identificadas con el fin de detectar las posibles causas de las MPAT en dichas zonas y las variables físicas y geométricas involucradas en dichas zonas, según el análisis de requerimientos.
- Se debe considerar construir un modelo de muertes por accidentes de tránsito en la zona urbana de Cali con el análisis realizado en este trabajo.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Apuntes de clase. (s.f.).

Arburola. (1992).

Chías, B., & Luna, G. L. (1999). *El uso del SIG en el análisis de la distribución de accidentes en carreteras: El caso de Tamaulipas*.

DAPM. (2013). Cali en Cifras. *Cali en Cifras*. Cali.

E, M. G., & T, C. E. (2011). Determinación de zonas susceptibles a accidentes de tránsito en el Cantón Rumiñahui. Sangolquí, Ecuador.

Esri. (2015). *Arcgis Resources*. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/main/>

Fondo de Prevención Vial. (2011). Identificación y propuestas de solución en cinco puntos críticos de accidentalidad de peatones de cinco ciudades colombianas. Cali, Colombia.

Getis, A., & Ord., J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis* 24, Nº 3.

Ministerio de Transporte. (2005). Manual para el diligenciamiento del formato del informe policil de accidentes de tránsito. *Resolución 6020 de 2006*. Colombia.

Norza C., E. H., Granados L., E. L., Useche H., S. A., Romero H., M., & Moreno R., J. (2014). Componentes descriptivos y explicativos de la accidentalidad vial en Colombia: incidencia del. *Revista Criminalidad*, 56: 157 - 187.

Perczek, R. (2013). *Inventario de las investigaciones en seguridad vial en Colombia*.

Prieto, G. A. (2012). *Apuntes de clase - Interpolación*. Obtenido de Massachusetts Institute of Technology: <http://www.mit.edu/>

Procalculo - Prosis S.A. (2011). *Como se deben escribir las direcciones*. Bogotá.

Whitten, Bentley, & Barlow. (1996). *Análisis y diseño de sistemas de información*. McGraw-Hill Interamericana.

## 11. ANEXOS

### ANEXO 1. ASPECTOS NORMATIVOS A CONSIDERAR.

**LEY 769 DE 2002 (agosto 6):** Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones.

#### TITULO I - DISPOSICIONES GENERALES

CAPITULO I - PRINCIPIOS

CAPITULO II - AUTORIDADES

CAPITULO III - REGISTROS DE INFORMACIÓN

#### TITULO II - RÉGIMEN NACIONAL DE TRÁNSITO

CAPITULO I - CENTROS DE ENSEÑANZA AUTOMOVILÍSTICA

CAPITULO II - LICENCIAS DE CONDUCCIÓN

CAPITULO III - VEHÍCULOS

CAPITULO IV - LICENCIA DE TRÁNSITO

CAPITULO V - SEGUROS Y RESPONSABILIDAD

CAPITULO VI - PLACAS

CAPITULO VII - REGISTRO NACIONAL AUTOMOTOR

CAPITULO VIII - REVISIÓN TÉCNICO-MECÁNICA

#### TITULO III - NORMAS DE COMPORTAMIENTO

CAPITULO I - REGLAS GENERALES Y EDUCACIÓN EN EL TRÁNSITO

CAPITULO II - PEATONES

CAPITULO III - CONDUCCIÓN DE VEHÍCULOS

CAPITULO IV - PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO

CAPITULO V - CICLISTAS Y MOTOCICLISTAS

CAPITULO VI - TRÁNSITO DE OTROS VEHÍCULOS Y ANIMALES

CAPITULO VII - TRÁNSITO DE PERSONAS EN ACTIVIDADES COLECTIVAS

CAPITULO VIII - TRABAJOS EVENTUALES EN LA VÍA PÚBLICA

CAPITULO IX - PROTECCIÓN AMBIENTAL

CAPITULO X - CLASIFICACIÓN Y USO DE LAS VÍAS

CAPITULO XI - LÍMITES DE VELOCIDAD

CAPITULO XII - SEÑALES DE TRÁNSITO

CAPITULO XIII - PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE TRÁNSITO

#### TITULO IV - SANCIONES Y PROCEDIMIENTOS

CAPITULO I - SANCIONES

CAPITULO II - SANCIONES POR EL INCUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS DE TRANSITO

CAPITULO III - COMPETENCIA - NORMAS DE COMPORTAMIENTO

CAPITULO IV - ACTUACIÓN EN CASO DE IMPOSICION DE COMPARENDO AL CONDUCTOR PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO

CAPITULO V - RECURSOS

CAPITULO VI - PROCEDIMIENTO EN CASO DE DAÑOS A COSAS

CAPITULO VII - ACTUACION EN CASO DE INFRACCIONES PENALES

CAPITULO VIII - ACTUACION EN CASO DE EMBRIAGUEZ

CAPITULO IX - SANCIONES ESPECIALES

CAPITULO X - EJECUCION DE LA SANCION

CAPITULO XI - CADUCIDAD

CAPITULO XII - APLICACIONES DE OTROS CODIGOS Y DISPOSICIONES FINALES

## ANEXO 2. FORMATO DE INFORME POLICIAL DE ACCIDENTES DE

**INFORME POLICIAL DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO N° 00000000**

Logo oficina de tránsito

1. OFICINA: 1 1 0 0 1 0 0 0

SECRETARIA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE BOGOTÁ

2. GRAVEDAD: CON MUERTOS (1), CON HERIDOS (2), SOLO DAÑOS (3)

República de Colombia  
Ministerio de Transportes

4. LUGAR: X Y COORDENADA GEOGRÁFICA

4.1 LOCALIDAD O COMUNA

5. FECHA Y HORA: DIA, MES, AÑO; L M M J V S D; HORA OCURRENCIA, HORA LEVANTAMIENTO

6. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR: 6.1 AREA (URBANA, RURAL), 6.2 SECTOR (RESIDENCIAL, INDUSTRIAL, COMERCIAL, ESCOLAR), 6.3 ZONA (PASO INFERIOR, PASO A NIVEL), 6.4 DISEÑO (TRAMO DE VIA, VIA PEATONAL, PASO ELEVADO), 6.5 TIEMPO (NORMAL, LLUVIA, VIENTO, NIEBLA), 6.6 GLORIETA, 6.7 PUNTE, 6.8 VIA TRONCAL, 6.9 LOTE O PREDIO, 6.10 CICLORRUTA

7. CARACTERÍSTICAS DE LAS VIAS: 7.1 GEOMÉTRICAS (RECTA, CURVA, PLANO, PENDIENTE, CON BERMAS, CON ACERAS), 7.2 UTILIZACIÓN (UN SENTIDO, DOBLE SENTIDO, REVERSIBLE, CICLOVIA), 7.3 CALZADAS (UNA, DOS, TRES), 7.4 CARRILES (VARIABLE, CUATRO O MAS), 7.5 MATERIAL (ASFALTO, CONCRETO, AFIRMADO, TIERRA), 7.6 ESTADO (BUENO, CON HUECOS), 7.7 ILUMINACIÓN ARTIFICIAL (A CON SIN, B BUENA MALA), 7.8 ILUMINACIÓN ARTIFICIAL (A CON SIN, B BUENA MALA), 7.9 CONTROLES (AGENTE, SEMÁFORO, OPERANDO, INTERMITENTE, CON DAÑOS, APAGADO), 7.10 VISUAL DISMINUIDA POR (VEHÍCULO ESTACIONADO, ÁRBOL, VEGETACIÓN, CONSTRUCCIÓN O CASETA, AVISOS, VALLAS, POSTE, OTRA)

8. CONDUCTORES, VEHÍCULOS, PROPIETARIOS: 8.1 CONDUCTOR (1er APELLIDO, 2do APELLIDO Y NOMBRE, DOC, IDENTIFICACIÓN No., NACIMIENTO, SEXO, DIRECCIÓN DOMICILIO, CIUDAD, TELÉFONO, MUERTO, HERIDO, LICENCIA DE CONDUCCIÓN No., CATEGORÍA, RESTRICCIÓN, EXP, VCTO, OFICINA DE TRÁNSITO, CINTURÓN, HOSPITAL, CLÍNICA O SITIO DE ATENCIÓN, SE LLEVO A EMBRAGUEZ, NEGAT, GRADO, CASCO, EXAMEN DE DROGA, POSIT), 8.2 VEHÍCULO (PLACA, MARCA, LINEA, MODELO, CARGA TONS, No. PASAJEROS, COLOR, EMPRESA, INMOVILIZADO EN, A DISPOSICIÓN DE, POLIZA No., COMPAÑIA ASEGURADORA, VENCIMIENTO, SEGURO OBLIGATORIO), 8.3 PROPIETARIO (1er APELLIDO, 2do APELLIDO Y NOMBRE, DOC, IDENTIFICACIÓN No., EL MISMO CONDUCTOR), 8.4 CLASE (AUTOMÓVIL, BUS, BUSETA, CAMIÓN, FURGÓN, CAMIONETA, CAMPERO, MICROBUS, TRACTOCAMIÓN, VOLQUETA, MOTOCICLETA, M. AGRÍCOLA, M. INDUSTRIAL, BICICLETA, MOTOCARRO, TRACCIÓN ANIMAL, OTRO), 8.5 SERVICIO (OFICIAL, PÚBLICO, PARTICULAR, DIPLOMÁTICO, ESCOLAR), 8.6 SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL (SI, NO), 8.7 NACIONALIDAD (COLOMBIANA, EXTRANJERO), 8.8 FALLAS EN: FRENOS, DIRECCIÓN, LUCES, BOCINA, LLANTAS, SUSPENSIÓN

TODA PERSONA RETENIDA SE NOTIFICA DE LOS DERECHOS CONFORME AL CÓDIGO DE PROCEDIMIENTO PENAL

FPMAY Y C.C.

**9. CROQUIS**

HUELLA DE FRENADO

LUGAR DE IMPACTO

**10. VICTIMAS: PASAJEROS Y PEATONES**

VICTIMA No.	1er APELLIDO, 2do APELLIDO Y NOMBRE	NACIMIENTO DIA MES AÑO	DOC.	IDENTIFICACION No.	DIRECCION DOMICILIO	CIUDAD	TELEFONO	VEH. No.	CINTUR SI 1 NO 2	GRADO CASCO SI 1 NO 2
					HOSPITAL, CLINICA O SITIO DE ATENCION					

SE LLEVO A EMBRIAGUEZ EXAMEN DE: DROGA

NEGATIVO POSITIVO

**10.1 CONDICION**

PEATON PASAJERO

**10.2 SEXO**

MASCULINO FEMENINO

**10.3 GRAVEDAD**

MUERTOS HERIDOS

**TOTAL VICTIMAS INCLUYENDO CONDUCTORES**

HERIDOS MUERTOS

**11. TESTIGOS**

1er APELLIDO, 2do APELLIDO Y NOMBRE	DOC.	IDENTIFICACION No.	DIRECCION	TELEFONO	CIUDAD

**12. CAUSAS PROBABLES**

VEHICULO No. COD. CAUSA VERSION COND:

**13. OBSERVACIONES**

**14. ANEXOS**

NOMBRES Y APELLIDOS PLACA CORRESPONDIO

FIRMA ENTIDAD

ORIGINAL AUTORIDAD COMPETENTE

FIRMA Y CC

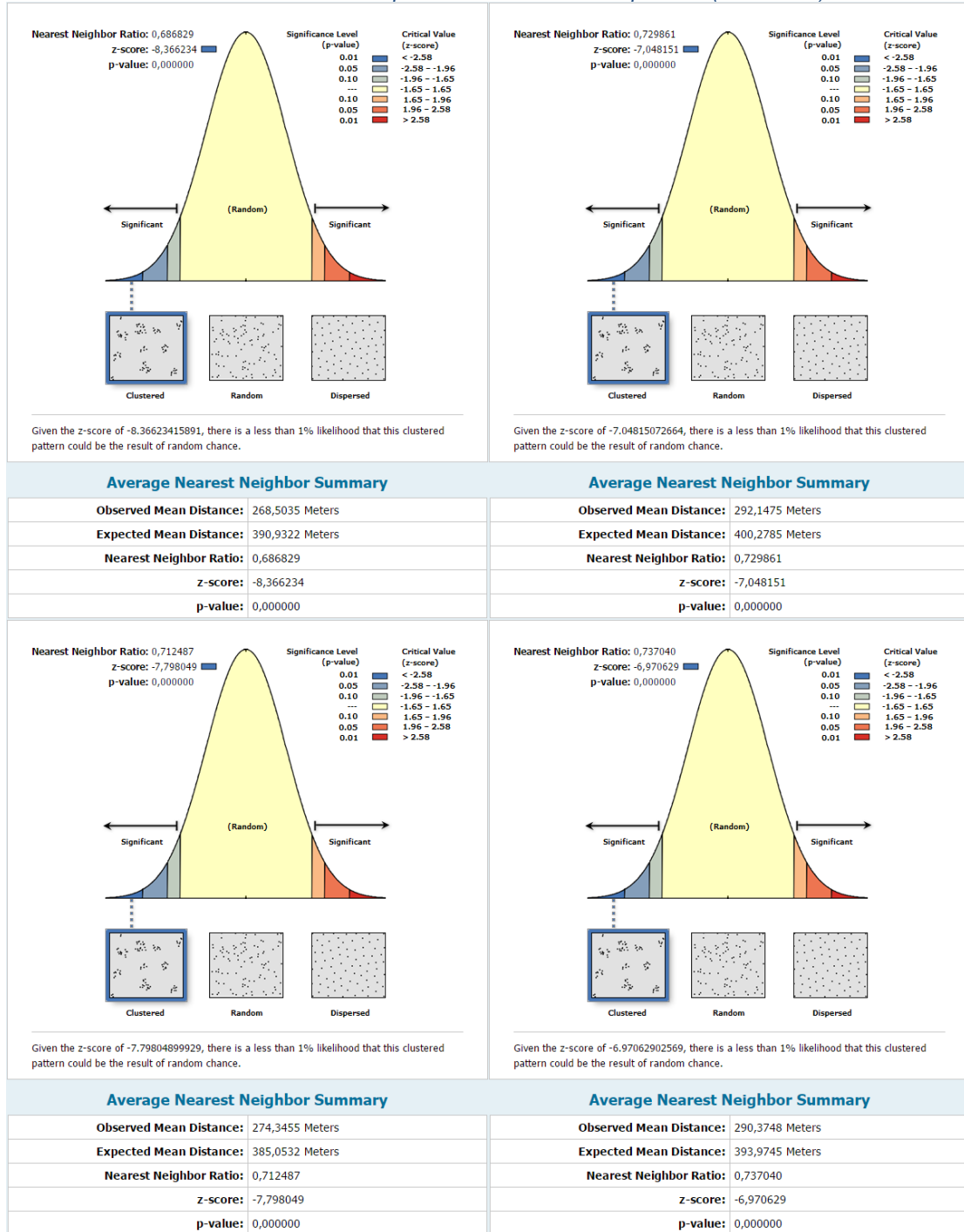
FIRMA Y CC

Código de barras

### ANEXO 3. RESULTADO EXPLORATORIO DE DATOS.

Se presenta el análisis exploratorio de MPAT por año durante el periodo 2004 – 2014 con el fin de determinar si existe o no agrupamiento (clúster) en la información.

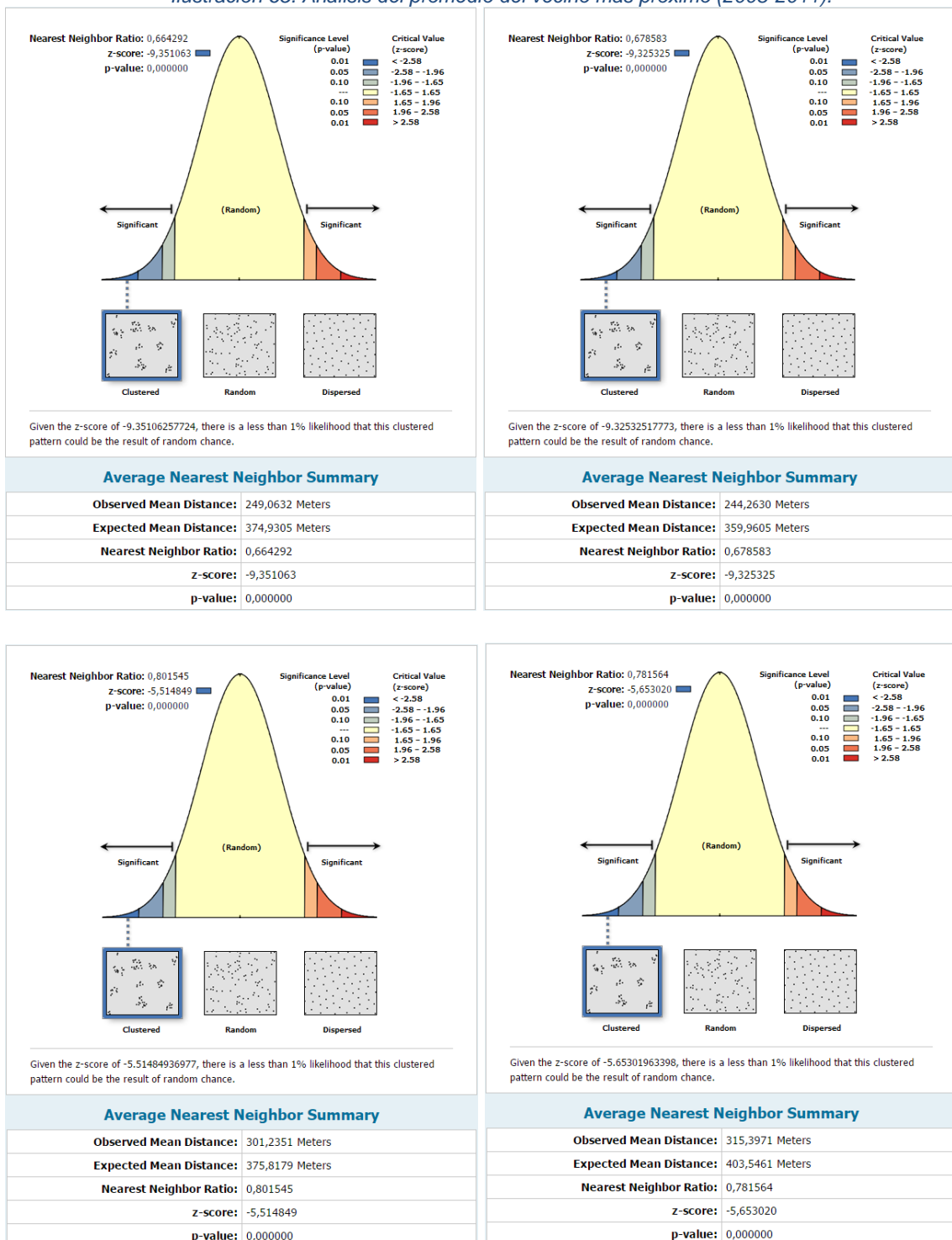
Ilustración 64. Análisis del promedio del vecino más próximo (2004-2007).



Fuente: Elaboración propia.

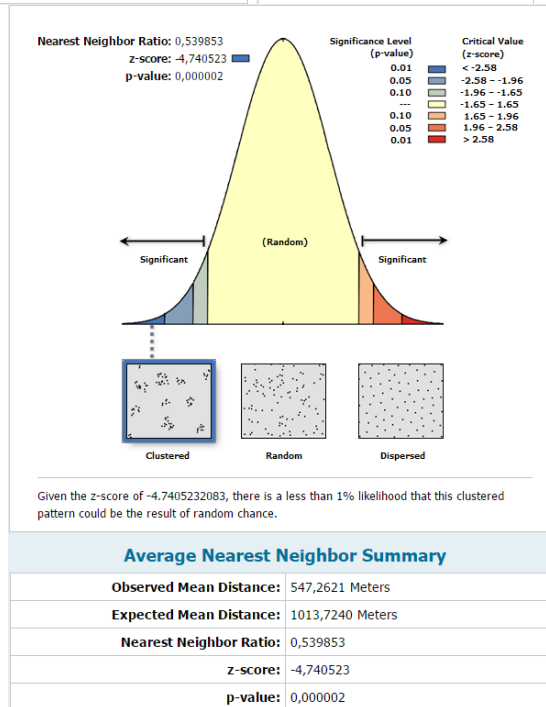
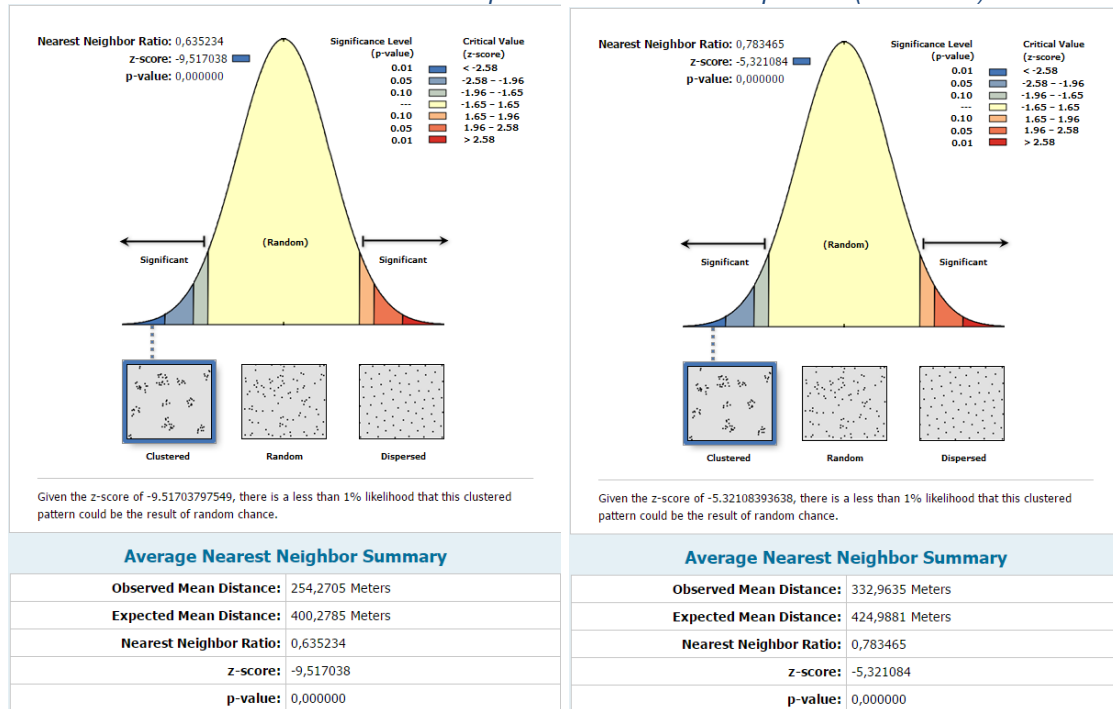


Ilustración 65. Análisis del promedio del vecino más próximo (2008-2011).



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 66. Análisis del promedio del vecino más próximo (2012-2014).



Fuente: Elaboración propia.

Todos los resultados arrojan un agrupamiento en los datos con un nivel de significancia del 0.1% de probabilidad de que se trate de una distribución aleatoria y una desviación estándar (z) menor a -2.58. Por lo tanto se puede rechazar la hipótesis nula.



### ANEXO 4. ANÁLISIS DE PUTOS CALIENTES POR AÑO.

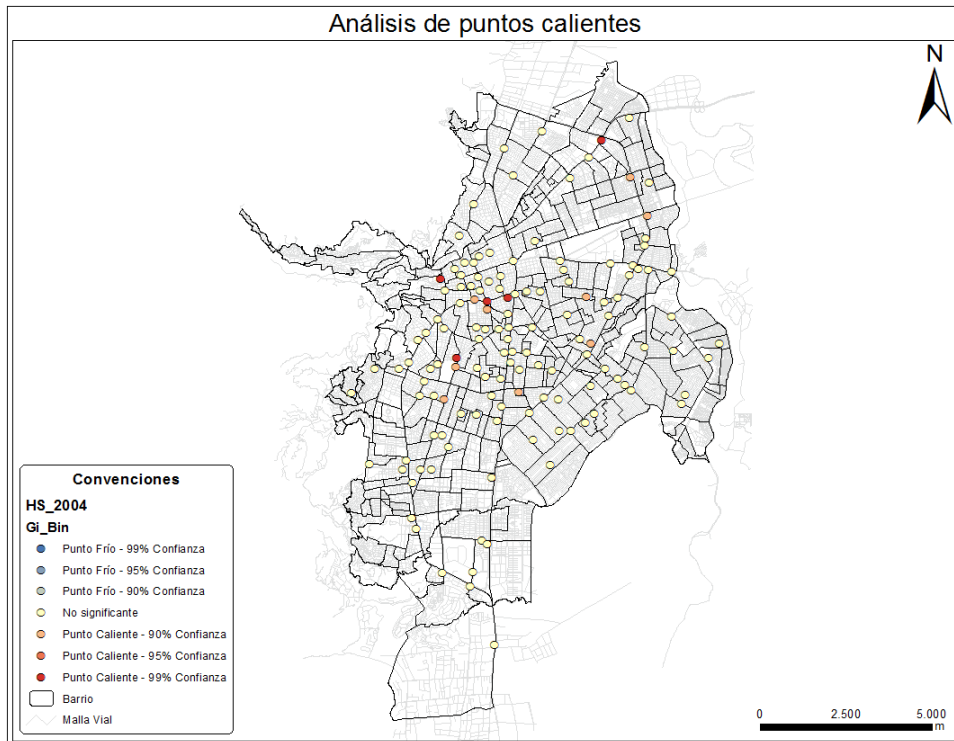


Ilustración 67. HotSpot año 2004, FDB = 192.72m. Fuente: Elaboración propia.

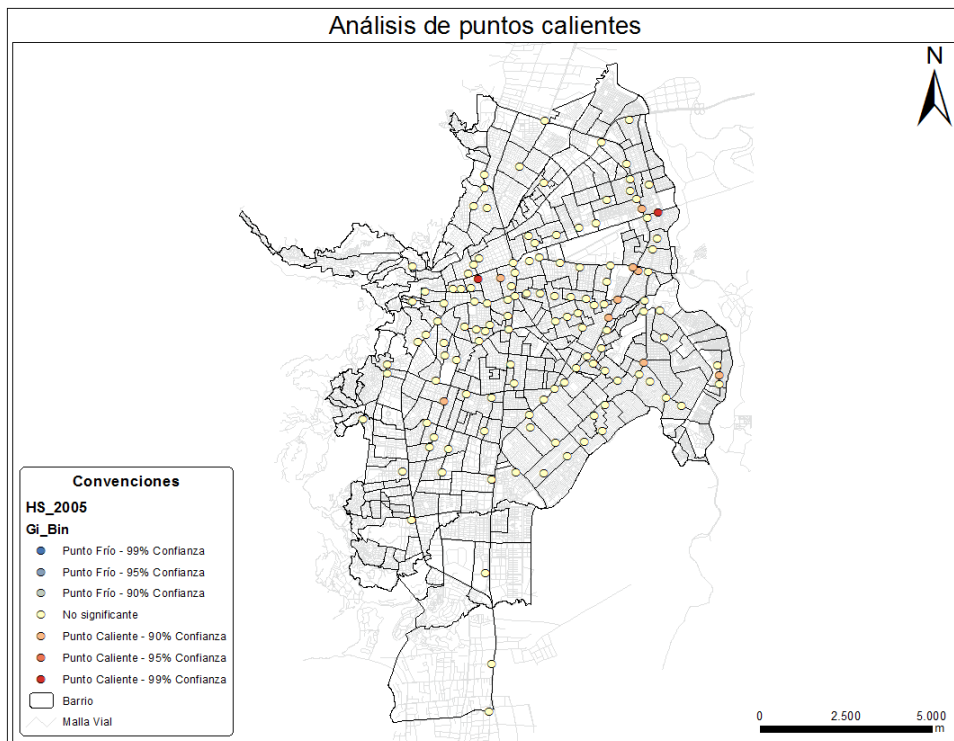
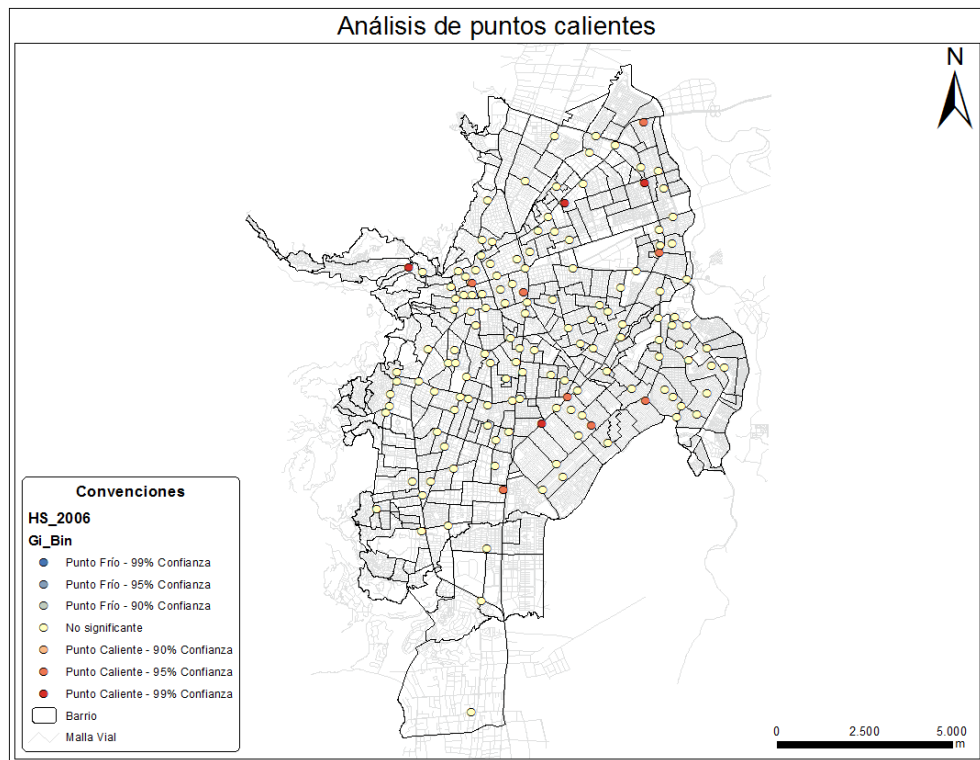
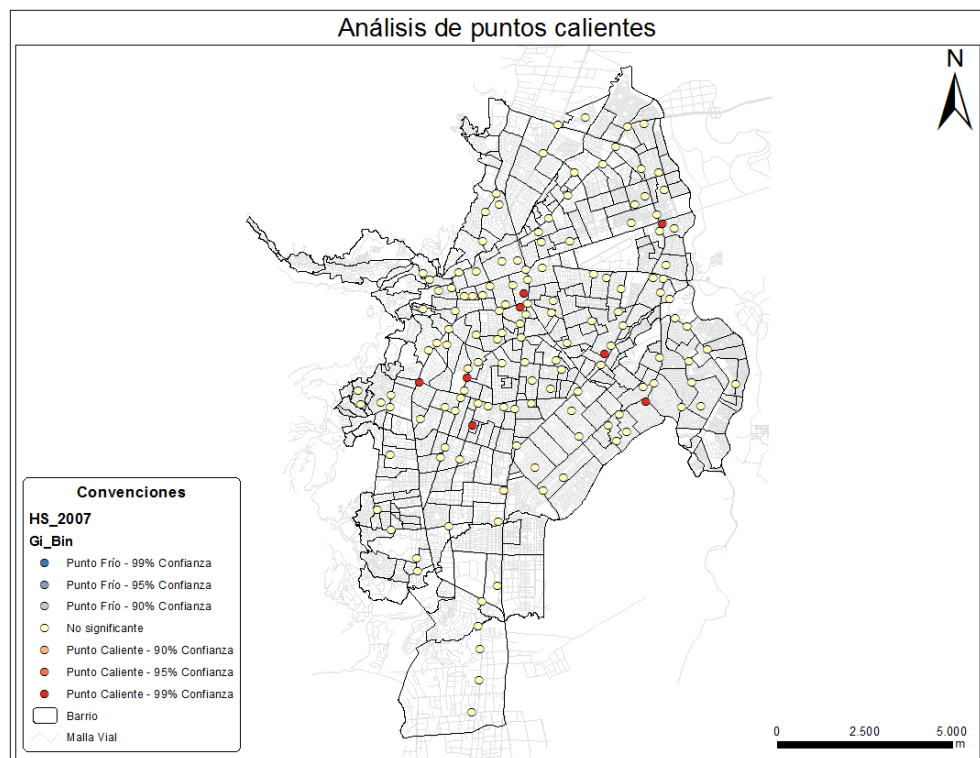


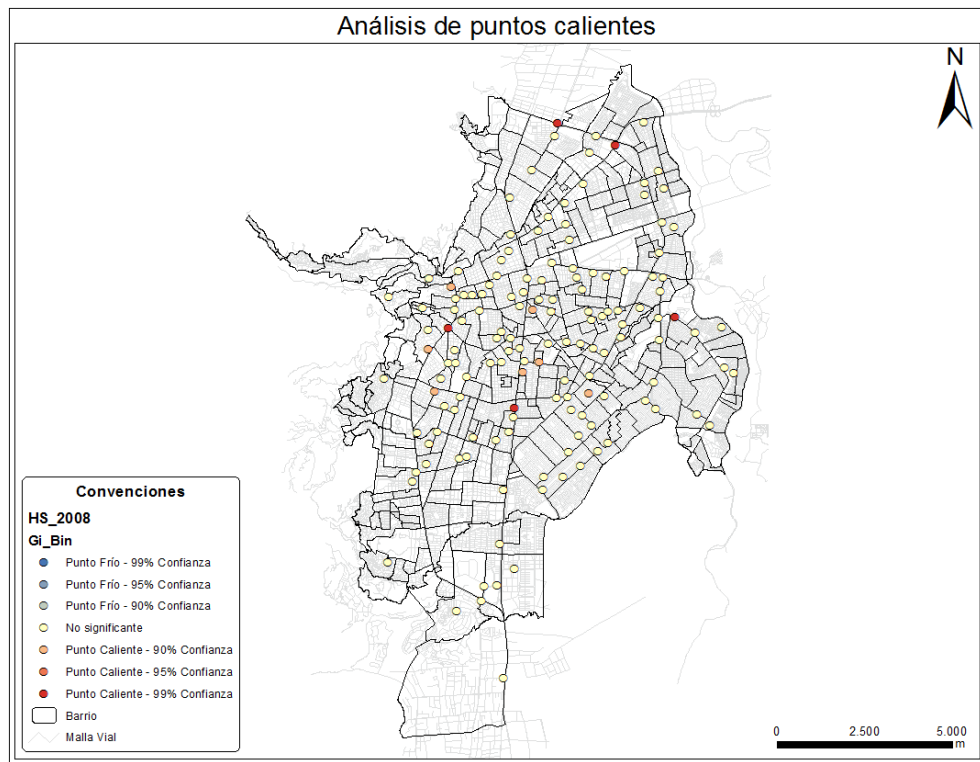
Ilustración 68. HotSpot año 2005, FDB = 193,06m. Fuente: Elaboración propia.



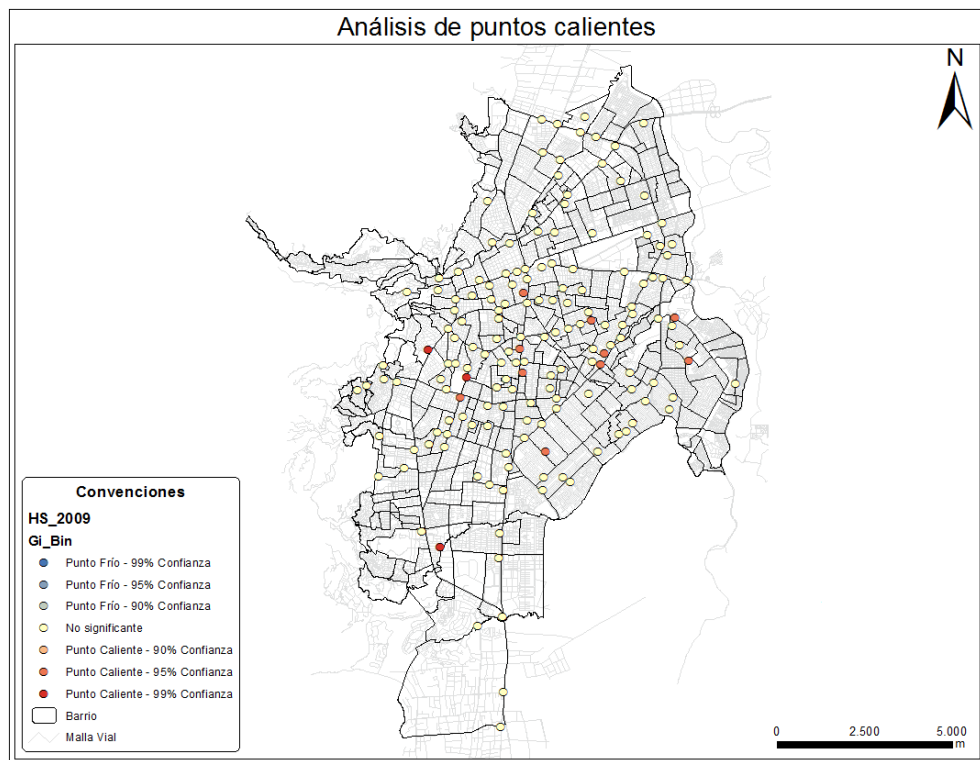
*Ilustración 69. HotSpot año 2006, FDB = 202,28 m. Fuente: Elaboración propia.*



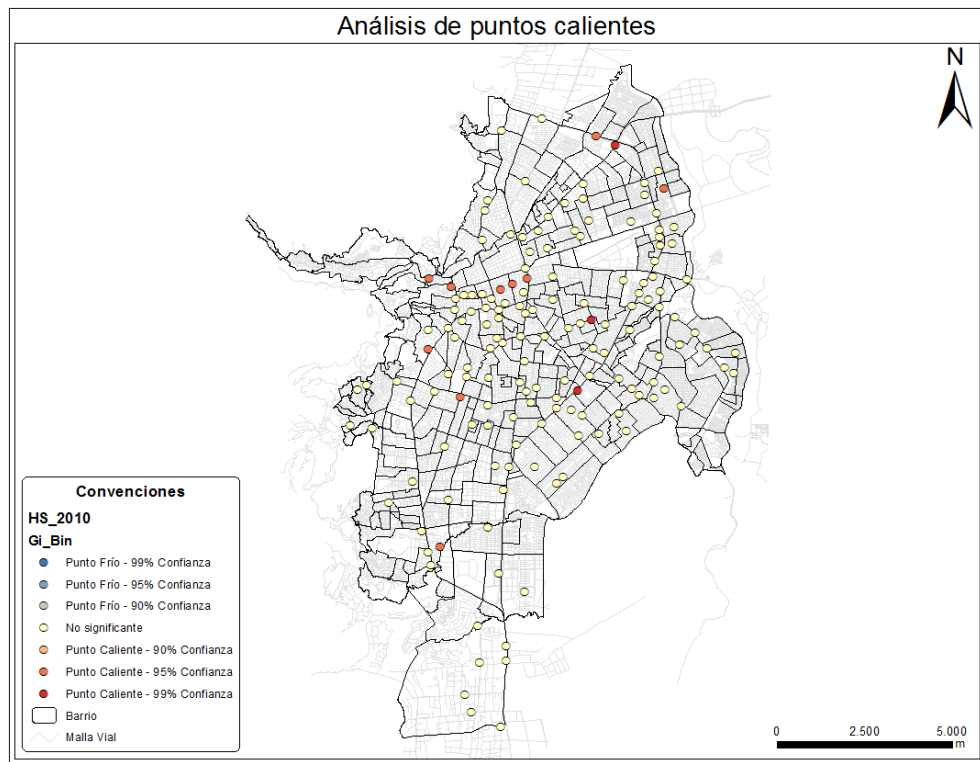
*Ilustración 70. HotSpot año 2007, FDB = 230,61 m. Fuente: Elaboración propia.*



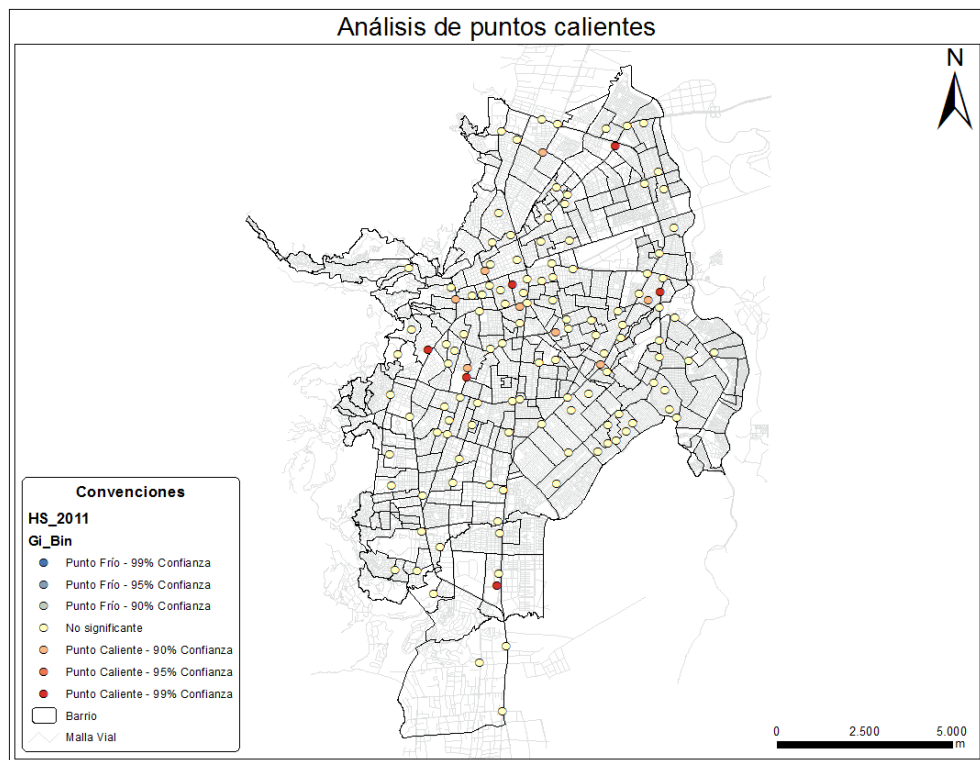
*Ilustración 71. HotSpot año 2008, FDB = 207,78 m. Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 72. HotSpot año 2009, FDB = 207,92 m. Fuente: Elaboración propia.*

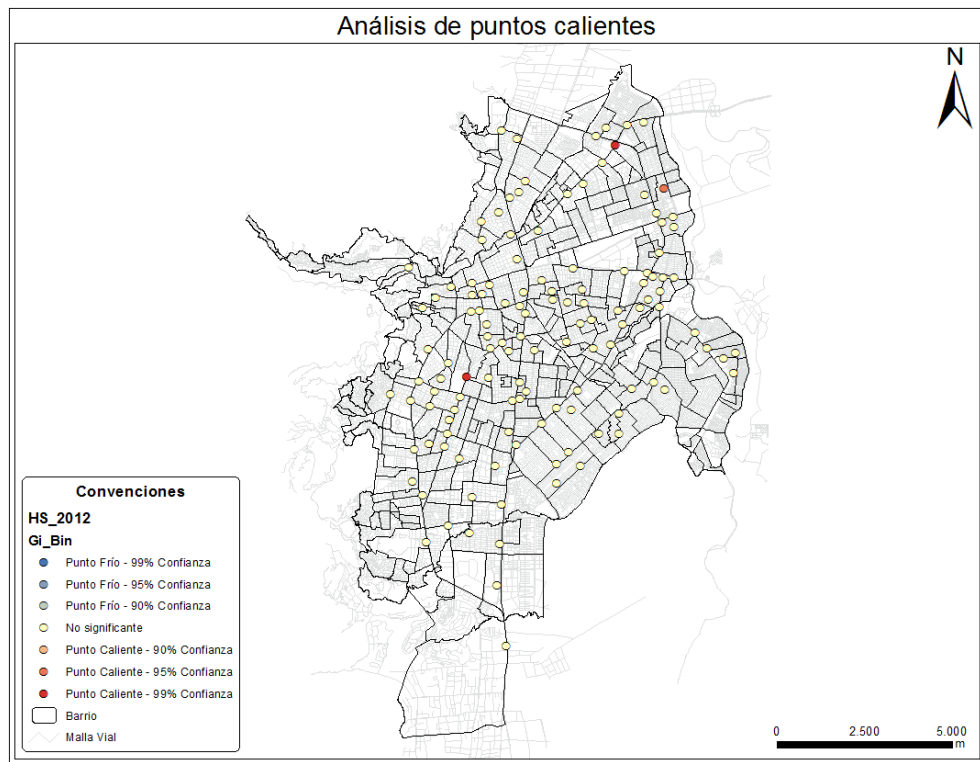


*Ilustración 73. HotSpot año 2010, FDB = 201,67 m. Fuente: Elaboración propia.*

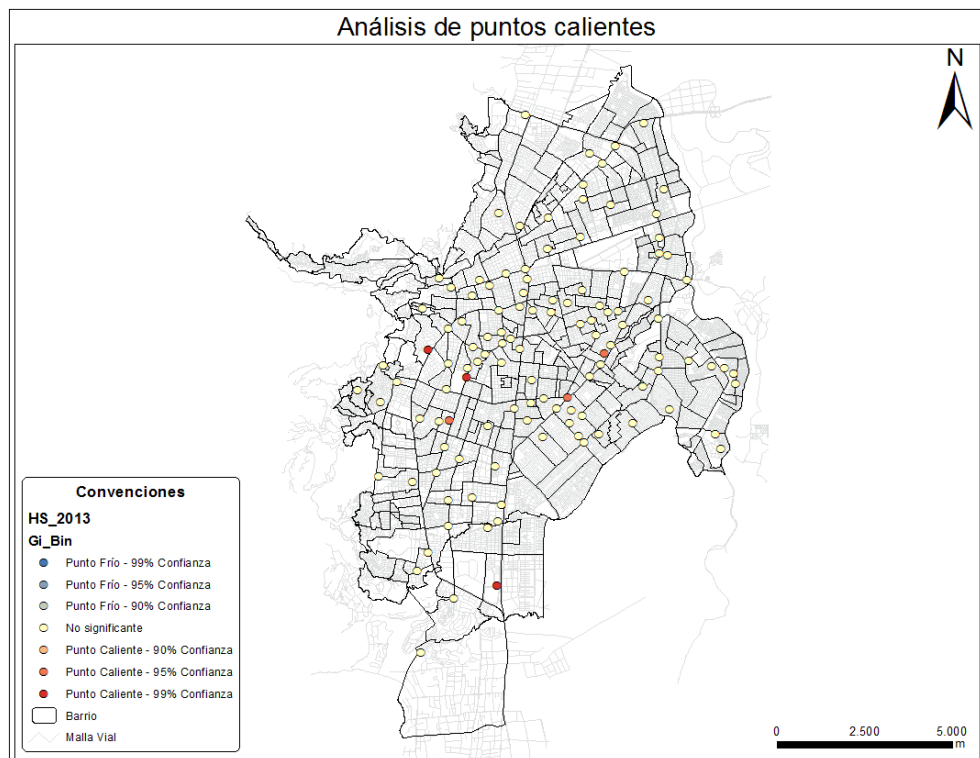


*Ilustración 74. HotSpot año 2011, FDB = 202,28 m. Fuente: Elaboración propia.*

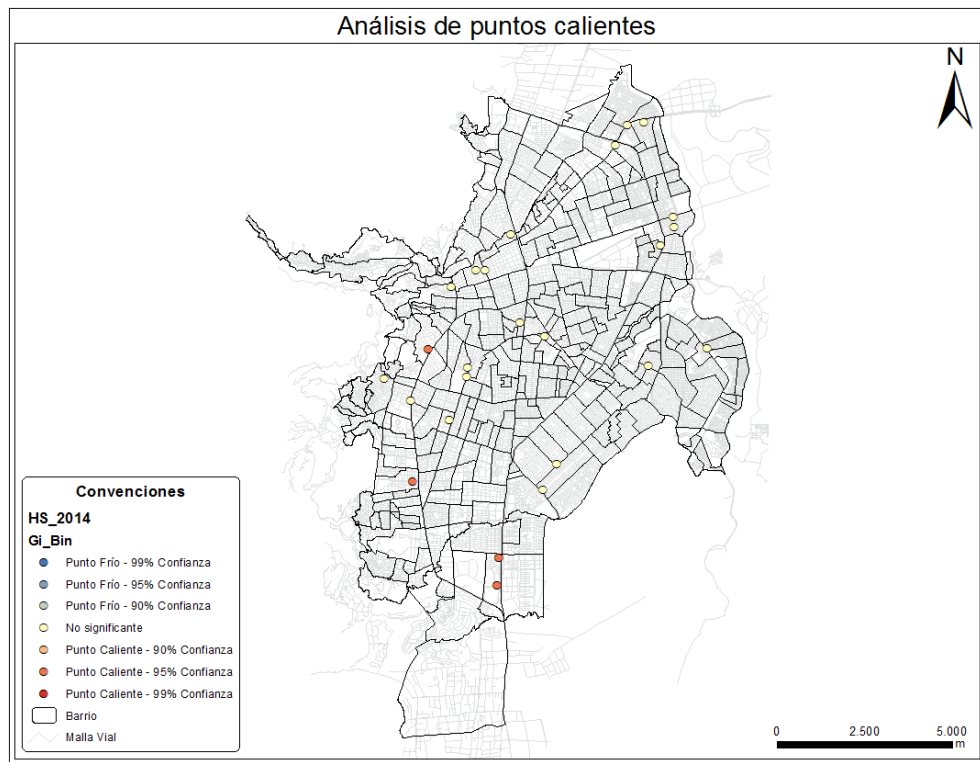




*Ilustración 75. HotSpot año 2012, FDB = 193,06 m. Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 76. HotSpot año 2013, FDB = 235,38 m. Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 77. HotSpot año 2014, FDB = 260,13 m. Fuente: Elaboración propia.*

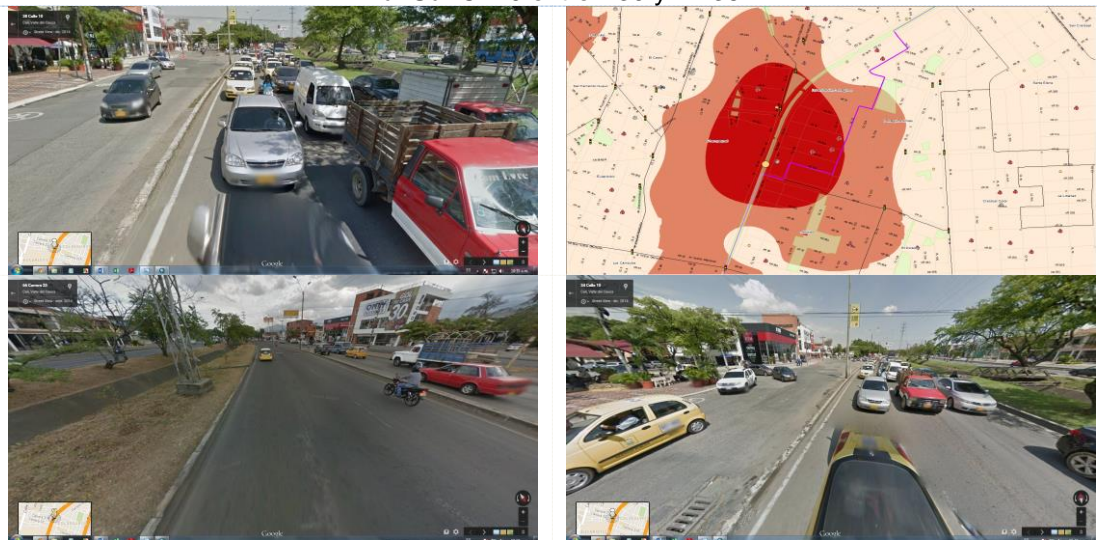
## ANEXO 5. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS DE MPAT.

Nueva Floresta – Au. Simón Bolívar  
CL70 entre TV 28D y KR 23



*Ilustración 78. Zona crítica #1. Fuente: Elaboración propia.*

Champagnat, Colseguros  
Au. Sur CL10 entre K30 y KR36



*Ilustración 79. Zona crítica #2. Fuente: Elaboración propia.*







Calima, Puente del Comercio, Alcázares  
CL 70 con KR 1

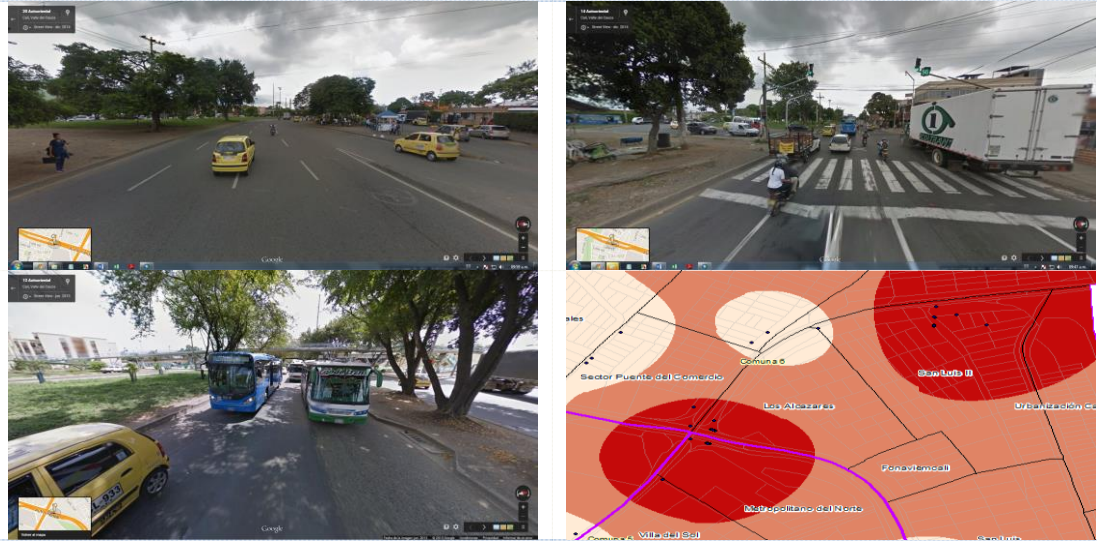


Ilustración 82. Zona crítica #5. Fuente: Elaboración propia.

Belalcázar – KR 15  
KR 15 entre CL 15 y CL 26



Ilustración 83. Zona crítica #6. Fuente: Elaboración propia.

La Rivera, Ciudad de Cali  
CL 70 entre CL 73ª, K 1D y KR 3

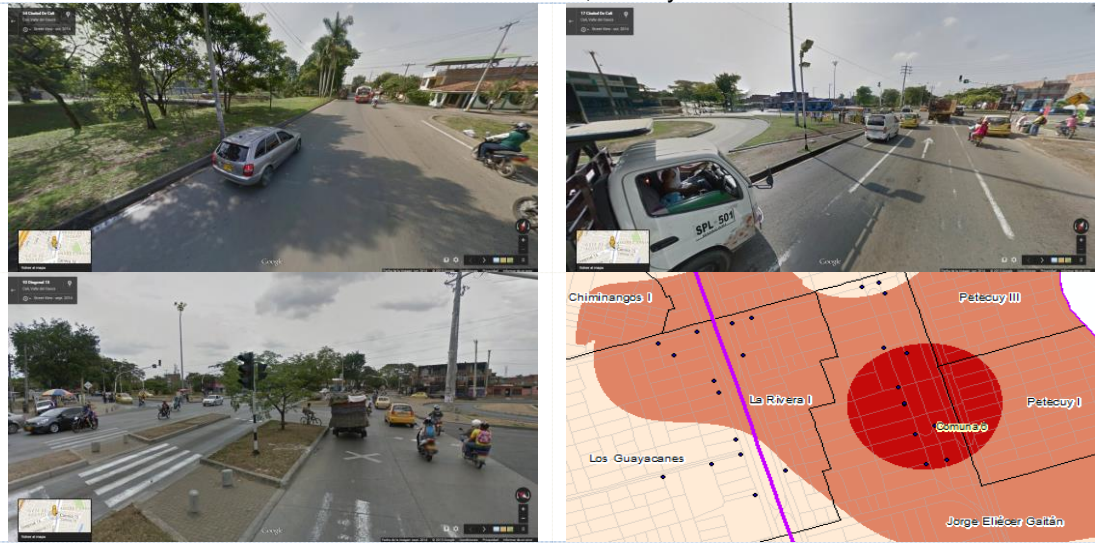


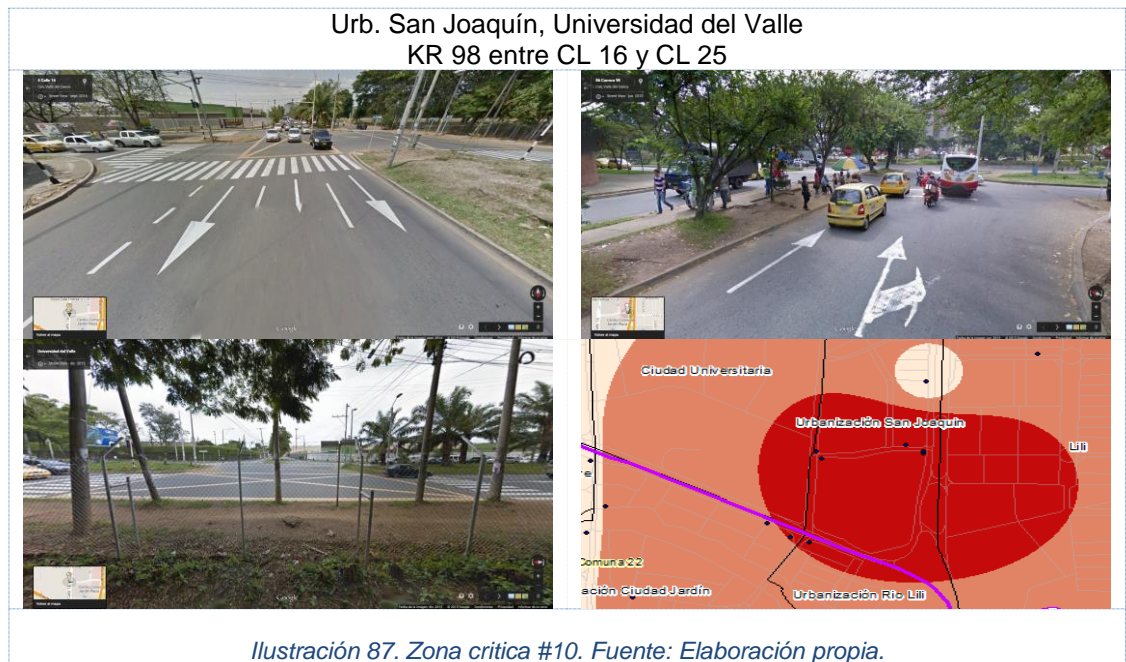
Ilustración 84. Zona crítica #7. Fuente: Elaboración propia.

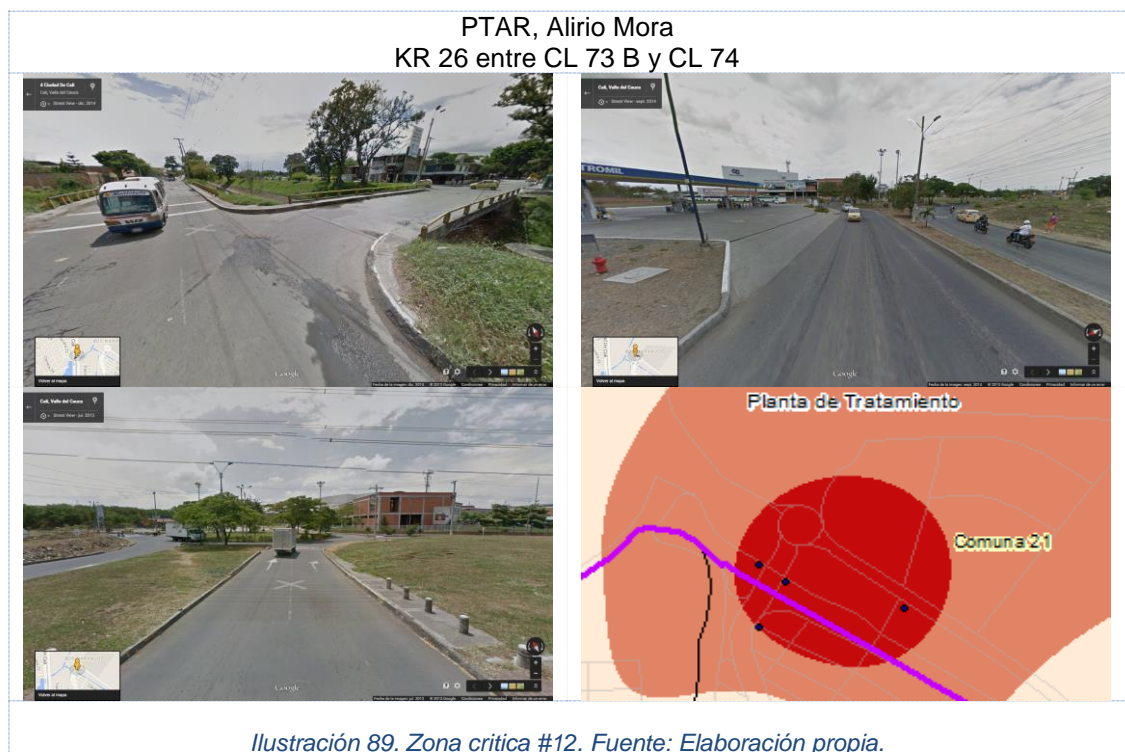
Alfonso López, Ciudad de Cali  
CL 70 con KR 7



Ilustración 85. Zona crítica #8. Fuente: Elaboración propia.







Algunas zonas críticas corresponden con resultados de otros estudios de accidentes de tránsito como el FPV 2012, el cual proponen correctivos para reducir los índices de accidentalidad en las zonas afectadas.