



**MODELO ESPACIAL DE MUERTES POR ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA
ZONA URBANA DE CALI, COLOMBIA DURANTE EL PERIODO 2004-2014.**

ROBIN ALEXIS OLAYA



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA “MAESTRÍA EN
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”
MANIZALES
2015**

**MODELO ESPACIAL DE MUERTES POR ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA
ZONA URBANA DE CALI, COLOMBIA DURANTE EL PERIODO 2004-2014.**

ROBIN ALEXIS OLAYA

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar al título de Magister
en Tecnologías de la Información Geográfica

Presidente
ALBERTO BOADA RODRÍGUEZ
MS. SIG en Aplicaciones Urbanas.

Vice-Presidente
CIRO JARAMILLO
Doctor en Ingeniería de Transporte.

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA “MAESTRÍA EN
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”
MANIZALES
2015**



AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

MS. 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.

PhD 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.

Julio Muñoz, Brigitte Pedraza, Julián Londoño y Wilson Cortez, integrantes del grupo IDESC – DAPM, por sus aportes, información y ayuda profesional.

Andrés Felipe Melo, compañero de Maestría, colega y amigo, por sus consejos y apoyo.

A mi Abuela Lucila Dossman por su dedicación y enseñanzas, a mi esposa Julieth Segura por su compañía y amor, a mi familia, amigos, colegas y compañeros de trabajo por su ayuda profesional, acompañamiento, ánimos y paciencia durante el proceso.

CRÉDITOS

Las personas que participaron en este proyecto fueron las siguientes:

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



CONTENIDO

	Pág.
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
5.2.1. Vulnerabilidad en accidentes de tránsito	22
5.3. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	23
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
5.4. GEOCODIFICACIÓN.....	28
5.5. ANÁLISIS DE PUNTOS CALIENTES (HOT SPOT).....	29
5.6. INTERPOLACIÓN DE DATOS (SUPERFICIES DE PREDICCIÓN)	31
5.7. MODELAMIENTO GEOESTADÍSTICO.	33
5.7.1. Modelamiento espacial	34
5.7.2. Modelamiento estadístico.	35
5.8. ANTECEDENTES EN EL ANÁLISIS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO.	39
5.8.1. Muertes por Accidentes de Tránsito en Cali – CISALVA 2009.....	39
5.8.2. Identificación de puntos críticos de AT en Cali (2011).	40
5.8.3. Propuestas de investigación de AT en Cali (2013)	41
5.8.1. Explicación sobre la accidentalidad vial en Colombia (2014).....	42
5.8.2. Otros antecedentes a nivel mundial.....	42
6. METODOLOGÍA	47
6.1. TIPO DE TRABAJO.....	47
6.2. PROCEDIMIENTO	48
6.2.1. Fase 1. Recopilación y revisión de información.	48
6.2.2. Fase 2. Análisis de requerimientos.	52
6.2.3. Fase 3. Espacialización de la información.	55
6.2.1. Fase 4. Identificación de patrones puntuales y zonas críticas.....	58

6.2.2.	Fase 5. Creación y ajuste del modelo espacial de MPAT.	62
7.	RESULTADOS.....	74
7.1.	DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.....	74
7.1.1.	Espacialización de MPAT durante el periodo 2004 – 2014.....	74
7.1.2.	Análisis de las estadísticas obtenidas de las MPAT.	76
7.1.3.	Análisis exploratorio de los datos.	85
7.1.4.	Análisis de puntos calientes de MPAT durante el periodo 2004 - 2014.....	86
7.1.5.	Análisis de superficie de interpolación de puntos calientes de MPAT.	88
7.1.6.	Identificación de Zonas críticas de MPAT en la zona urbana de Cali.....	92
7.1.7.	Identificación de variables: dependiente y explicativas.	94
7.1.8.	Análisis de Regresión exploratoria.....	95
7.1.9.	Regresión Lineal Múltiple – OLS	97
7.1.10.	Regresión Espacial – GWR.....	102
7.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	109
8.	CONCLUSIONES	114
9.	RECOMENDACIONES.....	116
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	117
11.	ANEXOS.....	120

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
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).....	24
Ilustración 7. Fases para la elaboración de un SIG.....	25
Ilustración 8. Diagrama E-R.....	26
Ilustración 9. Modelo relacional de bases de datos.	26
Ilustración 10. Modelo orientado a objetos.....	27
Ilustración 11. Etapas de diseño de una BD.	27
Ilustración 12. Geocodificación de direcciones.	28
Ilustración 13. Geocodificación de la dirección "Carrera 1D #62-70".....	29
Ilustración 14. Análisis de puntos calientes y fríos.	29
Ilustración 15. Distribución Normal estándar.....	30
Ilustración 16. Interpolación mediante Densidad de Kernel (DK).	31
Ilustración 17. Función DK - Interpolación.....	32
Ilustración 18. Propiedades emergentes deducibles del modelo.....	33
Ilustración 19. Clasificación de los tipos de modelos.	33
Ilustración 20. Etapas para la construcción de un modelo espacial.	34



Ilustración 21. Modelo de regresión Lineal Simple.	35
Ilustración 22. Mínimos Cuadrados Ordinarios OLS.	36
Ilustración 23. Regresión Ponderada Geográficamente GWR.	37
Ilustración 24. Accidentes de motociclistas en Cali.	39
Ilustración 25. Muertos por accidentes de tránsito en Colombia.	40
Ilustración 26. Enfoque geográfico de las investigaciones realizadas.	41
Ilustración 27. Triangulo de la accidentalidad vial, ONU.	42
Ilustración 28. Inconsistencias en las direcciones registradas.	49
Ilustración 29. Mapa base de Cali.	51
Ilustración 30. Diagrama del diseño conceptual de la BDG.	53
Ilustración 31. Diagrama del diseño lógico de la BDG.	54
Ilustración 32. Diagrama de clases, relaciones, dominios y subtipos de la BDG.	55
Ilustración 33. Geocodificación de una dirección.	57
Ilustración 34. Proceso de Re-Codificación con Arcgis Desktop.	58
Ilustración 35. Análisis de puntos calientes Gi*.	59
Ilustración 36. Preparación de incidentes para el análisis de puntos calientes.	60
Ilustración 37. Análisis de incidentes de muertes por manzana.	60
Ilustración 38. Histograma de la superficie DK.	61
Ilustración 39. Interpolación de incidentes a una superficie de predicción.	61
Ilustración 40. Información de zonas críticas (Barrio el Refugio, Cali).	62
Ilustración 41. Distribución de un modelo influenciado por una variable.	68
Ilustración 42. Transformación Logarítmica y Exponencial de influencia.	68
Ilustración 43. Datos de entrada del modelo OLS.	70
Ilustración 44. Indicadores para el modelo OLS.	71
Ilustración 45. Resultados del OLS.	71
Ilustración 46. Modelo Espacial ajustado WGR.	72
Ilustración 47. Cambio de signo en variables del modelo WGR.	73
Ilustración 48. Mapa residual de Puentes Peatonales - modelo WGR.	73
Ilustración 49. Geocodificación de direcciones de MPAT.	74
Ilustración 50. Reajuste de geocodificación.	75
Ilustración 51. Direcciones de MPAT ubicadas geográficamente.	75
Ilustración 52. MPAT por Año.	76
Ilustración 53. Aumento del parque automotor en Cali 2004 - 2014.	76
Ilustración 54. MPAT por comunas.	77
Ilustración 55. MPAT anual por estrato moda.	77
Ilustración 56. MPAT anual por género y estado civil.	78
Ilustración 57. MPAT anual por rango de edad.	79
Ilustración 58. MPAT anual por día de la semana.	80
Ilustración 59. MPAT anual por nivel de escolaridad.	81
Ilustración 60. MPAT anual por condición de la víctima.	81
Ilustración 61. MPAT Anual por mes. Fuente:	82
Ilustración 62. MPAT anual por tipo de vehículo.	83
Ilustración 63. MPAT anual por característica del accidente.	84
Ilustración 64. MPAT anual por tipo de accidente.	84
Ilustración 65. Exploración del tipo de distribución de las MPAT.	85
Ilustración 66. Puntos calientes Cali.	86
Ilustración 67. Análisis de puntos calientes y fríos para los años 2004 - 2014.	87
Ilustración 68. Superficie DK 2004-2014.	88
Ilustración 69. Superficie IDW ² para el periodo 2004 - 2014.	89

Ilustración 70. DK de MPAT periodo 2004-2014.	90
Ilustración 71. Zonas críticas de MPAT la ciudad de Cali.....	93
Ilustración 72. Variable espacial dependiente Y (Frecuencia de MPAT).	94
Ilustración 73. Gráficos de dispersión de variables explicativas.	99
Ilustración 74. Histograma de Residuales estandarizados.	100
Ilustración 75. Residuales vs. Predicciones.	100
Ilustración 76. Mapa de Regresión Lineal Múltiple OLS.	101
Ilustración 77. Autocorrelación espacial I Moran, modelo OLS.	102
Ilustración 78. Estudio de signos de variables explicativas.	103
Ilustración 79. Análisis de Autocorrelación espacial I de Moran - WGR2.	105
Ilustración 80. Mapa del modelo WGR2 de MPAT.	106
Ilustración 81. Mapa de coeficientes del modelo WGR.	107
Ilustración 82. Modelo WGR - r2 Local ajustado.	111
Ilustración 83. Modelo predictivo de MPAT.	113
Ilustración 84. Análisis del promedio del vecino más próximo (2004-2014).	123
Ilustración 85. Análisis Hot Spot año a año (2004 – 2014).	126
Ilustración 86. Selección de zonas críticas de MPAT.	129

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variables en estudio para el análisis y modelamiento espacial.	46
Tabla 2. Metodología del proyecto.	47
Tabla 3. Ejemplo columnas o atributos de las MPAT.	48
Tabla 4. Depuración de la BD de MPAT.	49
Tabla 5. Metadatos de cartografía base obtenida.	51
Tabla 6. Variables depuradas de la BD.	52
Tabla 7. Variables de una dirección (nomenclatura) para Cali.	56
Tabla 8. Escritura estándar de direcciones para geocodificación.	56
Tabla 9. Atributos de la malla vial.	56
Tabla 10. Registros con mayor número de ocurrencia de MPAT.	62
Tabla 11. Posibles Causas de MPAT relacionadas con la vía.	63
Tabla 12. Ancho de carretera según jerarquía vial.	64
Tabla 13. Numero de calzadas y carriles por tipo de vía.	65
Tabla 14. Clasificación por tipo de carretera.	66
Tabla 15. Velocidad permitida según tipo de vía.	66
Tabla 16. Resumen de pruebas realizadas a modelos.	69
Tabla 17. Edición de direcciones por fuera del perímetro urbano.	74
Tabla 18. Exploración de datos 2004-2014 Vecinos más cercanos.	85
Tabla 19. Procesamiento de datos para HS - 2004-2014.	86
Tabla 20. Identificación de zonas críticas de MPAT en Cali.	93
Tabla 21. Estadísticas de variables para el modelo.	95
Tabla 22. Modelos, resultado de regresión exploratoria.	95
Tabla 23. Porcentaje de significancia de variables explicativas.	96
Tabla 24. Multicolinealidad de las variables (redundancia).	97
Tabla 25. Lista de coeficientes del modelo OLS.	97
Tabla 26. Pruebas al modelo OLS generado.	98
Tabla 27. Resumen de comparación de modelos OLS, WGR1 y WGR2.	103



LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Fórmula para el cálculo de G_i^*	30
Ecuación 2. Cálculo del Radio de Búsqueda DK.	32
Ecuación 3. Formula de Regresión Lineal Múltiple	35
Ecuación 4. Error estándar en la estimación de regresión múltiple.	36
Ecuación 5. Coeficiente de determinación múltiple r^2	37
Ecuación 6. Regresión Geoestadística WGR.....	38
Ecuación 7. Modelo Regresión Lineal Múltiple MPAT.....	97
Ecuación 8. Modelos GWR1 y GWR2 - MPAT.....	102

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Aspectos normativos a considerar.	120
Anexo 2. Formato de informe policial de accidentes de	121
Anexo 3. Resultado exploratorio de datos.....	123
Anexo 4. Análisis de puntos calientes por año.....	126
Anexo 5. Identificación de zonas críticas de MPAT.....	129

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.

Buffer (Área de influencia): Es el área (polígono) que resulta de la extensión de una distancia a partir de un punto o línea en forma radial.

Densidad de Muertes por Accidentes de Tránsito: Es el número de muertes por accidentes de tránsito ocurridas, dividida por el área, zona, sitio o tramo de vía donde ocurren. Indica el número de muertes que ocurren por unidad de distancia u área.

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

Espacializar: Convertir información no cartográfica, alfa-numérica, a información geográfica a través de la Geocodificación. A diferencia de georeferenciar donde se asignan sistemas de coordenadas a productos cartográficos como fotografías aéreas, imágenes satelitales, etc.

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.

Interpolación: Proceso que consiste en predecir valores de una variable en un punto a partir de una muestra para generar una superficie continua.



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.

Sistema de Información Geográfica: Tecnología que reúne un Conjunto de Datos, Software, Hardware, Personal y Procedimientos para el análisis, creación, almacenamiento, edición, visualización y distribución de información geográfica.

Susceptibilidad: “Referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado espacio geográfico” Soldano, Álvaro, Conceptos sobre Riesgo, 2009.

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
GWR:	Geographically Weighted Regression (Regresión Ponderada Geográficamente)
HS:	Puntos Calientes (Hot Spot)
IDW:	Inverse Distance Weighed (Distancia Inversa Ponderada)
MPAT:	Muertes por Accidentes de Tránsito
OLS:	Ordinary Least Squares (Mínimos Cuadrados Ordinarios)
SIG:	Sistemas de Información Geográfica
WGS84:	World Geodetic System 1984 (Sistema Geodésico Mundial 1984)

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:	Secretaria de Tránsito y Transporte Municipal



RESUMEN

Se presentan los resultados y conclusiones obtenidos después de espacializar 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 permitieron realizar un análisis exploratorio para la identificación de las variables independientes que permitan explicar las muertes por accidentes de tránsito en Cali a través de un modelo de regresión espacial OLS y espacial GWR.

El modelo generado es la base para efectuar planes y programas orientados 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 espacial de muertes por accidentes de tránsito en Cali, probabilidad, prevención, predicción, análisis espacial, puntos calientes, patrones puntuales, exploración estadística, georeferenciación y geocodificación.

ABSTRACT

Road Traffic accidents is one of the biggest public health problems that face cities on the developing countries, because although government invests a considerable amount of money in prevention programmes, year by year figures of mortality and morbidity seems to be a lot.

This document presents the results of a project where traffic-related death in the urban area of Santiago de Cali, Valle de Cauca, Colombia, were mapped and analysed, in a period between 2004 and 2014.

Using spatial analysis techniques, based in an exploratory statistical analysis, that conduct to find out specific patterns of the studied phenomenon, it was possible to identify critical zones of the city, where traffic-related death were occurring in a greater figure and frequency.

The revision of the factors or variables present in critical zones that were obtained, allowed to make an exploratory analysis oriented to identify independent variables that might explain the traffic-related death in Cali, through a geostatistical regression model.

The model provides a basis that could be used for making policies and programmes oriented to decrease road traffic accident rates and improve road safety and mobility in Santiago de Cali.

KEYWORDS: model of traffic-related deaths 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 100.000 habitantes (Elpaís.com.co, 2013).

A lo anterior sumándole las 50 millones de personas que sufren traumatismos a causa de un accidente de tránsito al año en el mundo (Norza C., Granados L., Useche H., Romero H., & Moreno R., 2014), esto hace que sea un problema de salud que afecta la calidad de vida de las personas 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.

En este estudio se espacializan las muertes por accidentes de tránsito ocurridas desde el año 2004 hasta 2014 y se realiza un análisis de puntos calientes, a través del algoritmo G_i^* de Getis-Ord (Getis & Ord., 1992), para identificar conglomerados de siniestros y crear superficies de Kernel continuas que permitan identificar zonas críticas de mayor ocurrencia de muertes por accidentes de tránsito. Finalmente se construye un modelo de Regresión Espacial Ponderada Geográficamente identificando los factores que influyen sobre la vía y variables sobre las zonas críticas identificadas con el fin de encontrar una relación espacial y susceptibilidad del fenómeno. Ésta metodología puede resultar de gran utilidad en el desarrollo de estrategias de planificación urbana para los fines de prevención y reducción de este suceso en Cali.



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.

Además no existe una organización o estructura que permita capturar, almacenar, analizar, procesar, visualizar y producir información a través de un sistema de información que involucre las variables espacio – tiempo. Existen acercamientos individuales de instituciones y grupos de investigación que no se han integrado con los diferentes organismos de control de la ciudad. Por lo tanto, el encontrar información sobre un tema (vías) y sus atributos (estado, tipo, geometría, etc.) es una tarea muy difícil porque las entidades oficiales tienen poca información, mucha de ella privada y la mayoría no está estructurada correctamente o georeferenciada.

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.).



3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Construir un modelo espacial que permita explicar e identificar las zonas susceptibles a muertes por accidentes de tránsito en la ciudad de Cali, Colombia para el periodo 2004 – 2014.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ubicar espacialmente las MPAT en el periodo 2004 - 2014.
- Identificar la presencia de conglomerados o clúster de las MPAT y hacer un análisis de puntos calientes identificando la ubicación de patrones puntuales y conglomerados por año.
- Construir y caracterizar una superficie continua que permita detectar las zonas críticas de MPAT desde el año 2004 al 2014.
- Identificar y validar las variables que permitan explicar las MPAT a partir de un modelo de regresión lineal OLS y espacial GWR



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, adicional a las medidas administrativas que se deben aplicar.

Por tanto, contando con las herramientas tecnológicas adecuadas y realizando los análisis espaciales de las muertes por accidente de tránsito, se identificarán patrones de agrupamiento y zonas críticas donde se presente con mayor frecuencia muertes vehiculares accidentales.

Con el estudio de algunas variables encontradas en las zonas críticas, se construirá un modelo espacial que permita explicar la ocurrencia de muertes por accidentes de tránsito y se identificarán las zonas susceptibles a este suceso, con el fin de proponer estrategias para reducir la accidentalidad y mejorar la seguridad y movilidad vial.

La pregunta de investigación a responder con este trabajo es *¿Cuáles son los factores que explican en gran medida la ocurrencia de muertes por accidentes de tránsito en las zonas críticas de Cali?* Por lo tanto la hipótesis formulada es: *“Los accidentes de Cali se presentan de una manera aleatoria, es decir las circunstancias, lugar, hora no influyen en la ocurrencia de estos sucesos”*.



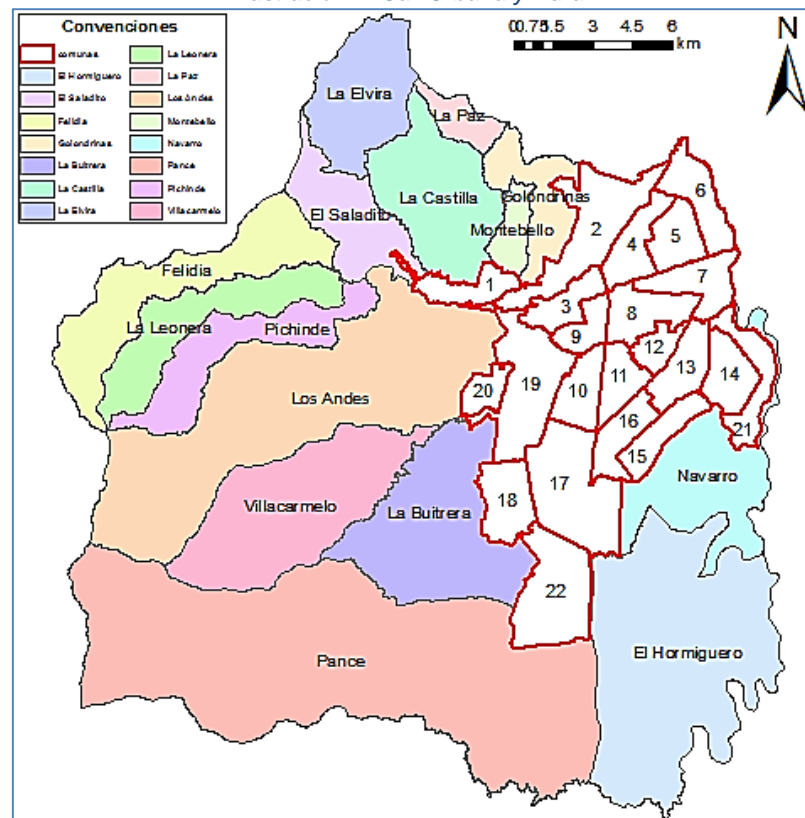
5. MARCO TEÓRICO

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.¹ 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 Elaboración propia, 2015

¹ Tomado de la página web de la Alcaldía de Santiago de Cali, 2014.



Cali cuenta con una población estimada de 2'333.213 habitantes, según lo reporta el DANE para el año 2013, 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.

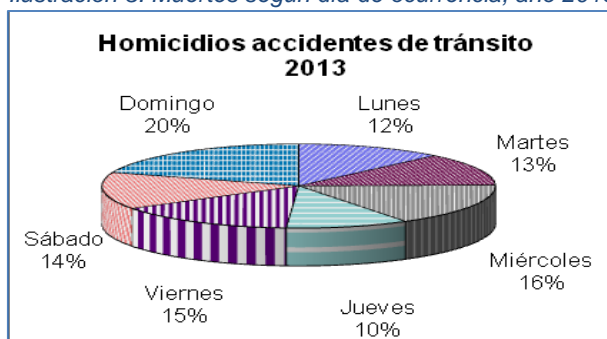
Ilustración 2. Causas de mortalidad en Cali.

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
Accidentes de vehículos de motor	371	9	339	9	291	11	320	10
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.



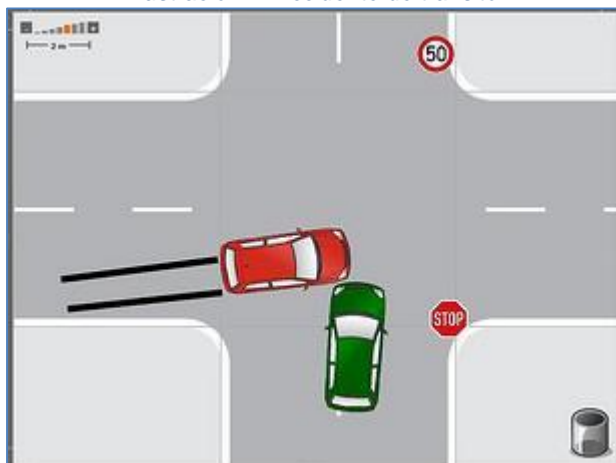
5.2. ACCIDENTE DE TRANSITO

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 Tránsito).

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: <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.

5.2.1. Vulnerabilidad en accidentes de tránsito

Para demostrar estadísticamente que los usuarios más vulnerables a accidentes de tránsito en las vías de Colombia son los peatones y motociclistas, toca remontarse a las estadísticas del Ministerio de la Protección Social donde señalan que en promedio mueren 1,3 millones de personas anualmente en el mundo por incidentes en las carreteras, razón suficiente para convertirse en una epidemia de salud pública y en muchos países la primera causa de muerte. En Colombia, los accidentes de tránsito representan la quinta parte del total de muertes violentas que se presentan en el país ubicándose como la segunda causa de muerte violenta después de los homicidios. (Ministerio de la Protección Social, 2011).

Los accidentes de tránsito son la primera causa de muerte de los jóvenes colombianos. En el año 2010 murieron cerca de 2.029 personas menores de 30 años. La mayor cantidad de muertes de niños en accidentes de tránsito sucede en su condición de peatón (38%). La mayor cantidad de muertes de jóvenes en accidentes de tránsito está asociado al uso de la motocicleta. (Ministerio de la Protección Social, 2011).

Las cifras también revelan que el de las motos es otro problema que va en aumento, a la par con el crecimiento del parque automotor. Mientras que en el 2013 había registrados 379.826 de estos vehículos, el año pasado la cifra llegó a 418.844: en un solo año, el número de motocicletas se incrementó el 10,27% y el 44% de los muertos de las vías del país son motociclistas (EL TIEMPO, 2015).



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 grafica 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.

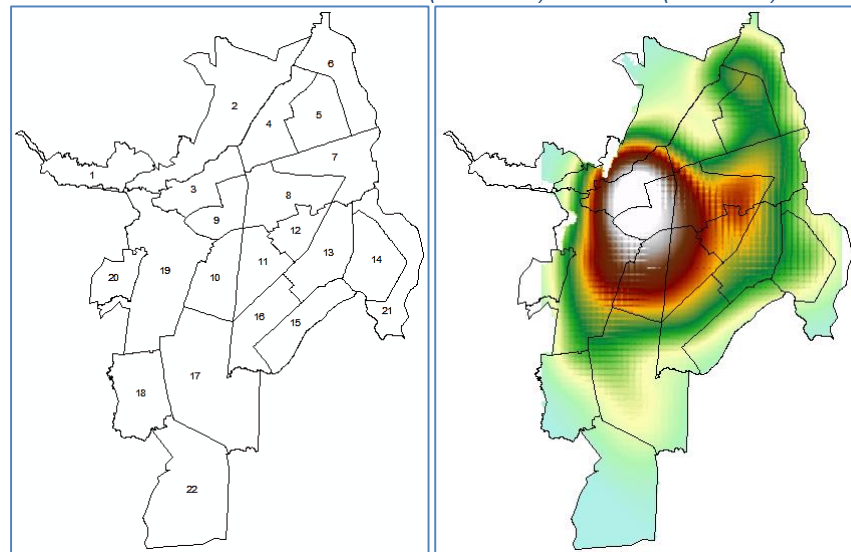
Un SIG maneja dos tipos de datos digitales: Vectorial y Raster (Ilustración 6).

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, 2015.

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.

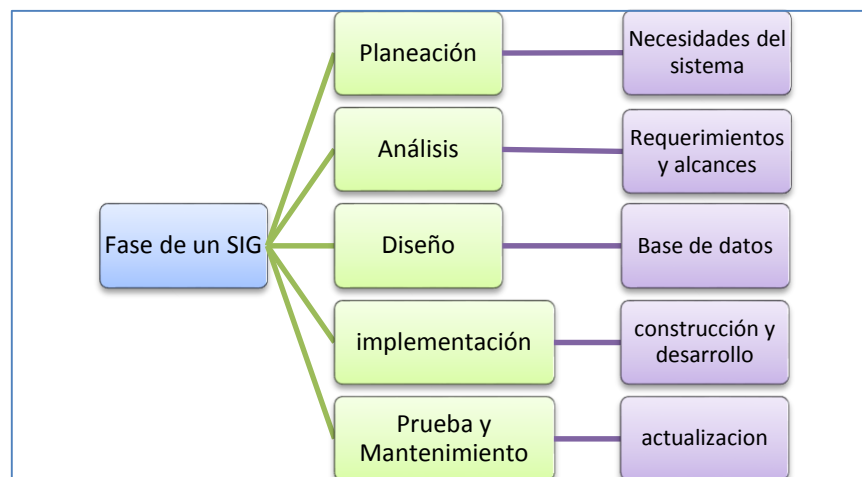
El **Diseño** está pensado para evaluar y detallar la elaboración del sistema informático y sus componentes. Se deben evaluar varias alternativas de solución, teniendo en cuenta criterios como viabilidad técnica, operática, económica y temporal; se debe realizar una evaluación de Hardware y Software 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: Whitten, Benthley, & Barlow, 1996

5.3.3. Base de Datos Geográfica (BDG)

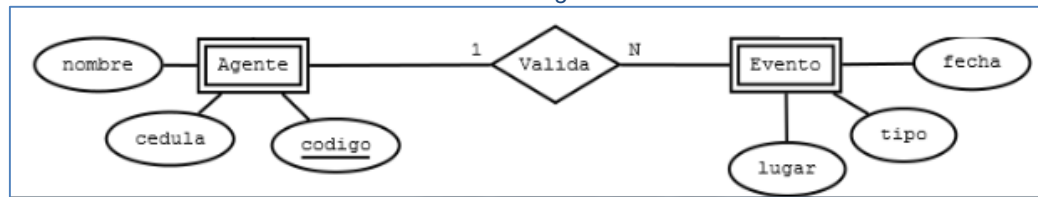
Es una colección de datos geográficos organizados de tal forma que cumple con criterios de relación espacial, relación topológica, dominios y operaciones siguiendo un lenguaje de datos (modelo) que faciliten el análisis y gestión de la información geográfica dentro del sistema.

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.



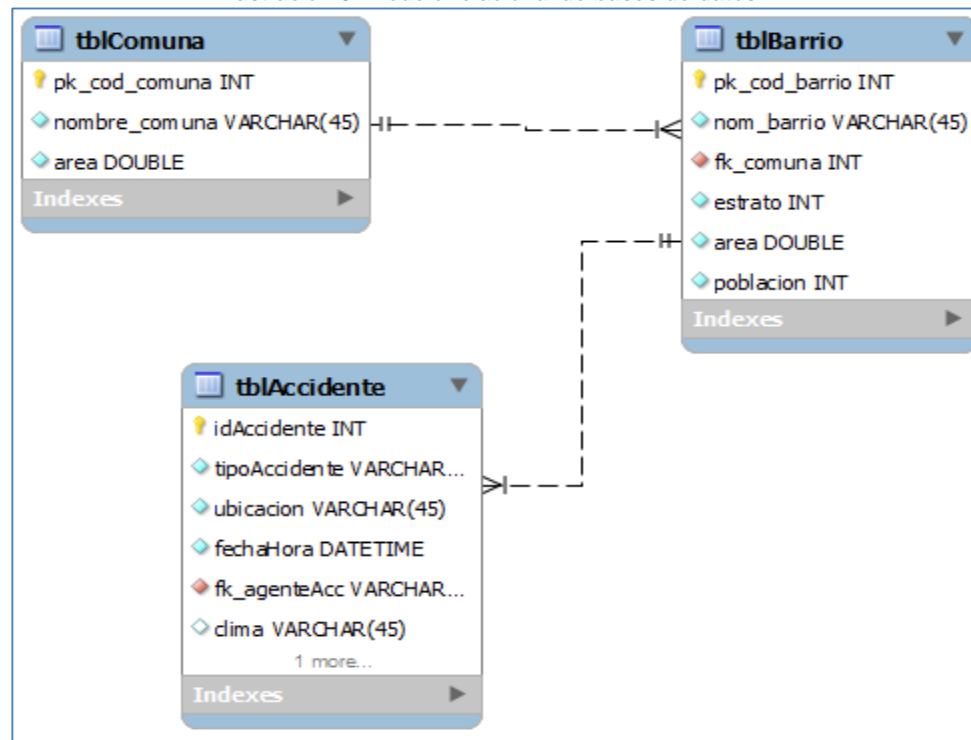
Ilustración 8. Diagrama E-R.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

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.

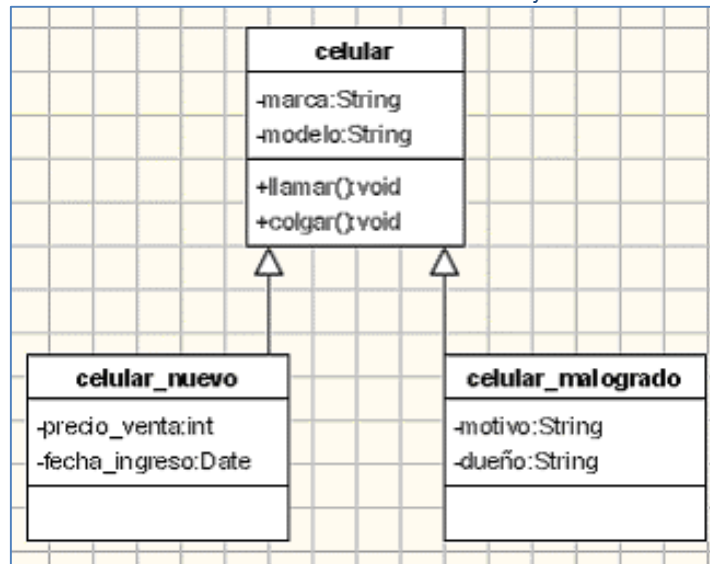


Fuente: Elaboración propia, 2015.

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.



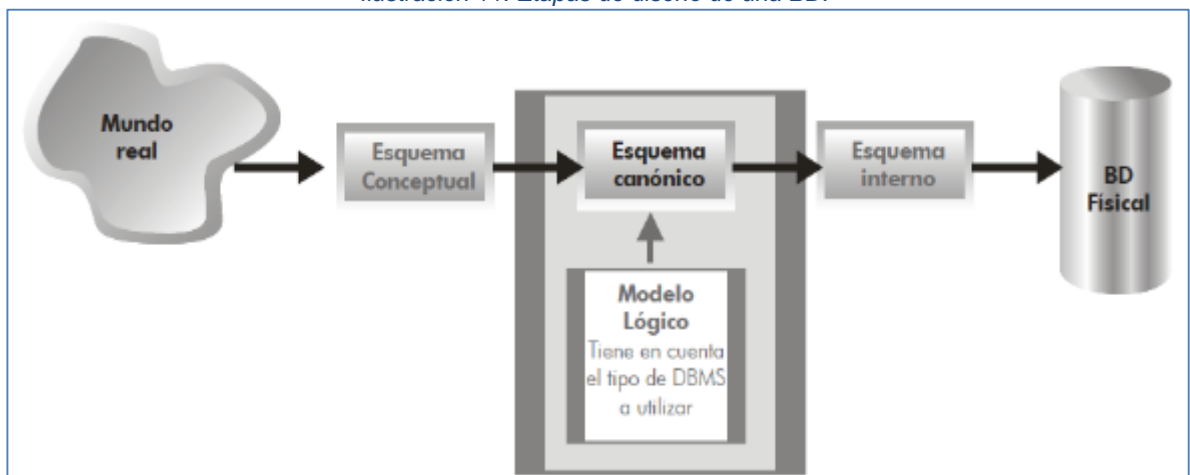
Ilustración 10. Modelo orientado a objetos.



Fuente: tomado de Programación Orientada a objetos ([Ciberaula/POO](#), 2014)

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: (Sánchez, 2004)

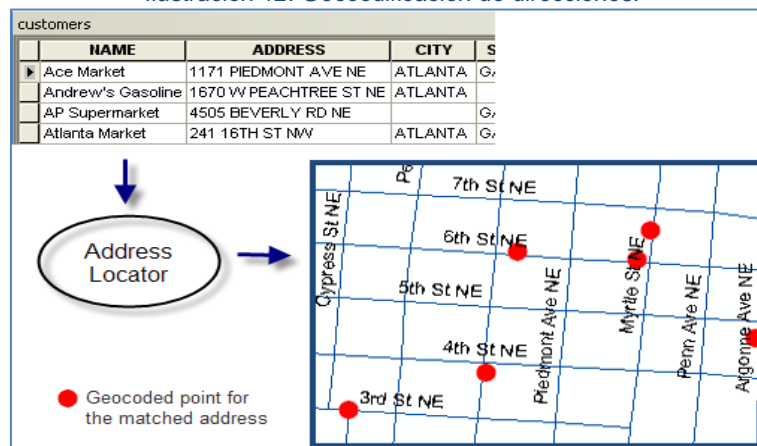


5.4. GEOCODIFICACIÓN

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 (GoogleMapsAPI, 2015)”.

La ‘espacialización’ de la información 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: (Esri_Resources, 2014)

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.

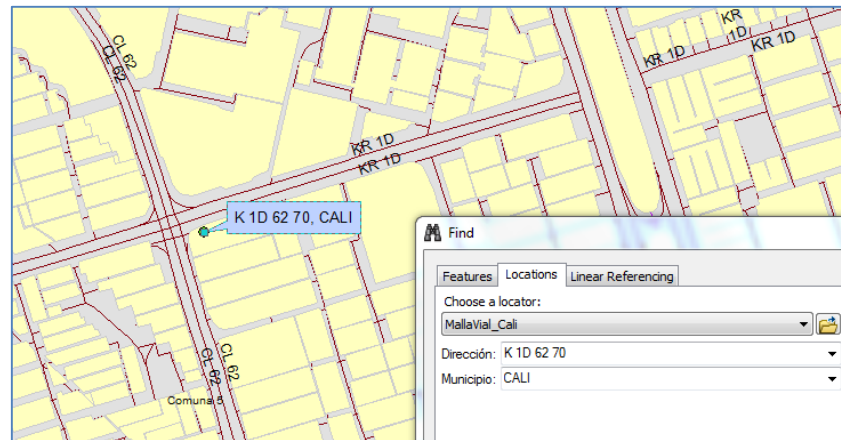
Previamente al proceso de Geocodificación, se debe realizar una **estandarización** de las direcciones de los datos de entrada con el fin de que los códigos coincidan con la base cartográfica utilizada. Esta estandarización consiste en convertir las direcciones al mismo lenguaje de la base utilizada.

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, 2015

El proceso de Geocodificación es una aproximación; los programas que utilizan esta función ofrecen un porcentaje de acierto por defecto del 85% (configurable y superable manualmente) 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.

5.5. ANÁLISIS DE PUNTOS CALIENTES (HOT SPOT).

Este tipo de análisis busca identificar las zonas donde se presentan patrones espaciales (Clúster) de la información, a través de la relación de cada dato con la cercanía a sus datos más próximos (vecinos). Estos patrones espaciales son denominados puntos calientes, caracterizados por superar el número medio de datos o donde el riesgo, por ejemplo, de ser víctima de una muerte por accidente de tránsito, es mayor; se diferencia con los Puntos Negros (Black Spot), que solo muestran zonas de concentración de accidentes.

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, 2014). Ver Ilustración 14.

Ilustración 14. Análisis de puntos calientes y fríos.

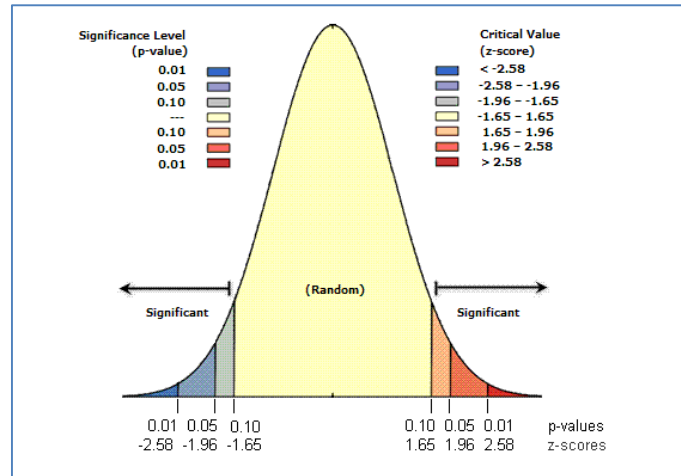


Fuente: (Esri_Resources, 2014)



Como el objetivo estadístico en este caso es el de rechazar la hipótesis nula (de que los datos se agrupan de manera aleatoria CSR²), 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 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, 2014).

Ilustración 15. Distribución Normal estándar.



Fuente: (Esri_Resources, 2014)

La estadística G_i^* devuelve una puntuación z positiva y negativa. Entre más alto sea el valor z_+ , más intenso es el agrupamiento (Clúster) de valores altos (punto caliente), mientras que para el valor z_- entre más bajo sea, más intensa será la dispersión (puntos fríos). Las entidades con un valor G_i^* de ± 3 reflejan una importancia estadística con un nivel de confianza del 99%; las entidades con un valor G_i^* de ± 2 reflejan una importancia estadística con un nivel de confianza del 95 %; las entidades con un valor G_i^* de ± 1 reflejan una importancia estadística con un nivel de confianza del 90 %; el clúster para las entidades con un valor G_i^* de 0 no es estadísticamente significativo. (Esri, 2014).

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

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

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

Fuente: (Esri_Resources, 2014)

- x_j = Muerte por accidente de tránsito en la ubicación j.
- $w_{i,j}$ = peso espacial entre la entidad i y la entidad j.
- n = número total de muertes por accidentes de tránsito.

² Aleatoriedad Espacial Completa (CSR por sus siglas en inglés)



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

- El mínimo de registros para un análisis confiable es de 30 (puntos).
- 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.

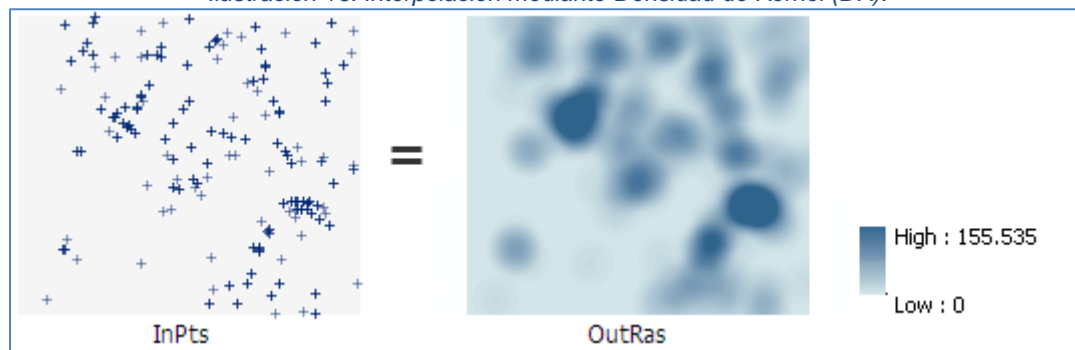
5.6. INTERPOLACIÓN DE DATOS (SUPERFICIES DE PREDICCIÓN)

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. El análisis de densidad toma cantidades conocidas de algunos fenómenos y las expande a través del paisaje basándose en la cantidad que se mide en cada ubicación y la relación espacial de las ubicaciones de las cantidades medidas. (Esri, 2014)

Ilustración 16. Interpolación mediante Densidad de Kernel (DK).

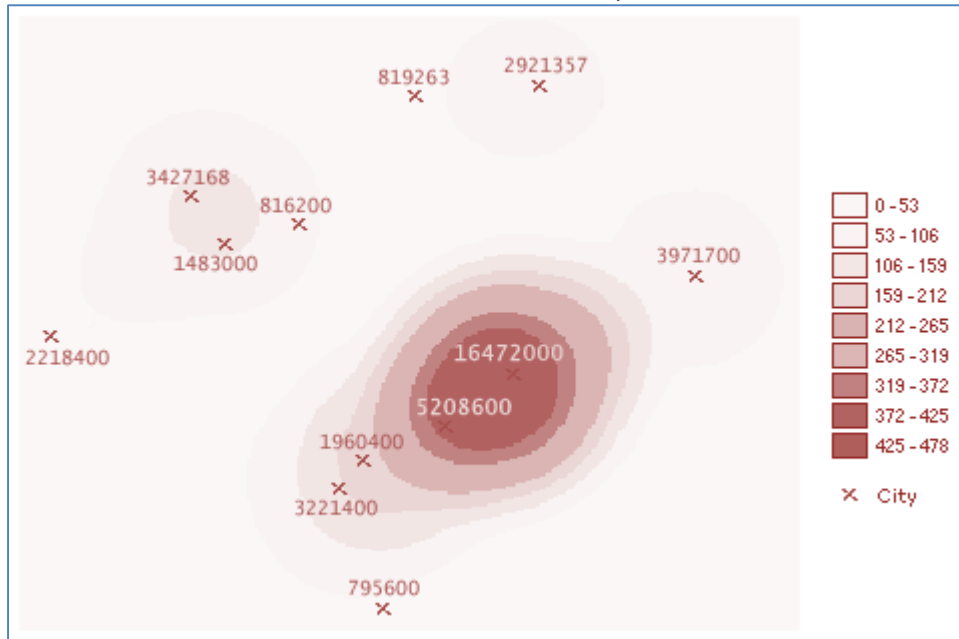


Fuente: (Esri_Resources, 2014).



La interpolación mediante Densidad de Kernel (DK), o superficie de densidad, muestra dónde se concentran las entidades de punto. Por ejemplo, puede tener un valor de punto para cada población que represente el número total de personas allí, pero desea conocer más sobre la expansión de la población en la región. Como todas las personas de cada población no viven en el punto de la población, si se calcula la densidad, se puede crear una superficie que muestre la distribución prevista de la población a través del paisaje. (Esri, 2014). Ver Ilustración 17.

Ilustración 17. Función DK - Interpolación.



Fuente: (Esri_Resources, 2014).

La Densidad Kernel calcula la densidad de las entidades de punto de alrededor de cada celda raster de salida. Conceptualmente, se ajusta una superficie curva uniforme sobre cada punto. El valor de superficie es más alto en la ubicación del punto y disminuye a medida que aumenta la distancia desde el punto y alcanza cero en la distancia Radio de búsqueda desde el punto. Sólo es posible un vecindario circular. El volumen bajo la superficie es igual al valor Campo de población para el punto, o 1 si se especifica NONE. Para calcular la densidad de cada celda raster de salida, se agregan los valores de todas las superficies de Kernel en donde se superponen con el centro de la celda raster. (Esri, 2014).

Ecuación 2. Cálculo del Radio de Búsqueda DK.

$$SearchRadius = 0.9 * \min \left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)}} * D_m \right) * n^{-0.2}$$

Fuente: (Esri_Resources, 2014).

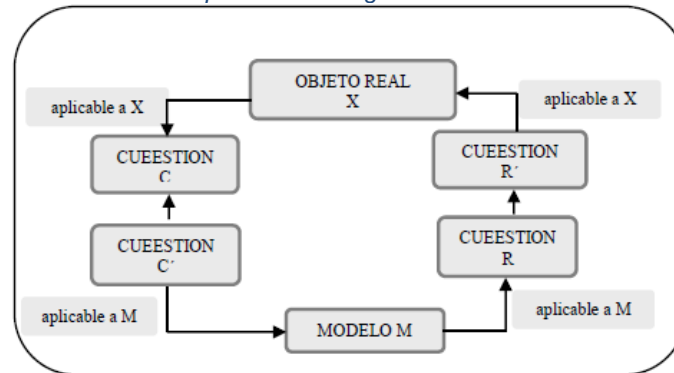


5.7. MODELAMIENTO GEOESTADÍSTICO.

Un modelo es una representación de un fenómeno o estado de la realidad dentro de una extensión geográfica, donde se pueden definir diferentes escenarios según los datos y procesos que se empleen. La representación que genera el modelo solo refleja ciertas características de la realidad y depende esencialmente de la selección de los factores (variables) y la descripción de sus relaciones funcionales.

La relación entre el modelo y la realidad debe ser simétrica o reversible (Ilustración 18), por lo tanto el modelo permite traducir algunas propiedades de la realidad; la importancia de la construcción de un modelo radica en poder aclarar dudas sobre la realidad que no se pueden resolver mediante la experimentación directa.

Ilustración 18. Propiedades emergentes deducibles del modelo.



Fuente: (Gomez Delgado & Barredo Cano, 2005)

El modelo debe poder validarse mediante una verificación experimental de sus resultados frente a la realidad con el fin de encontrar errores derivados del modelo y sus posibles correcciones. Los errores propios del proceso de modelización pueden ser reducidos utilizando mayor precisión y mejores variables (menos complejo) o mayor cantidad de componentes y relaciones (más complejo). Debe buscarse una buena relación entre la complejidad del modelo y el error aceptable en los resultados (Felicísimo, 2004)

Existen diferentes tipos de modelos, físicos (variables medibles), análogos (diagrama de flujo) y simbólicos (matemáticos, esquemáticos) (Ilustración 19).

Ilustración 19. Clasificación de los tipos de modelos.



Fuente: (Gomez Delgado & Barredo Cano, 2005)

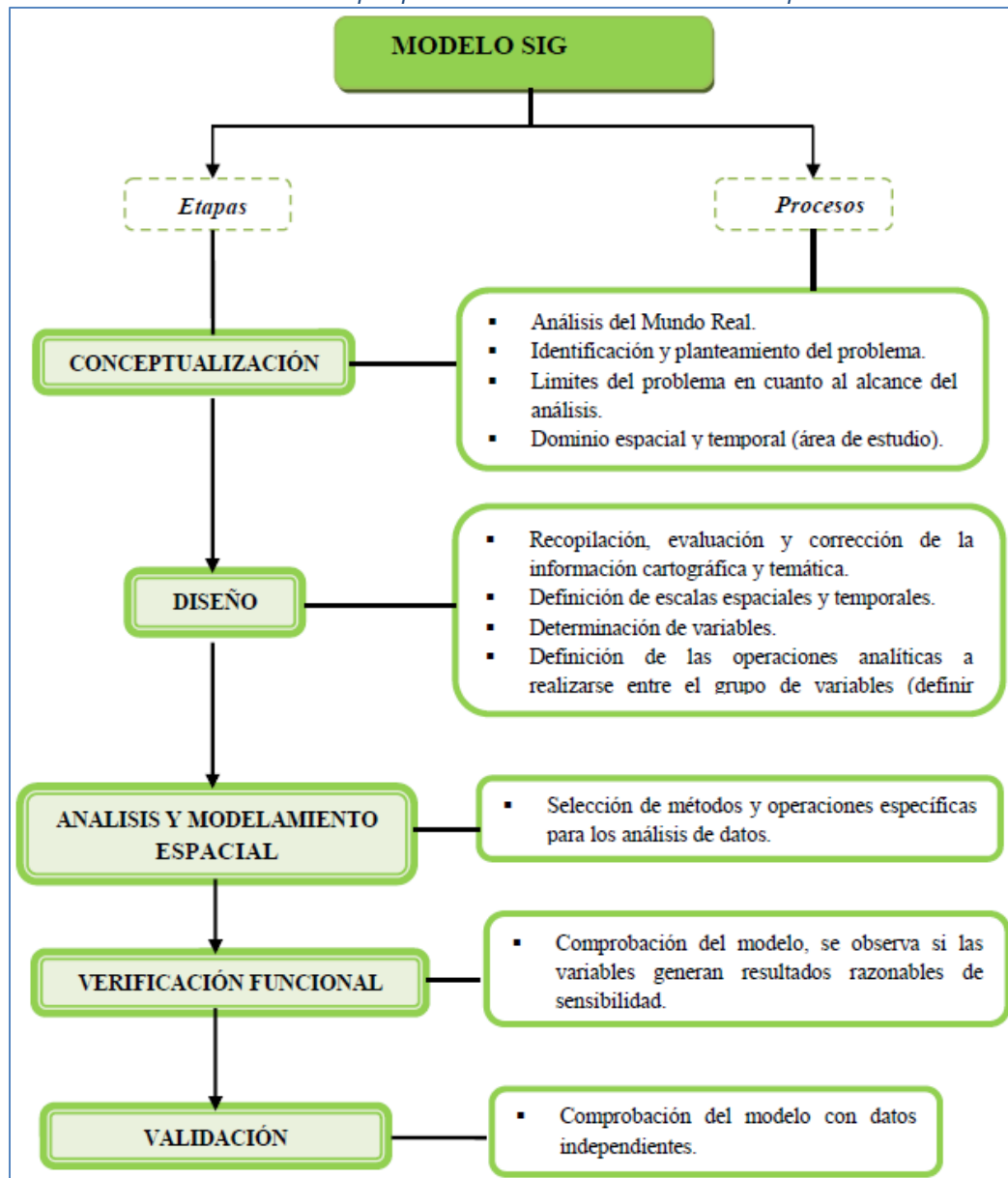


5.7.1. Modelamiento espacial

“El modelamiento espacial comprende la construcción de modelos para producir resultados espaciales” (Fotheringham & Wegener, 2002). Integrando los SIG con modelos espaciales, se utilizan técnicas para transformar los datos, integración, actualización, análisis y predicción.

La construcción de un modelo pasa por varias etapas que permiten obtener resultados que ayuden a la toma de decisiones. (Ilustración 20).

Ilustración 20. Etapas para la construcción de un modelo espacial.



Fuente: (Gomez Delgado & Barredo Cano, 2005)



5.7.2. Modelamiento estadístico.

En un modelo estadístico se busca comprender los componentes de la variabilidad de un fenómeno en particular. Normalmente se desea conocer sobre la relación o dependencia entre dos o más características cuantitativas sobre la población de estudio.

En ocasiones se “sospecha” que puede existir alguna relación y por consiguiente se desea saber, si las variables están realmente relacionadas entre sí o son independientes, si existe dependencia conocer el grado y tipo de relación y si puede predecirse la variable considerada dependiente a partir de las otras que se consideran independientes y con qué precisión.

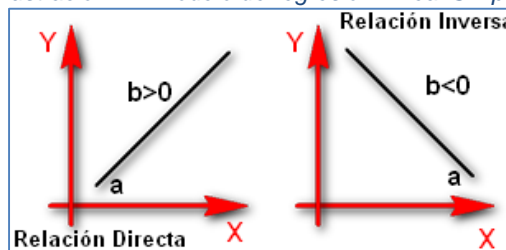
- **Análisis de Regresión.**

En el análisis de Regresión se tiene por objetivo estimar el valor promedio de una variable dependiente “Y” a partir de los valores de una o más variables independientes o explicativas “Xi”, utilizando una función matemática. Existen diferentes tipos de regresión, entre ellos se destacan la Regresión Lineal Simple, Múltiple, No lineal (Parabólica, Exponencial, Logarítmica Potencial), regresión logística.

El modelo de Regresión Lineal Simple utiliza una variable dependiente (Y) y una variable independiente o explicativa (X) a través de una recta donde (a) es la ordenada de origen y (b) es la pendiente o inclinación de la recta, también conocido como Coeficiente de regresión o de estimación.

$$Y = a + bX$$

Ilustración 21. Modelo de regresión Lineal Simple.



Fuente: Elaboración propia.

El modelo estadístico de Regresión Lineal Múltiple es el más clásico utilizado en la mayoría de estudios de estimación directa de valores. En este modelo se pretende explicar una variable dependiente continua (Y), de distribución normal, mediante n variables independientes (X₁, X₂...X_n).

Ecuación 3. Formula de Regresión Lineal Múltiple

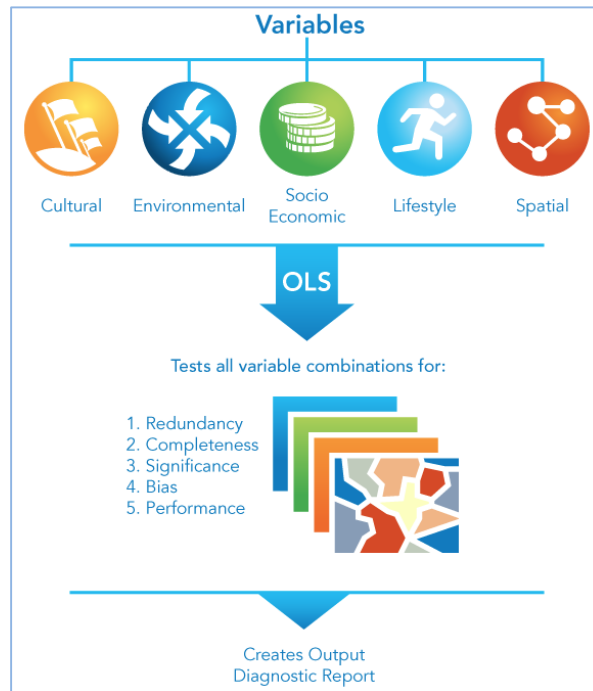
$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + e$$

Fuente: (Esri, 2014).



En este modelo, los coeficientes de regresión o estimación (b_1, b_n), indican la contribución de cada variable dependiente para la predicción o estimación de Y, se pueden obtener a través del método de mínimos cuadrados (OLS). El valor “e” es el residuo de la regresión que indica el error aleatorio, no modelizable atribuido al error de la muestra o a efectos de otras variables no incluidas en el estudio.

Ilustración 22. Mínimos Cuadrados Ordinarios OLS.



Fuente: (Esri, 2014).

• **Error estándar en la estimación de la regresión múltiple (S_{xy}).**

Es una medida de dispersión donde la recta será un buen representante de la nube de puntos si las dispersiones son pequeñas, en dicho caso, la bondad de ajuste del modelo será alta. (E & T, 2011).

Ecuación 4. Error estándar en la estimación de regresión múltiple.

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{n - m - 1}}$$

Fuente: (E & T, 2011).

Donde:

- Y: Valores observados en la muestra.
- \hat{Y} : Valores estimados por la regresión.
- n: número de datos.
- m: número de variables independientes.



- **Coefficiente de Determinación Múltiple (R²).**

Es un estadístico utilizado para predecir futuros resultados o probar una hipótesis. Mide la tasa porcentual de los cambios de Y que pueden ser explicados por X1, X2 y X3 simultáneamente.

Ecuación 5. Coeficiente de determinación múltiple r².

$$r^2 = \frac{SC \text{ regresión}}{SC \text{ Total}} = \frac{scE}{scG} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Fuente: (E & T, 2011).

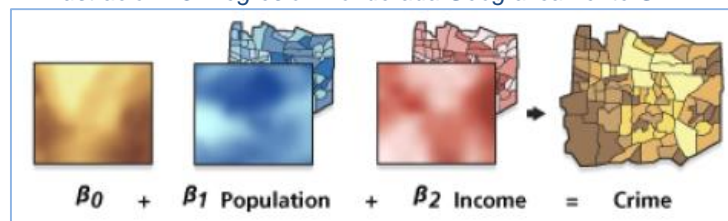
Según la ecuación, como $scE \leq scG$, entonces $0 < r^2 < 1$, por tanto: Si $r^2=1$, no habrá residuos y existirá una dependencia funcional. Cuanto más se acerque dicho valor a la unidad, mayor poder explicativo tendrá el modelo de regresión, siempre y cuando cumpla con todos los supuestos de la RL.

Si $r^2=0$, X no explica en absoluto ninguna de las variaciones de Y, de modo que el modelo es inadecuado o las variables se relacionan de manera no lineal. Cuanto más cercano dicho valor a cero, menor poder explicativo.

- **Regresión ponderada geográficamente (GWR).**

Es una técnica de regresión espacial que proporciona un modelo local de la variable o proceso que se intenta entender/prever, al ajustar una ecuación de regresión a cada entidad geográfica. GWR construye las ecuaciones individuales mediante la incorporación de las variables dependiente y explicativa de las entidades que caen dentro del ancho de banda (extensión) de cada entidad de destino. (Esri, 2014)

Ilustración 23. Regresión Ponderada Geográficamente GWR.



Fuente: (Esri, 2014).

Brunsdon et al. (1996) usó este término para aludir a una familia de modelos de regresión “ajustados al espacio”, donde se observan variaciones espaciales de los parámetros estimados y se puede saber dónde y cuánto es el efecto de una variable explicativa sobre la dependiente. Se trata de ajustar tantas regresiones como observaciones (espaciales) se consideren en el análisis, en base al concepto de distance decay (más peso a observaciones próximas y menos a las lejanas), a través de una función Kernel, que simule el efecto de caída con la distancia.



La GWR considera así explícitamente la componente espacial de los datos, incorporando en su ecuación el valor de las coordenadas geográficas de las observaciones. Frente a la regresión OLS, los coeficientes β_j ($j = 0, 1, \dots, n$) de los j predictores X_j ($j = 1, \dots, p$) varían para cada localización, es decir, que para cada localización definida por sus coordenadas (U_i, V_i) , el valor de la variable dependiente Y_i es estimado según:

Ecuación 6. Regresión Geoestadística WGR.

$$Y_i = \beta_0 (U_i, V_i) + \beta_1 (U_i, V_i) X_1 + \beta_2 (U_i, V_i) X_2 + \dots + \beta_p (U_i, V_i) X_n$$

Fuente: (Esri, 2014).

Algunas ventajas que justifican el empleo de la GWR son:

- Permite moverse desde una perspectiva global a un análisis local del problema, obteniendo un mayor grado de detalle y precisión (Lloyd, 2010).
- Los coeficientes de cada uno de los predictores (elasticidades) varían de una unidad espacial a otra (inestabilidad espacial).
- La posibilidad de estimar coeficientes de determinación locales para cada unidad espacial a partir de los valores de un conjunto de observaciones vecinas, permite conocer la forma en que se combinan localmente las variables de la regresión para obtener el “ajuste específico” en una localización (Fotheringham et al., 2002).
- La desagregación del coeficiente de determinación (R^2) global en coeficientes locales y el análisis de su distribución geográfica permiten reconocer dónde las variables independientes tienen un mayor o peor poder explicativo (Fotheringham et al., 2002; Lloyd, 2010).
- En la gran mayoría de los casos, esta clase de regresión genera errores de estimación más pequeños que el modelo tradicional, además de anular o reducir el problema de la autocorrelación espacial (Hedayeghi et al., 2010).
- La implementación de esta técnica en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) facilita la elaboración de una amplia variedad de mapas con los resultados generados: variables dependientes e independientes, R^2 locales, coeficientes locales de los predictores (elasticidades), valores t , residuos estandarizados (Mennis, 2006).
- Es posible generar superficies interpoladas para conocer la distribución espacial continua de los parámetros y aplicar los principios de la “predicción espacial” para hallar los valores de las observaciones que faltan (Anselin, 1988; Páez, 2006).
- Facilita explorar la estructura espacial del modelo, es decir, medir el grado de dependencia espacial presente en el modelo -pudiendo ser positiva o negativa-, o detectar clúster de datos (Anselin, 1988).
- Al proveer resultados específicos para cada localización, éstos pueden ser usados como evidencias para apoyar políticas o tomas de decisiones locales; por eso con frecuencia estas técnicas son llamadas “basadas en el lugar”.



5.8. ANTECEDENTES EN EL ANÁLISIS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO.

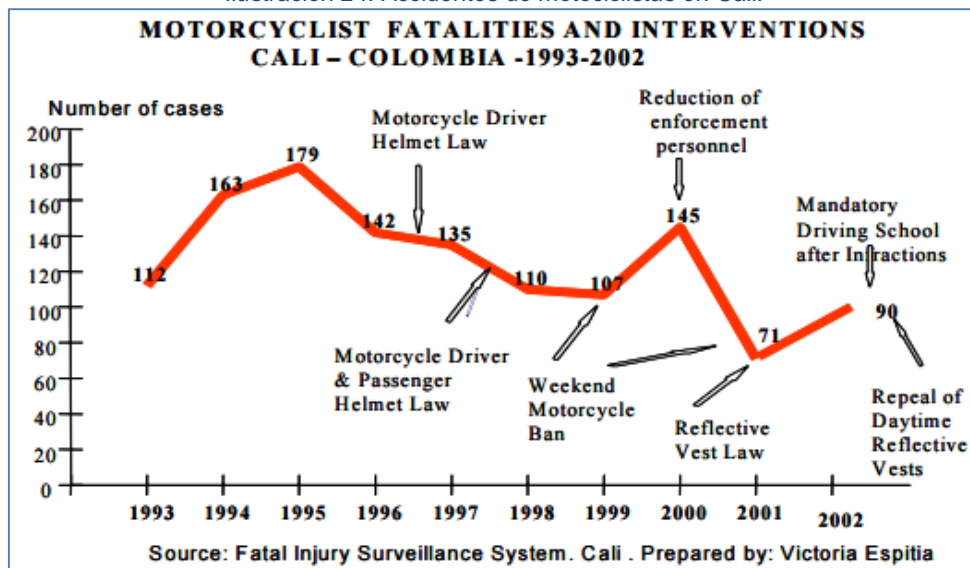
5.8.1. Muertes por Accidentes de Tránsito en Cali – CISALVA 2009.

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 24. Accidentes de motociclistas en Cali.



Fuente: CISALVA, 2009.

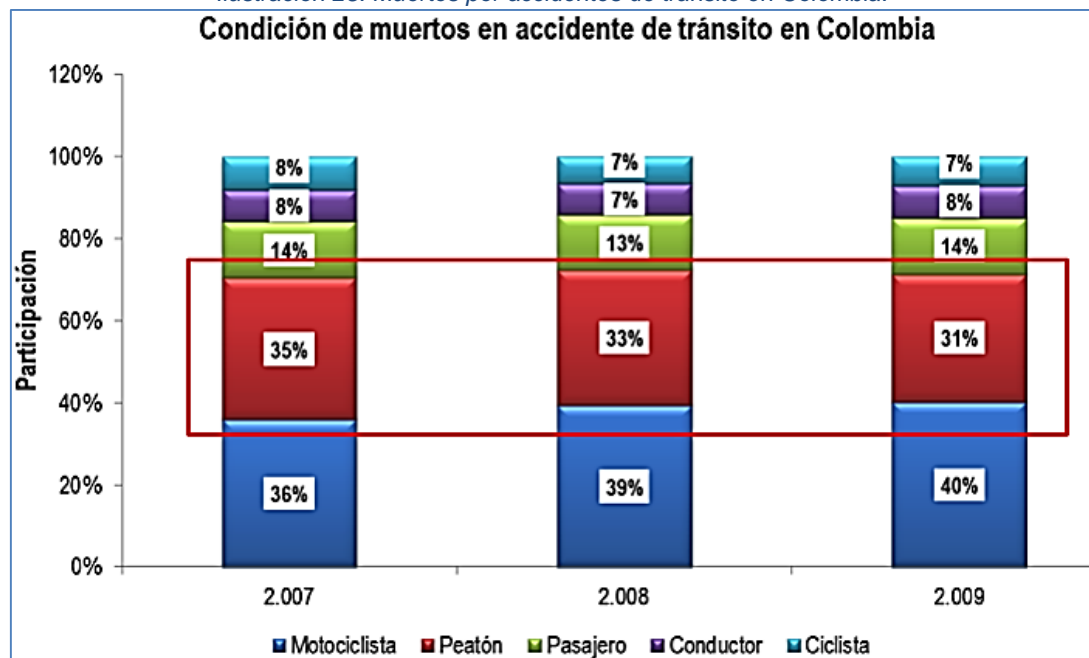


5.8.2. Identificación de puntos críticos de AT en Cali (2011).

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 25. Muertos por accidentes de tránsito en Colombia.



Fuente: FPV, 2011

Según el estudio, Cali presentó un total de 399 muertos en el año 2009, siendo la tercera ciudad con mayor número de muertes, solo por debajo de Medellín y Bogotá.

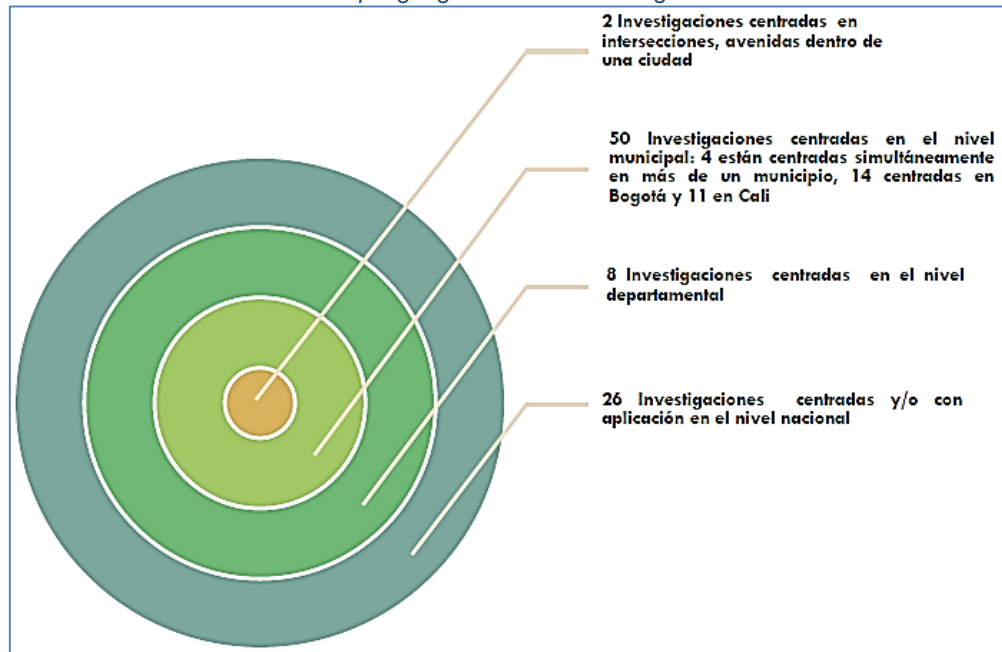
La metodología utilizada por el FPV consistió en analizar la accidentalidad, identificando los puntos críticos en las ciudades evaluadas y evaluando detalladamente cada uno de los puntos críticos establecidos para formular soluciones y recomendaciones de mejora. Se tienen en cuenta aspectos físicos de 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.



5.8.3. Propuestas de investigación de AT 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 26. Enfoque geográfico de las investigaciones realizadas.



Fuente: FPV, 2013.

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

- 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
- Factores de riesgo asociados a lesiones en niños peatones de Cali
- Evaluación de impacto de medidas para la prevención de 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

En 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.

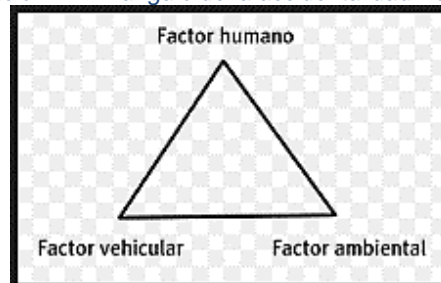


5.8.1. Explicación sobre la accidentalidad vial en Colombia (2014)

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 27. Triangulo de la accidentalidad vial, ONU.



Fuente: Elaboración Propia, 2015

5.8.2. Otros antecedentes a nivel mundial.

- **Modelado estadístico de la relación entre tipos de accidentes y características de la carretera (*Statistically modelling relationships between accident types and highway features*). (Chen & Wang, 1999).**

Modelo de predicción de accidentes mediante Regresión Lineal Múltiple donde utiliza variables como tipo de medio, grado vertical, velocidad media y curvas horizontales, para la predicción de accidentes. Sin embargo, el modelo de regresión lineal múltiple presenta deficiencias en cuanto a su uso en la construcción de un modelo de predicción de accidentes, debido que para la regresión lineal, los supuestos básicos son que las variables dependientes deben seguir la distribución normal. Esto conduce a la suposición de fallo en caso de accidente. Los accidentes, que son eventos poco frecuentes, por lo general siguen una distribución de Poisson.



- **Modelo de accidentes para carreteras rurales de dos carriles (*Accident Models for Two-Lane Rural Highways*). (Pongmasa, 2002).**

Modelos de predicción de accidentes en carreteras rurales de dos carriles. Las variables independientes fueron compuestas por flujo de tráfico, ancho de acera, velocidad de diseño, distancia de vista de no-paso, número de accesos y conexiones por carretera.

Los análisis se basan en la regresión múltiple, regresión de Poisson, regresión binomial negativa y regresión log-normal. El hallazgo mostró que la regresión de Poisson fue el mejor ajuste del modelo y el número de accesos tiene el impacto más influyente en la frecuencia de accidentes.

Los resultados mostraron que los aumentos de las tasas de accidente aumentan directamente con el flujo de tráfico, expresado como AADT.

- **Modelo de predicción de accidentes para carreteras urbanas (*Accident prediction models for urban roads*). (Greibe, 2003).**

Se propuso un modelo generalizado para la predicción de accidentes de una zona urbana en Italia. El modelo de regresión de Poisson se formuló para estimar el número esperado de accidentes para intersecciones y autopistas en Italia.

En este estudio, los datos como el límite de velocidad, tráfico diario promedio anual AADT (Annual average daily traffic), ancho de vía, número de carriles, medidas para reducción de velocidad, instalaciones para ciclistas, separadores, aparcamientos, parada de bus y uso de suelo fueron recolectados a lo largo de 142km de sección de carretera. Todas las variables se incluyeron en el análisis, pero luego se eliminaron las variables insignificantes. Las variables que se tuvieron en cuenta finalmente fueron Límite de velocidad, ancho y número de carril y el AADT.

Los resultados mostraron que el límite de velocidad afecta significativamente la ocurrencia de accidentes en el tramo de carretera estudiado. El límite de velocidad de 60km/h puede causar más accidentes que el de 50 km/h. comparativamente, los 70 km/h tienen un efecto menor, concluyendo que las carreteras de alta velocidad tienden a tener pocos usuarios vulnerables en la vía.

Del mismo modo, los carriles con un ancho entre 5 hasta 7.5m tienen relativamente un número mayor de ocurrencia de accidentes.

La variable AADT también tiene un impacto significativo en el que la frecuencia de accidentes está relacionada con un AADT elevado a potencia de 0.8. Otras variables como uso de espacio de aparcamiento y número de caminos secundarios menores también influyen en el aumento de accidentes directamente proporcional.



- **Los efectos de mezcla de la precipitación en accidentes de tránsito (*The mixed effects of precipitation on traffic crashes*). (Eisenberg, 2004)**

Modelo de predicción de accidentes mediante regresión binomial negativa, basado en datos de accidentes de California. Las frecuencias de accidentes se predijo en términos de mortalidad, lesiones y daños a la propiedad sobre la base de día y mes, incluyendo la variable clima como la cantidad de precipitación y nevadas.

El aumento en la magnitud de esas variables se encontró mientras se producía la disminución de las frecuencias mensuales de accidentes, mientras se sigue la tendencia inversa en la predicción de las frecuencias diarias de accidentes con las mismas variables.

En Tailandia, durante los últimos años, un número de investigadores han intentado establecer la relación entre los accidentes vehiculares y el flujo de tráfico, geometría de la carretera y factores ambientales.

- **Un método simple de predecir velocidades de viaje sobre carreteras arterias urbanas para aplicaciones de planeación (*A Simple Method of Predicting Travel Speed on Urban Arterial Streets for Planning Applications*). (Tarko, Choocharukul, Bhargava, & Sinha, 2006).**

Factores de ingeniería de carreteras que afectan la frecuencia de accidentes de carretera en arterias menores. Se emplearon modelos de regresión binomial negativa y de Poisson. Las variables adicionales incluyen la longitud de la sección y superficie de pavimento que se introdujeron como variables mudas.

En este estudio se demuestra que el modelo de regresión binomial negativa es una poderosa herramienta estadística para modelar los recuentos de accidentes de tránsito que son, naturalmente, no negativos y no se distribuyen normalmente.

En resumen, la literatura sobre modelos de predicción de accidentes de tránsito se ha ido incrementando. Durante décadas, los modelos de regresión binomial negativa y de Poisson han sido ampliamente utilizados para analizar datos de recuento de accidentes.

La mayoría de las investigaciones anteriores se han enfocado en los efectos de seguridad del entorno de la carretera como el flujo de tráfico, ancho de carril, número de accesos y conexiones por carretera. Sin embargo, los efectos de clima, variación estacional y uso de la tierra sobre accidentes y víctimas rara vez han sido investigados.



- **Modelo de predicción de accidentes para carreteras de múltiples carriles (A crash-prediction model for multilane roads). (Caliendo, Guida, & Parisi, 2007).**

Desarrolla un modelo de predicción de choque para carreteras de varios carriles en Italia. El modelo de predicción de accidentes expresa la relación entre la infraestructura geométrica, el flujo de tráfico vehicular y los factores ambientales utilizando datos históricos de cinco años.

El modelo lineal generalizado conocido como Regresión de Poisson, Regresión negativa binomial y multinomial se utilizó para curvas y tangentes de todos los accidentes leves y graves. Las variables incluidas fueron la longitud, AADT, curvatura, distancia de visibilidad, coeficiente de fricción lateral, pendiente longitudinal y la presencia de intersecciones.

Las variables de longitud, curvatura y AADT son las más significativas para el modelo en las curvas. Asimismo, la longitud, AADT e intersecciones son el factor significativo en la sección tangente. Se utilizó el coeficiente probabilístico de bondad de ajuste para evaluar el modelo. El modelo de regresión multinomial negativa tiene la mayor variación total y sistemática, seguidos por el modelo binomial negativo y la regresión de Poisson.

- **Desarrollo de un Modelo de Predicción de accidentes (Development of Accident Prediction Model). (TARC, 2009).**

Documento web que presenta un modelo de predicción de accidentes de tránsito en Tailandia. Debido a que los datos de accidentes son discretos y no poseen valores negativos, el uso de regresiones lineales podría dar lugar a estimaciones sesgadas para modelos de predicción de accidentes.

Uno de los modelos más utilizados para estudiar los accidentes de tránsito (conteo), según el estado del arte consultado, es suponer que los datos siguen una distribución de Poisson, sin embargo, surge la dificultad cuando la varianza observada es mayor que la media, lo cual se conoce como el fenómeno de sobre dispersión. Que indica la ausencia de alguna variable relevante.

El propósito del análisis es el desarrollo de modelos de predicción de accidentes e investigar los factores que contribuyen a la ocurrencia y gravedad de accidentes en carreteras a partir de los datos en las carreteras N° 2 y 4 en Tailandia.

Mientras que los resultados que se basan en Poisson y Regresión Binomial Negativa, revelan varios factores relacionados con el entorno de la carretera que puede inducir a accidentes y víctimas, los resultados deben interpretarse con cautela, teniendo en cuenta las características locales de la zona de estudio.



- **Determinación de zonas susceptibles a accidentes de tránsito en el canton Rumiñahui, mediante el desarrollo e implementación de un sistema de información geográfica para la policía nacional. (E & T, 2011)**

Se trata de la construcción de un sistema de información geográfica completo para la policía nacional que permita mejorar la captura, procesamiento y análisis de la información de accidentes de tránsito en la ciudad.

En este trabajo se desarrollan todas las etapas de construcción de una base de datos y de un sistema de información geográfica, además de la espacialización de los accidentes de tránsito. También se realiza un análisis de “puntos negros” donde se muestran los conglomerados o agrupaciones de accidentes de tránsito en la zona de estudio.

Finalmente se construyen varios modelos como Regresión Lineal Múltiple, Regresión Multivariada Adaptativa Splines (MARS), Regresión de Poisson y Regresión Binomial Negativa. Todos los modelos se validan.

Este trabajo concluye con que el modelo de Poisson es el que mejor resultados arroja, también que depende de las variables estudiadas, ya que no se incluyeron datos de clima o de construcción de la vía así como sus características geométricas.

Tabla 1. Variables en estudio para el análisis y modelamiento espacial.

No.	VARIABLE EN ESTUDIO	INFORMACIÓN GENERADA EN COBERTURA “EJE_VIAL” 	INFORMACIÓN GENERADA/OBTENIDA EN COBERTURA POLÍGONO 
1	Número de Carriles	✓	
2	Velocidad	✓	
3	Tipo de Rodadura	✓	
4	Estado de la Vía	✓	
5	Clase de Vía	✓	
6	Tipo de Intersección		✓
7	Cantidad de Intersecciones		✓
8	Ocupación del Suelo		✓

Fuente: (E & T, 2011).



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, para finalmente construir un modelo espacial de MPAT en Cali. La metodología se presenta con más detalle en la Tabla 2:

Tabla 2. Metodología del proyecto.

<p>Fase 1. Recopilación y revisión de información.</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Recopilación de Registros de MPAT. •Recopilación de la información del Agente de Tránsito. •Fuentes de Información. •Base Cartográfica.
<p>Fase 2. Análisis de requerimientos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Estructura de la información y variables requeridas. •Diseño conceptual. •Diseño lógico. •Diseño físico.
<p>Fase 3. Espacialización de la información.</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Estandarización de las direcciones registradas. •Geocodificación de direcciones estandarizadas. •Depuración y ajuste de direcciones no concordantes. •Georreferenciación de las direcciones Geocodificadas. •Estadísticas y resultados con las MPAT georeferenciadas.
<p>Fase 4. Identificación de patrones puntuales y zonas críticas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Análisis de puntos calientes de MPAT. •Creación de Superficie continua de MPAT. •Identificación y caracterización de zonas críticas de MPAT.
<p>Fase 5. Creacion y ajuste de modelo espacial de MPAT</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Identificación de variables dependiente y explicativas. •Análisis de Regresion Exploratoria •Regresion Lineal Múltiple - OLS •Regresion Espacial ponderada GWR

Fuente: Elaboración propia, 2015.



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 multitemporal y de 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:

- 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 cambios 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 – Departamento Administrativo de Planeación Municipal.

La información de MPAT debe ser depurada para determinar las variables que serán utilizadas en los análisis (tabla 3).

Tabla 3. 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, 2015.

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 28).



Ilustración 28. Inconsistencias en las direcciones registradas.

TV 103 CON DG 26 P 8 00
CL 73 CON DG 26 G 8 00
NA
CL 5 CON KR 80 00
CL 5 CON KR 91 91
CL 4 E CON KR 94 00
KR 93 CON CL 3 00
CL 4 B CON KR 94 00
CL 4 CON KR 87 00
SIN DATOS
KR 95 CON CL 3 O 00
KR 93 CON 1 B 122
KR 93 CON CL 1 B 122
CL 5 CON KR 84 A 00
CONTROL BUSES ALAMEDA
AV 6 N CON CL 69 00

Fuente: Elaboración Propia, 2015

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, 2015.

- **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 (ver anexo 2) se describen los hechos, causas y lugar del accidente de manera textual y gráfica.

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.



- **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 (<http://www.cali.gov.co/transito>). 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.
- Secretaría de Infraestructura y Valorización (<http://www.cali.gov.co/valorizacion>) 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.
- Departamento Administrativo de Planeación municipal (<http://www.cali.gov.co/planeacion>). 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.
- Infraestructura de datos espaciales de Cali IDESC (<http://idesc.cali.gov.co>). Encargada de brindar una gestión eficiente de la información geográfica del municipio de Santiago de Cali. Ofrece las coberturas del POT de la ciudad a través de un Geoportal y Geovisor. **Aporte:** Cartografía Base digital georeferenciada e imágenes aéreas.
- Instituto de Investigación y Desarrollo en Prevención de la Violencia y Promoción de la Convivencia Social (<http://cisalva.univalle.edu.co>). 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.

- **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.

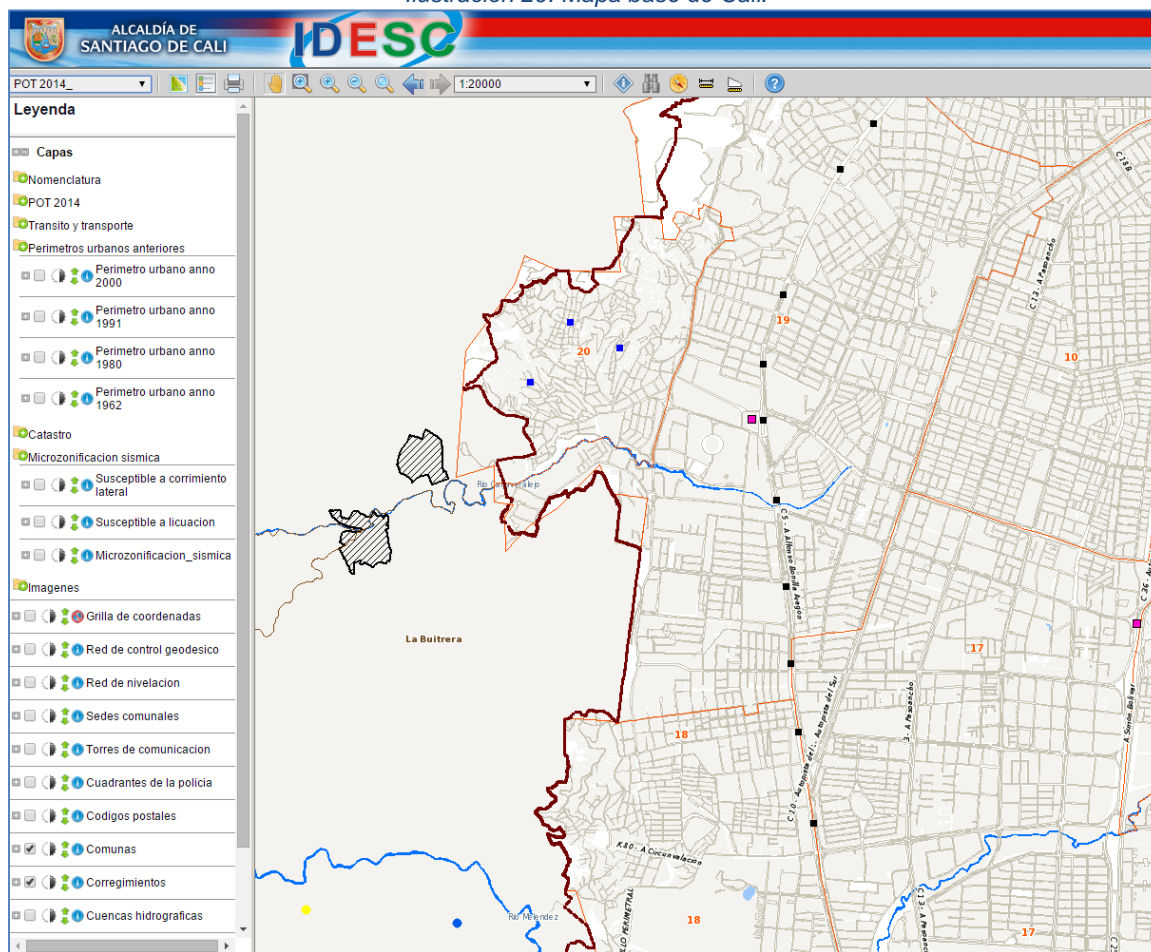


Tabla 5. Metadatos de cartografía base obtenida.

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, 2015.

Ilustración 29. Mapa base de Cali.



Fuente: Geovisor IDESC, 2015



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	Dominio	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 diagnostico
Vía	Estado	Estado de vía	Porcentaje de baches y fisuras	Posibles causas de las ocurrencias de MPAT. Modelo espacial.
		Numero carriles	Número de carriles de la vía	
	Diseño geométrico	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	Zona	Actividad o uso	Actividad económica de la zona	
		Sitios de interés	Colegios, hospitales y sitios cerca	

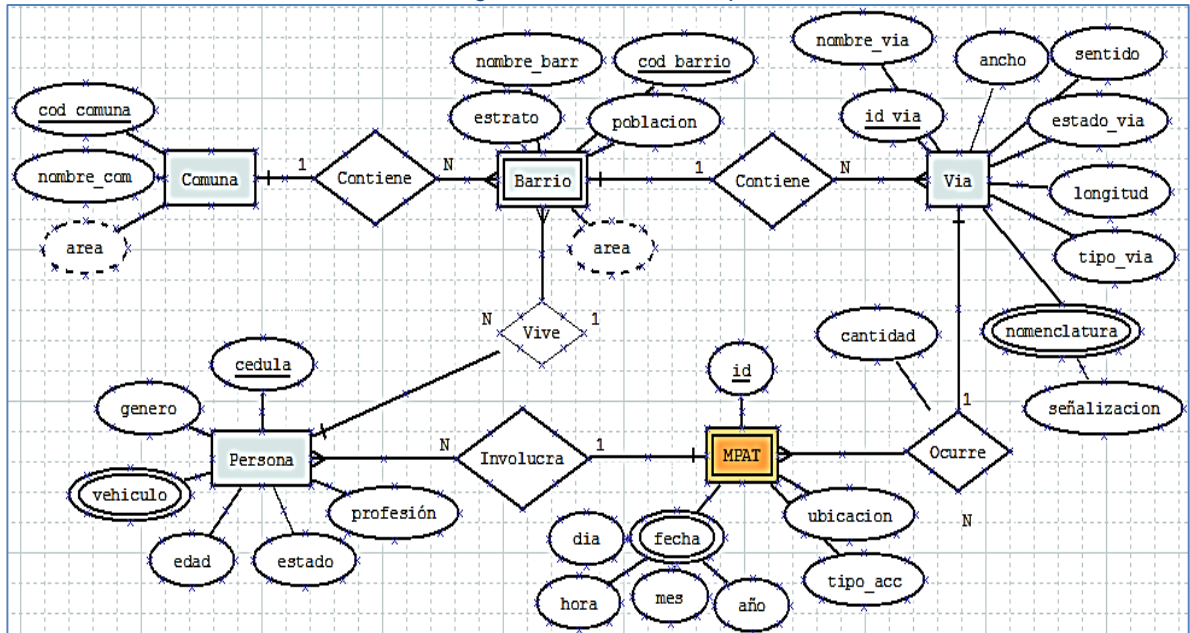
Fuente: Elaboración propia, 2015



- **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, mediante un modelo Entidad – Relación (E-R), 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, 2015

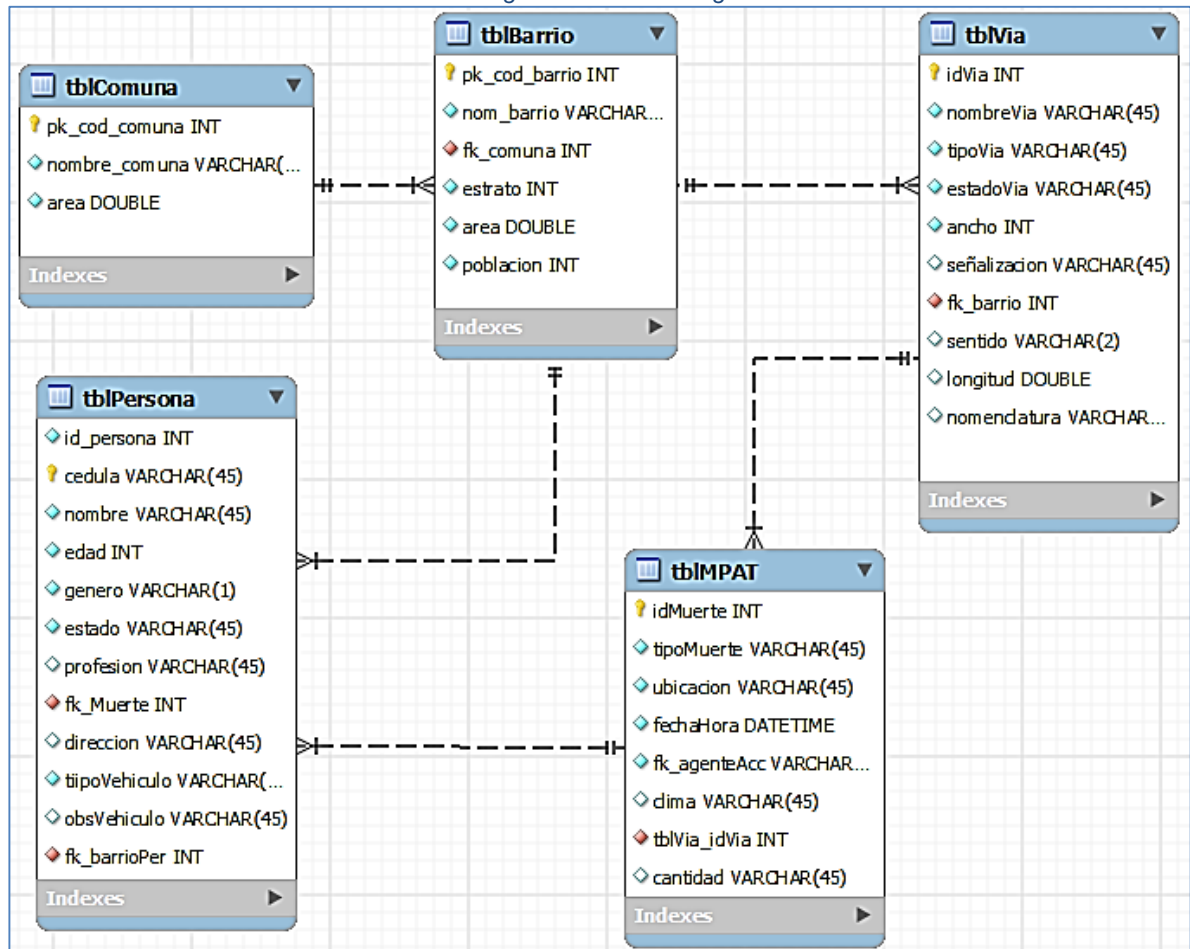
En el diagrama anterior se puede observar que una MPAT es un evento que involucra una o muchas personas (donde puede generar muerte en una o todas las personas involucradas en el mismo). Por lo tanto la relación MPAT – Persona se denomina 1 a muchos. También se observa la relación de la MPAT con la ubicación (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 (Objeto-Relacional). 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 (Ilustración 31). A partir del diagrama del diseño lógico se construye la BDG en el software.



Ilustración 31. Diagrama del diseño lógico de la BDG.



Fuente: Elaboración propia, 2015

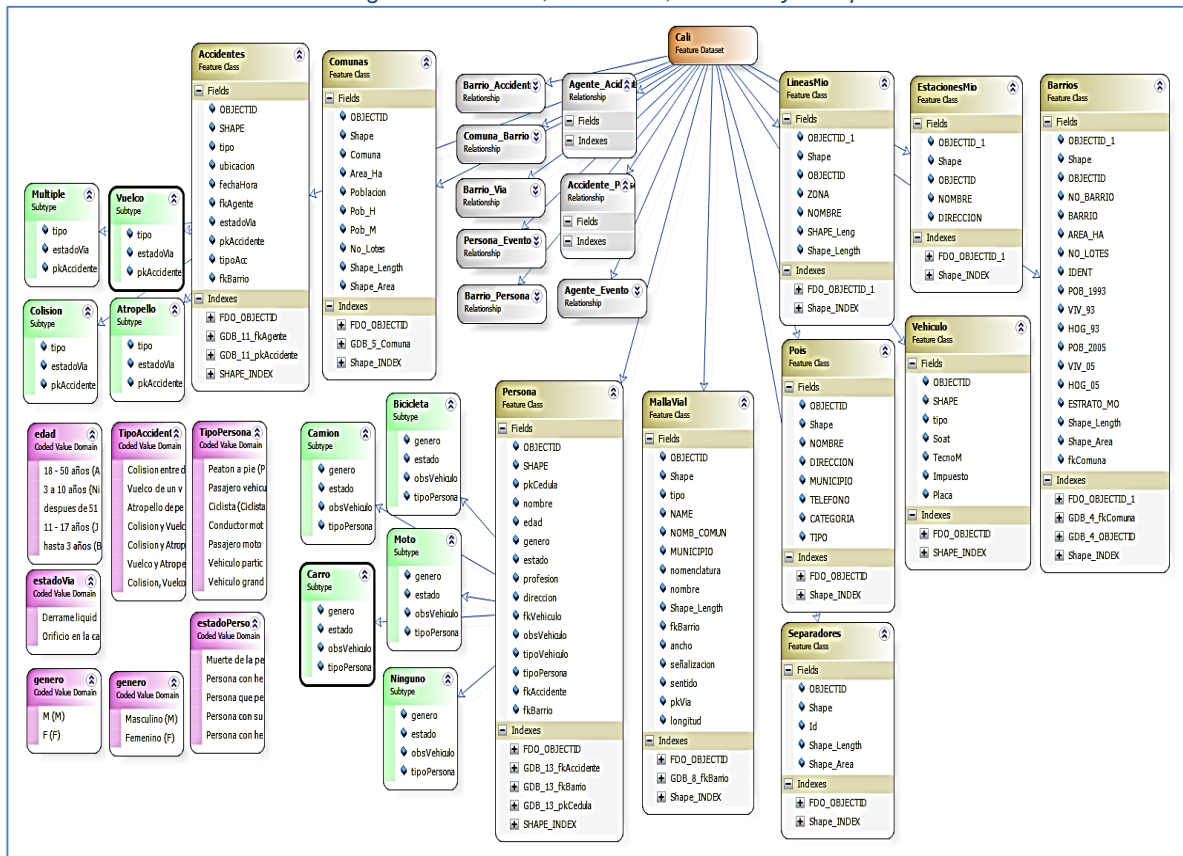
- **Diseño físico de la BDG.**

En el diagrama del diseño físico se presenta el esquema principal de la BDG en el software Arcgis Desktop versión 10.2.2. 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.

El modelo físico puede ser almacenado como un archivo de esquema .XML para ser importado en el sistema manejador de bases de datos de Arcgis Desktop (BDMS). El esquema se convierte en una base de datos geográfica (GDB) que permite, mediante herramientas de procesamiento, cargar la información alfanumérica y geográfica.



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



Fuente: Elaboración propia, 2015

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 a través del software (georeferenciación).

- **Estandarización de las direcciones registradas.**

La estandarización es un proceso por el cual se sigue un 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 se muestran en la 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, 2015.

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, 2015.

Finalmente se realiza la estandarización de 2781 direcciones registradas en la base de datos para que coincidan con la nomenclatura de la malla vial y la geocodificación se acerque al 100% de acierto, 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 2004 hasta 2014; como base cartográfica codificada, se cuenta con la malla vial de Santiago de Cali (Esri, 2009) que cuenta con la siguiente información tabular (atributos):

Tabla 9. 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, 2015.

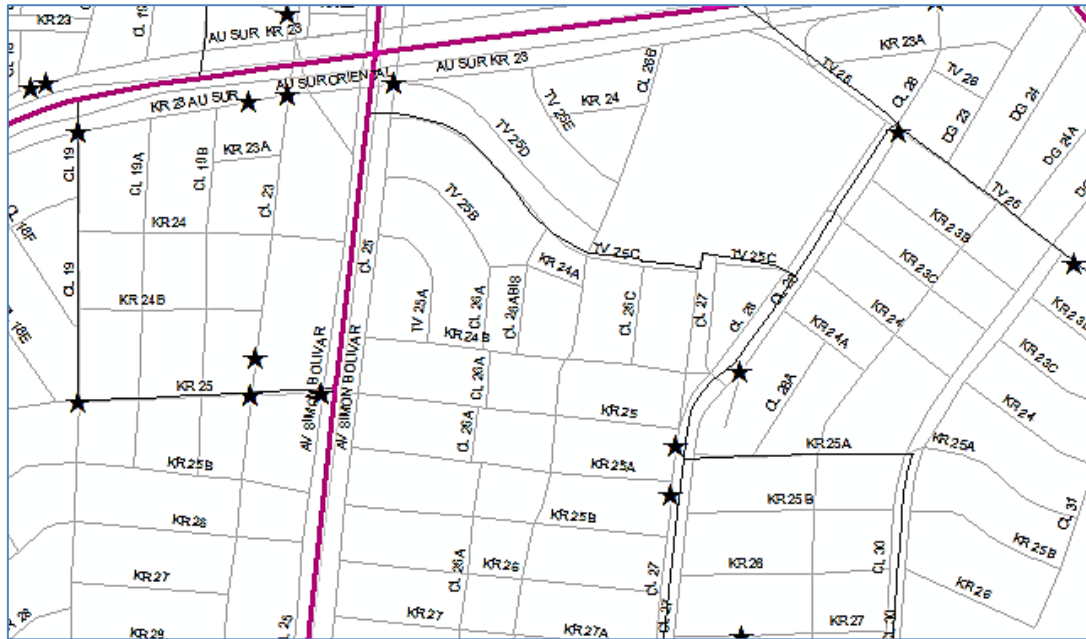
Se utiliza el software Arcgis Desktop versión 10.2.2 y se crea un localizador para interpretar correctamente los atributos de la base cartográfica (malla vial de Cali) para la geocodificación. El archivo de localización tendrá un nivel de confianza (coincidencia) del 90% para poder ubicar una dirección de manera apropiada o lo más cerca posible a la intersección entre vía principal y vía generadora.



- **Georreferenciación de las direcciones Goecodificadas.**

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 33. Geocodificación de una dirección.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **Depuración y ajuste de direcciones no concordantes.**

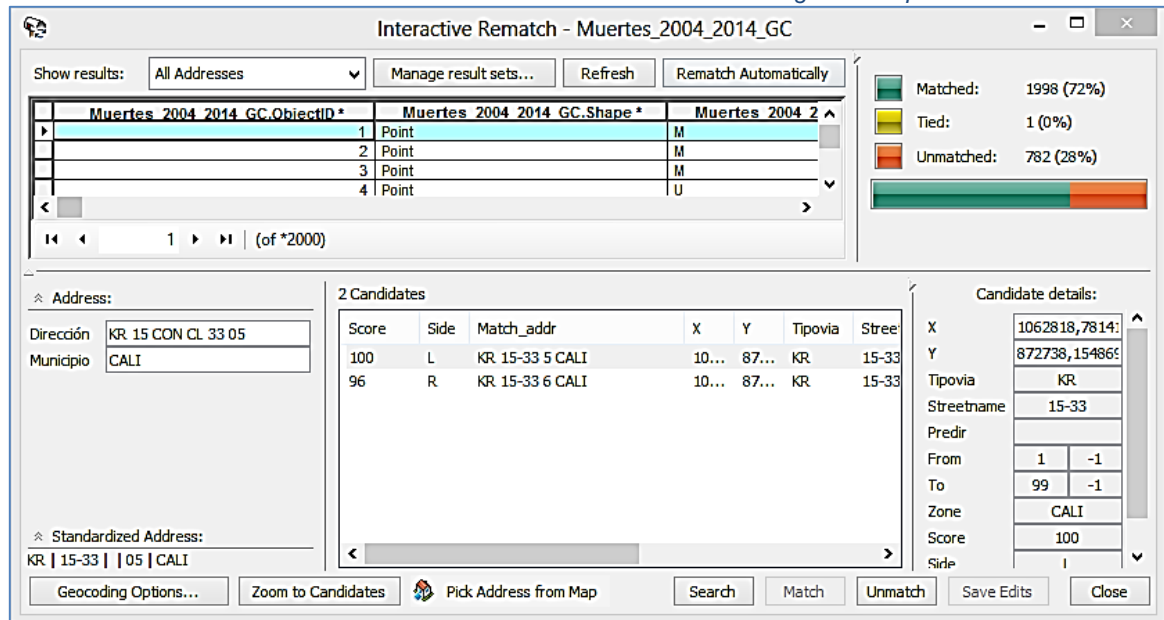
Las direcciones que tienen varios candidatos y algunas direcciones no coincidentes automáticamente, se pueden ubicar mediante un proceso de reajuste donde se revisan manualmente (con ayuda del software) cada una de las direcciones faltantes.

Algunas direcciones no coinciden con el primer proceso porque el programa no puede determinar a qué lado de la vía ubicar el punto, porque existen varias posibilidades para una dirección o porque existen cambios en la vía o en la nomenclatura de las direcciones respecto a la fecha de captura de la MPAT.

Por ejemplo, la dirección Carrera 1C # 23 A 05, el software puede dar opciones en Carrera 1C # 23 A 04 y Carrera 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 34).



Ilustración 34. Proceso de Re-Codificación con Arcgis Desktop.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

- **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 de campo.

- **Análisis de puntos calientes 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 a partir de evidencias rechazar dicha hipótesis para aceptar o demostrar que geográficamente se pueden generar patrones de agrupamiento o “clúster”.

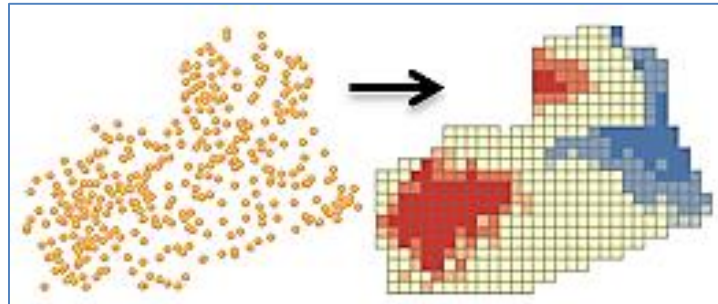


Al realizar un análisis de puntos calientes (HS), se pueden visualizar zonas donde se presenta acumulación de eventos mientras que en otras apenas se registran incidentes; si se tiene en cuenta la variable temporal, se puede observar cómo cambian esos patrones a través del tiempo.

Para demostrar que los datos presentan agrupamientos y presentar evidencias para rechazar la hipótesis nula, se realiza un análisis exploratorio utilizando la herramienta “Promedio de vecino más cercano”. Esta herramienta permite calcular un índice de vecino más cercano con base a la distancia promedio desde cada entidad hasta la más cercana (Esri, 2014)

La herramienta calcula la distancia media observada y esperada, índice de vecino más cercano, puntuación z (desviación estándar) y valor p (nivel de significancia). Estos datos dan la suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula y exhibir la distribución de los datos, teniendo en cuenta el área de estudio. Área urbana de Cali 11920,59 Ha.

Ilustración 35. Análisis de puntos calientes G_i^ .*



Fuente: (Esri_Resources, 2014).

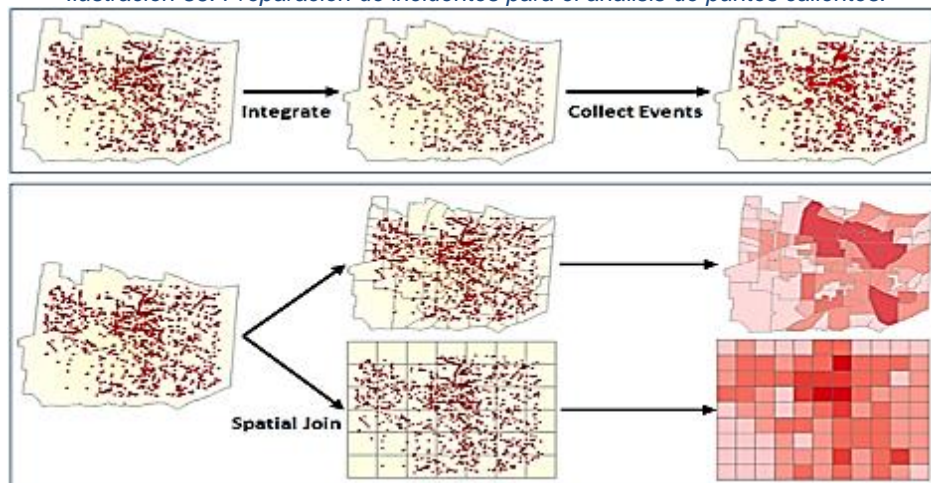
Al establecer que la información de MPAT presenta patrones de agrupamiento puntual, se procede a realizar un análisis de puntos calientes (HotSpot) a través de la herramienta “Hot Spot Analysis (Getis-Ord G_i^*)” de Arcgis Desktop durante el periodo de estudio y año a año.

La herramienta realiza cálculos de distancia al vecino más cercano, distancia de banda (distancia mínima y máxima para asegurar que una MPAT tiene al menos **N** vecinos), tamaño de pixel, cálculos estadísticos y corrección basada en el Índice de Descubrimientos Falsos (**False Discovery Rate, FDR**) para obtener resultados más precisos según la muestra (dato de entrada). Los pasos son:

- Asegurarse que el tamaño de la muestra es suficiente (mayor a 30 incidentes).
- Determinar si existen datos fuera de los límites establecidos para el cálculo.
- Integrar incidentes basados en la distancia de banda mínima.
- Realizar un conteo de los incidentes integrados y calcular estadísticas.
- Calcular la escala de análisis basada en la distancia de banda máxima.
- Calcular el número de incidentes significantes realizando la corrección FDR.
- Generar una superficie continua DK basada en la distancia de banda máxima.



Ilustración 36. Preparación de incidentes para el análisis de puntos calientes.



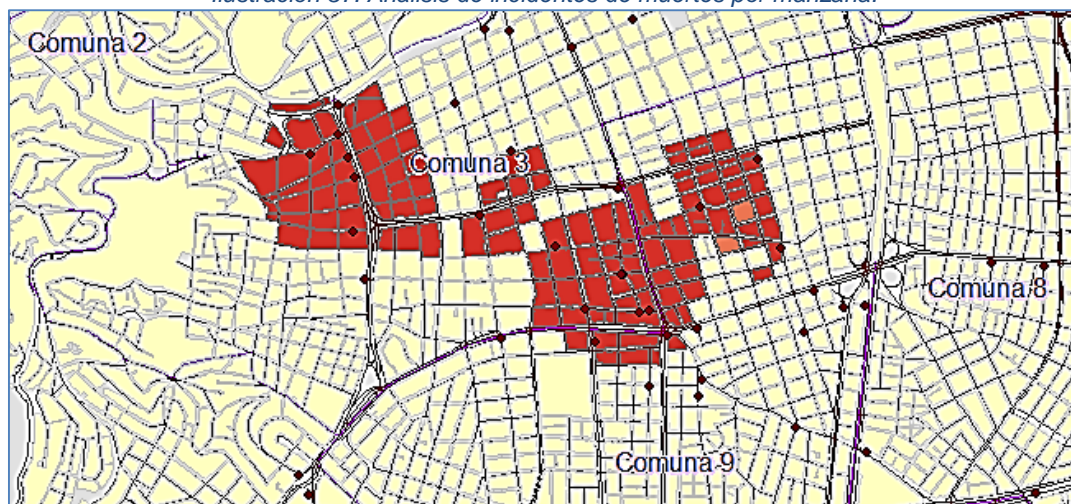
Fuente: (Esri_Resources, 2014)

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

- **Creación de Superficie de MPAT.**

Este tipo de análisis permite acotar o sesgar el estudio a zonas donde se presenten agrupaciones de incidentes para construir una superficie continua y 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 37.

Ilustración 37. Análisis de incidentes de muertes por manzana.



Fuente: Elaboración Propia.

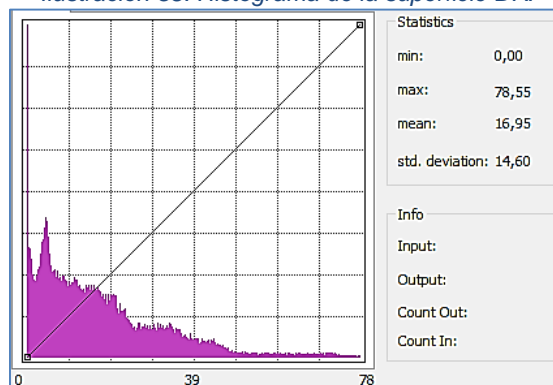


Se realiza un cálculo de superficie de MPAT durante el periodo 2004-2014 y año a año. Se utiliza el resultado del análisis de HS (significancia positiva, negativa o nula) como atributo de interpolación. El resultado es una superficie continua que representa los valores de G_i^* positivos significantes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

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 “Extendido” (Stretched). Este método de visualización muestra valores de celda continuos a lo largo de una rampa gradual de colores. Se aplica un aumento de contraste de ecualización de histograma. Este método es eficaz cuando existen numerosos valores de píxel que se encuentran agrupados estrechamente. (Esri, 2014).

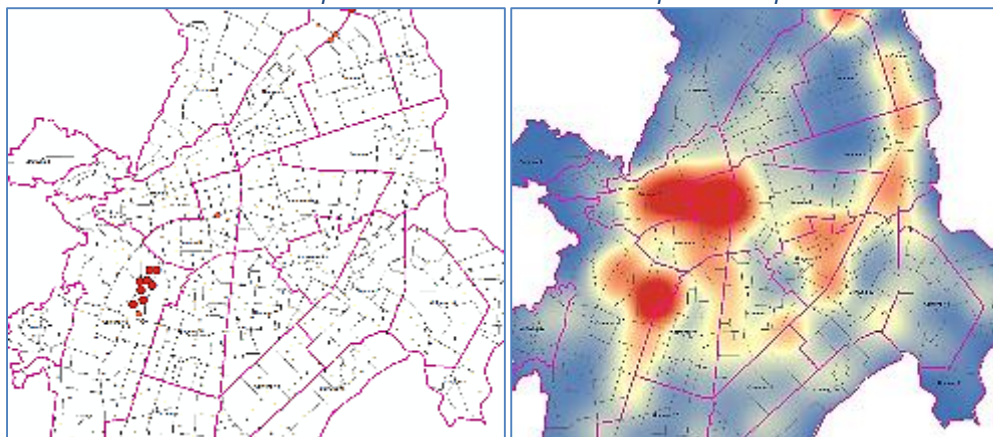
Ilustración 38. Histograma de la superficie DK.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

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

Ilustración 39. Interpolación de incidentes a una superficie de predicción.



Fuente: (Esri_Resources, 2014)



- **Identificación y caracterización de zonas críticas.**

Se realiza una comparación de las zonas rojas en el mapa de superficie durante el periodo 2004 – 2010 y también año por año con el fin de determinar las zonas críticas en la ciudad.

Tabla 10. 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, 2015

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 40. Información de zonas críticas (Barrio el Refugio, Cali).



Fuente: Elaboración propia, 2015.

6.2.2. Fase 5. Creación y ajuste del modelo espacial de MPAT.

En esta fase se realiza una clasificación de variables a estudiar para realizar un análisis de regresión exploratoria con dichas variables para identificar los factores que permitan explicar la ocurrencia y agrupación de MPAT en las zonas críticas caracterizadas en un tiempo T dentro de una red vehicular (Network Analysis).



- **Identificación de variables: dependiente y explicativas.**

Con el fin de determinar los factores que puedan explicar las MPAT en las zonas críticas identificadas, se realiza un listado de las variables a estudiar teniendo como base la información obtenida de las fuentes y la información recolectada en campo.

En un accidente de tránsito existen 3 factores que permiten describir e identificar las causas del mismo: el **individuo**, el **vehículo** y la **vía**. Las variables estudiadas en este proyecto están relacionadas con la **vía** y elementos cercanos a las zonas críticas identificadas. En la tabla 11 se presenta un listado de las variables que se estudiaron dentro de un análisis de regresión exploratoria con el fin de determinar si explican las MPAT y encontrar las variables independientes que expliquen la ecuación: $Y = \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \dots + \beta_nX_n + \varepsilon$, Donde:

- Y = Frecuencia de muertes dentro de la Jerarquización Vial de Cali.
 X_{1-n} = Variables independientes encontradas después de la regresión exploratoria.
 β_{1-n} = Residuos o coeficientes de estimación.
 ε = Error aleatorio.

Tabla 11. Posibles Causas de MPAT relacionadas con la vía.

No.	Variable	Tipo
0	Frecuencia de MPAT en ejes viales	Dependiente
X1	Ancho de vía	Independiente
X2	Cantidad de Intersecciones viales	
X3	Fines de semana	
X4	Distancia a Instituciones educativas	
X5	Distancia a Parques y Zonas verdes	
X6	Distancia a sitios de interés	
X7	Hora de accidente	
X8	Largo de vía	
X9	Número de carriles	
X10	Número de semáforos	
X11	Puentes peatonales	
X12	Tipo de carretera	
X13	Número de Peatones	
X14	Velocidad permitida	

Fuente: Elaboración propia.

El periodo de estudio T para el análisis de regresión será 2009-2014. Se utiliza este periodo porque representa la puesta en marcha plena del Sistema de Transporte Masivo MIO y el inicio de la construcción de las Megaobras en Cali.

Como las condiciones y características de la vía pueden cambiar durante el periodo T, se considera la falta de información histórica y poca cantidad de datos que generan las MPAT y se asume el error causado por el tiempo, se estima que en las Vías Principales, la variación de los factores estudiados es poca. La descripción de cada variable, sus características su forma de obtención se lista a continuación.



Y. **Frecuencia de muertes por accidentes de tránsito:**

Se utiliza la jerarquización vial de Santiago de Cali (Fuente: DAPM); para la creación espacial de la variable dependiente se requirió contabilizar la frecuencia de muertes por cada tramo vial y debido a que la jerarquización vial no tiene en cuenta las vías de 3er orden (residenciales) se excluyen dichas MPAT del análisis. Los pasos para la creación de la variable dependiente se listan a continuación:

- La jerarquización vial se clasifica por tipo de vía.
- Se divide cada arteria teniendo como base las intersecciones entre cada vía.
- Se limita al área urbana y se elimina la vía férrea.
- Se crea una zona de influencia (buffer) sobre la malla vial utilizando como distancia el ancho de cada vía según su tipo.
- Se realiza una suma de las MPAT que se intersectan con el eje de vía

X.1 Ancho de vía: se mide desde un separador peatonal hasta el otro, teniendo en cuenta también el separador vial, y el tipo de vía. Se puede determinar su influencia en la muerte de peatones, sobre todo en las carreteras más anchas y su relación con la ausencia de semáforos o puentes peatonales. Se crea un campo en la variable dependiente donde se calcula el ancho de cada vía según el tipo.

Tabla 12. Ancho de carretera según jerarquía vial.

No.	Tipo de vía	Ancho (m)
1	Vía Interregional	40
2	Vía Arteria principal	30
3	Vía Arteria secundaria	20
4	Vía Colectora	10

Fuente: Elaboración propia, 2015.

X.2 Cantidad de Intersecciones viales: esta variable es importante porque se estima que entre más cruces viales posea un tramo o zona, más accidentes se pueden presentar en la misma. Se generan cruces entre los ejes viales de Cali para generar puntos de intersección. Se realiza un conteo de las intersecciones por cada tramo de la variable dependiente.

X.3 Fines de semana: se quiere estudiar la relación existente (o no) entre las muertes y el día de ocurrencia; se cree que ocurren más muertes los fines de semana. Se agrupan las MPAT de viernes a domingo y se suman por cada tramo.

X.4 Distancia a Instituciones educativas: cercanía de las MPAT con las instituciones educativas para determinar la influencia de colegios cerca. Se crea un buffer a las instituciones educativas cercanas a cada tramo de vía y se realiza una suma o conteo espacial.

X.5 Distancia a Parques y Zonas verdes: cercanía de las MPAT con los parques y zonas verdes para determinar su influencia. Se crea un buffer a parques y zonas verdes cercanos a cada vía y se realiza una suma o conteo espacial.



X.6 Distancia a sitios de interés: cercanía de las MPAT con los sitios de interés de la ciudad con el fin de determinar influencia de algunos de ellos. Se crea un buffer a los sitios de interés social (bar, club, discoteca, centro comercial) cercanos a cada tramo de vía y se realiza una sumatoria o conteo espacial.

X.7 Hora de ocurrencia: Se estima mayor cantidad de muertes en horas de la noche y madrugada; se requiere estudiar la relación existente de las muertes con esta variable. Se agrupan las MPAT según el rango de hora de ocurrencia (19:00 – 06:00), se suma a cada tramo de vía.

X.8 Longitud de vía: esta variable mide la distancia en metros de intersección a intersección y su influencia en la MPAT puede explicar que a mayor longitud de vía mayor o menor peligro, dependiendo también de otros factores como semáforos e intersecciones viales. Se calcula la longitud de vía de cada tramo desde la entidad jerarquización vial de intersección a intersección.

X.9 Número de carriles: indica la cantidad de carriles por calzada según el tipo de vía. Se puede presentar que a mayor número de carriles mayor flujo vehicular y congestión que influye en la ocurrencia de AT. Se clasifica de manera general utilizando la jerarquización vial municipal. Se crea un campo en la variable espacial dependiente y se calcula el número de carriles correspondiente con el tipo de vía de la jerarquización vial.

Tabla 13. Numero de calzadas y carriles por tipo de vía.

No.	Tipo de vía	# Calzadas	# Carriles por calzada
1	Vía Interregional	2	4
2	Vía Arteria principal	2	3
3	Vía Arteria secundaria	2	2
4	Vía Colectora	1	2

Fuente: Elaboración propia, 2015.

X.10 Número de semáforos: la cantidad de semáforos dentro de un tramo vial puede influir en las MPAT ya que regulan de cierta forma la velocidad adquirida en tramos muy largos y permite el paso en los cruces viales. Se realiza una intersección geográfica entre la variable espacial dependiente y la ubicación de los semáforos con el fin de realizar una suma o conteo por cada tramo.

X.11 Puentes peatonales: permite el flujo peatonal para el paso sobre una vía. Se quiere demostrar que en la ausencia de puentes peatonales puede ocurrir mayor cantidad de AT. Se realiza una clasificación de los puentes peatonales y una suma espacial de cada puente por tramo.

X.12 Tipo de carretera: según el POT, las vías se clasifican por su nivel de importancia e infraestructura. Esta clasificación puede influir en las MPAT ya que se modifica la velocidad permitida, el número de carriles, el ancho y largo de la vía.



Tabla 14. Clasificación por tipo de carretera

No.	Tipo de vía	Descripción
1	Interregional	Carretera Regional que une el municipio con otros municipios
2	Principal	Carretera Municipal de sección transversal ancha y tramos longitudinales largos de alto flujo vehicular y carga pesada.
3	Secundaria	Carretera Municipal de baja velocidad y flujo vehicular medio.
4	Colectora	Carretera urbana que conecta las vías secundarias con los sectores homogéneos.

Fuente: Elaboración propia.

X.13 Tipo de vehículo: En las estadísticas de MPAT durante el periodo, la muerte de peatones es más frecuente que la de conductores de vehículos, por lo tanto se incluye ésta variable para ver su relación directa con las causas de MPAT.

X.14 Velocidad permitida: la velocidad depende de otros factores como el tipo de vía, la pendiente o el tipo de rodadura. En este caso se utiliza la velocidad permitida que se clasifica de manera general dependiendo del tipo de vía, utilizando los estándares de velocidad permitida según el manual de INVIAS (Instituto Nacional de Vías INVIAS, 2008).

Tabla 15. Velocidad permitida según tipo de vía.

No.	Tipo de vía	Velocidad permitida km/h
1	Vía Interregional	80
2	Vía Arteria principal	60
3	Vía Arteria secundaria	50
4	Vía Colectora	40

Fuente: Elaboración propia, 2015

- **Análisis de Regresión exploratoria**

Para evaluar todas las combinaciones de posibles variables explicativas, buscando modelos OLS que expliquen mejor la variable dependiente en el contexto espacial, es necesario realizar una regresión exploratoria de los datos (Esri, 2014).

Esta herramienta utiliza Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS) y Autocorrelación espacial (I de Moran global), generando también una matriz de ponderaciones espaciales que permite evaluar los residuales del modelo.

Se realiza una regresión exploratoria utilizando las 14 variables explicativas identificadas con el objetivo de obtener un modelo de regresión lineal múltiple de mínimo 1 y máximo 14 variables independientes que logren explicar las MPAT en Cali.

Para realizar esta prueba se identifica y selecciona la variable dependiente y se realiza una consulta y elección de las posibles variables explicativas. Hay seis controles que se deben validar para estimar un modelo propiamente especificado, en el que se pueda confiar y utilizar para hacer predicciones (Esri, 2014):



1. ¿Estas variables explicativas están ayudando a mi modelo?

Este control permite determinar si las variables explicativas son estadísticamente significativas o no. Se calcula el coeficiente de cada variable explicativa y se realiza una prueba estadística para calcular la probabilidad de que el coeficiente sea realmente de cero. Si el coeficiente es cero (o muy cercano a cero) la variable no ayuda al modelo.

La prueba estadística también devuelve una probabilidad (**Valor p**) de que el coeficiente sea cero; si la probabilidad es menor que 0,05% entonces la variable es importante para el modelo en un 95% de nivel de confianza. Otra prueba estadística es la estadística de **Koenker** (Breusch-Pagan estudentizada de Koenker) para la no estacionariedad y determinar si las variables varían en toda el área de estudio o son estacionarias (robustas).

2. ¿Las relaciones son lo que esperaba?

Este control permite identificar si la relación de una variable explicativa con la variable dependiente es lo que esperaba revisando el signo de los coeficientes y determinando si la relación es positiva o negativa y verificando que cumple con la teoría o el sentido común.

3. ¿Algunas de las variables explicativas son redundantes?

Este control permite conocer si dos o más variables explicativas están contando la misma historia (redundantes). Se calcula un **Factor de Inflación de la Varianza (FIV)** para cada variable como medida de redundancia y poder quitar variables del modelo sin perder poder explicativo del mismo.

Un valor VIF $> 7,5$ es problemático y si dos variables presentan estos valores, se debe quitar una y correr el modelo hasta eliminar la redundancia.

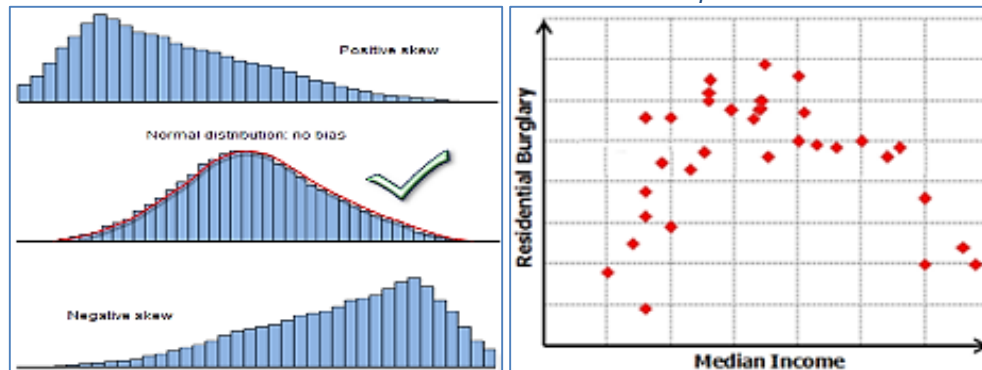
4. ¿Mi modelo está influenciado?

Este control permite determinar si el modelo está influenciado, cuando los residuales del modelo no se distribuyen normalmente con un valor medio de cero (campana). En la ilustración 41, en el gráfico de la izquierda, se observa un modelo influenciado positivamente (arriba), un modelo no influenciado (medio) y un modelo influenciado negativamente (abajo).

Un diagnóstico **Jarque-Bera** estadísticamente significativo indica que el modelo está influenciado. Puede que el modelo haga un buen trabajo con los valores bajos pero no está anticipando bien los valores altos (o viceversa). Esta influencia también puede resultar de valores atípicos que están influyendo en la estimación del modelo.



Ilustración 41. Distribución de un modelo influenciado por una variable.

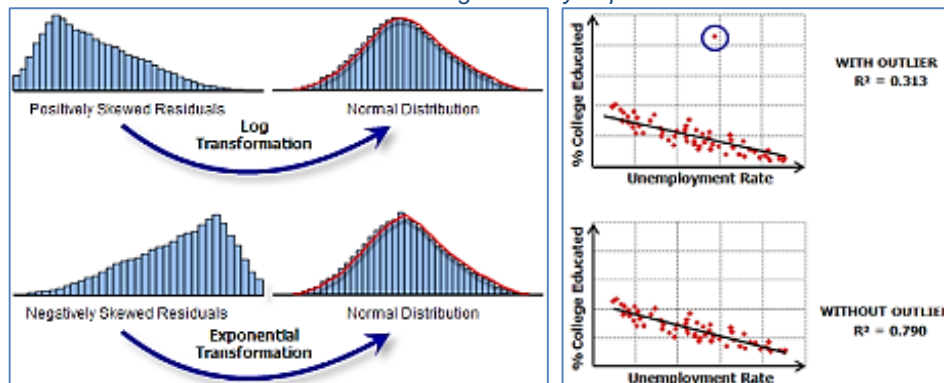


Fuente: (Esri, 2014).

Una matriz de dispersión permite identificar una relación no lineal (curva) entre la variable dependiente y una de las variables explicativas y puede causar influencia en el modelo, ya que la Regresión Lineal Múltiple solo trabaja relaciones lineales.

Se puede realizar una transformación de las variables para intentar crear relaciones más lineales a través del histograma, utilizando transformaciones como el logarítmico o el exponencial. Al transformar una variable también es posible eliminar el sesgo e identificar los valores atípicos de los datos.

Ilustración 42. Transformación Logarítmica y Exponencial de influencia.



Fuente: (Esri, 2014).

5. ¿He encontrado todas las variables explicativas clave?

Este control permite identificar variables explicativas que capturen efectivamente la estructura espacial de su variable dependiente. Para ello se deben modelar todas las variables posibles y buscar variables que aún no se hayan estudiado en el modelo para añadirlas.

Para evidenciar la ausencia de variables explicativas clave se utiliza la **Autocorrelación espacial estadísticamente significativa** de los residuales del modelo (puntuación z estadísticamente significativa). Algunas estrategias para encontrar variables explicativas clave son:



- Examinar el mapa residual OLS
- Examinar la no estacionariedad.
- Ajustar el OLS a áreas de estudio de un subconjunto más pequeño.

6. ¿Qué tan bien estoy explicando mi variable dependiente?

Este control permite evaluar el rendimiento del modelo. El valor R^2 es una medida importante de qué tanto están modelando las variables explicativas a la variable dependiente y es importante una vez completado los anteriores controles para no obtener influencia en este valor.

Los valores de R^2 oscilan entre 0 y 1 y representan un porcentaje que indica que tan bien explica el modelo los valores de la variable dependiente (desempeño). Otro diagnóstico importante para evaluar el rendimiento del modelo es el **Criterio de Información de Akaike corregido (AICc)**. Este valor es una medida útil para comparar varios modelos; el modelo con el valor del AICc más pequeño proporciona un mejor ajuste de los datos observados.

En la tabla 16 se pueden ver los resultados de las pruebas realizadas a los modelos presentados en la sección de resultados.

Tabla 16. Resumen de pruebas realizadas a modelos.

Criterio o prueba	Valor	# Pruebas	Modelos aprobados	% aprobación
R^2 ajustado Min	>0.50	10239	8960	87.5
Coficiente Max	< 0,05	10239	469	4.6
VIF Max	< 7,50	10239	6143	60
Jarque-Bera Min	> 0,10	10239	0	0
Autocorrelación espacial Min	> 0,10	39	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2015.

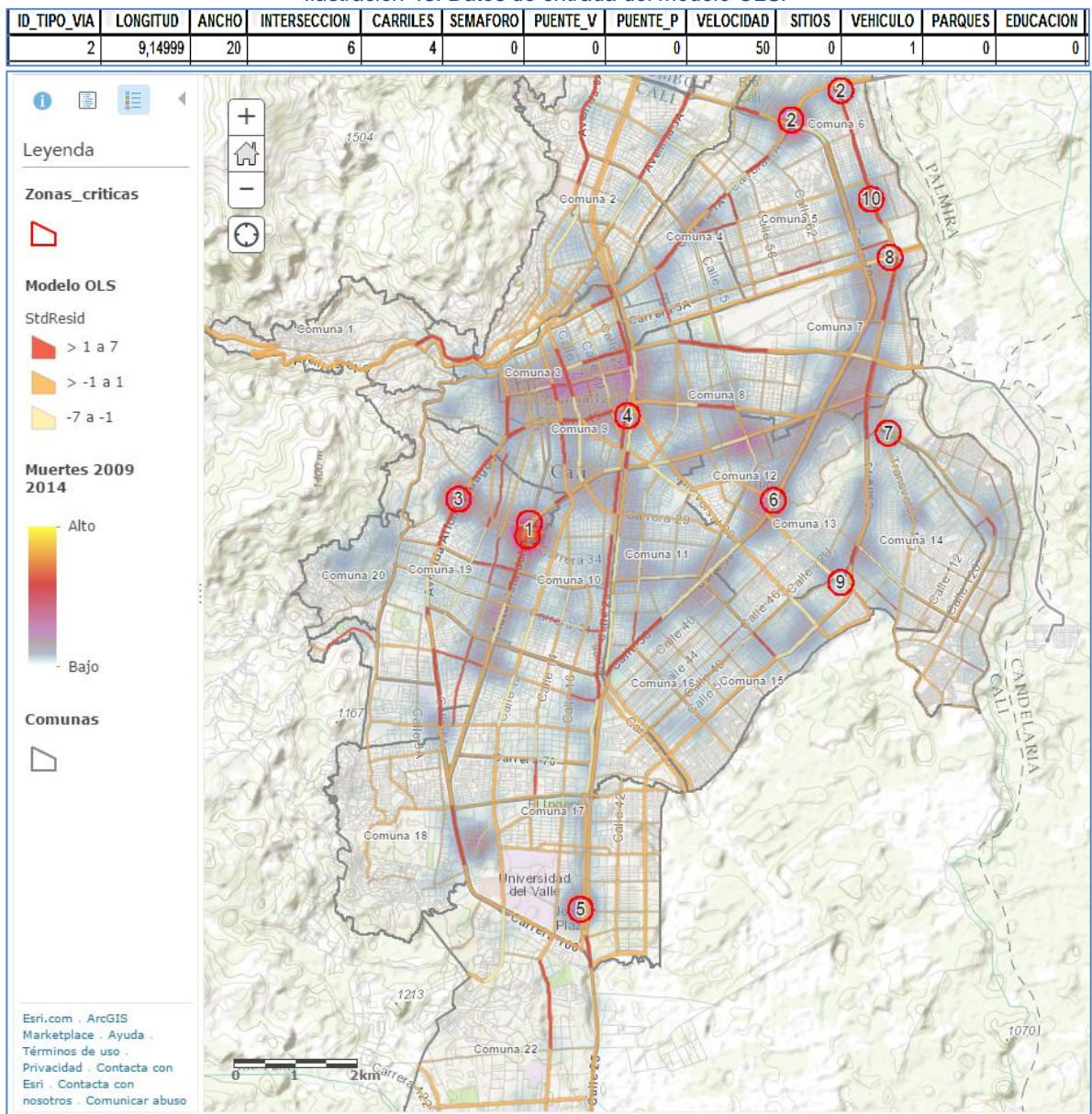
Como se observa en la tabla 16, ningún modelo pasa la prueba del valor p Jarque-Bera de residuales normalmente distribuidos, quiere decir que los modelos están influenciados por relaciones no lineales o valores atípicos. Tampoco pasaron la prueba de Autocorrelación espacial I Global de Moran, lo que indica que los residuales de algunas variables están correlacionados y que puede faltar variables explicativas clave.

• Regresión Lineal Múltiple – OLS

La técnica de regresión OLS es la más conocida, proporciona un modelo global de la variable o proceso que se intenta entender o prever, es el punto de inicio para cualquier análisis de regresión lineal (Esri, 2014). Para utilizar esta técnica, es necesario incluir la información de las variables dentro de una entidad, como atributos. Se realiza una transformación de cada entidad, a partir de análisis y procesos geográficos (geoprocesos). Las variables a utilizar deben ser las seleccionadas a partir del método anterior (regresión exploratoria).



Ilustración 43. Datos de entrada del modelo OLS.



Fuente: Elaboración propia, 2015

El modelo generado por la regresión lineal múltiple, a través de la técnica OLS, arroja resultados que permiten determinar la calidad del modelo generado, la relación de las variables explicativas con la dependiente e información adicional para realizar los respectivos ajustes.

En el modelo OLS cada observación es considerada de forma independiente. Pero lo cierto es que los datos espaciales no cumplen la hipótesis de independencia, debido a que normalmente están autocorrelacionados, por lo que la fuerza de la relación entre las variables del modelo no será la misma en toda el área de estudio (Clark, 2007).



Se puede utilizar este modelo lineal como base para explorar las variables que pueden explicar el fenómeno estudiado y realizar una depuración de las variables innecesarias o que generan incongruencias con el fin de conseguir un modelo espacial más fino o cercano al esperado.

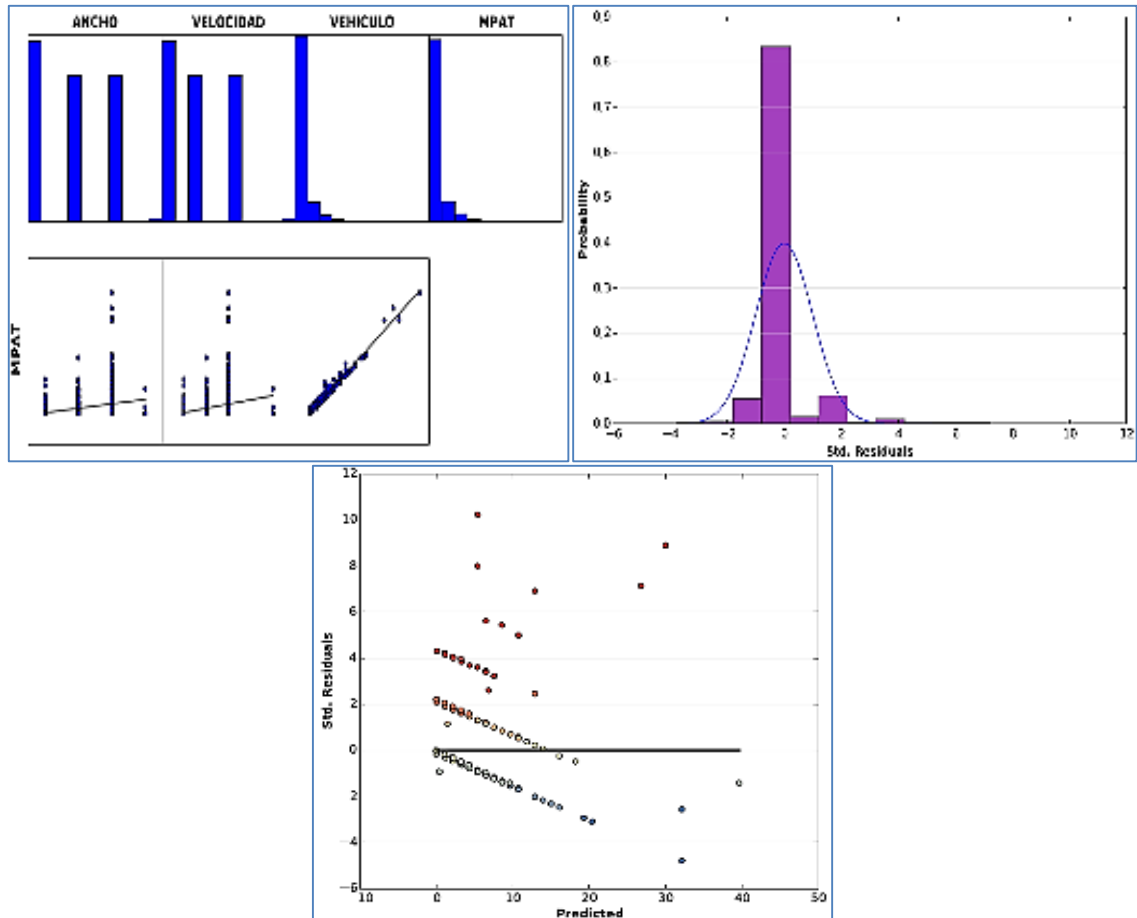
Ilustración 44. Indicadores para el modelo OLS.

Estadístico o medición	Descripción	Parámetros aceptables
AdjR2	R ² Ajustado	Mayores a 0,5
AICc	Información del criterio Akaike	Entre 0 e
JB	Valor p, Jarque-Bera	Mayores a 0,1
K(BP)	Valor p estadístico, Koenker (BP)	Tiende a 0
VIF	Factor de inflación de la varianza	Menores a 7,5
SA	Valor p, Global Moran I	Mayores a 0,1
Model Variable sign	Signo de la relación	(+/-)
Model Variable significance	Significancia	* = 0,10; ** = 0,05; *** = 0,01

Fuente: Elaboración propia, 2015

Se somete el modelo a los seis supuestos de la regresión lineal múltiple para su aprobación. Se realizan pruebas de dispersión, distribución y de heteroscedasticidad respectivamente (Ilustración 45). Los resultados se discuten el capítulo 7.

Ilustración 45. Resultados del OLS.



Fuente: Elaboración propia, 2015



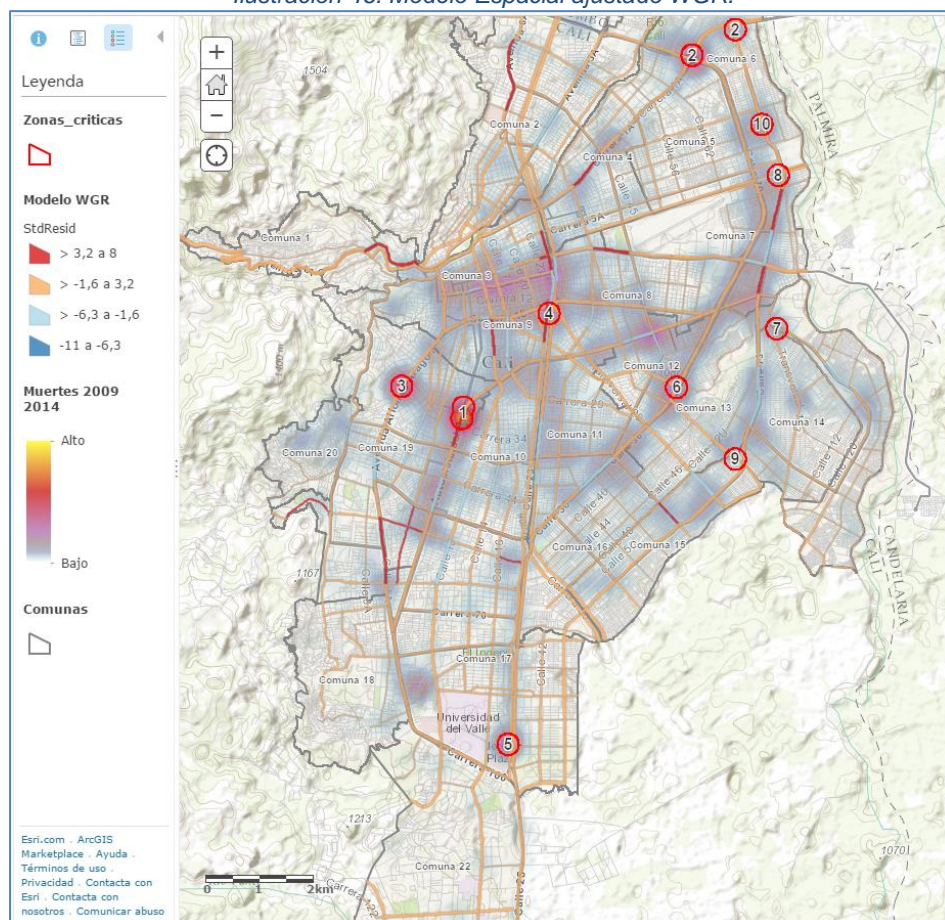
- **Regresión Espacial – GWR**

Genera un modelo local ajustado, que permite modelar las relaciones espaciales (no estacionarias) entre la variable dependiente e independientes. En este sentido, Lloyd and Shuttleworth (2005) destacan la necesidad de incluir en los modelos especificaciones más apropiadas, que consideren la naturaleza intrínseca de los datos espaciales, que normalmente están autocorrelacionados.

Al eliminar la restricción de variables estacionarias que tiene el modelo de Regresión Lineal Múltiple, se puede obtener mayor precisión en el modelo WGR obtenido ya que cada variable puede influir en el fenómeno estudiado de manera diferente según el espacio geográfico donde se mida. Por ejemplo puede existir una comuna o barrio donde exista poco flujo vehicular y la influencia de semáforos sea baja y en otras zonas donde exista una autopista y los puentes peatonales se vuelvan relevantes.

Se obtiene un modelo espacial WGR ajustado donde se elimina la influencia (sesgo) de variables y la autocorrelación espacial porque se trabajan las variables como no estacionarias.

Ilustración 46. Modelo Espacial ajustado WGR.



Fuente: Elaboración propia, 2015.



GWR es capaz de modelar tipos de relaciones complejas que modelos estadísticos tradicionales no pueden. Por ejemplo en el caso de variables explicativas con coeficientes que cambien de signo de positivo a negativo o viceversa (aleatoriedad espacial). Como en WGR se examinan variables no estacionarias³, se puede obtener zonas donde las MPAT incrementen con pocos semáforos y zonas que a mayor número de semáforos mayor número de muertes (cambio de signo). Es necesario revisar las variables que tienen cambio de signo aunque no sean significantes, porque pueden determinar predicciones por factores que aún no se están teniendo en cuenta en el modelo.

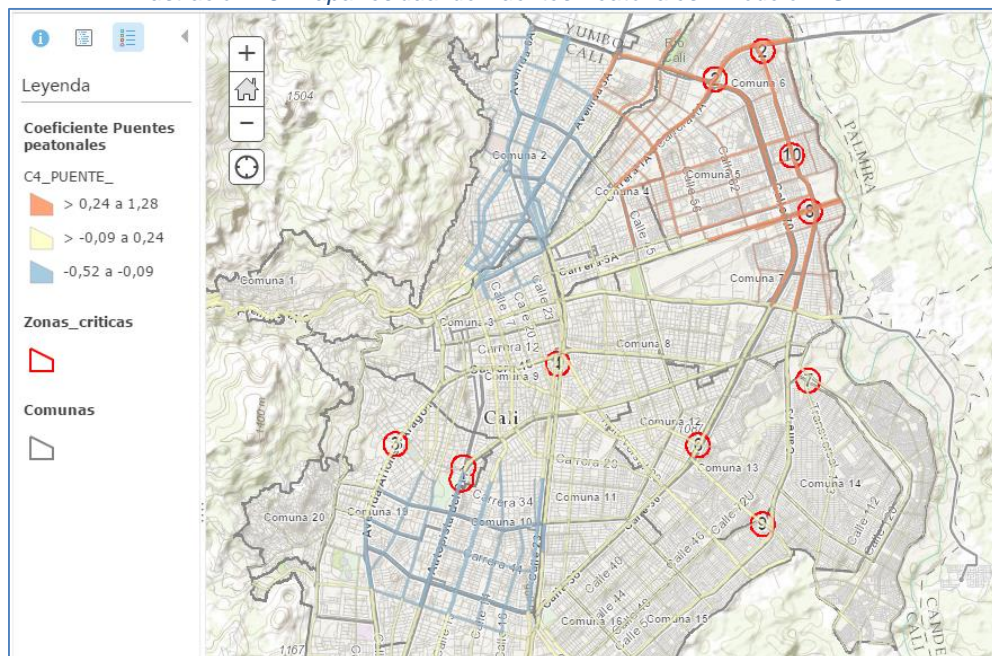
Ilustración 47. Cambio de signo en variables del modelo WGR.

C1_Peaton	C2_FDS	C3_Noche	C4_PUENTE_	C5_CARRILE	Residual	StdError
0,59	0,63	0,83	-0,01	0,02	-0,02	0,49
0,49	0,67	0,54	0,12	0,04	-0,16	0,48
0,14	0,65	0,99	-0,05	0,04	-0,04	0,49
0,57	0,07	1,06	-0,02	-0,03	-0,02	0,48

Fuente: Elaboración propia, 2015

Se pueden realizar visualizaciones espaciales sobre los residuales de cada variable para determinar las fluctuaciones geográficas con respecto a la variable dependiente. Visualizar estas variaciones geográficas en las variables explicativas puede ofrecer pistas sobre elementos o factores faltantes para el modelo.

Ilustración 48. Mapa residual de Puentes Peatonales - modelo WGR.



Fuente: (Esri_Resources, 2014)

³ Variables que cambian su valor según el tiempo y espacio (posición geográfica)



7. RESULTADOS

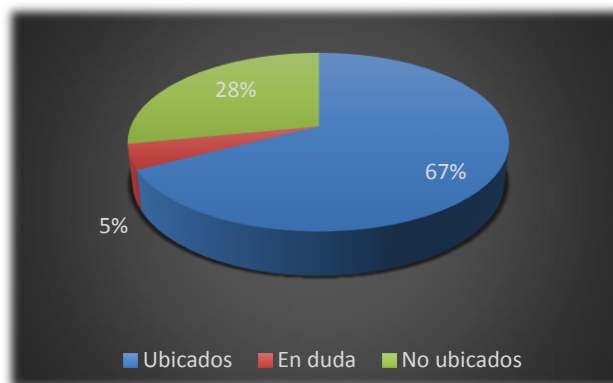
7.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

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, interpolación de superficies continuas y modelos de regresión, 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 49.

Ilustración 49. Geocodificación de direcciones de MPAT.



Fuente Elaboración propia, 2015.

El resultado del reajuste muestra 2012 direcciones ubicadas (72%, 140 más con respecto al anterior), 0 direcciones en duda (0%, 126 menos respecto al anterior) y 769 direcciones no pudieron ser ubicadas (28%, 14 menos con respecto al anterior). 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 17. Edición de direcciones por fuera del perímetro urbano.

Total Registros 2004 - 2014	Registros Depurados – Ciudad de Cali	Registros Geocodificados y ubicados	Registros editados - Zona urbana de Cali	Diferencia (#)	Diferencia (%)
3300	2781	2012	1979	1321	40.03

Fuente: Elaboración propia, 2015.



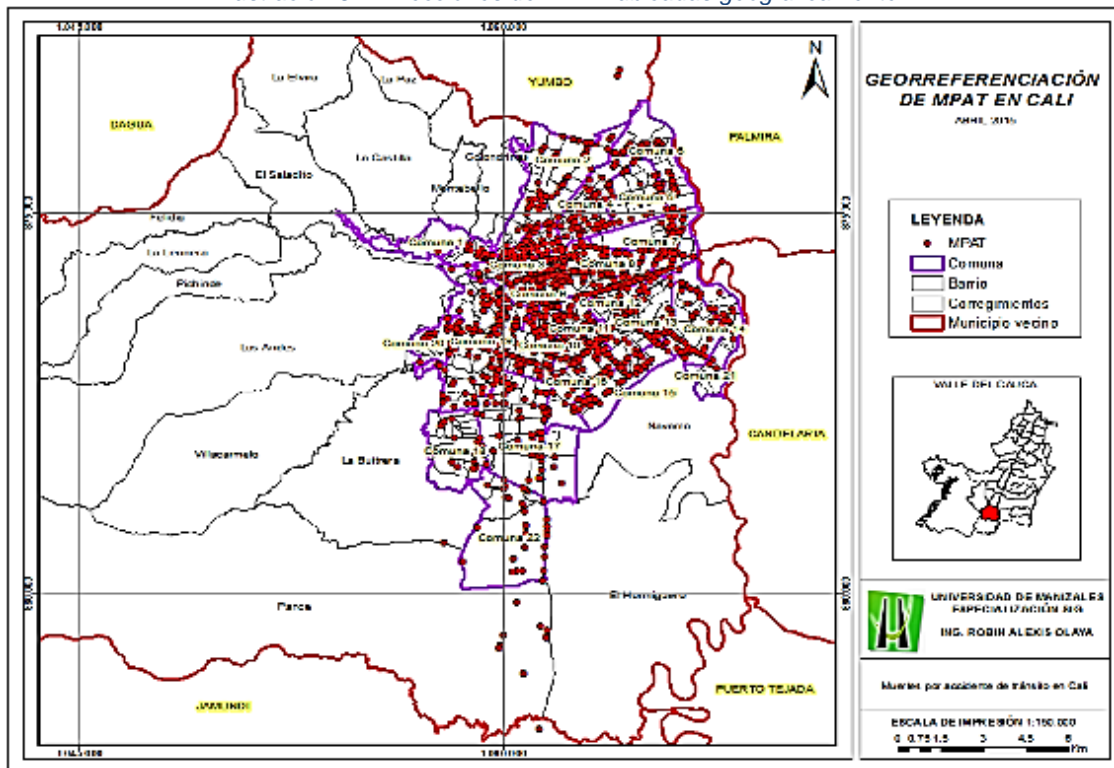
Este proceso arroja un resultado de 1.979 MPAT ubicadas geográficamente dentro del perímetro de la zona urbana de Cali, 769 direcciones que no se pudieron ubicar geográficamente⁴ por falta de coincidencia con la malla vial utilizada y 33 direcciones que se encuentran por fuera del perímetro urbano y 519 que no pertenecen al municipio de Santiago de Cali. Ver Ilustración 50.

Ilustración 50. Reajuste de geocodificación.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 51. Direcciones de MPAT ubicadas geográficamente.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

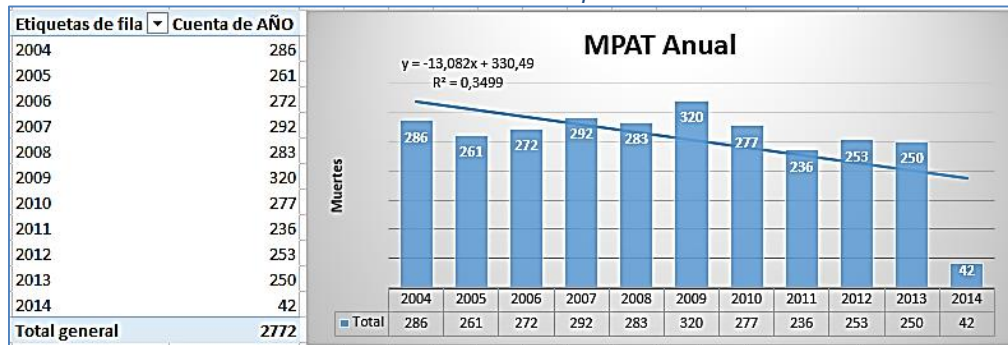
⁴ Las direcciones que se encuentran en el perímetro urbano pero que no fueron ubicadas, se utilizan en la elaboración de estadísticas de MPAT no relacionadas con la variable geográfica.



7.1.2. Análisis de las estadísticas obtenidas de las MPAT.

Para las estadísticas se utilizaron los 2781 registros de la BD (depurados, ubicados y no). Se puede observar que, según la estadística de MPAT anual, murieron más personas (320) en Cali solo el año 2009 con una media geométrica anual de 272 muertes (2004-2013).

Ilustración 52. MPAT por Año.

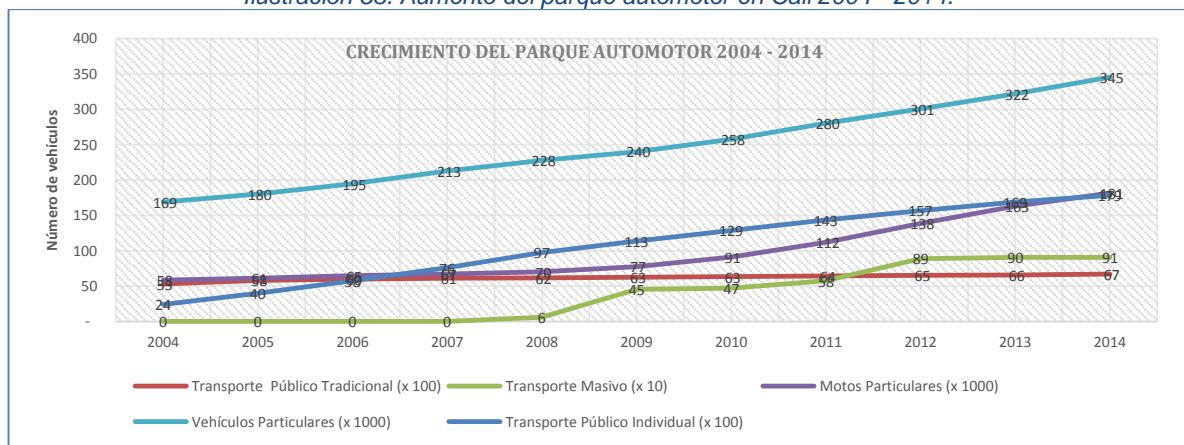


Fuente: Elaboración propia, 2015.

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 el aumento en la venta de motos y vehículos particulares pueden haber impulsado las MPAT en la ciudad.

También la inclusión e implementación del Transporte Masivo (MIO) en el 2009, pudo tener algo que ver, aunque posteriormente a su puesta en marcha, se puede evidenciar una tendencia a disminuir la mortandad; por lo tanto su funcionamiento finalmente fue beneficioso. Ver Ilustración 53. Las motos representaron un 42% del total de vehículos de la ciudad en el 2009, por lo que esta fecha es un punto de inflexión en el análisis de MPAT.

Ilustración 53. Aumento del parque automotor en Cali 2004 - 2014.

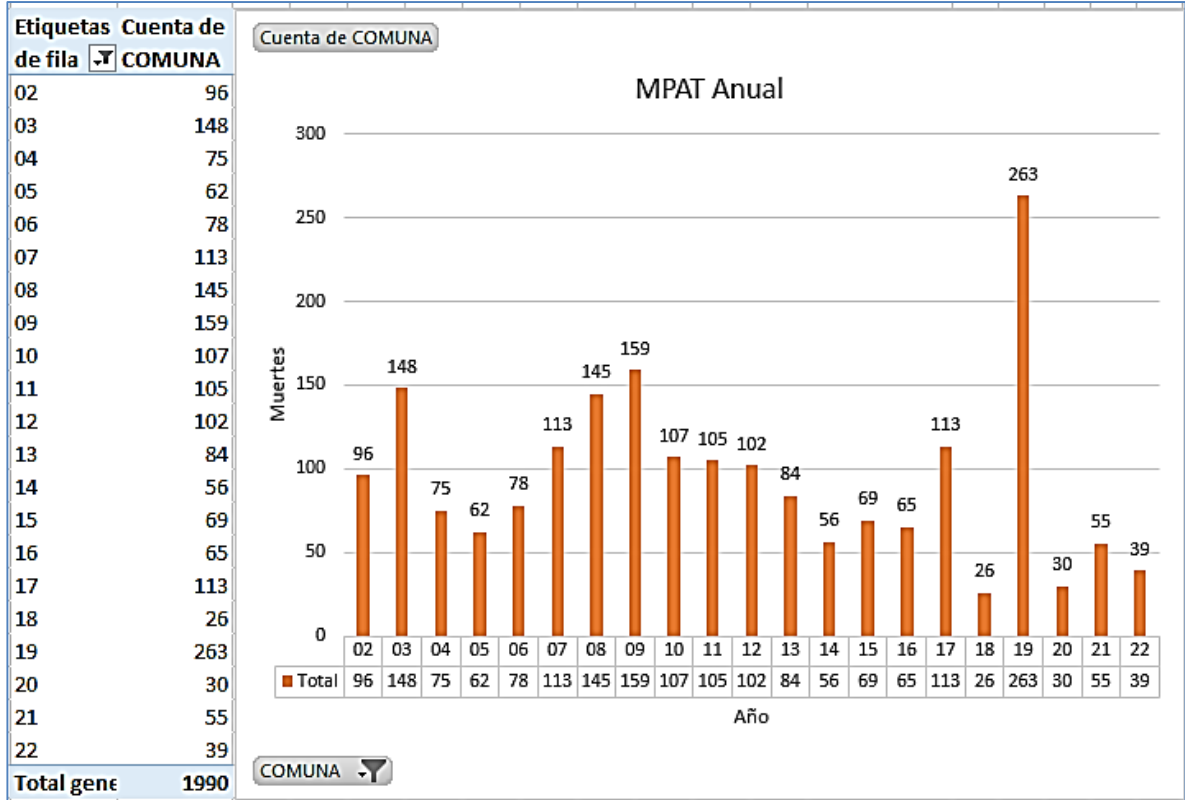


Fuente: Elaboración propia, 2015.



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 54. MPAT por comunas.

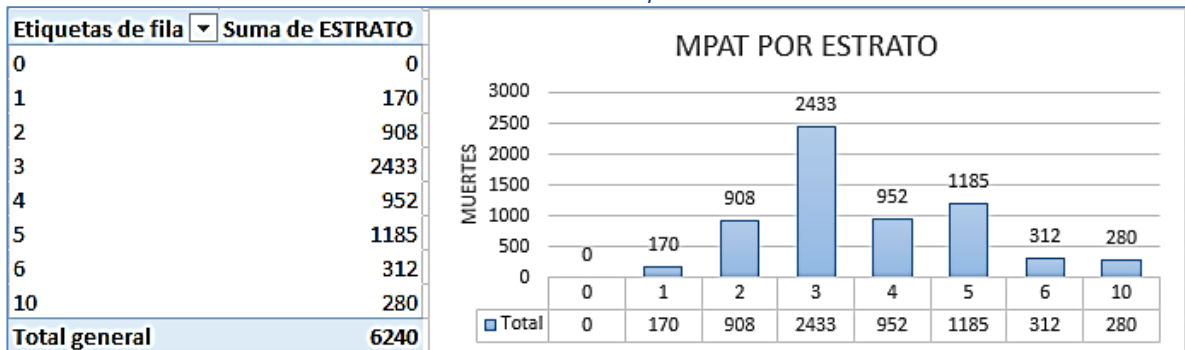


Fuente: Elaboración propia, 2015

- **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 por estrato para determinar una tendencia.

Ilustración 55. MPAT anual por estrato moda.



Fuente: Elaboración propia

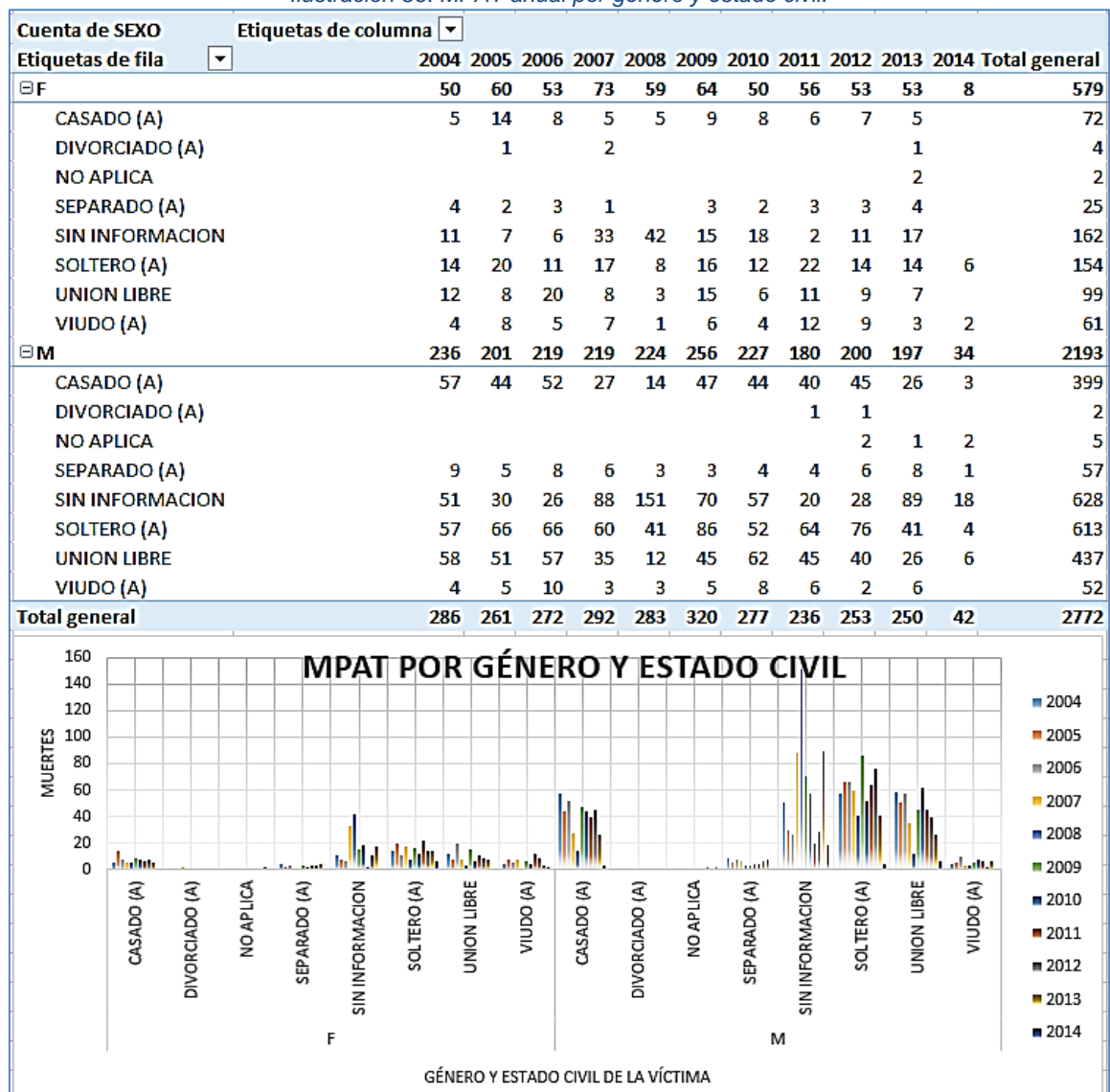


• **MPAT por género y estado civil de la víctima.**

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 56. MPAT anual por género y estado civil.



Fuente: Elaboración propia.

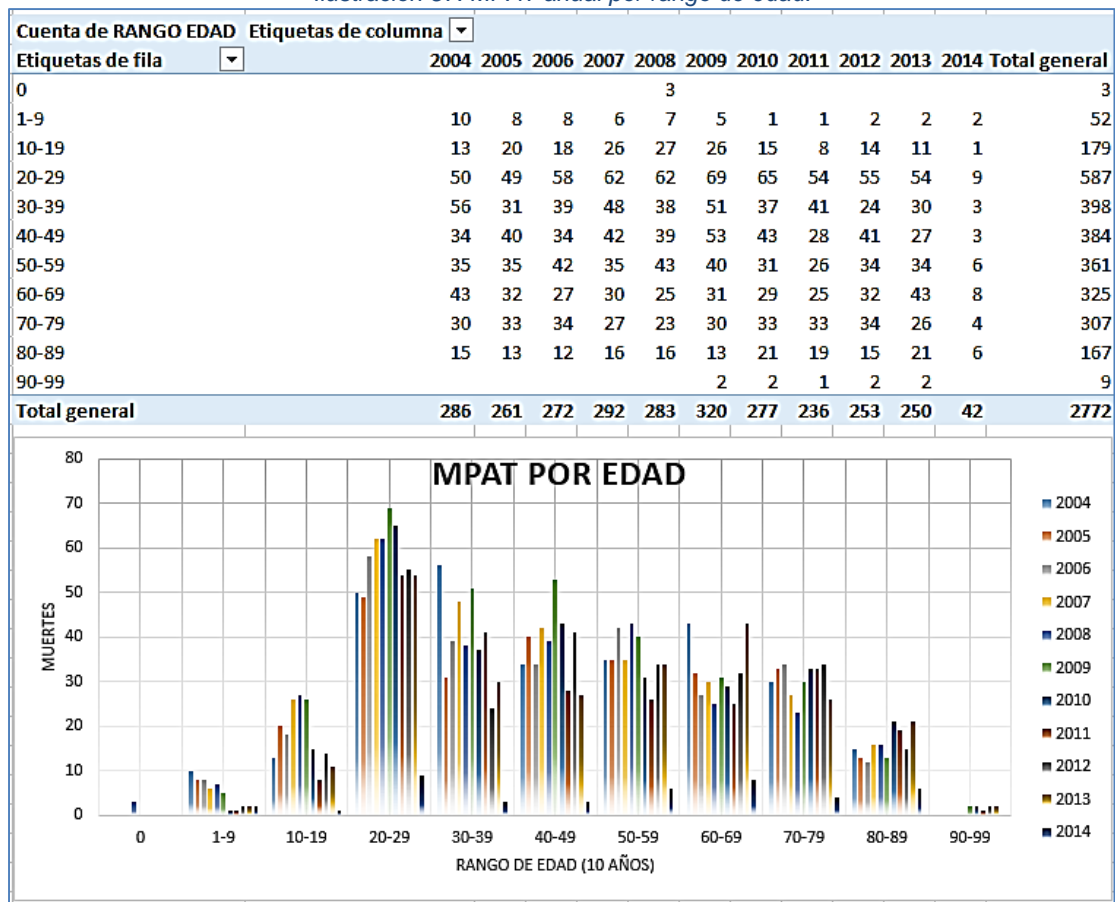


- **MPAT por rango de edad de la víctima.**

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 57. MPAT anual por rango de edad.



Fuente: Elaboración propia.

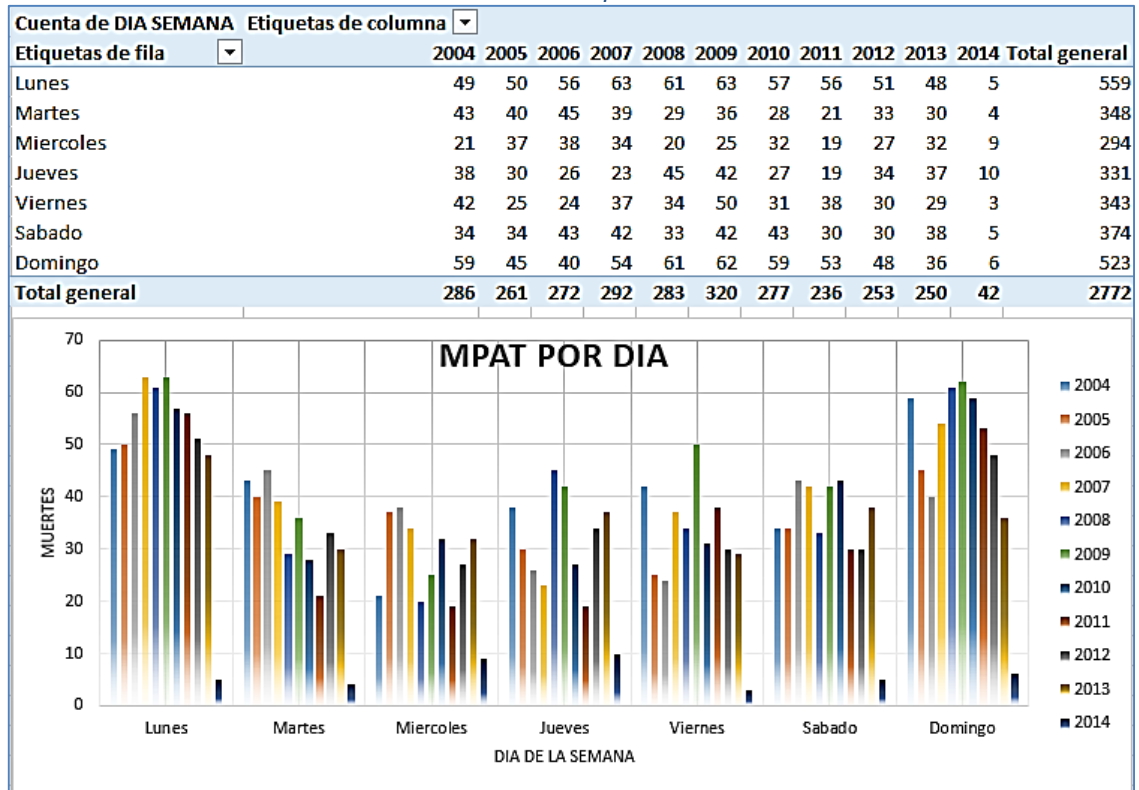
- **MPAT por día de la semana.**

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 familiares de 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 58. MPAT anual por día de la semana.



Fuente: Elaboración propia.

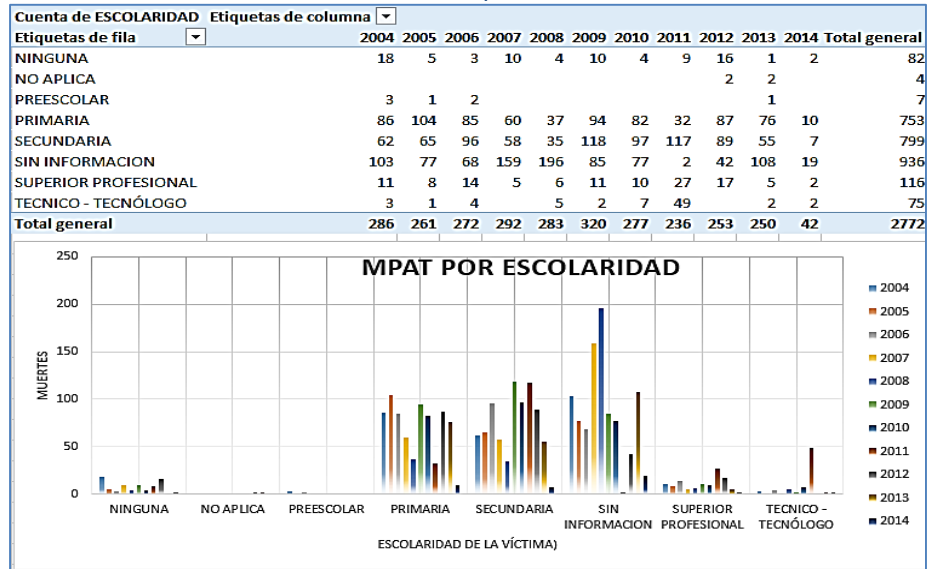
- **MPAT por grado de escolaridad de la víctima.**

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 peatones o acompañantes.



Ilustración 59. MPAT anual por nivel de escolaridad.

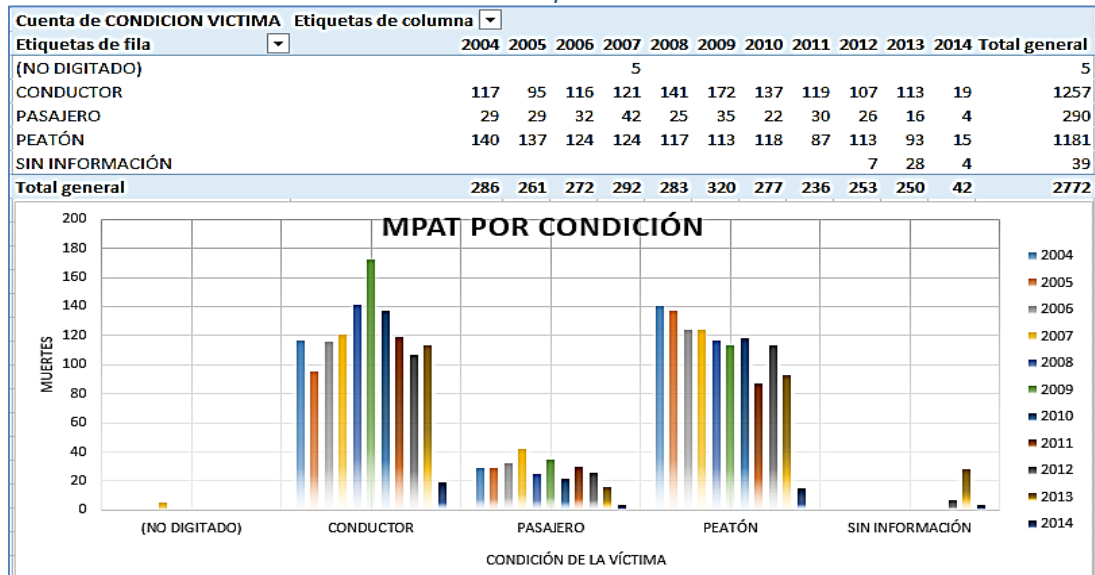


Fuente: Elaboración propia, 2015.

• **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 60. MPAT anual por condición de la víctima.



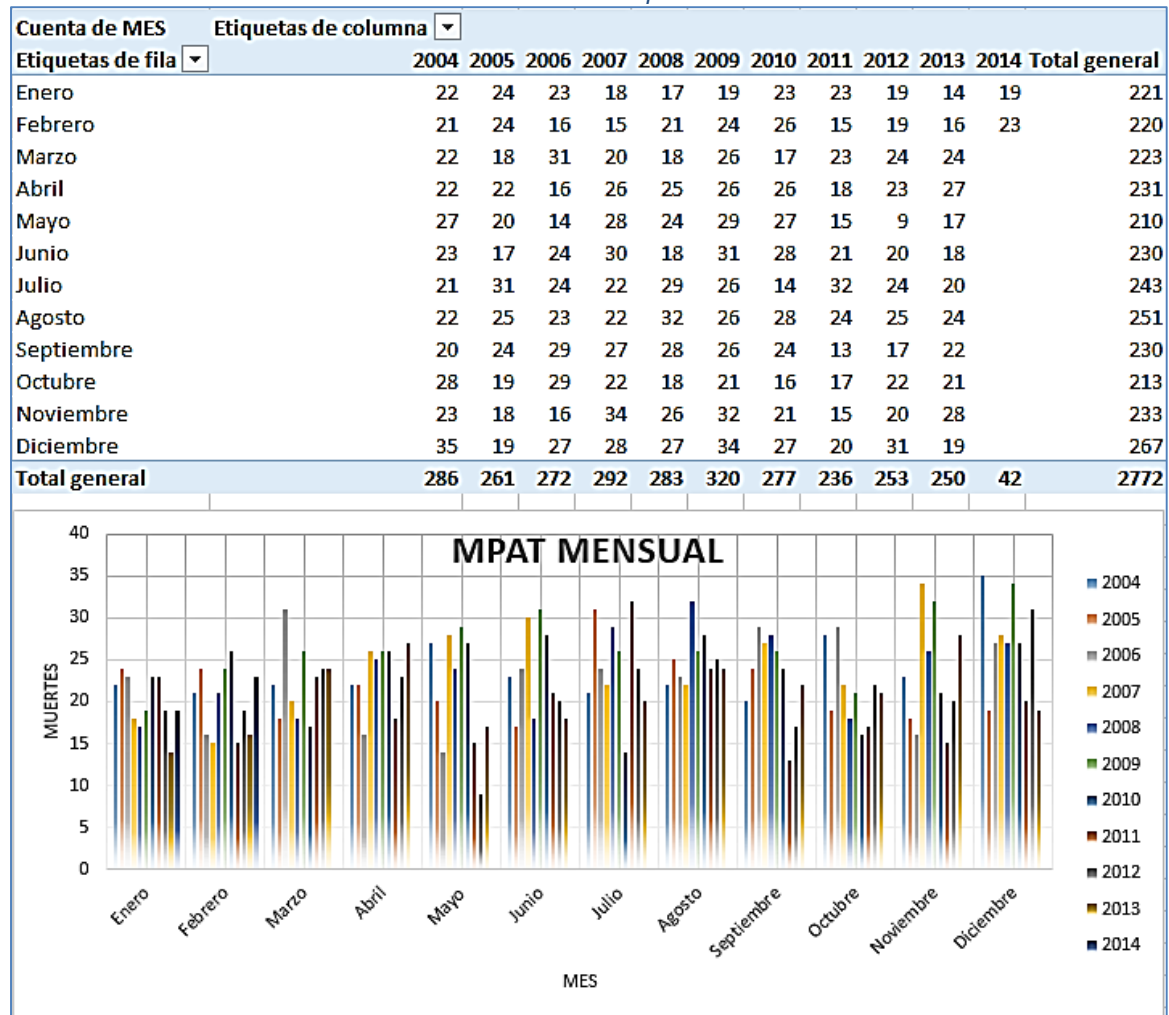
Fuente: Elaboración propia, 2015



- **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 vacaciones de mediados de año donde hay mayor flujo vehicular. Se puede revisar el clima para esos meses con el fin de determinar influencia.

Ilustración 61. MPAT Anual por mes. Fuente:



Elaboración propia.

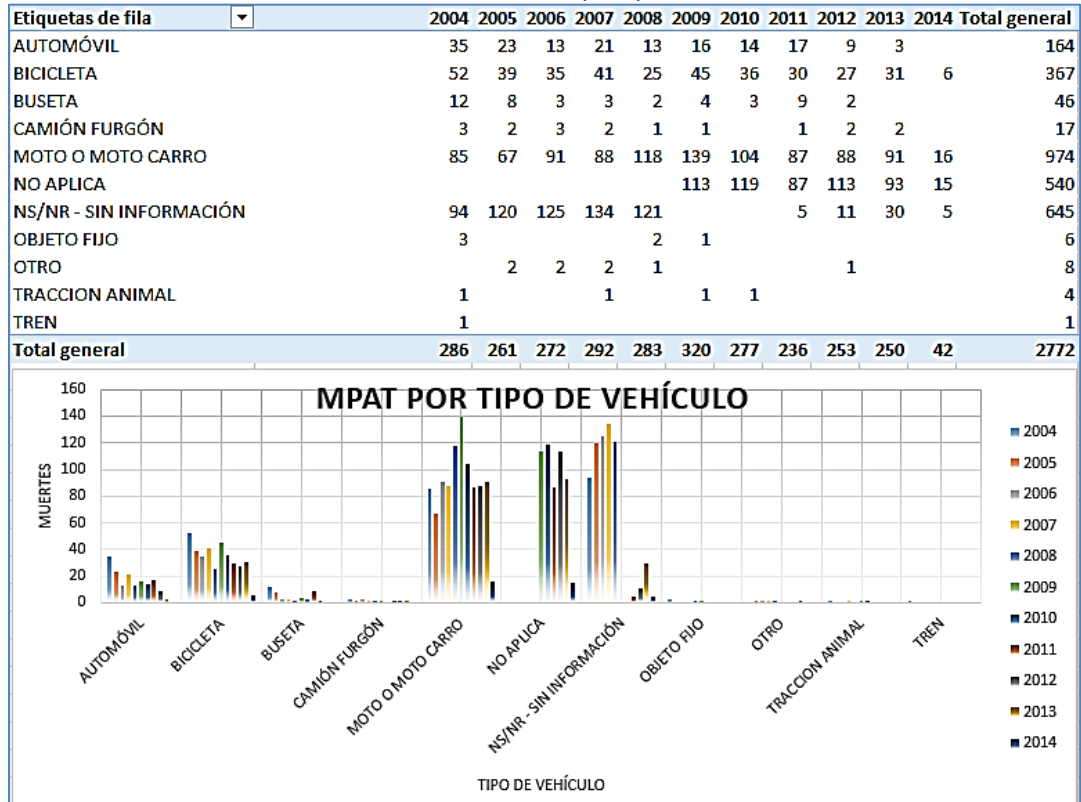
- **MPAT por tipo de vehículo.**

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.). Los peatones tampoco respetan las normas de tránsito y suponen un riesgo para la vía.

Ilustración 62. MPAT anual por tipo de vehículo.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

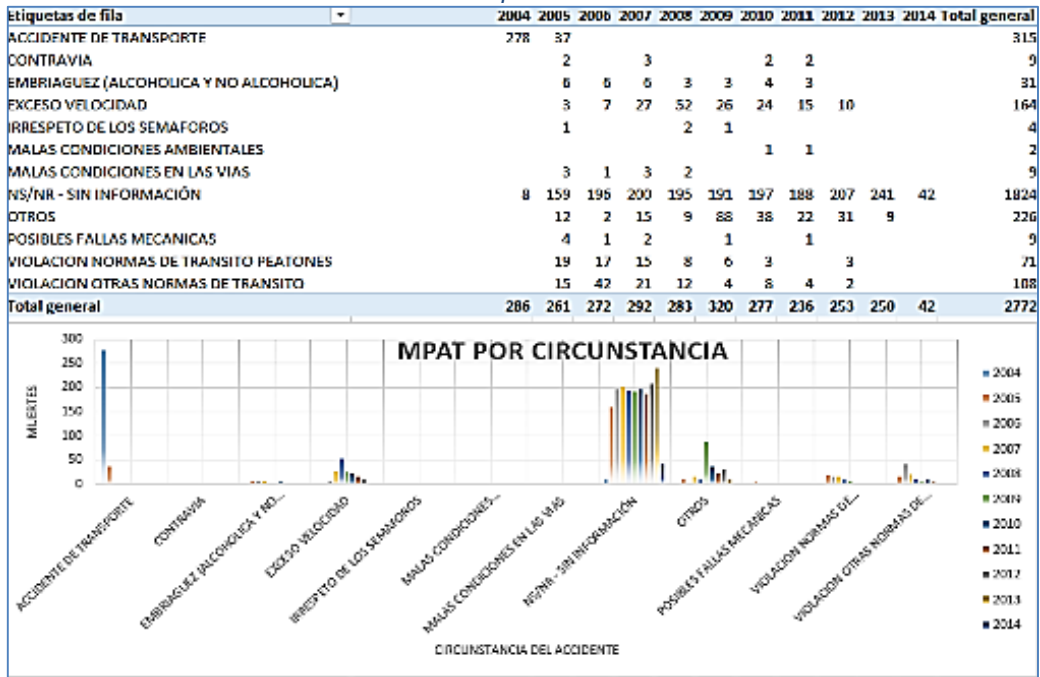
- **MPAT por circunstancia del accidente.**

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 63. MPAT anual por característica del accidente.

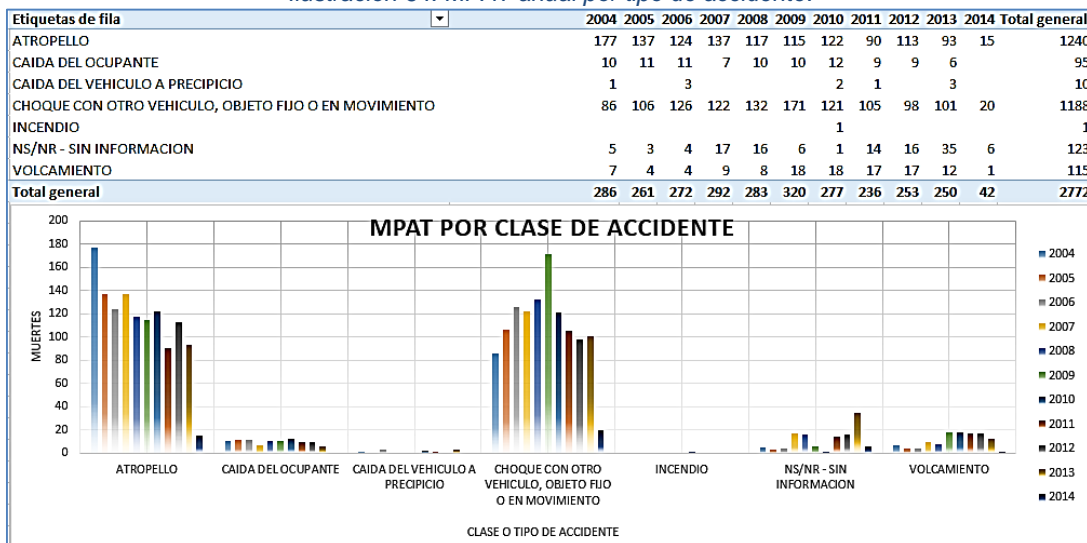


Fuente: Elaboración propia, 2015.

• **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 64. MPAT anual por tipo de accidente.



Fuente: Elaboración propia, 2015.



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. (tabla 18).

Los resultados muestran que la distancia promedio para encontrar una muerte cercana es de 58m aprox. También se puede observar que la significancia estadística es muy grande y negativa ($Z=-44$) con un alto valor de confianza ($P=99\%$), lo que representa que los datos se alejan de la media (aleatoriedad) en una distribución normal (Agrupamiento de información o Clúster).

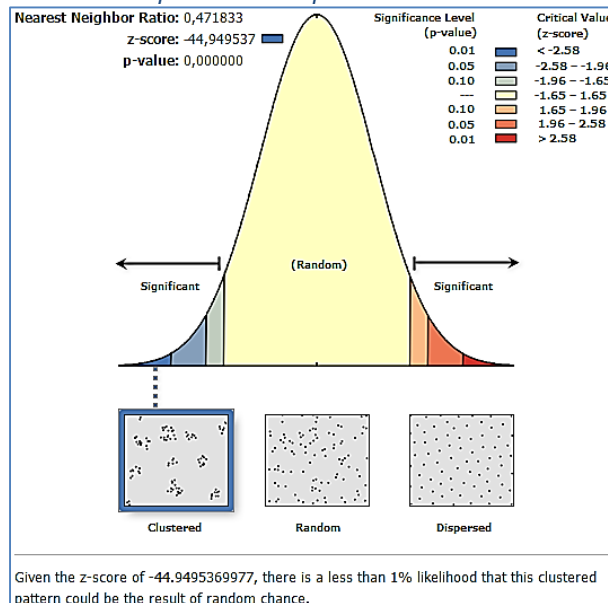
Tabla 18. Exploración de datos 2004-2014 Vecinos más cercanos

Promedio de Vecino más Cercano	
Distancia media observada	57.9m
Distancia media esperada	122.7m
Índice de vecino más próximo	0.47
Puntuación (Z)	-44.9
Valor de significancia (P)	0
Área de estudio	11920,59 Ha

Fuente: Elaboración propia, 2015.

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 encontrar evidencias para rechazar la hipótesis nula (distribución aleatoria de la información) ver Ilustración 65. En el anexo 3 se pueden revisar los resultados de los análisis exploratorios de las MPAT cada año.

Ilustración 65. Exploración del tipo de distribución de las MPAT.



Fuente: Elaboración propia, 2015.



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

Los puntos calientes forman una agrupación de incidentes en un radio aproximado de 56.6m a la redonda (mínima distancia hasta encontrar al menos un vecino cercano).

Para el cálculo de Puntos calientes (HS) por año se determina una distancia de banda fija diferente cada año y se tienen en cuenta solo las MPAT georeferenciadas en la zona urbana. La distancia de banda para cada año se calcula a través de distancia Euclidiana a vecino más cercano punto a punto.

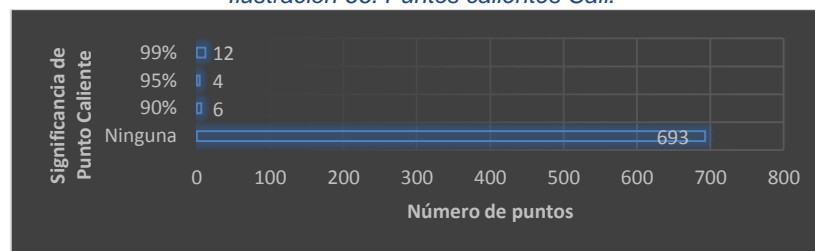
Tabla 19. Procesamiento de datos para HS - 2004-2014.

Verificación de los datos	Datos de entrada válidos	1979 MPAT
	Datos por fuera de límites	24 MPAT
Agregación y conteo de incidentes cercanos	Distancia para agregación de incidentes	56.57m
	Total puntos agregados	715
	Estadísticas de MPAT	Min: 1 Max: 37 Mean: 2.77 Std.Dev: 3
Escala de análisis	Distancia de banda fija optima	947.97m
Puntos Calientes	Incidentes estadísticamente significantes, corrección FDR	22
Superficie de interpolación	Densidad de Kernel, radio de búsqueda	947.97m

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis global de todo el periodo (2004-2014) se observa que el 96.9% de los datos no son significantes (pocos incidentes a una distancia cercana determinada) con los parámetros definidos, y solo el 3.1% presenta una significancia de agrupamiento. Esto permite visualizar específicamente los sitios donde se presentaron muertes por accidente de tránsito agrupadas. Ilustración 66.

Ilustración 66. Puntos calientes Cali.

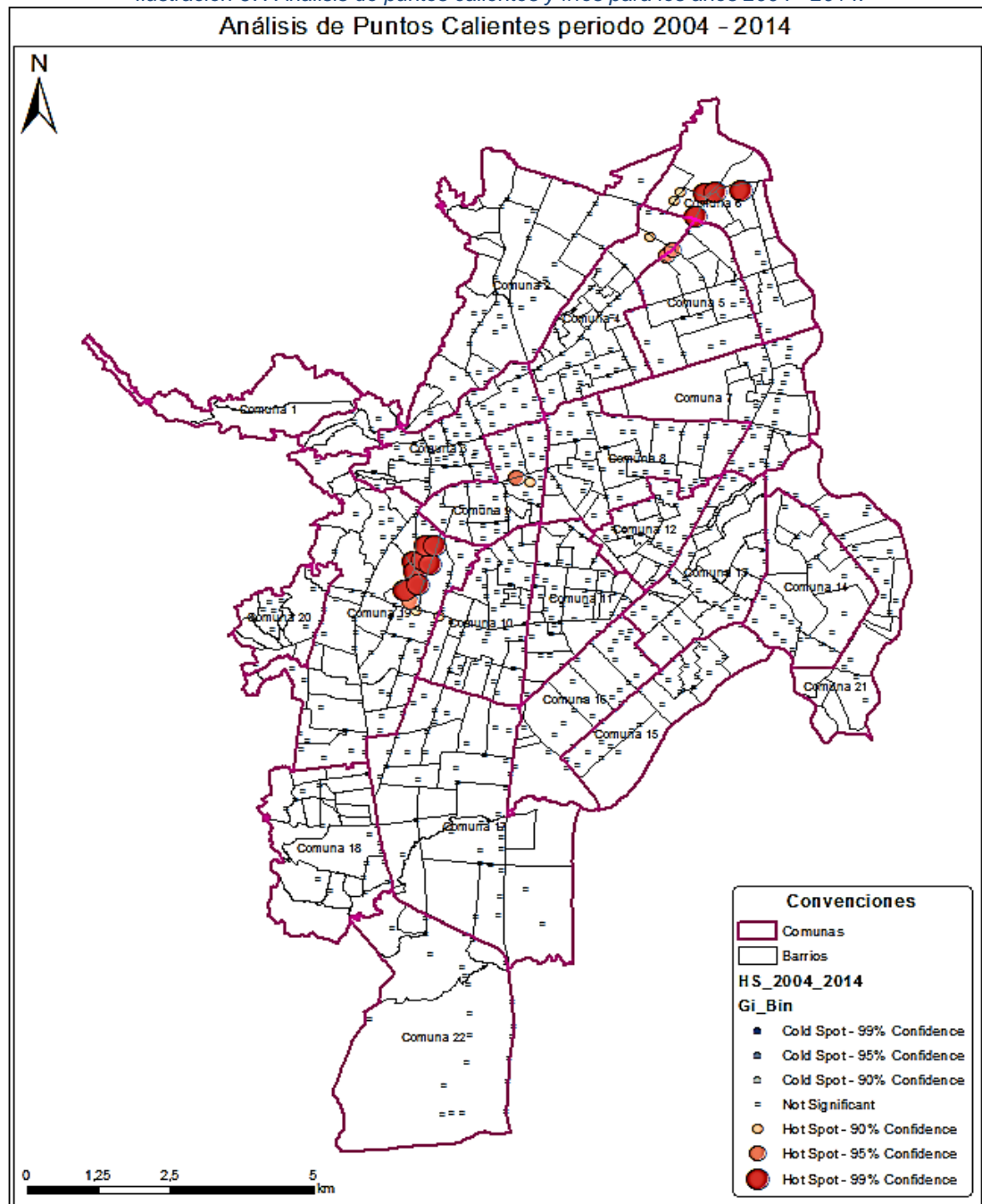


Fuente: Elaboración propia.

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 67.



Ilustración 67. Análisis de puntos calientes y fríos para los años 2004 - 2014.



Fuente: Elaboración Propia, 2015.

Aunque la ubicación del punto caliente no es exactamente la ubicación de las MPAT (se realiza una agrupación de las MPAT cercanas utilizando la mínima distancia de banda calculada por vecinos cercanos), permite identificar las zonas (comuna, barrio, manzana) donde se agrupan y ocurren la mayor cantidad de MPAT en Cali (Zona Urbana). La descripción de los resultados del análisis de puntos calientes de MPAT por año (2004 a 2014) se muestra en el Anexo 4.



7.1.5. Análisis de superficie de interpolación de puntos calientes de MPAT.

El resultado es una superficie continua general para el periodo 2004-2014 y superficies cada año, con el fin de facilitar la identificación de zonas de concentración de incidentes (críticas) que son recurrentes año tras año, consecutivamente (temporalmente) o no. Para poder identificar esas zonas, se interpola los resultados de puntos calientes para obtener una superficie continua; se utiliza el algoritmo Densidad de Kernel.

La interpolación de los puntos calientes de MPAT permitió generar una superficie continua que muestra un mapa de calor con zonas donde se concentran los incidentes, que son representadas en color rojo y en menor grado en color amarillo, que pueden unirse con otras zonas cercanas. Ver Ilustración 68.

Ilustración 68. Superficie DK 2004-2014.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

En la superficie continua, con una clasificación apropiada (estiramiento de imagen con rampa de color de azul a rojo), se pueden visualizar con claridad las zonas donde se concentran las MPAT, teniendo como indicador la malla vial.

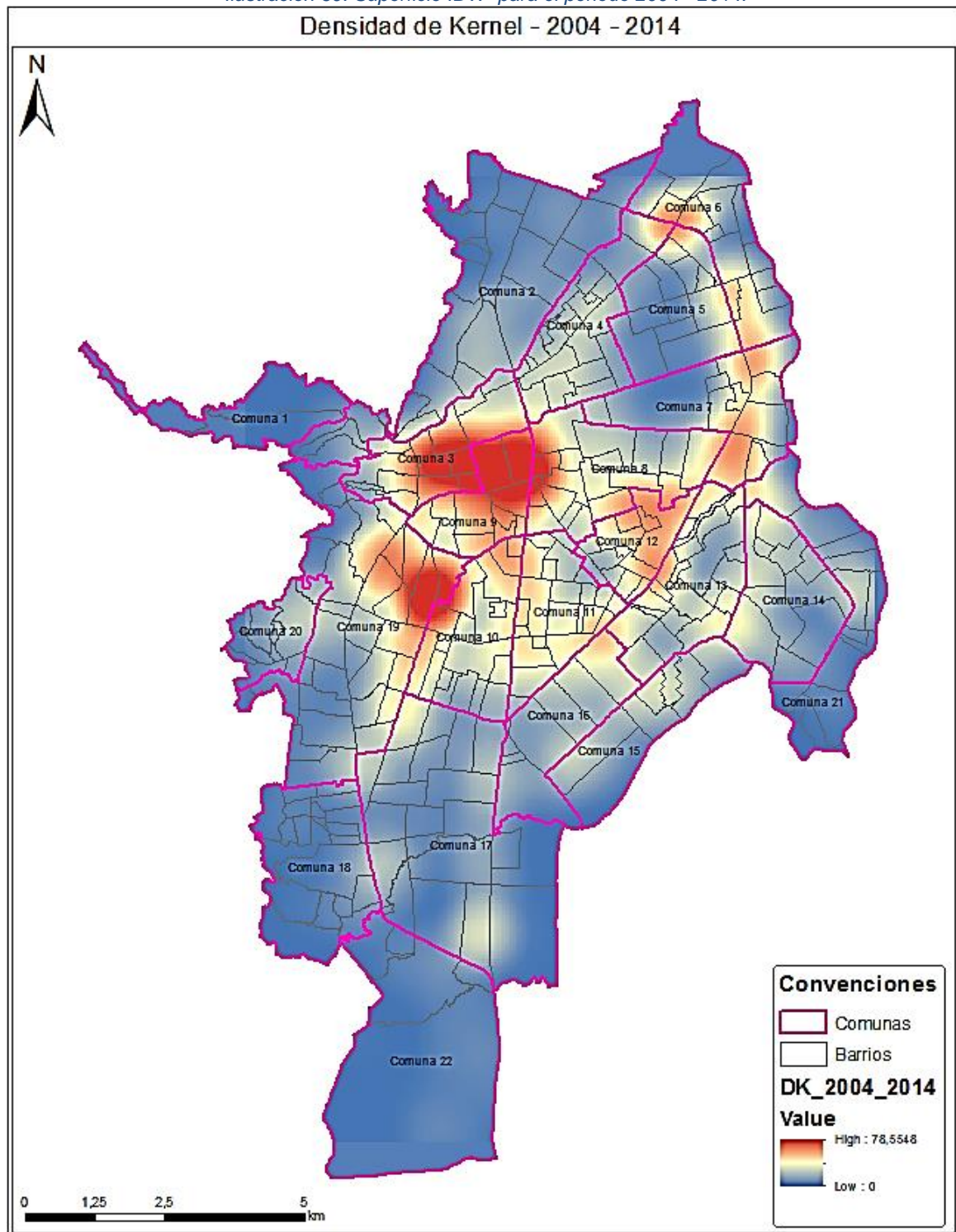
Se tienen en cuenta, para la identificación de las zonas críticas, los incidentes con mayor cantidad de ocurrencias y mayor presencia en años, hasta un mínimo de 10 incidentes por ubicación y dos años de presencia en la zona.

Para el cálculo de la superficie continua a través del algoritmo 'Densidad de Kernel (DK)', se utilizan los resultados de significancia de los Puntos Calientes (HS) generados año a año para el campo de población (densidad); el radio de búsqueda de puntos de densidad es calculado a través de la distancia de banda para cada año (947.97m para el periodo 2004-2014, calculado con el algoritmo de vecinos más cercanos).

En color azul se muestran zonas sin ninguna significancia para el año o periodo de estudio. Se obtuvieron superficies anuales y una superficie del periodo completo (10 años) para determinar las zonas donde se repiten las concentraciones de MPAT cada año y tratar de establecer las causas de ese fenómeno. Ver Ilustración 69.



Ilustración 69. Superficie IDW² para el periodo 2004 - 2014.

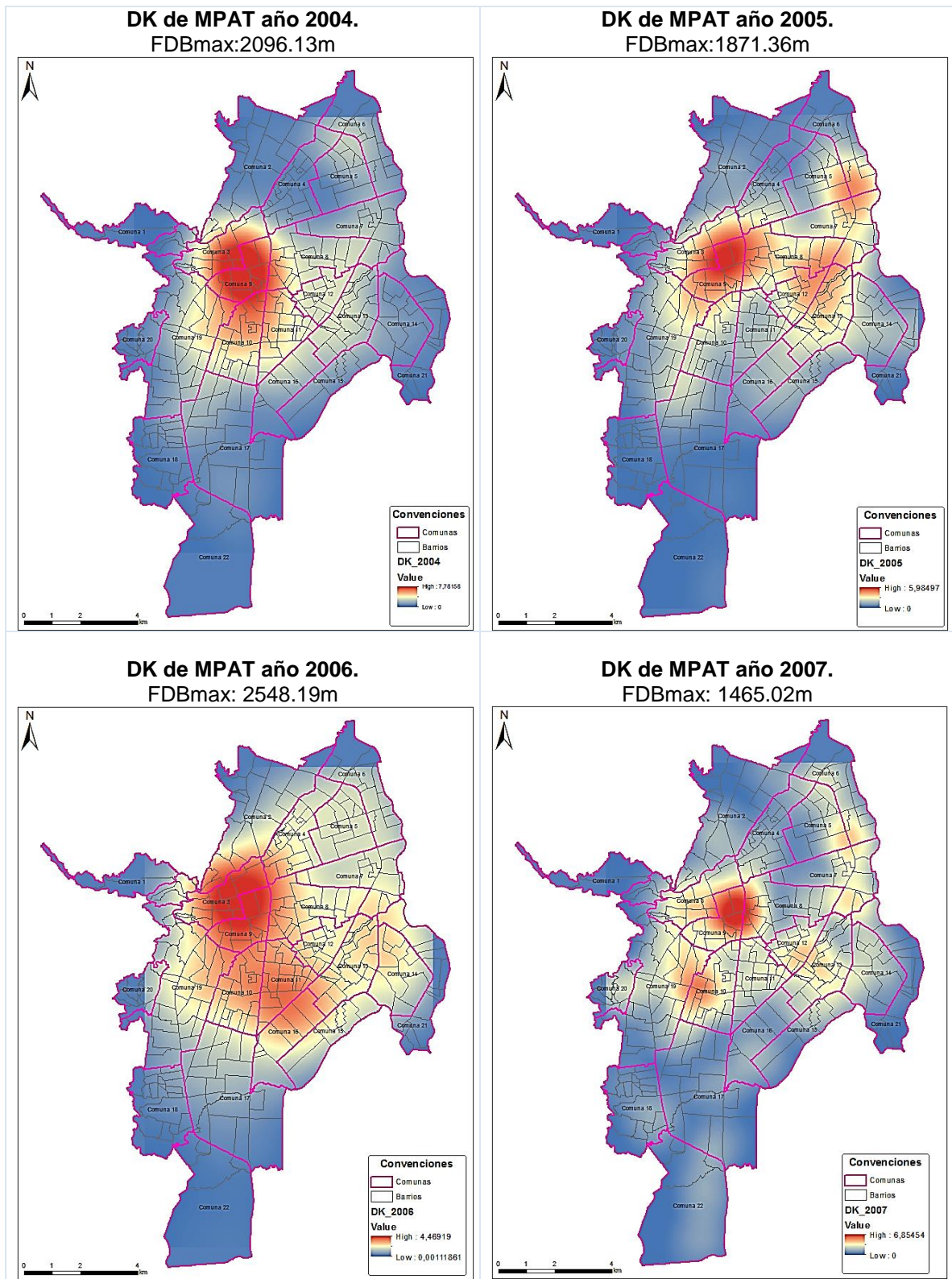


Fuente: Elaboración propia.

La descripción de los resultados del análisis de superficies DK por año (2004 a 2014) se muestra en la Ilustración 70.

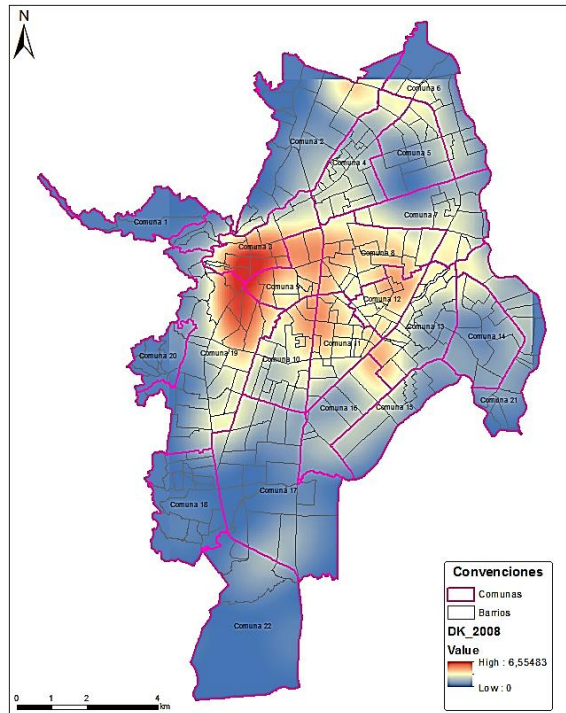


Ilustración 70. DK de MPAT periodo 2004-2014.

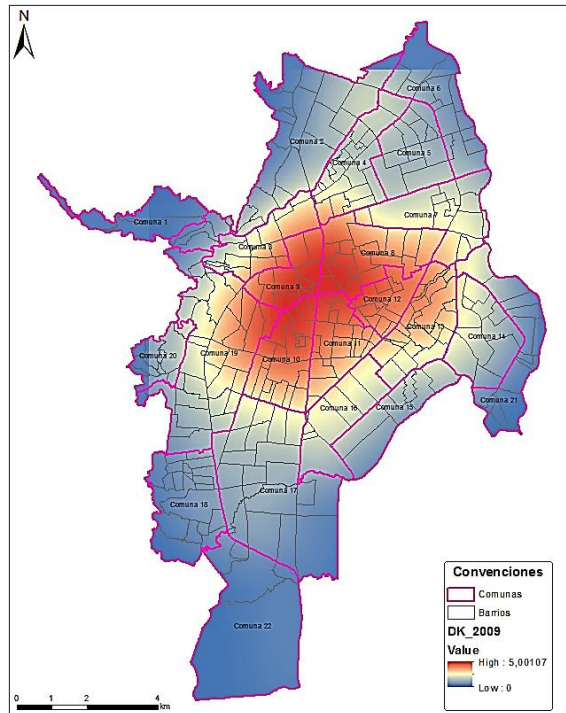




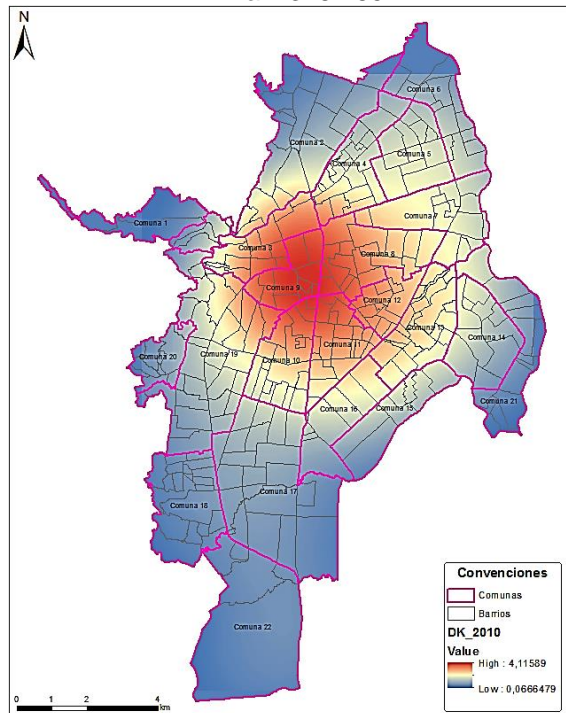
DK de MPAT año 2008.
 FDBmax: 1444.50m



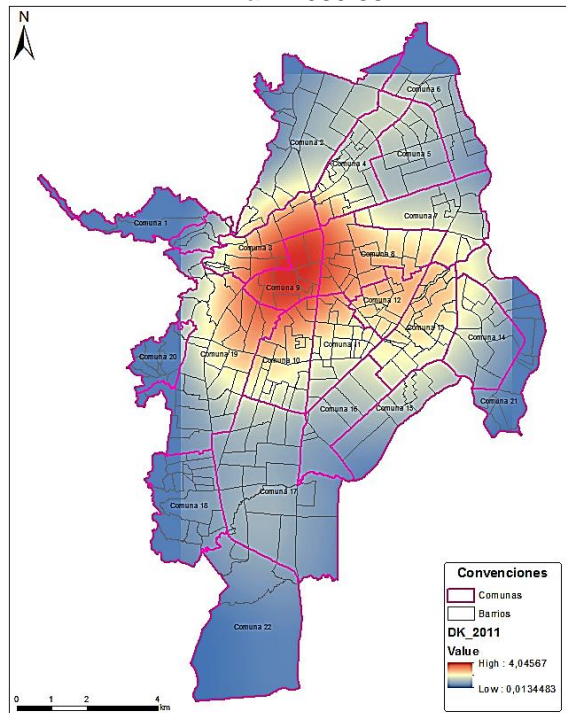
DK de MPAT año 2009.
 FDBmax: 2532.49m

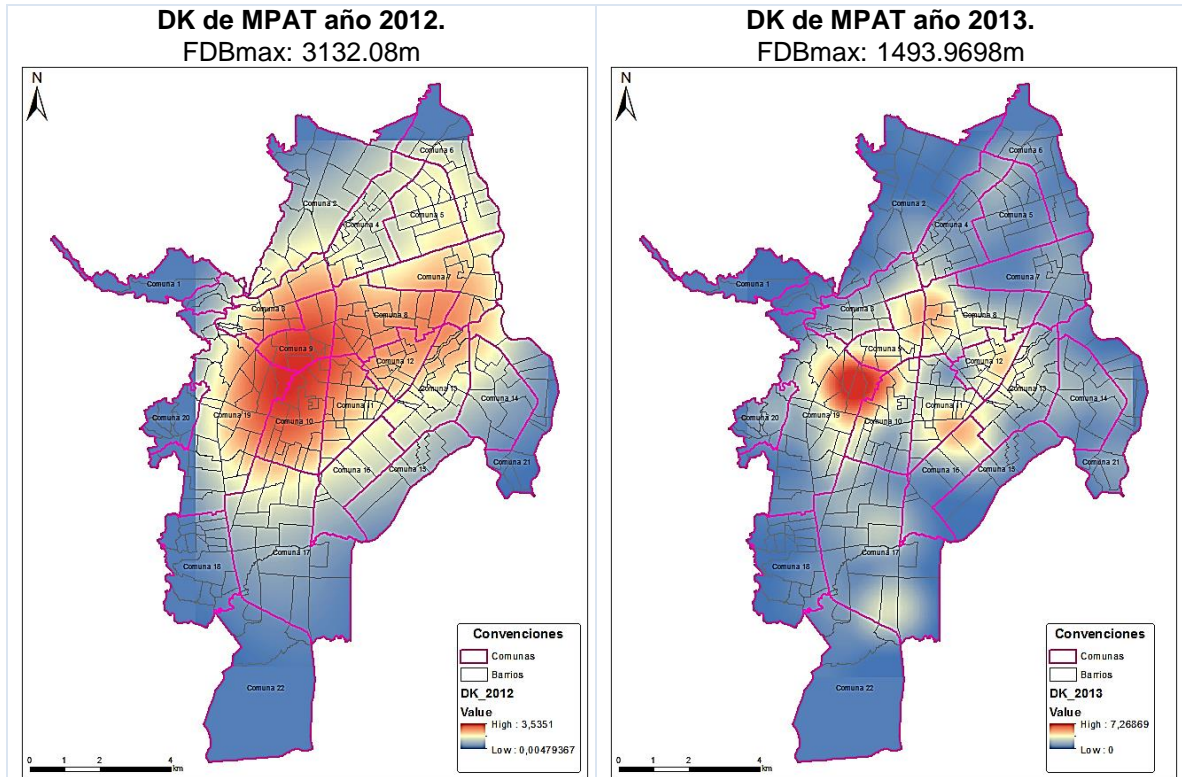


DK de MPAT año 2010.
 FDBmax: 3482.85m



DK de MPAT año 2011.
 FDBmax: 2989.58m





Fuente: Elaboración propia, 2015.

De las superficies DK continuas creadas a partir de los Hot Spot se observa que existen zonas críticas frecuentes en diferentes años a pesar de los grandes cambios en infraestructura vial que se han desarrollado en esos sitios. Las zonas críticas que más se repiten se presentan en la tabla 21. Se debe tener en cuenta que los puntos calientes y superficies DK se construyen a partir de una agrupación de MPAT cercanas y no de cada muerte en el sitio exacto; 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 DK obtenidas, se realiza una identificación de las zonas críticas de MPAT que son recurrentes en el tiempo. 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 más frecuentes durante el periodo 2004 – 2014 y posteriormente se relacionan estas zonas año a año según su aparición⁵, como se muestra en la siguiente tabla:

⁵ Se tiene en cuenta las zonas con un número de incidentes mayor a 10 muertes y que se repita mínimo cuatro años no consecutivos.



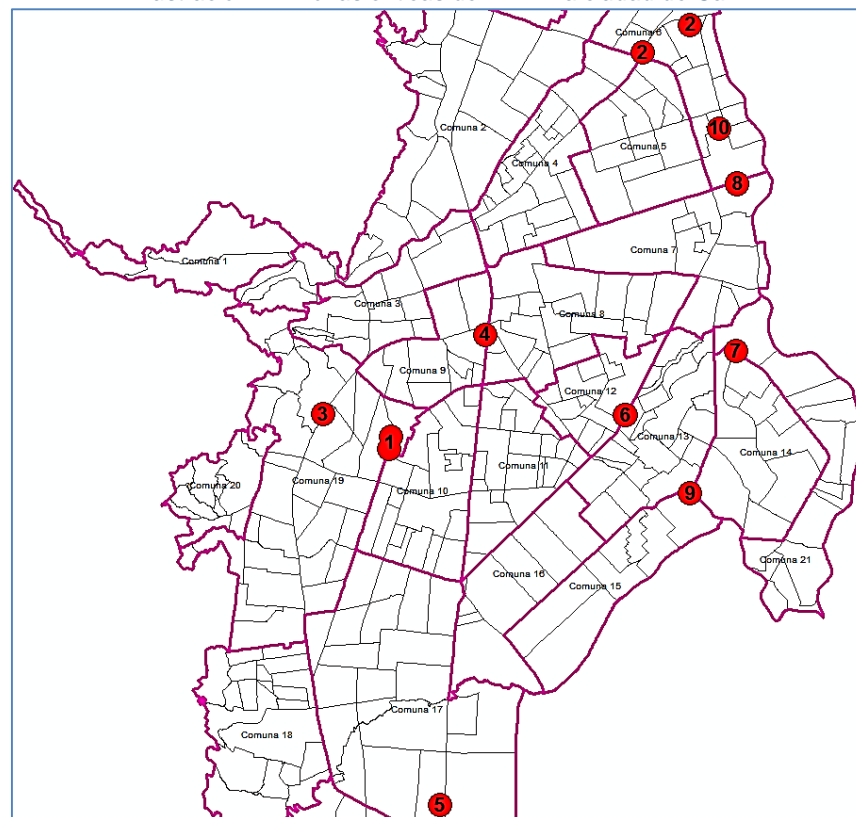
Tabla 20. Identificación de zonas críticas de MPAT en Cali.

Zona crítica			Número incidentes periodo 2004 - 2014	Años de ocurrencia de MPAT
Código	Nombre	Ubicación		
Zc1	Champagnat, Colseguros	Autopista Sur CL10 entre KR30 y KR36	55	2004 - 2014
Zc2	Calima - Alcázares	CL70 con KR 1 y KR1A	51	2004 - 2014
Zc3	San Fernando Nuevo y Viejo	CL5 con KR36	30	2004 - 2014
Zc4	Obrero, Benjamín Herrera	CL26 entre KR10 y KR15	24	2004, 2005, 2006, 2009, 2010, 2011, 2012 2013
Zc5	Urb. San Joaquín, Lili	KR98 entre CL16 y CL25 (Au. Simón Bolívar)	18	2005, 2007, 2008 2011, 2012, 2013, 2014
Zc6	El Pondaje, Nueva Floresta	CL70 entre KR27 y KR28	18	2004, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2013
Zc7	PTAR, Alirio Mora	KR26 entre CL73B y CL74	15	2005,2006,2007,2008, 2009, 2010, 2011
Zc8	Alfonso López I, Jorge Eliecer Gaitán	KR7 con CL73	14	2005, 2006, 2012, 2014
Zc9	Alfonso Bonilla Aragón, Mojica	CL73 con KR28D	11	2004, 2006, 2007, 2008, 2009
Zc10	Jorge Eliecer Gaitán	CL73 con KR1D	10	2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2012, 2013

Fuente: Elaboración propia.

Se identificaron principalmente 10 Zonas críticas en el área urbana de Cali donde se presentaron mayor agrupación de MPAT y una recurrencia durante varios años. El registro fotográfico y caracterización de cada zona se muestra en el Anexo 5.

Ilustración 71. Zonas críticas de MPAT la ciudad de Cali.



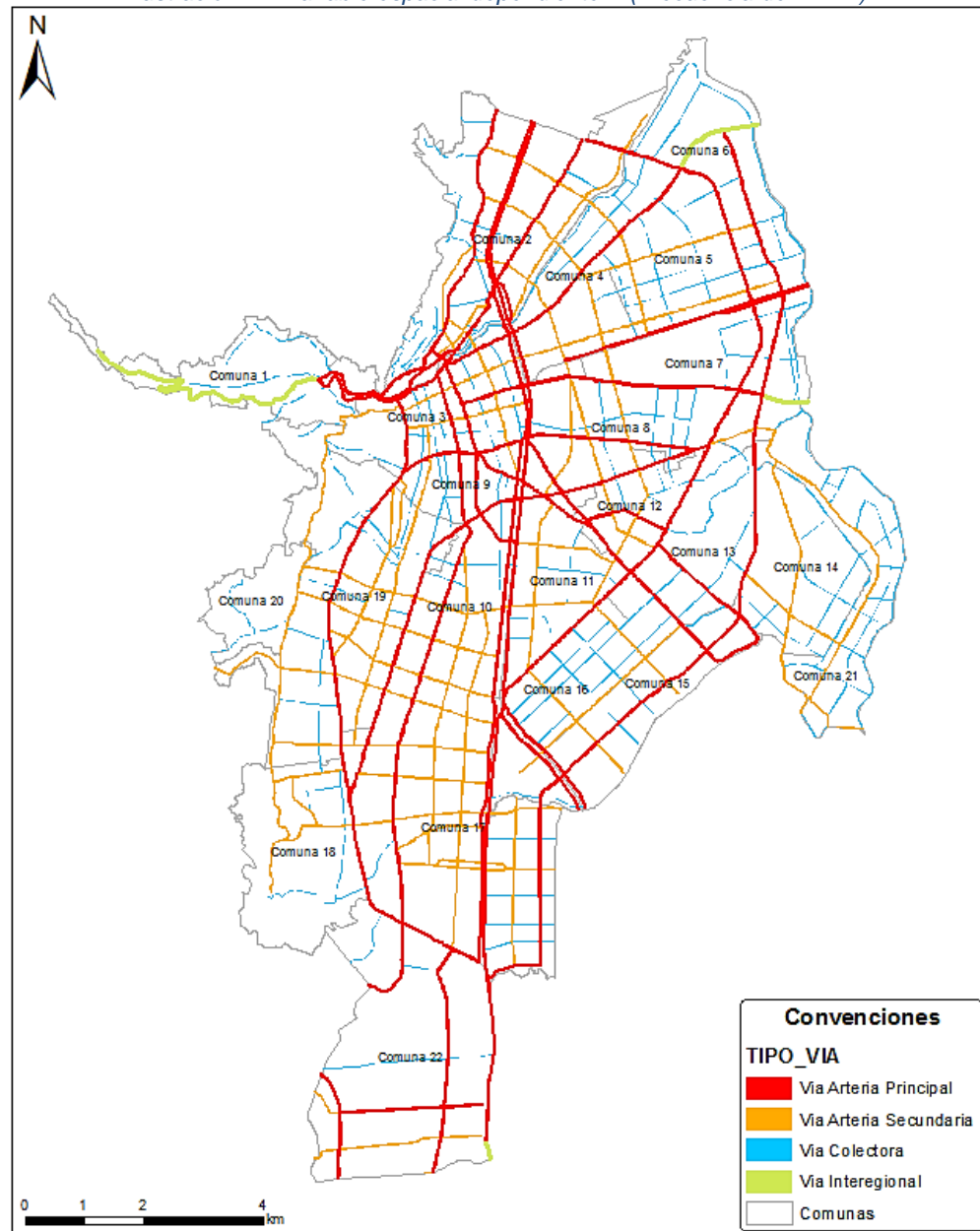
Fuente: Elaboración propia, 2015.



7.1.7. Identificación de variables: dependiente y explicativas.

A partir de la Jerarquización vial de Cali (679 registros), se genera la variable dependiente Frecuencia de MPAT con 1067 registros, luego de dividir por intersecciones y suma espacial de las MPAT que se intersectan con cada tramo.

Ilustración 72. Variable espacial dependiente Y (Frecuencia de MPAT).



Fuente: Elaboración propia, 2015.

Posteriormente, se realizan las operaciones espaciales y alfa-numéricas para la obtención de las variables explicativas descritas en la metodología con los siguientes resultados (tabla 21):



Tabla 21. Estadísticas de variables para el modelo.

#	Variable	Min-	Max+	Sum	Media	Desv.Est.
Y	MPAT	0	30	937	0.9	2.2
X1	Ancho vía	10m	40m	20500m	19.21m	8.41m
X2	# Intersecciones	0	42	5934	5.6	3.5
X3	Fines de semana	0	14	416	0.4	1.1
X4	Dista. Educación	0	23	1129	1	1.8
X5	Dista. Zonas verdes	0	10	127	0.1	0.6
X6	Dista. Sitios interés	0	104	3224	3	6.4
X7	Hora: 19:00-06:00	0	15	465	0.4	1.2
X8	Longitud Vía	42.8m	3.31km	491km	460.1m	307.7m
X9	# Carriles	2	8	4100	3.8	1.7
X10	# Semáforos	0	6	797	0.7	0.9
X11	Puentes Peatonales	0	9	146	0.1	0.6
X12	Tipo Vía	1	4	2238	2.1	0.8
X13	Vehículo: Peatón	0	10	399	0.4	1
X14	Velocidad permitida	40km/h	80km/h	-	49.2km/h	8.5km/h

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Según la tabla 21, se observa que se lograron ubicar 937 de 1979 MPAT sobre la jerarquización vial, ya que los tramos residenciales no se utilizaron. Existen tramos de vías de hasta 42 intersecciones; tramos donde convergen cerca 104 sitios de interés, 23 instituciones educativas y 10 parques o zonas verdes a menos de 200m de distancia; la velocidad promedio es de 50km/h; existen tramos con hasta 9 puentes peatonales con un promedio de 0.1 puentes por tramo; ancho promedio de un tramo es de 20m; por cada tramo hay un promedio de 0.4 muertes de peatones; la longitud de tramo promedio es de 460m; mueren más del 40% en un fin de semana y en la madrugada y un promedio de 0.9 MPAT por cada tramo.

7.1.8. Análisis de Regresión exploratoria

Se obtiene un reporte con los 15 modelos de mayor valor explicativo r^2 (tabla 22) utilizando un mínimo de 1 hasta un máximo de 14 variables explicativas utilizadas y se mantiene constante el número de observaciones.

Tabla 22. Modelos, resultado de regresión exploratoria.

AdjR ²	AICc	JB	K (BP)	VIF	S A	VAR	Modelo
0.93	1821.2	0	0	7.45	0	13	-ID_TIPO_VIA +LONGITUD -INTERSECCION +SEMAFORO +PUENTE_P - VELOCIDAD -SITIOS -PARQUES -EDUCACION +ID +PEATON +FDS +NOCHE
0.93	1819.17	0	0	7.43	0	12	-ID_TIPO_VIA +LONGITUD -INTERSECCION +SEMAFORO +PUENTE_P - VELOCIDAD -SITIOS -EDUCACION +ID +PEATON +FDS +NOCHE
0.93	1817.15	0	0	7.29	0	11	-ID_TIPO_VIA*** +LONGITUD*** +SEMAFORO** +PUENTE_P - VELOCIDAD -SITIOS -EDUCACION +ID +PEATON*** +FDS*** +NOCHE***
0.93	1815.26	0	0	4.03	0	10	-ID_TIPO_VIA*** +LONGITUD*** +SEMAFORO** +PUENTE_P -SITIOS - EDUCACION +ID +PEATON*** +FDS*** +NOCHE***
0.93	1814.75	0	0	3.99	0	9	-ID_TIPO_VIA*** +LONGITUD*** +SEMAFORO** -SITIOS -EDUCACION +ID* +PEATON*** +FDS*** +NOCHE***
0.93	1813.04	0	0	3.99	0	8	-ID_TIPO_VIA*** +LONGITUD*** +SEMAFORO** -EDUCACION +ID +PEATON*** +FDS*** +NOCHE***



0.93	1813.15	0	0	3.99	0	7	-ID_TIPO_VIA*** +LONGITUD*** +SEMAFORO** -EDUCACION +PEATON*** +FDS*** +NOCHE***
0.93	1814.21	0	0	3.96	0	6	-ID_TIPO_VIA*** +LONGITUD** +SEMAFORO** +PEATON*** +FDS*** +NOCHE***
0.93	1818.25	0	0	3.93	0	5	-ID_TIPO_VIA*** +LONGITUD*** +PEATON*** +FDS*** +NOCHE***
0.93	1829.00	0	0	3.93	0	4	-ID_TIPO_VIA*** +PEATON*** +FDS*** +NOCHE***
0.93	1855.42	0	0	3.93	0	3	+PEATON*** +FDS*** +NOCHE***
0.91	2111.74	0	0	3.32	0	2	+FDS*** +NOCHE***
0.85	2700.02	0	0	1	0	1	+NOCHE***
0.83	2820.95	0	0	1	0	1	+FDS***
0.73	3295.40	0	0	1	0	1	+PEATON***

Fuente: Elaboración propia, 2015

El hecho de que los modelos generados no pasen las pruebas de Jarque-Bera para la influencia de las variables o SA de Autocorrelación espacial, justifica la decisión de recurrir a la regresión espacial ya que se produce una mejora en el ajuste global o porque se detecta la presencia de agrupaciones espaciales (clúster) en la distribución de los residuos, que debe corregirse.

A continuación se lista el porcentaje de significancia de cada una de las variables que permiten dar información acerca de las relaciones de las variables y que tan consistentes son, además de la estabilidad de la relación (positiva o negativa).

Tabla 23. Porcentaje de significancia de variables explicativas.

Variable	Porcentaje (%)			Variable	Porcentaje (%)		
	Significancia	-	+		Significancia	-	+
PEATON	100,00	0	100,00	CARRILES	55.76	13.02	86.98
FDS	100,00	0	100,00	VELOCIDAD	52.27	59.18	40.82
NOCHE	100,00	0	100,00	PUENTE_P	42.30	12.17	87.83
SEMAFORO	72,44	0	100,00	SITIOS	21.11	19.92	80.08
LONGITUD	72.01	0	100	PARQUES	15.39	59.28	40.72
ID_TIPO_VIA	68.43	99.41	0.59	EDUCACION	10.68	44.24	55.76
ANCHO	55.76	13.02	86.98	INTERSECCION	7.71	21.72	78.28

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Según la tabla anterior, las relaciones más estables se forman con las variables Peatón, Fines de semana y Noche, donde cuentan con el 100% de consistencia y son el 100% relaciones positivas (a medida que aumenta la variable, aumenta el número de MPAT).

Para eliminar la multicolinealidad en el modelo se debe eliminar la redundancia de variables que cuentan la misma historia, removiendo una de ellas del análisis.

A continuación se resume la multicolinealidad que indica la cantidad de veces que una variable aparece junto con otra en un modelo y que puede estar contando la misma historia, por lo tanto son redundantes y le bajan rendimiento al modelo. (Ver tabla 24).



Tabla 24. Multicolinealidad de las variables (redundancia).

Variable	VIF	Violaciones	Covarianza			
ID_TIPO_VIA	10,7	2048	ANCHO	24,99	CARRILES	24,99
ANCHO	182,2	2048	ID_TIPO_VIA	24,99	VELOCIDAD	24,99
CARRILES	182,2	2048	ID_TIPO_VIA	24,99	VELOCIDAD	24,99
VELOCIDAD	178,3	2048	ANCHO	24,99	CARRILES	24,99
PEATON	3	0				
FDS	4	0				
NOCHE	3.9	0				

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Se deben remover las variables redundantes teniendo como criterio la significancia, es decir, que permanecen aquellas cuyas relaciones son más fuertes. En este caso se conserva una de las siguientes variables: Ancho de vía # Carriles, Velocidad y Tipo de Vía. Se observa que la redundancia es lógica ya que las variables ancho, carriles y velocidad son derivadas del tipo de vía de la jerarquización.

7.1.9. Regresión Lineal Múltiple – OLS

El modelo de Regresión Lineal Múltiple elegido para realizar un análisis de OLS fue el de la ecuación 7, porque explica el 93% de las MPAT y cuenta con un criterio AICc bajo con respecto a los otros modelos, además los signos de los coeficientes son congruentes con el tipo de variable (relaciones esperadas) y cuenta con variables significativas.

Ecuación 7. Modelo Regresión Lineal Múltiple MPAT.

$$Y = 0.69X3 + 0.77X7 + 0.0002X8 + 0.05X10 - 0.09X12 + 0.48X13 + \epsilon, \text{ donde}$$

- Y → Frecuencia de MPAT en Jerarquización Vial.
- X3 → Ocurrencia de AT los fines de semana.
- X7 → Ocurrencia de AT en horario nocturno.
- X8 → Longitud de tramo vial.
- X10 → Número de semáforos
- X12 → Tipo de vía.
- X13 → Ocurrencia de Muertes a peatones.

Los resultados del análisis se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 25. Lista de coeficientes del modelo OLS.

Variable	Coef	StdError	t_Stat	Prob	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr	StdCoef
INTERCEPT	0,156	0,065	2,401	0,017	0,065	2,411	0,016	0,000
ID_TIPO_VIA	-0,088	0,024	-3,722	0,000	0,022	-3,947	0,000	-0,034
LONGITUD	0,000	0,000	3,037	0,002	0,000	2,344	0,019	0,025
SEMAFORO	0,051	0,021	2,459	0,014	0,025	2,045	0,041	0,023
PEATON	0,484	0,029	16,546	0,000	0,063	7,743	0,000	0,227
FDS	0,692	0,031	22,271	0,000	0,074	9,346	0,000	0,352
NOCHE	0,769	0,028	27,784	0,000	0,059	12,983	0,000	0,430

Fuente: Elaboración propia, 2015.



El coeficiente refleja la fuerza y el tipo de relación de la variable explicativa con la dependiente; de la tabla se puede decir que, de cada 2 muertes que ocurren en un accidente de tránsito, está involucrado un peatón; de viernes a domingo ocurren el 70% de las muertes y el 77% en la noche (de 7pm a 6am) y entre más larga la vía más posibilidades de muerte, si la vía es principal existe mayor probabilidad de muerte por AT. Lo anterior se deduce partiendo de que las demás variables independientes se mantienen constantes.

La prueba T (T Stat) refleja que todas las variables explicativas son estadísticamente significativas, mientras que la Probabilidad y la Probabilidad Robusta se acercan a cero, indicando que la probabilidad de que los coeficientes sean cero (nulo) es muy pequeña. El cálculo de los estadísticos y pruebas del modelo se muestra en la tabla 26:

Tabla 26. Pruebas al modelo OLS generado.

Nombre de prueba	Valor de prueba	Significado prueba	Aprobación
AIC	1814,08	Rendimiento del modelo	
AICc	1814,21	Rendimiento del modelo corregido	OK
R2	0,93	% de explicación de la variable dependiente	
AdjR2	0,93	% de explicación de la variable dependiente ajustado	OK
F-Stat	2466,04	Significancia total del modelo	
F-Prob	0,00	Probabilidad de no influencia de variables	OK
Wald	1885,67	Significancia total del modelo (robusto)	
Wald-Prob	0,00	Probabilidad de no influencia de variables (robusto)	OK
K(BP)	346,18	heteroscedasticidad o no estacionariedad de variables	
K(BP)-Prob	0,00	Probabilidad de estacionariedad.	NO
JB	5654,45	Influencia o sesgo de variables.	
JB-Prob	0,00	Probabilidad de que no exista influencia.	NO
Sigma2	0,32	Varianza del error total de coeficientes	OK

Fuente: Elaboración propia, 2015.

El Criterio de Información de Akaike corregido (AICc) permite comparar el rendimiento del modelo con otros, donde el mejor modelo es el que tenga un valor de AICc más bajo. El coeficiente de determinación R^2 ofrece una medida de proporción de explicación de la variable dependiente, obteniendo un 0.93 indica que este modelo con 6 variables explica en un 93% las MPAT en Cali.

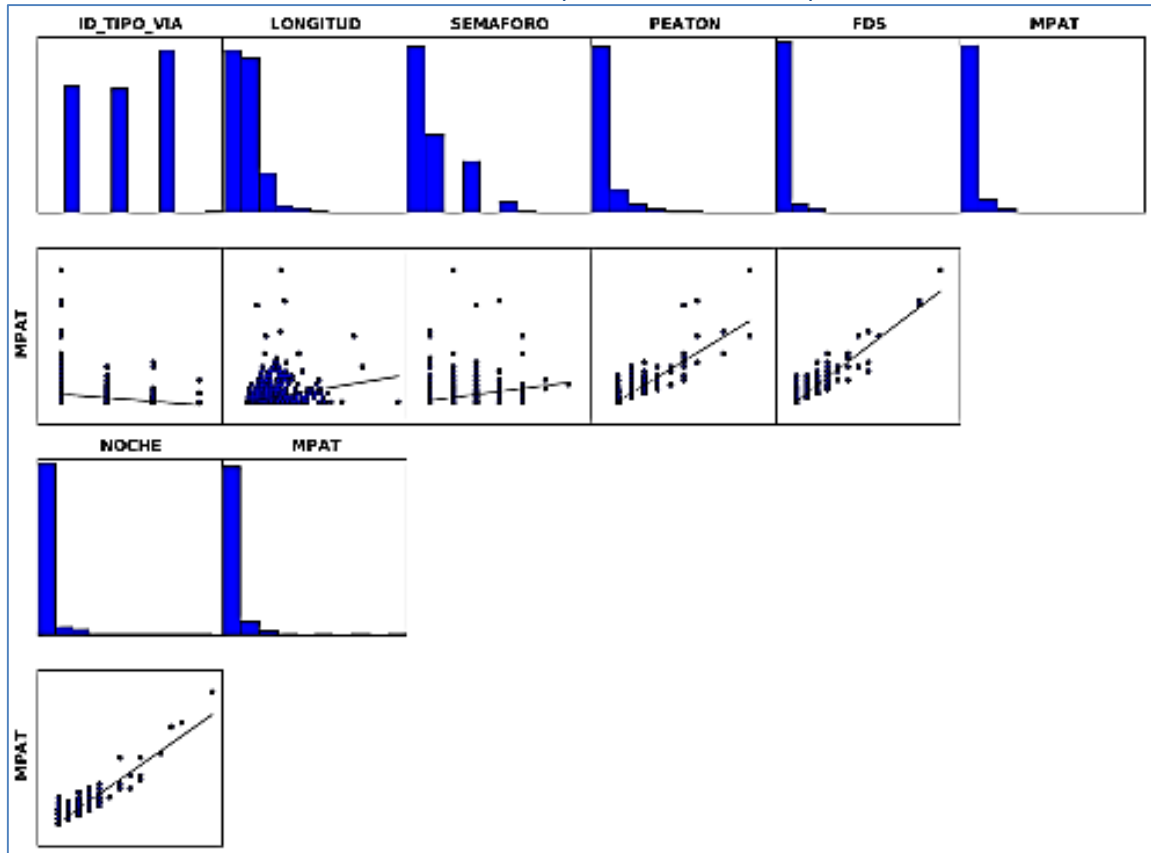
Un valor estadístico Joint-F indica la significancia total del modelo y una probabilidad del 0% de que ninguna variable tenga efecto sobre las MPAT. Por su parte, el valor estadístico y la probabilidad de Wald tiene los mismos significados pero con modelos robustos. El valor Koenker (K-BP) es una prueba de heteroscedasticidad o no estacionariedad (Autocorrelación espacial) de las variables explicativas con respecto a la variable dependiente. Esto indica que alguna de las variables utilizadas cambia en el espacio geográfico y afecta a las MPAT. Por lo tanto existen evidencias suficientes para recurrir a la regresión geográfica. (GWR).



El estadístico de Jarque-Bera se utiliza para determinar la desviación de la distribución normal teórica, lo que determina si un modelo está influenciado o no. En este caso, un valor significativo (cercano a cero) indica que el modelo está influenciado o sesgado por alguna(s) variable(s) debido a relaciones no lineales, valores atípicos o existencia de heteroscedasticidad, que puede corregirse utilizando una regresión espacial (GWR).

El valor Sigma^2 estima la varianza del error total de los coeficientes.

Ilustración 73. Gráficos de dispersión de variables explicativas.



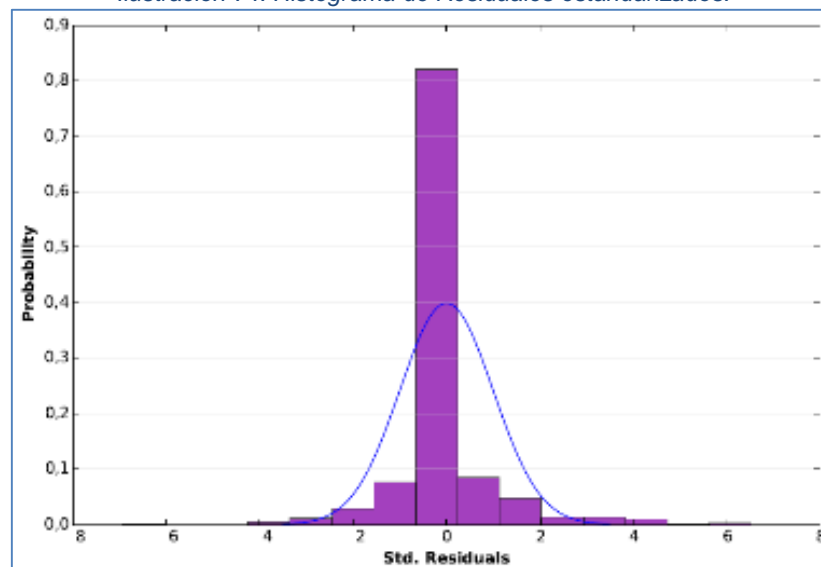
Fuente: Elaboración propia, 2015.

La ilustración 73 muestra que las variables Tipo de vía, longitud y semáforos generan un sesgo o influencia en el modelo, ya que no poseen una distribución lineal. Se debe realizar una transformación sobre dichas variables o probar un modelo no lineal como el espacial.

Como existe Autocorrelación espacial en el modelo, esto indica que los datos no son estacionarios y que no se pueden explicar con estadística tradicional sino espacial. En la ilustración 74 se muestra el histograma de los residuales del modelo OLS estandarizados que se deben acercar a la distribución normal (campana).



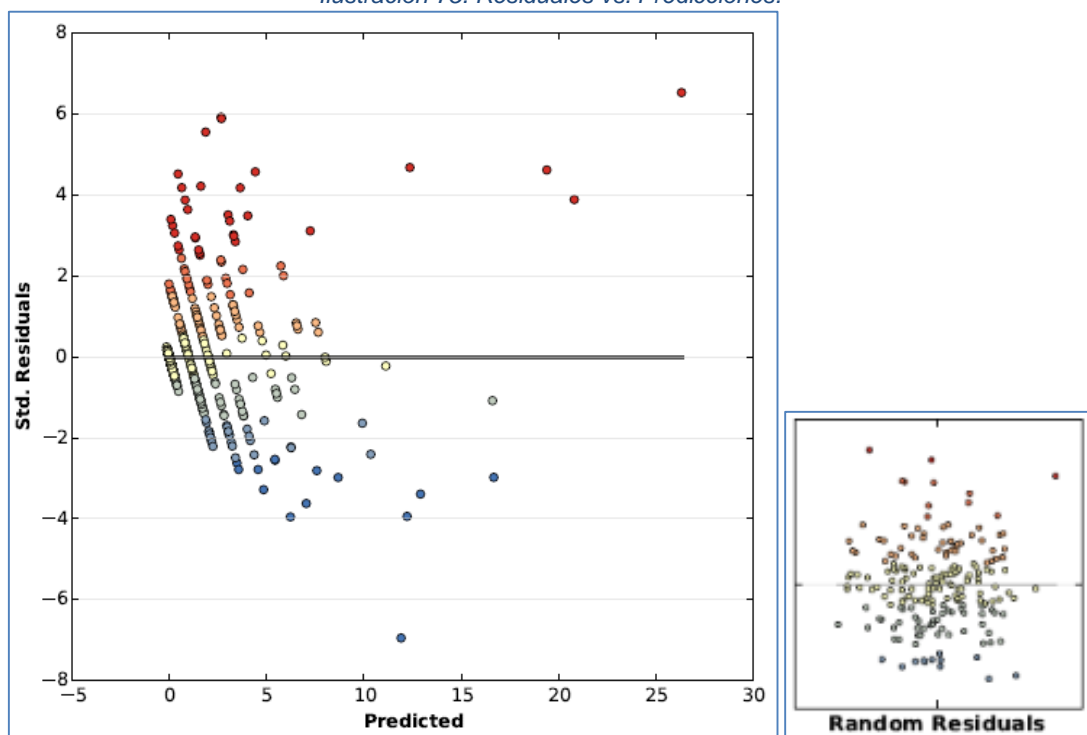
Ilustración 74. Histograma de Residuales estandarizados.



Fuente: Elaboración propia.

La ilustración 75 refleja un problema de heteroscedasticidad (no estacionariedad), lo que indica que las relaciones que se modelan, cambian en el área de estudio. La forma de cono hacia la izquierda indica que el modelo está haciendo buenas predicciones en ubicaciones con bajos niveles de mortandad por accidentes de tránsito pero no las está haciendo bien en ubicaciones con altos índices de MPAT.

Ilustración 75. Residuales vs. Predicciones.



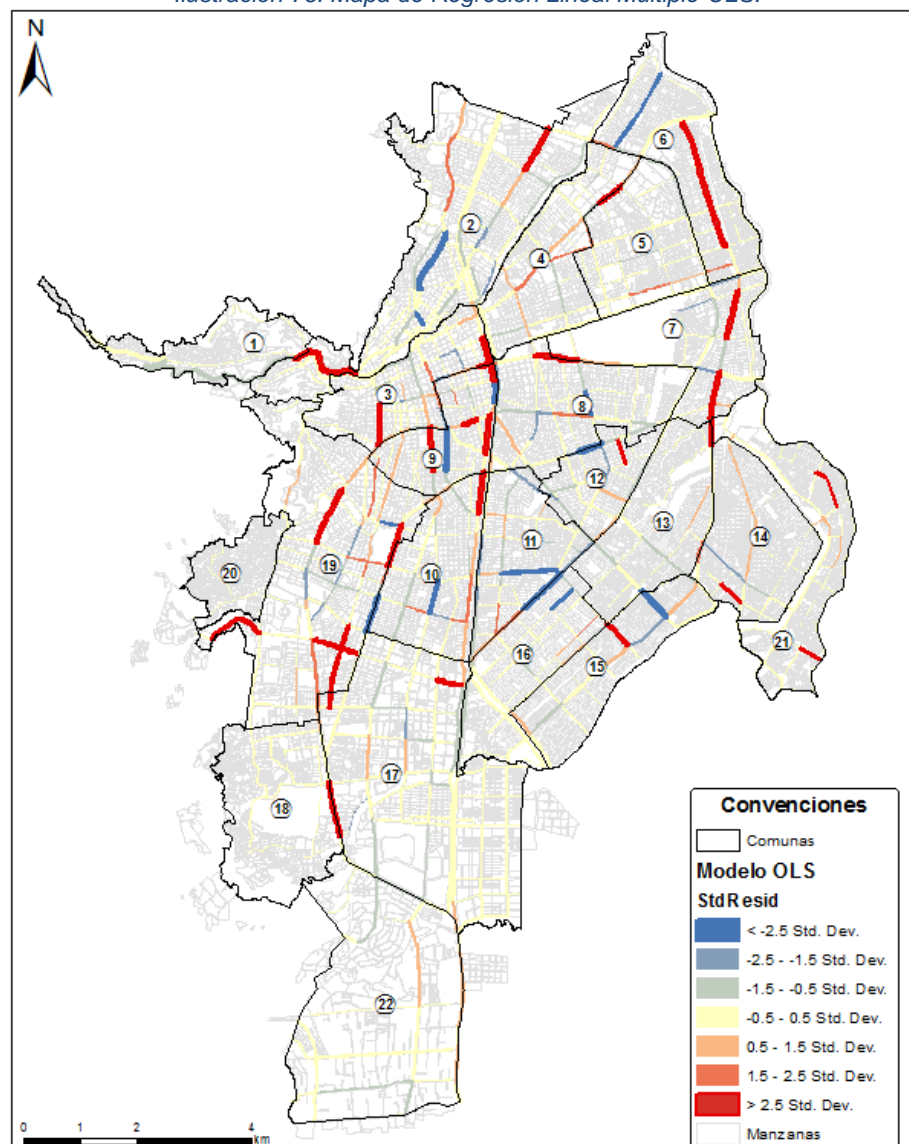
Fuente: Elaboración propia.



El modelo de regresión lineal múltiple a través de la técnica de OLS genera una salida gráfica donde se muestran las predicciones de MPAT a través de la Jerarquización vial de Cali. Si se observa la Ilustración 76, se pueden determinar el mapa de los residuales y las predicciones realizadas por el modelo.

También se pueden ver las predicciones escasas (azul), donde los valores reales son más bajos de lo previsto y las predicciones excesivas (rojo), donde los valores reales son más grandes de lo que el modelo predijo. En el mapa también se pueden determinar zonas donde se agrupan las predicciones altas, sobre todo en la comuna 9 y 19. Este análisis es importante para determinar variables clave que se estén escapando en este estudio y que pueden estar causando agrupamiento de predicciones.

Ilustración 76. Mapa de Regresión Lineal Múltiple OLS.



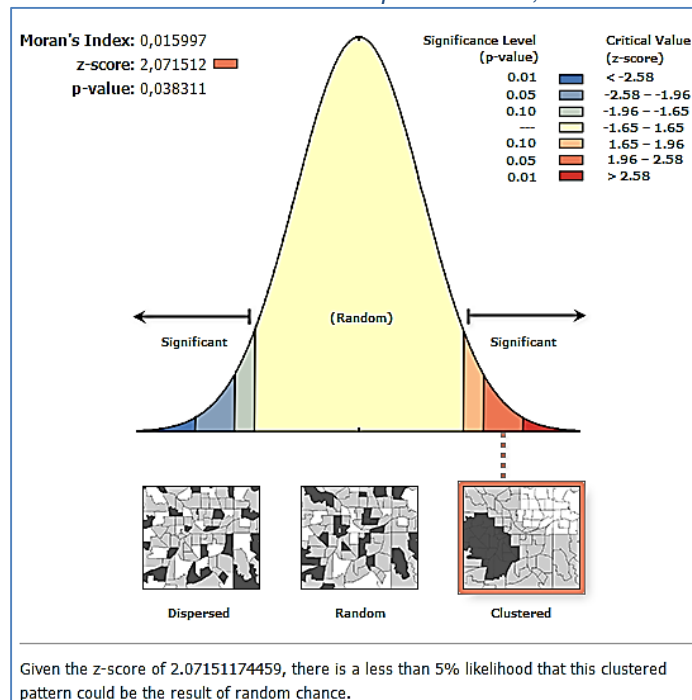
Fuente: Elaboración propia, 2015.



Es necesario realizar un análisis de regresión espacial para obtener un modelo más adecuado a las variables y relaciones que se están analizando, con el fin de eliminar la influencia (sesgo) y explicar la autocorrelación espacial.

Finalmente, al realizar un análisis de Autocorrelación espacial (Global I de Moran) con los residuales del modelo OLS, se puede observar en la Ilustración 77 que existe agrupamiento en valores por encima y por debajo (puntaje Z estadísticamente significativo), esto significa que al modelo OLS aún le faltan variables explicativas clave y que no se puede confiar en sus resultados.

Ilustración 77. Autocorrelación espacial I Moran, modelo OLS.



Fuente: Elaboración propia, 2015.

7.1.10. Regresión Espacial – GWR

Se genera un modelo **WGR1** con las variables utilizadas en el modelo OLS, pero posteriormente se realizan pruebas de variables no estacionarias y se genera un modelo **WGR2** con un mejor rendimiento respecto al anterior. Las ecuaciones y resultados se muestran a continuación.

Ecuación 8. Modelos GWR1 y GWR2 - MPAT.

$$\mathbf{WGR1: } Y = - \beta_1 (\text{TIPO_VIA}) + \beta_2 (\text{LONGITUD}) + \beta_3 (\text{SEMAFOROS}) + \beta_4 (\text{PEATON}) + \beta_5 (\text{FDS}) + \beta_6 (\text{NOCHE}) + \mathcal{E}$$

$$\mathbf{WGR2: } Y = - \beta_1 (\text{PUENTES_PEATONALES}) + \beta_2 (\text{CARRILES}) + \beta_3 (\text{PEATON}) + \beta_4 (\text{FDS}) + \beta_5 (\text{NOCHE}) + \mathcal{E}$$

Fuente: Elaboración propia, 2015.



Tabla 27. Resumen de comparación de modelos OLS, WGR1 y WGR2.

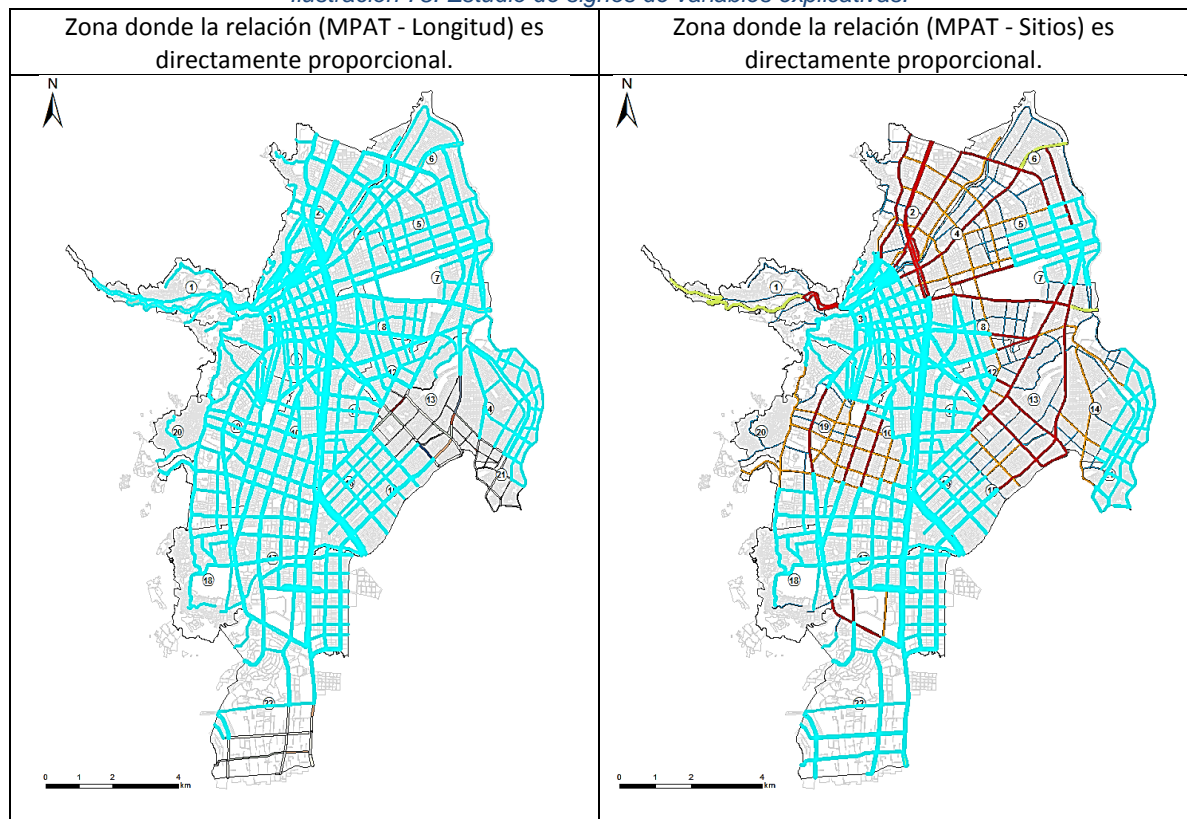
PRUEBA	OLS	WGR1	WGR2
Bandwidth		1458,35	1458,35
ResidualSquares		228,89	224,009
EffectiveNumber		160,52	132,63
Sigma	0.5	0,30	0,30
AICc	1814,2	1652,44	1624,90
R2	0,933	0,956	0,954
R2Adjusted	0,932	0,947	0,947

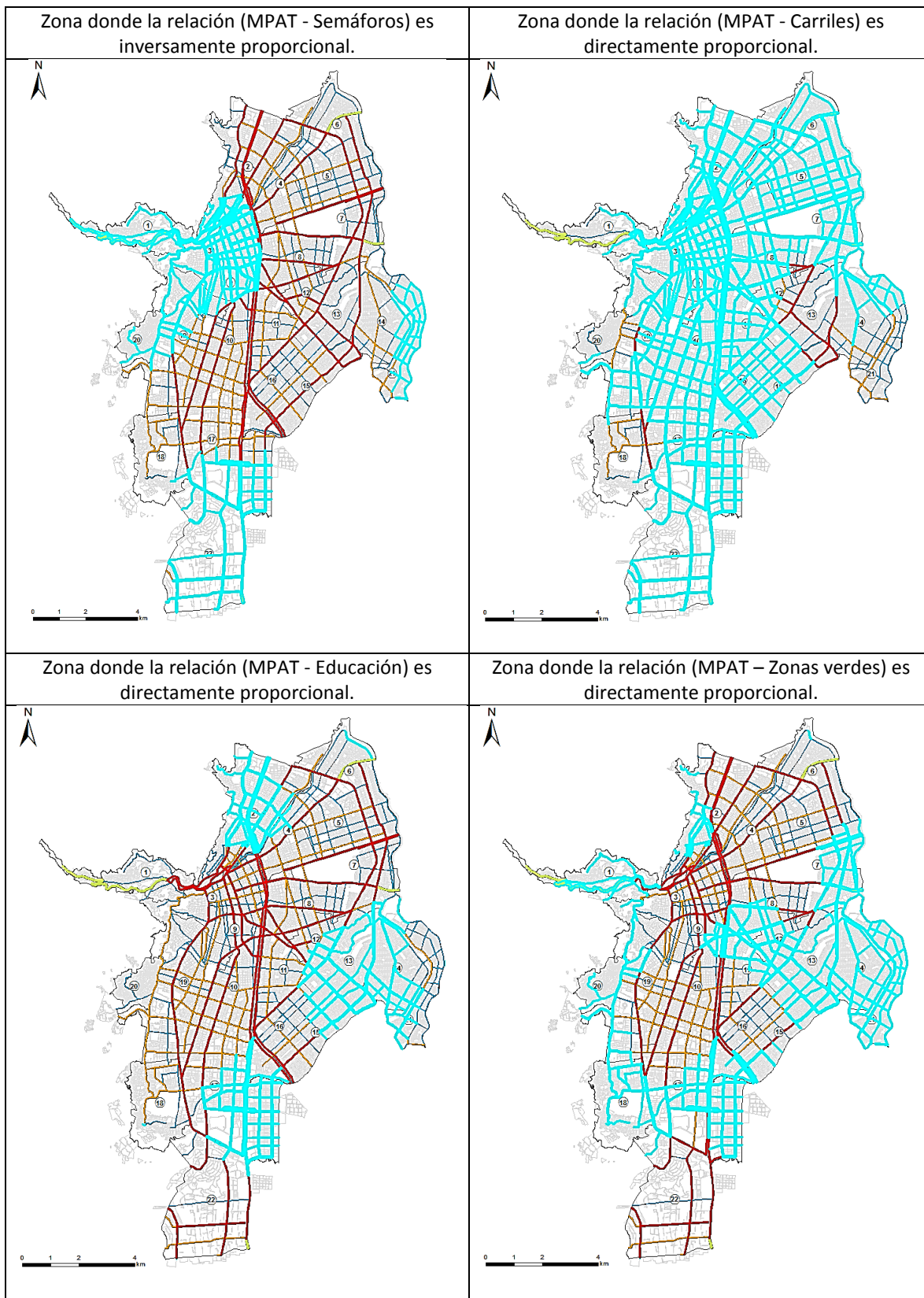
Fuente: Elaboración propia, 2015.

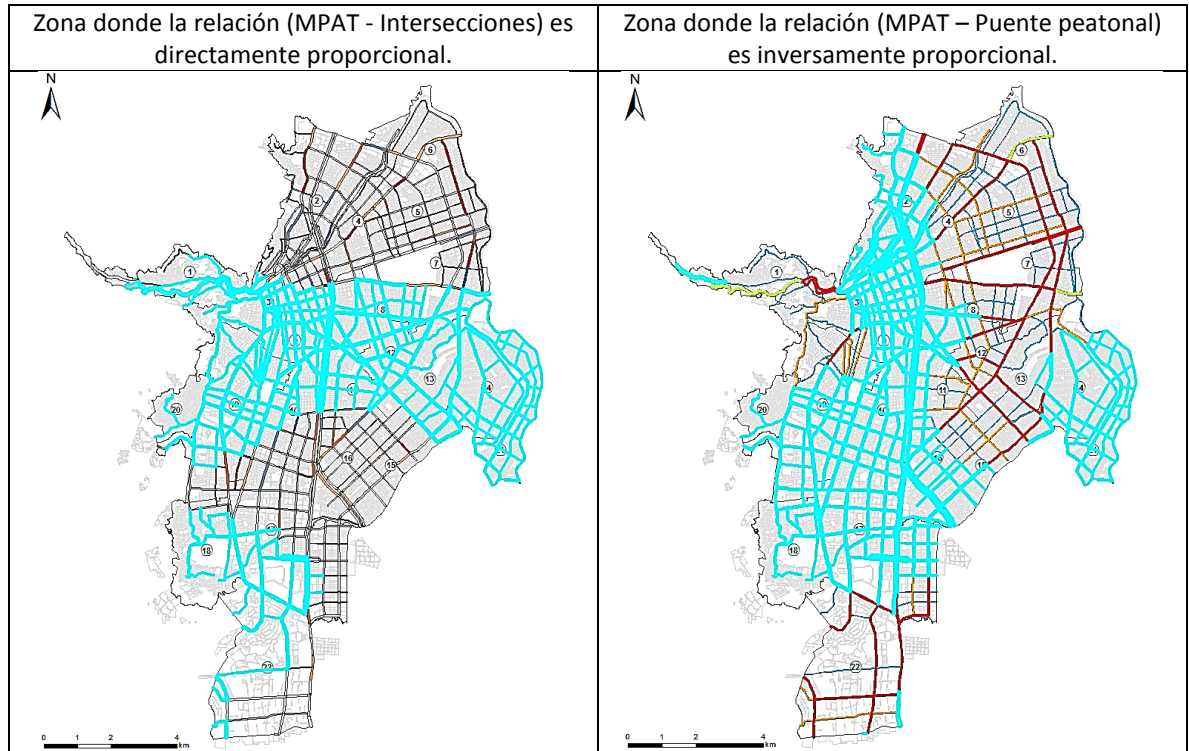
Los R2 y R2 ajustado obtenidos usando GWR son de 0,95 y 0,94, respectivamente, lo cual supone una mejora con respecto al modelo OLS. También resulta un valor más reducido del AIC, así como de otros parámetros (Sigma y Desvío Standard) referidos al error en el modelo. Por lo anterior, se utiliza el modelo GWR2.

Al trabajar con datos no estacionarios, las variables pueden cambiar de signo y es posible estudiar sus relaciones y comportamiento geográfico para determinar su influencia en el modelo. El estudio de todas las variables explicativas se muestra a continuación:

Ilustración 78. Estudio de signos de variables explicativas.



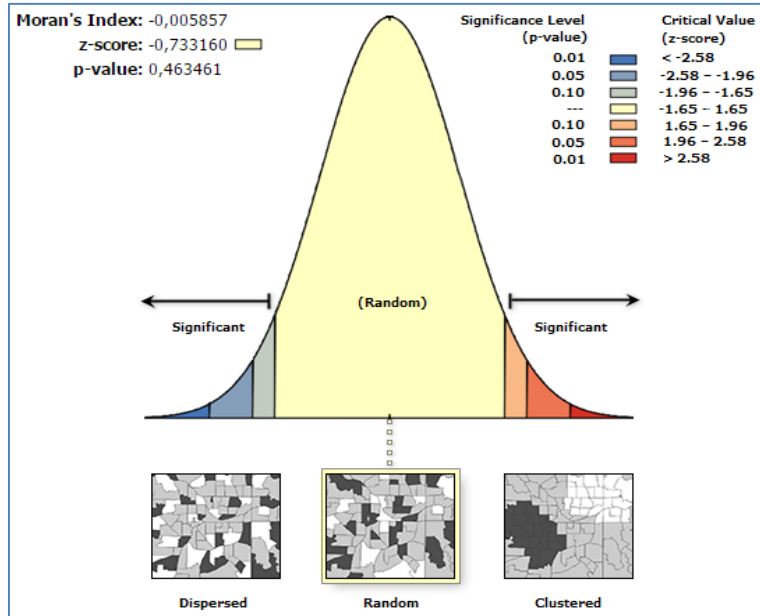




Fuente: Elaboración propia.

La ilustración 79 muestra el resultado del análisis de Autocorrelación espacial I de Moran. Como no se presentan clúster o agrupamientos sobre las predicciones escasas y excesivas, esto muestra que el modelo se ha especificado bien y que las variables explicativas escogidas están arrojando buenos resultados.

Ilustración 79. Análisis de Autocorrelación espacial I de Moran - WGR2.

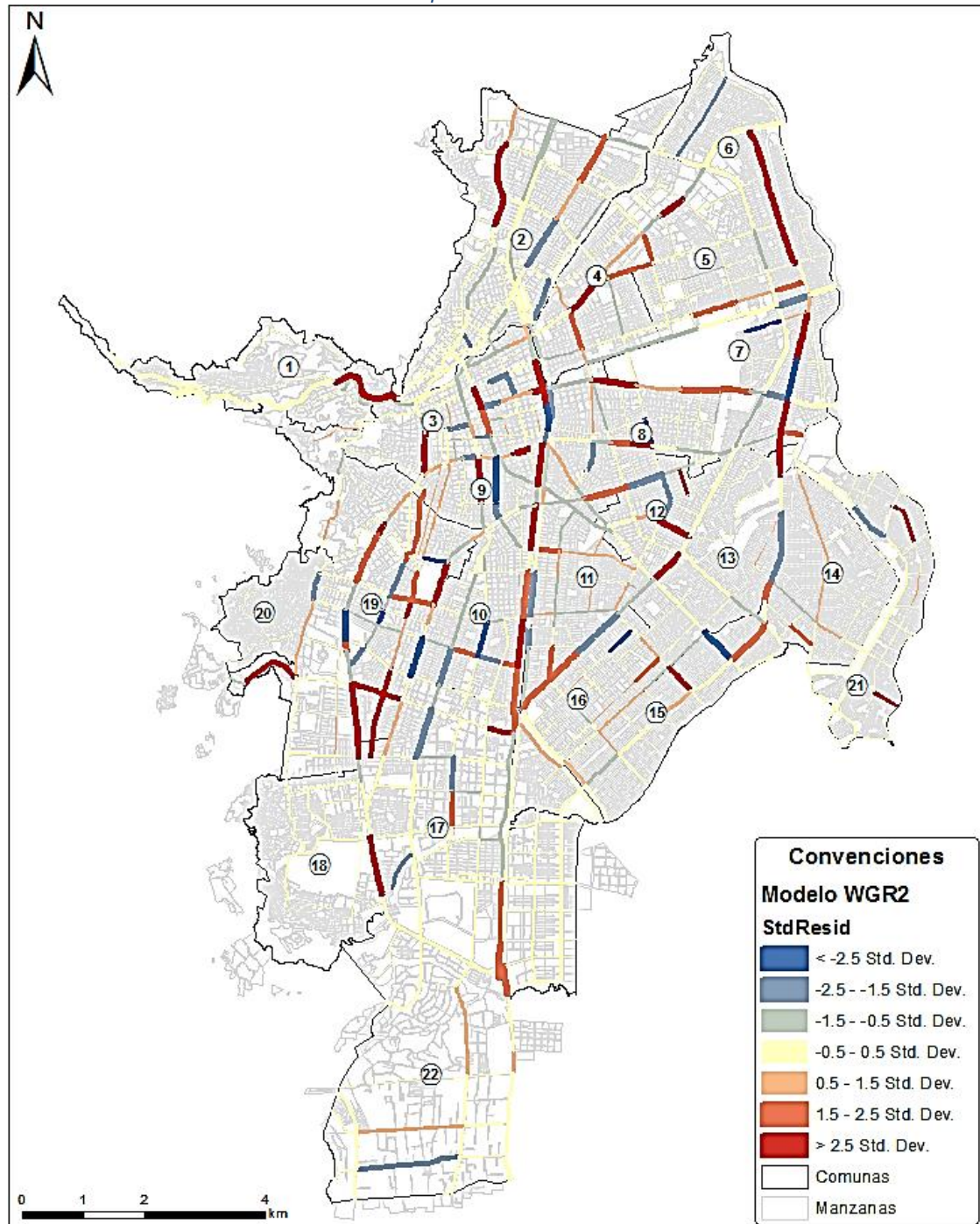


Fuente: Elaboración propia.



El mapa del modelo **WGR2** se muestra en la ilustración 80; se pueden observar zonas donde las predicciones son escasas (azul) y zonas donde las predicciones son excesivas (rojo). No se observan patrones de agrupamiento en las estimaciones por debajo o por encima y se verifica a través de un análisis de autocorrelación espacial (Global I de Moran), cuyo resultado muestra una distribución aleatoria.

Ilustración 80. Mapa del modelo WGR2 de MPAT.



Fuente: Elaboración propia.



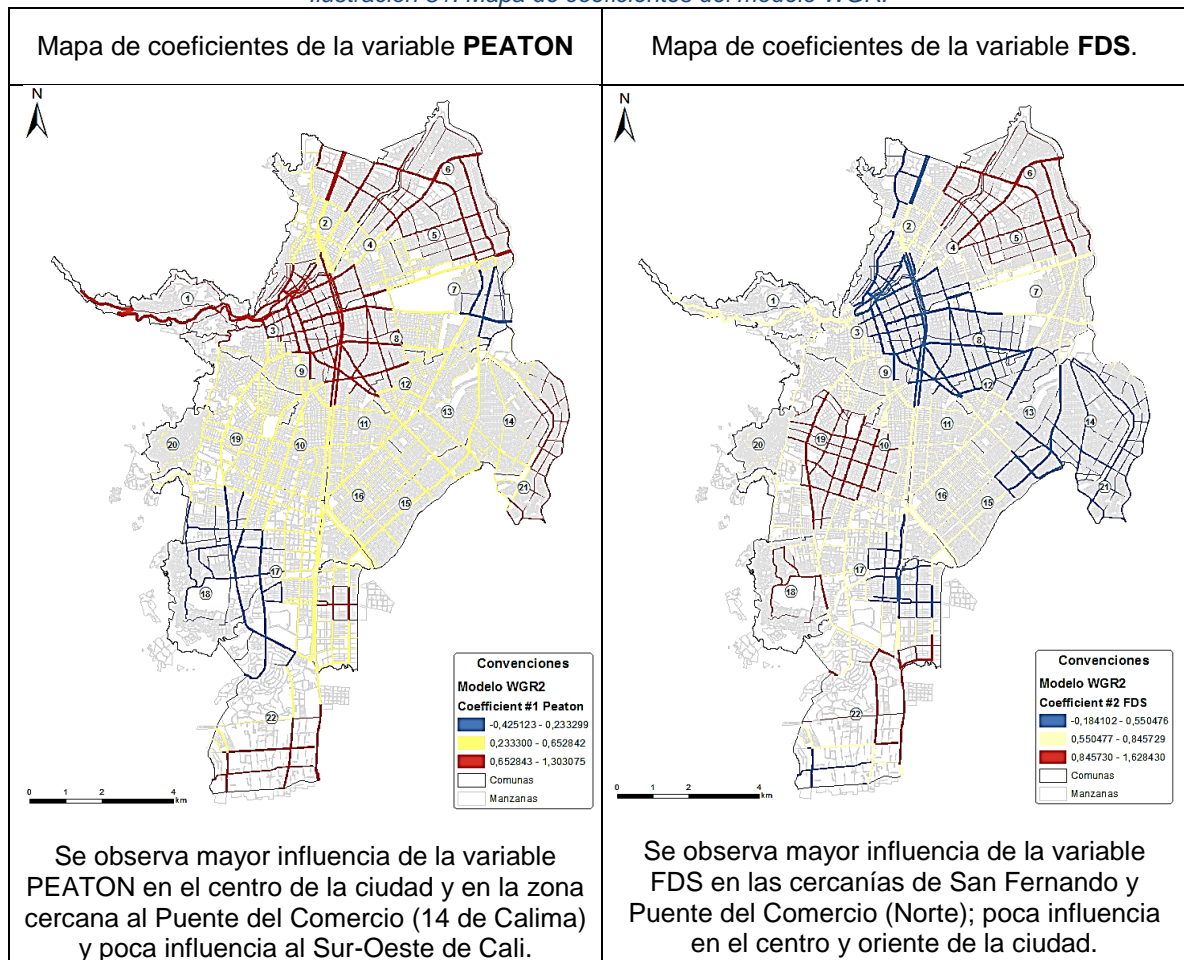
Se realiza un mapa de los coeficientes de cada variable explicativa utilizada en el modelo WGR2. Cabe anotar que en un modelo espacial ponderado las relaciones cambian de signo dependiendo de su ubicación geográfica.

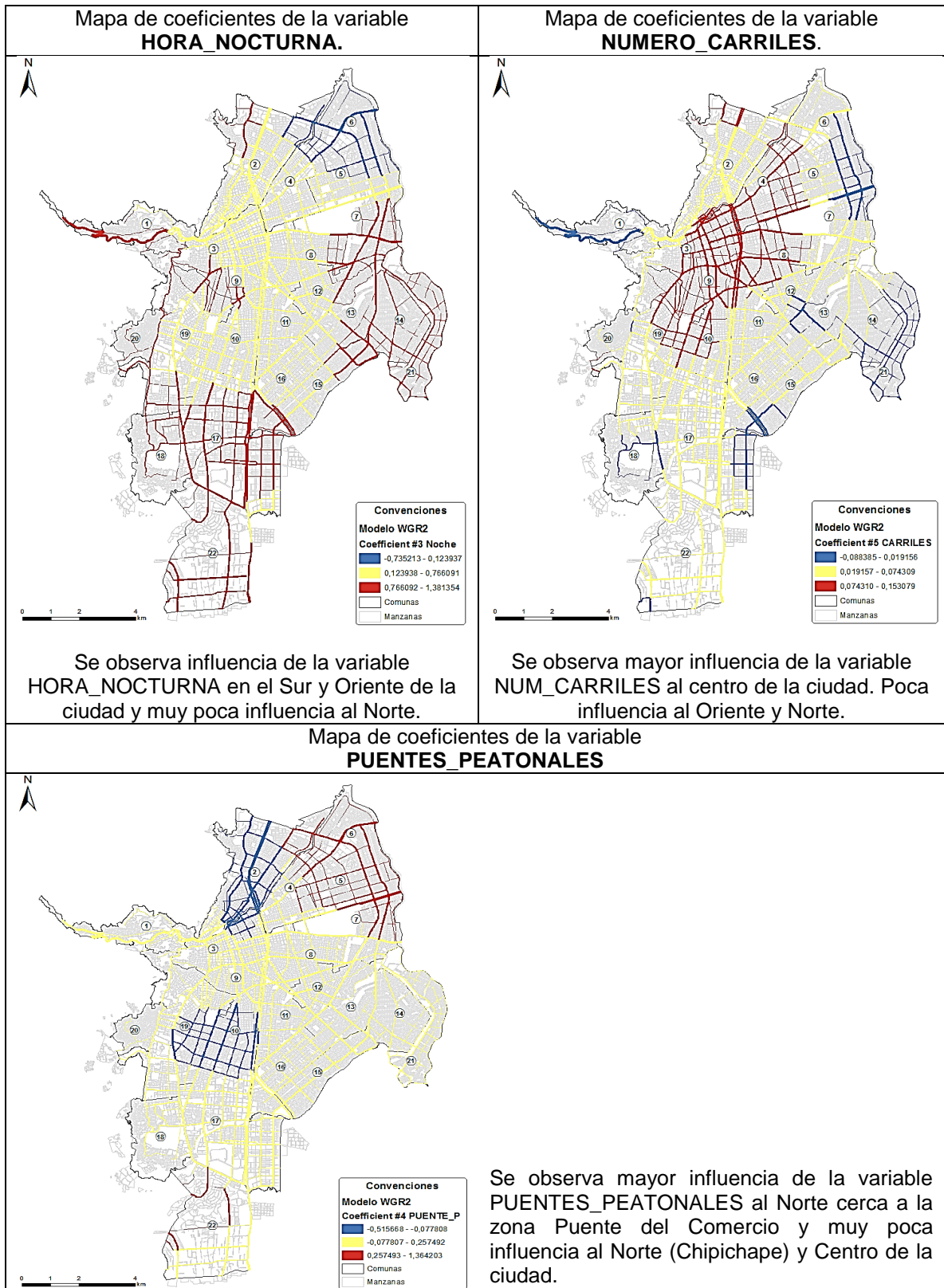
Se utiliza una clasificación cartográfica de 3 valores utilizando la estadística “Cortes naturales de Jenks”, que divide cada clase donde se encuentren cortes o saltos significativos en los valores de cada coeficiente.

El color azul representa los valores de menor predicción o fuerza de la variable explicativa, el color rojo representa ubicaciones donde la predicción es fuerte y los coeficientes son mayores. En la Ilustración 81 se muestra el mapa de coeficientes de cada variable.

Determinar las zonas donde la variable explicativa es un fuerte predictor (elasticidades) permite tomar decisiones acerca de la zona, como implementar más semáforos, más puentes peatonales, controles de reducción de velocidad como señales, cámaras o paso nivel. Las zonas en azul sirven como punto de referencia.

Ilustración 81. Mapa de coeficientes del modelo WGR.





Fuente: Elaboración propia.



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 72% de un total de 2781 pudieron contar con una posición geográfica. Ese 28% 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 posición social 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, los bajos controles y regulaciones para este tipo de 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.



El análisis de puntos calientes pierde significancia entre menos cantidad de datos se trabajen. Cuando se analizaron los datos año a año no se presenta ninguna significancia estadística en los años 2005, 2006, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012. Esto se debe a la poca presencia de muertes cercanas o próximas. En los años 2004, 2009 y 2013 se presentan patrones de agrupamiento de muertes. El año 2014 se excluye del análisis por falta de información (menos de 30 MPAT). Por lo tanto es mejor trabajar la información durante el periodo 2004-2014

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. 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.

El análisis de la variable dependiente, frecuencia de MPAT en la Jerarquización Vial, se trabajó intersectando las muertes con las vías principales de Cali y excluyendo las vías residenciales; por lo tanto, muchas de las MPAT ocurridas durante el periodo no se tuvieron en cuenta al quedar lejos de la entidad geográfica utilizada. Esto a diferencia de otros modelos donde se tienen en cuenta variables relacionadas más al individuo o al vehículo.

El primer modelo OLS generado (- TIPO_VIA + LONGITUD + SEMAFOROS + PEATON + FDS + NOCHE), a pesar de ser uno de los modelos de mejor rendimiento, cuando se utiliza en un modelo espacial ponderado, presenta menor rendimiento y poder explicativo que otros modelos. Por esto se eligió un modelo con las variables + CARRILES – PUENTE_P + PEATON + FDS + NOCHE, luego de varias pruebas.

Al revisar los signos en el modelo de ponderación geográfica, todas las variables fluctúan de signo dependiendo de su ubicación (elasticidad), mostrando otras características que un modelo lineal no puede explicar. Se observan zonas donde los puentes peatonales presentan una relación positiva y los peatones, fines de semana, número de carriles y hora nocturna presentan una relación negativa al

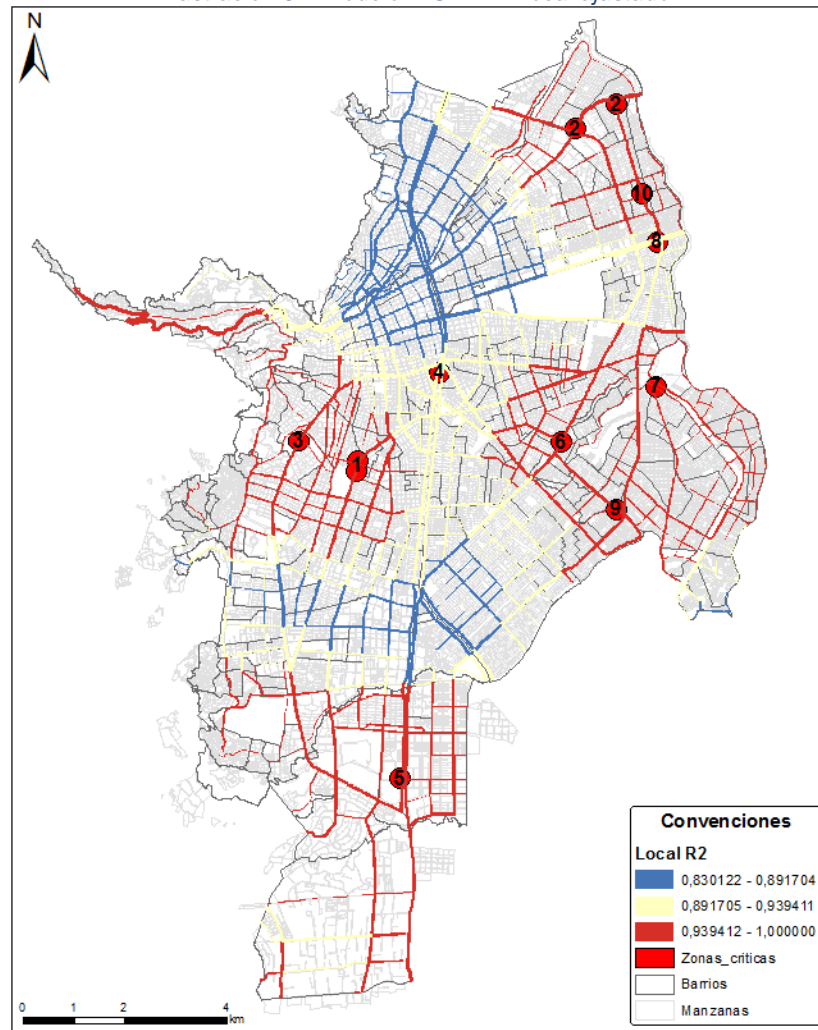


contrario de lo que se puede pensar, es importante revisar dichas zonas en contexto para determinar la ausencia o presencia de factores y cómo influyen en la variable dependiente.

En presencia de autocorrelación espacial (lo que es habitual en los datos geográficos) el modelo GWR se comporta de forma más eficiente porque considera las variaciones espaciales de las relaciones entre las variables y obtiene parámetros locales que reflejan más exactamente su influencia en el uso del transporte público.

El modelo GWR no sólo suele tener un mayor poder explicativo que el OLS, sino que además permite profundizar en el análisis local, ya que se dispone de una ecuación de regresión para cada observación, ajustada localmente. Así es posible conocer dónde el modelo tiene un mayor o menor ajuste (R^2) y cómo cambia la relación entre las variables en el espacio (coeficientes de los predictores) y con qué significación estadística. (Ilustración 82).

Ilustración 82. Modelo WGR - r^2 Local ajustado.



Fuente: Elaboración propia, 2015.



Revisando los mapas de coeficientes del modelo espacial WGR, se puede determinar que en las comunas 5, 6 (KR 1 – 70) y 3, 8, 9 (CL25 y Centro) se presenta una relación fuerte entre las muertes y los peatones.

Los puentes peatonales influyen de manera directa en las comunas 5 y 6 donde se observan aproximadamente 30 puentes peatonales en 1538,42 Ha; a pesar de la cantidad de puentes, muchos de ellos están sobre la vía ciudad de Cali y no directamente donde radica el problema de los AT cerca al puente del comercio (KR1 con CL70) mientras que existen algunos puentes peatonales cerca de la zona de conflicto pero se usan poco. En las comunas 2 y 10 tiene una influencia inversamente proporcional donde se evidencia la falta de puentes peatonales vs la cantidad de muertes presentes.

El número de carriles influye de manera directa en la zona central (comunas 3, 4, 8, 9) de la ciudad mientras que su influencia es inversamente proporcional a las MPAT en las comunas 6, 14 y 21.

En los fines de semana se presenta una influencia alta en las MPAT sobre todo en las comunas 5, 6, 10, 18, 19 y 22 de Cali, normalmente sobre autopistas de altas velocidades. La influencia es menor en la zona central y oriental de la ciudad.

Con respecto a las horas nocturnas, entre las 7pm y las 6am, existe una alta predicción en el oriente y sur de Cali y no tanto en las comunas 5 y 6 de la ciudad.

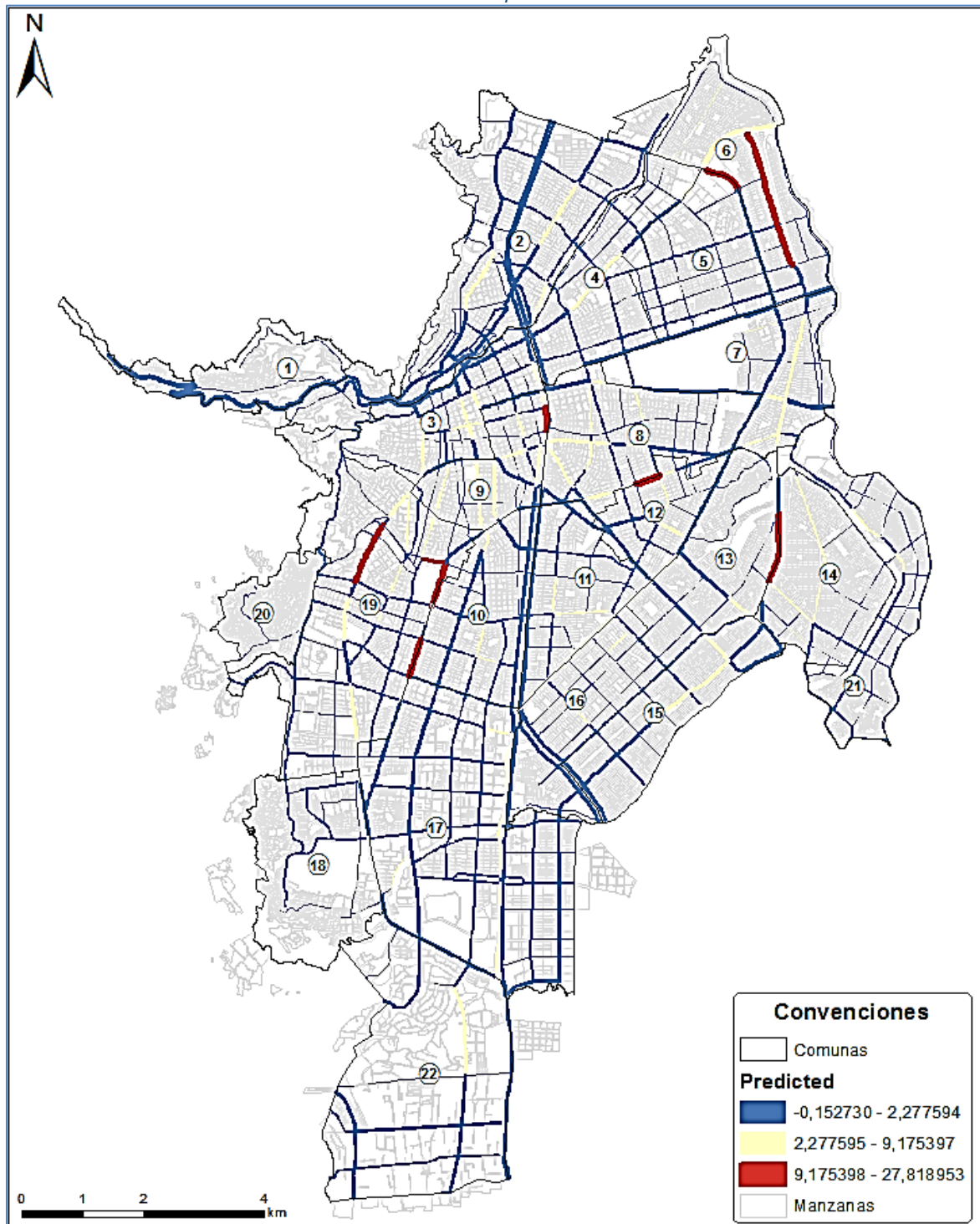
El modelo WGR finalmente muestra una incidencia alta predictiva sobre las grandes autopistas de la ciudad, la Calle 70 – Simón Bolívar, la calle 25 y la calle 5, principalmente en sentido norte-sur, donde se encuentran también 3 de las zonas críticas identificadas previamente. Además se presenta una baja influencia predictiva cerca a las comunas anteriores y específicamente en las comunas 2, 13 y 14 que permiten revisar más específicamente las condiciones para tratar de replicarlas en toda la ciudad. Se observa una distribución aleatoria.

Al utilizar el modelo WGR calibrado y las variables explicativas con datos proyectados se pueden determinar valor de predicción de MPAT; al no contar con datos proyectados, se generó un modelo predictivo utilizando los mismos datos de las variables explicativas para determinar zonas donde no existe la variable dependiente, en otras palabras, donde pueden ocurrir muertes por accidentes de tránsito, dadas las condiciones actuales de movilidad.

En la ilustración 83 se muestra el modelo predictivo de MPAT; este modelo no puede ser tomado a la ligera, puesto que depende de las variables utilizadas en el modelo espacial ponderado y se evalúa según las condiciones actuales. Se observa una fuerte influencia en las comunas 6, 7, 9, 10, 19 y 22 donde se pueden presentar MPAT si se mantienen las condiciones actuales evaluadas durante este proceso. Lo anterior invita a una revisión en campo de las zonas y a la toma de decisiones.



Ilustración 83. Modelo predictivo de MPAT.



Fuente: Elaboración propia, 2015.



8. CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un sistema de información geográfica para la visualización y análisis de 1979 muertes por accidentes de tránsito en la zona urbana de Cali, de un total de 3300. El resto fueron registros que no se encontraban en la ciudad o 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 2014 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).
- En el análisis de puntos calientes se observa poca significancia estadística cuando se analizan los datos año por año y solo en el 2004, 2009 y 2013 se presenta alguna información de puntos calientes. El año 2014 se excluye del análisis por falta de información.
- 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 DK se logran identificar 10 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.



- Se excluyeron variables explicativas clave como tránsito vehicular promedio, tránsito peatonal, señalización vial, estado de la vía y clima; lo anterior porque no fue posible encontrar datos sobre dichas variables. A la fecha se está ejecutando un proyecto, a través del PIMU, Universidad del Valle y otras entidades, que involucra el levantamiento de más de 200 variables relacionadas con las vías de Santiago de Cali y la movilidad urbana. Se espera que el presente trabajo sirva como documento metodológico en la construcción de un mejor modelo de MPAT y predicciones para dicho proceso alimentado con las variables generadas a partir del estudio.
- Al examinar los resultados del modelo de Regresión Lineal Múltiple se observa que existe influencia en el modelo, lo cual muestra a través de los gráficos de distribución de las variables utilizadas que no son datos lineales. Por lo tanto utilizar técnicas de modelos lineales como OLS para explicar eventos geográficos no es una buena metodología pero sirve como inicio en la determinación de variables importantes y depuración de la información.
- Los resultados de la técnica OLS en la creación de modelos lineales muestra autocorrelación espacial en las variables, posteriormente al realizar la prueba I de Moran se confirma la existencia de agrupamiento o clúster. La autocorrelación espacial puede ser indicio de falta de variables clave para un modelo, pero es eliminada una vez se utiliza la técnica de construcción del modelo espacial, lo que muestra que, junto con la prueba de no estacionariedad, este modelo depende de la ubicación geográfica de las variables explicativas utilizadas.
- El modelo espacial muestra que las variables no se comportan de la misma forma en toda la zona de estudio (elasticidad), en cambio, se pueden determinar zonas donde la influencia de cada variable aumenta o disminuye de manera considerable, lo que permite realizar un mejor análisis local.
- El modelo espacial WGR permite ajustar de manera más eficiente el modelo de regresión que utilice variables espaciales porque necesariamente se presenta autocorrelación espacial entre ellas. Este rendimiento (r^2) también se puede medir de manera local por cada observación con el fin de determinar las ubicaciones donde las variables explican de mejor manera la ocurrencia del fenómeno estudiado.
- El modelo predictivo fue creado con las mismas condiciones de construcción del modelo espacial ponderado calibrado; para su validación es necesario utilizar datos proyectados de las mismas variables explicativas utilizadas.



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.
- Se debe establecer una distancia mínima para el agrupamiento de los registros de muertes por accidentes de tránsito, dado que los datos se toman de manera dispersa pero es necesario establecer límites de agrupamiento que mejoren los datos mostrados.
- 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.
- Se debe considerar utilizar la metodología presente en este estudio con la información generada del proyecto que se realiza entre Planeación municipal, PIMU y la Universidad del Valle actualmente, con el fin de incluir las variables que se están generando y capturando para la calibración del modelo actual y que hicieron falta en la construcción del mismo.



10. BIBLIOGRAFÍA

- AlHarrasi, E. H. (2015). Development of Traffic Accident Models in. *Seventh Traffic Safety Conference*, (pág. 17). Amman Jordan.
- Ansari, G. A., & Al-shabi, M. (2012). Modeling of Traffic Accident Reporting System through UML Using GIS. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 1-5.
- Apuntes de clase. (2014).
- Arburola. (1992).
- Brunsdon, C. F. (1996). Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. *Geographical Analysis* 28, 281-298.
- Caliendo, C., Guida, M., & Parisi, A. (2007). A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis and Prevention*, 657-670.
- CANO, H. H. (2014). DIAGNÓSTICO DE ACCIDENTALIDAD EN GUADALAJARA DE BUGA ENTRE 2008 Y 2012. *RELACIÓN ESPACIAL ENTRE LOS ACCIDENTES DE TRÁNSITO CON VÍCTIMAS MORTALES Y LOS FACTORES SOCIOECONÓMICOS*. Cali, Colombia.
- Chías, B., & Luna, G. L. (1999). *El uso del SIG en el análisis de la distribución de accidentes en carreteras: El caso de Tamaulipas*.
- Clark, S. (2007). Estimating local car ownership models. *Journal of Transport Geography* 15, 184-197.
- DAPM. (2013). Cali en Cifras. *Cali en Cifras*. Cali.
- DAPM. (2013). CALI EN CIFRAS.
- E, M. G., & T, C. E. (2011). Determinación de zonas susceptibles a accidentes de tránsito en el Cantón Rumiñahui. Sangolquí, Ecuador.
- EL TIEMPO. (21 de Enero de 2015). Motociclistas y peatones, las principales víctimas en vías de Bogotá. *EL TIEMPO*.
- Elpaís.com.co. (7 de 10 de 2013). Cada 85 minutos muere un colombiano en un accidente de tránsito. *El Pais.com.co*, págs. 1-3.
- Escobar, F. A. (2013). Análisis de los accidentes de tráfico en Bogotá D.C. *Perspectiva geográfica*, 15.



- Esri. (2014). *Arcgis Resources*. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/main/>
- Esri_Resources. (2014). *Ayuda de ArcGIS (10.2, 10.2.1 y 10.2.2)*. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html>
- Felicísimo, A. M. (2004). *Conceptos básicos, modelos y simulación*. Obtenido de <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/>
- Fondo de Prevención Vial. (2011). Identificación y propuestas de solución en cinco puntos críticos de accidentalidad de peatones de cinco ciudades colombianas. Cali, Colombia.
- Fotheringham, & Wegener. (2002). O'Sullivan y Unwinn.
- Getis, A., & Ord., J. K. (1992). The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. *Geographical Analysis* 24, Nº 3.
- Gomez Delgado, M., & Barredo Cano, J. I. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación del Territorio* (2 Ed ed.). RA-MA EDITORIAL.
- GoogleMapsAPI. (2015). *The Google Maps API*. Obtenido de <https://developers.google.com/maps/documentation/geocoding/intro>
- Gutiérrez-Puebla, J., Gutiérrez-Puebla, J., & Daniel-Cardozo, O. (2012). Regresión Geográficamente Ponderada y estimación de la demanda de las estaciones del Metro de Madrid. *XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. Madrid.
- Hong, D., & LEE, Y. (2005). DEVELOPMENT OF TRAFFIC ACCIDENT PREDICTION MODELS BY TRAFFIC AND ROAD CHARACTERISTICS IN URBAN AREAS. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2046 - 2061.
- Instituto Nacional de Vías INVIAS. (2008). Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. En INVIAS.
- Johnson, E. S. (2012). Statistical and GIS Modeling of Crashes on Utah Highways. Brigham.
- Ministerio de la Protección Social. (18 de Noviembre de 2011). *Pan American Health Organization*. Obtenido de Foro Internacional de Seguridad del Motociclista: http://www.paho.org/col/index.php?option=com_content&view=article&id=1347:foro-internacional-de-seguridad-del-motociclista-ique-hacer-para-reducir-sus-lesiones-y-muertes-y-dia-mundial-de-las-victimas-de-accidentes-de-transito&Itemid=460



- Ministerio de Transporte. (2005). Manual para el diligenciamiento del formato del informe policil de accidentes de transito. *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 Factor Humano. *Revista Criminalidad* 56, 157 - 187.
- Perczek, R. (2013). *Inventaio 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.
- Q, R. R., & L, C. B. (s.f.). SPATIAL STATISTICAL ANALYSIS OF SCHOOL-AGE CHILD PEDESTRIAN ACCIDENTS IN SANTIAGO, CHILE. Santiago, Chile.
- Sánchez, J. (2004). *Principios sobre bases de datos relacionales*. Obtenido de www.jorgesanchez.net.
- TARC. (2009). Road Safety Knowledge Development and Dissemination. *Development of Accident Prediction Model*.
- Whitten, Benthley, & 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
 SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE BOGOTÁ

2. GRAVEDAD:
 CON MUERTOS: 1
 CON HERIDOS: 2
 SOLO DAÑOS: 3

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

3.1 CHOQUE CON:
 VEHÍCULO: 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 VEHÍCULO ESTACIONADO: 10

4. LUGAR: X Y
 COORDENADA GEOGRÁFICA: _____

4.1 LOCALIDAD O COMUNA: _____
 VIA Y KILOMETRO O SITIO, DIRECCIÓN Y CIUDAD: _____

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

6. CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR:
 6.1 AREA: MILITAR: 2 DEPORTIVA: 3 RURAL: 2
 6.2 SECTOR: RESIDENCIAL: 1 INDUSTRIAL: 2 COMERCIAL: 3 ESCOLAR: 1
 6.4 DISEÑO: TRAMO DE VIA: 01 INTERSECCIÓN: 02 VIA PEATONAL: 03 PASO ELEVADO: 04 PASO INFERIOR: 05 PASO A NIVEL: 06
 GLORIETA: 07 PUENTE: 08 VIA TRONCAL: 09 LOTE O PREDIO: 10 CICLORRUTA: 11
 6.5 TIEMPO: NORMAL: 1 LLUVIA: 2 VIENTO: 3 NIEBLA: 4

7. CARACTERÍSTICAS DE LAS VIAS:
 7.1 GEOMÉTRICAS:
 A. RECTA: 1 1 CUARTO O MAS: 4 4
 CURVA: 2 2 7.4 CARRILES: 5 5
 B. PLANO: 1 1 UNO: 1 1
 PENDIENTE: 2 2 DOS: 2 2
 C. CON BERMAS: 1 1 TRES: 3 3
 CON ACERAS: 2 2 CUARTO O MAS: 4 4
 7.2 UTILIZACIÓN:
 UN SENTIDO: 1 1 VARIABLE: 5 5
 DOBLE SENTIDO: 2 2 7.5 MATERIAL: 1 1
 REVERSIBLE: 3 3 CONCRETO: 2 2
 CICLOVIA: 4 4 AFIRMADO: 3 3
 7.3 CALZADAS:
 UNA: 1 1 TIERRA: 4 4
 DOS: 2 2 7.6 ESTADO: 1 1
 TRES: 3 3 CON HUECOS: 2 2
 7.7 CONDICIONES:
 SECA: 1 1 HÚMEDA: 2 2
 MATERIAL SUELTO: 3 3 ACEITE: 4 4
 7.8 ILUMINACIÓN ARTIFICIAL:
 A CON: 1 1 SIN: 2 2
 B BUENA: 1 1 MALA: 2 2
 7.9 CONTROLES AGENTE SEMAFORO:
 OPERANDO: 1 1 INTERMITENTE: 2 2
 CON DAÑOS: 3 3 APAGADO: 4 4
 SEÑALES:
 PARE: 1 1 CEDA EL PASO: 2 2
 NO GIRE: 3 3 SENTIDO VIAL: 4 4
 NO ADELANTAR: 5 5 VELOCIDAD: 6 6
 OTRA: 7 7 NINGUNA: 8 8
 7.10 VISUAL DISMINUIDA POR:
 VEHÍCULO ESTACIONADO: 1 1
 ÁRBOL, VEGETACIÓN: 2 2
 CONSTRUCCIÓN O CASETA: 3 3
 AVISOS, VALLAS: 4 4
 POSTE: 5 6
 OTRA: 6 6

8. CONDUCTORES, VEHÍCULOS, PROPIETARIOS:
 8.1 CONDUCTOR: 1er APELLIDO, 2do APELLIDO Y NOMBRE, DOC, IDENTIFICACIÓN No., NACIMIENTO (DIA, MES, AÑO), SEXO (M, F), DIRECCIÓN DOMICILIO, CIUDAD, TELÉFONO, MUERTO (1), HERIDO (2), PORTA (SI/NO), LICENCIA DE CONDUCCIÓN No., CATEGORÍA, RESTRICCIÓN, EXP., VCTO., OFICINA DE TRÁNSITO, CINTURÓN (SI/NO), HOSPITAL, CLÍNICA O SITIO DE ATENCIÓN, SE LLEVO A EMBRIAGUEZ (1), NEGAT. (1), GRADO, CASCO (SI/NO), EXAMEN DE DROGA (2), POSIT. (2), 8.2 VEHÍCULO: PLACA, MARCA, LINEA, MODELO, CARGA TONS, No. PASAJEROS, COLOR, EMPRESA, INMOVILIZADO EN: A DISPOSICIÓN DE: SEGURO OBLIGATORIO (SI/NO), POLIZA No., COMPAÑIA ASEGURADORA, VENCIMIENTO (D, M, A), 8.3 PROPIETARIO: 1er APELLIDO, 2do APELLIDO Y NOMBRE, DOC, IDENTIFICACIÓN No., EL MISMO CONDUCTOR (SI/NO), 8.4 CLASE VEHÍCULOS: AUTOMÓVIL (01), BUS (02), BUSETA (03), CAMIÓN, FURGÓN (04), CAMIONETA (05), CAMPERO (06), MICROBUS (07), TRACTOCAMIÓN (08), VOLQUETA (09), MOTOCICLETA (10), M. AGRÍCOLA (11), M. INDUSTRIAL (12), BICICLETA (13), MOTOCARRO (14), TRACCIÓN ANIMAL (15), OTRO (16), MOTOCICLO (17), NO IDENTIFICADO (18), 8.5 SERVICIO: OFICIAL (1), PÚBLICO (2), PARTICULAR (3), DIPLOMÁTICO (4), ESCOLAR (5), 8.6 SEGURO DE RESPONSABILIDAD CIVIL: SI (1), NO (2), 8.7 NACIONALIDAD: COLOMBIANA (1), EXTRANJERO (2), 8.8 FALLAS EN: FRENSOS (1), DIRECCIÓN (2), LUCES (3), BOCINA (4), LLANTAS (5), SUSPENSIÓN (6)

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

ESBAY Y C.C.

ESBAY Y C.C.



9. CROQUIS																																			
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> HUELLA DE FRENADO <small>No. METROS CM</small> </div> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> LUGAR DE IMPACTO [TOTAL VEHICULOS] </div> </div>																																			
10. VICTIMAS: PASAJEROS Y PEATONES																																			
VICTIMA No.	1er APELLIDO, 2do APELLIDO Y NOMBRE	NACIMIENTO	DOC.	IDENTIFICACION No.																															
		DIA MES AÑO																																	
DIRECCION DOMICILIO			CIUDAD	TELEFONO	VEH. No	CINTUR																													
						SI NO																													
HOSPITAL, CLINICA O SITIO DE ATENCION			SE LLEVO A EXAMEN DE:	EMBRIAGUEZ	NEGATIVO	GRADO	CASCO																												
				1 2	1 2	SI NO	SI NO																												
<table border="1" style="font-size: small;"> <tr><td colspan="2">VICTIMA No.</td></tr> <tr><td>10.1 CONDICION</td><td></td></tr> <tr><td>PEATON</td><td>1</td></tr> <tr><td>PASAJERO</td><td>2</td></tr> <tr><td colspan="2">10.2 SEXO</td></tr> <tr><td>MASCULINO</td><td>1</td></tr> <tr><td>FEMENINO</td><td>2</td></tr> <tr><td colspan="2">10.3 GRAVEDAD</td></tr> <tr><td>MUERTOS</td><td>1</td></tr> <tr><td>HERIDOS</td><td>2</td></tr> <tr><td colspan="2">TOTAL VICTIMAS INCLUYENDO CONDUCTORES</td></tr> <tr><td>HERIDOS</td><td></td></tr> <tr><td>MUERTOS</td><td></td></tr> </table>										VICTIMA No.		10.1 CONDICION		PEATON	1	PASAJERO	2	10.2 SEXO		MASCULINO	1	FEMENINO	2	10.3 GRAVEDAD		MUERTOS	1	HERIDOS	2	TOTAL VICTIMAS INCLUYENDO CONDUCTORES		HERIDOS		MUERTOS	
VICTIMA No.																																			
10.1 CONDICION																																			
PEATON	1																																		
PASAJERO	2																																		
10.2 SEXO																																			
MASCULINO	1																																		
FEMENINO	2																																		
10.3 GRAVEDAD																																			
MUERTOS	1																																		
HERIDOS	2																																		
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:																																
	VEHICULO No.	COD. CAUSA	VERSION COND:																																
13. OBSERVACIONES																																			
14. ANEXOS																																			
NOMBRES Y APELLIDOS				PLACA	CORRESPONDIO																														
FIRMA				ENTIDAD																															
ORIGINAL AUTORIDAD COMPETENTE																																			

FIRMA Y GC

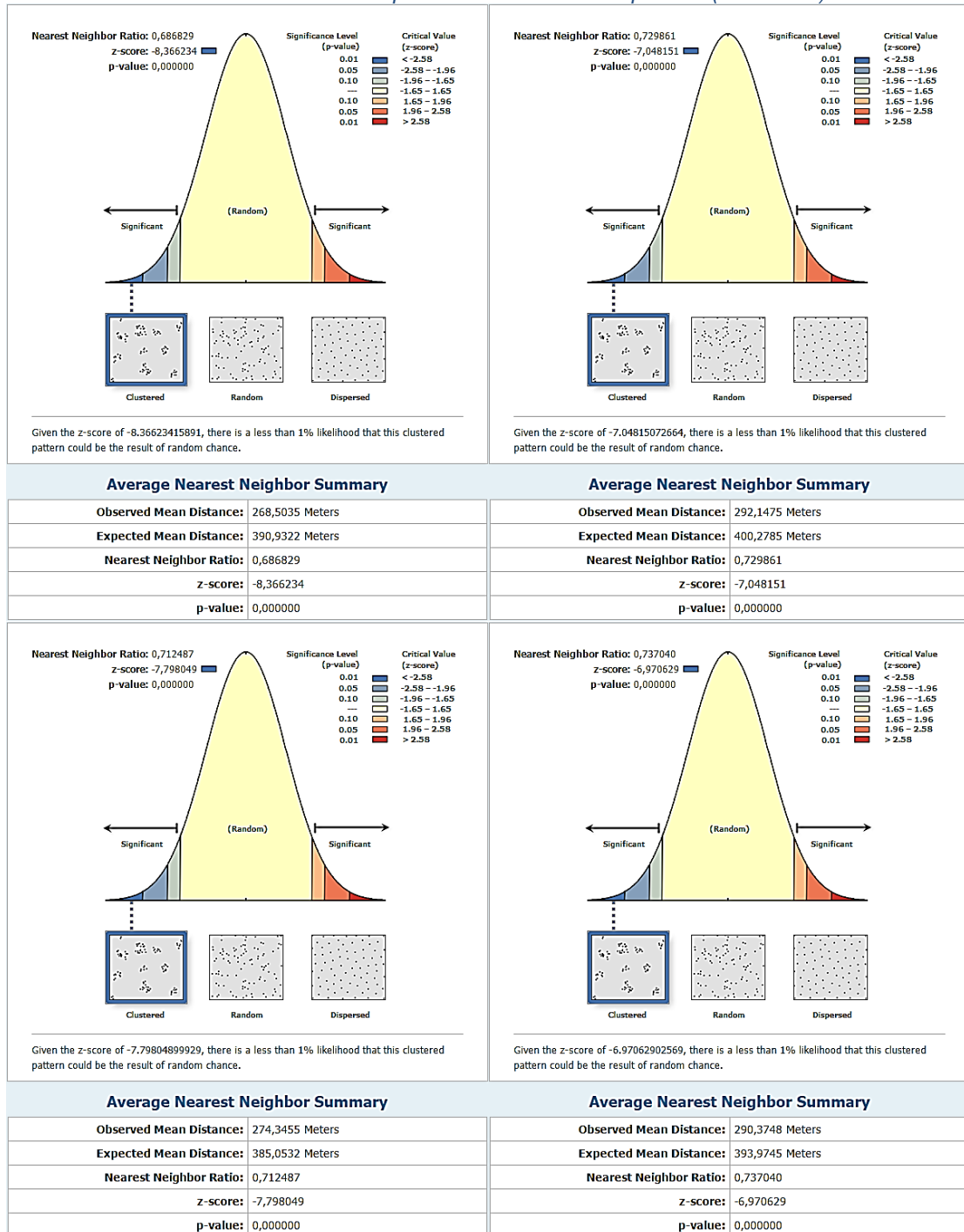
Código de barras

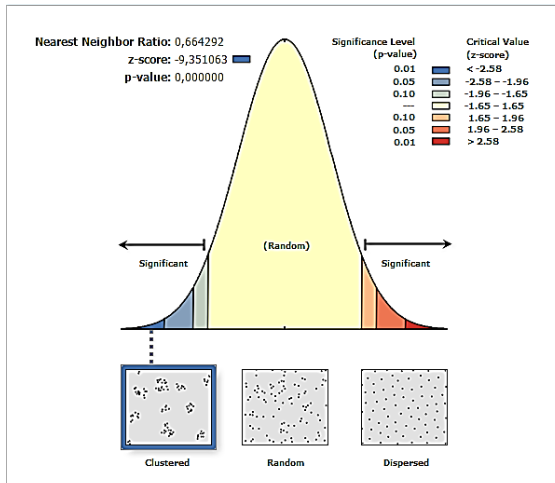


ANEXO 3. RESULTADO EXPLORATORIO DE DATOS.

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 84. Análisis del promedio del vecino más próximo (2004-2014).

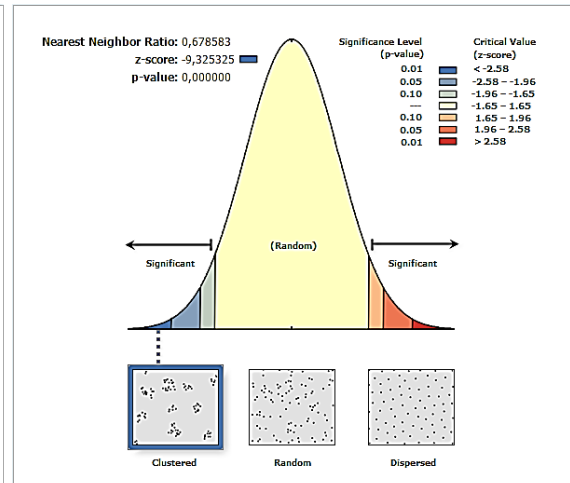




Given the z-score of -9.35106257724, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

Average Nearest Neighbor Summary

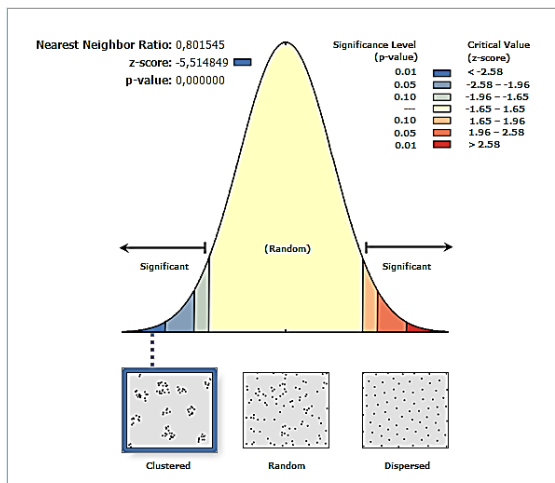
Observed Mean Distance:	249,0632 Meters
Expected Mean Distance:	374,9305 Meters
Nearest Neighbor Ratio:	0,664292
z-score:	-9,351063
p-value:	0,000000



Given the z-score of -9.32532517773, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

Average Nearest Neighbor Summary

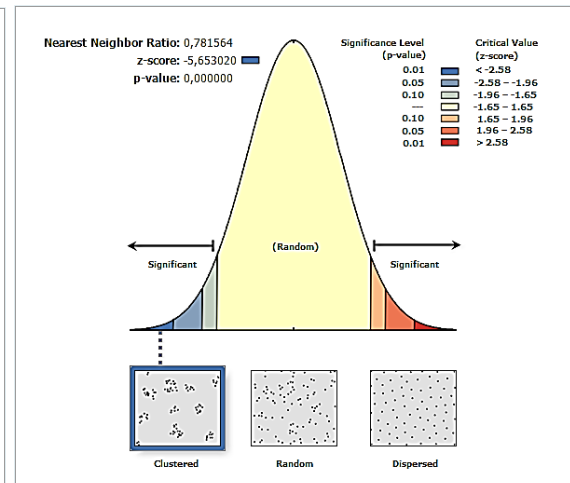
Observed Mean Distance:	244,2630 Meters
Expected Mean Distance:	359,9605 Meters
Nearest Neighbor Ratio:	0,678583
z-score:	-9,325325
p-value:	0,000000



Given the z-score of -5.51484936977, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

Average Nearest Neighbor Summary

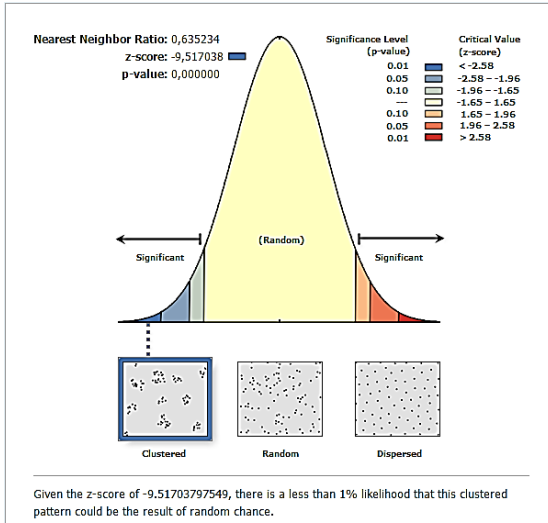
Observed Mean Distance:	301,2351 Meters
Expected Mean Distance:	375,8179 Meters
Nearest Neighbor Ratio:	0,801545
z-score:	-5,514849
p-value:	0,000000



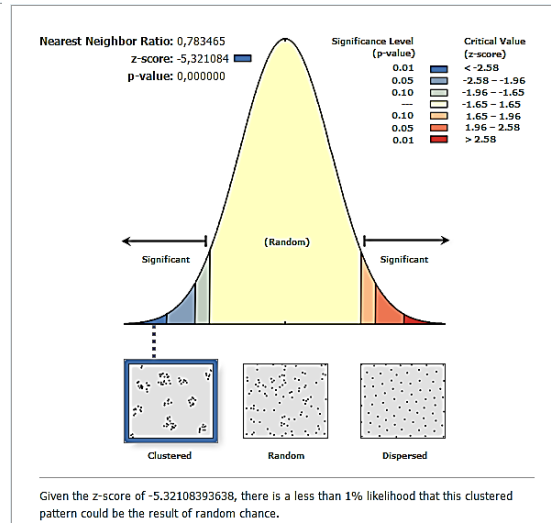
Given the z-score of -5.65301963398, there is a less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance.

Average Nearest Neighbor Summary

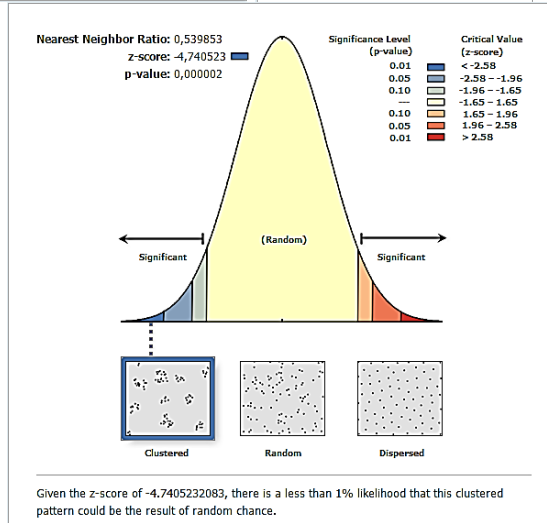
Observed Mean Distance:	315,3971 Meters
Expected Mean Distance:	403,5461 Meters
Nearest Neighbor Ratio:	0,781564
z-score:	-5,653020
p-value:	0,000000



Average Nearest Neighbor Summary	
Observed Mean Distance:	254,2705 Meters
Expected Mean Distance:	400,2785 Meters
Nearest Neighbor Ratio:	0,635234
z-score:	-9,517038
p-value:	0,000000



Average Nearest Neighbor Summary	
Observed Mean Distance:	332,9635 Meters
Expected Mean Distance:	424,9881 Meters
Nearest Neighbor Ratio:	0,783465
z-score:	-5,321084
p-value:	0,000000



Average Nearest Neighbor Summary	
Observed Mean Distance:	547,2621 Meters
Expected Mean Distance:	1013,7240 Meters
Nearest Neighbor Ratio:	0,539853
z-score:	-4,740523
p-value:	0,000002

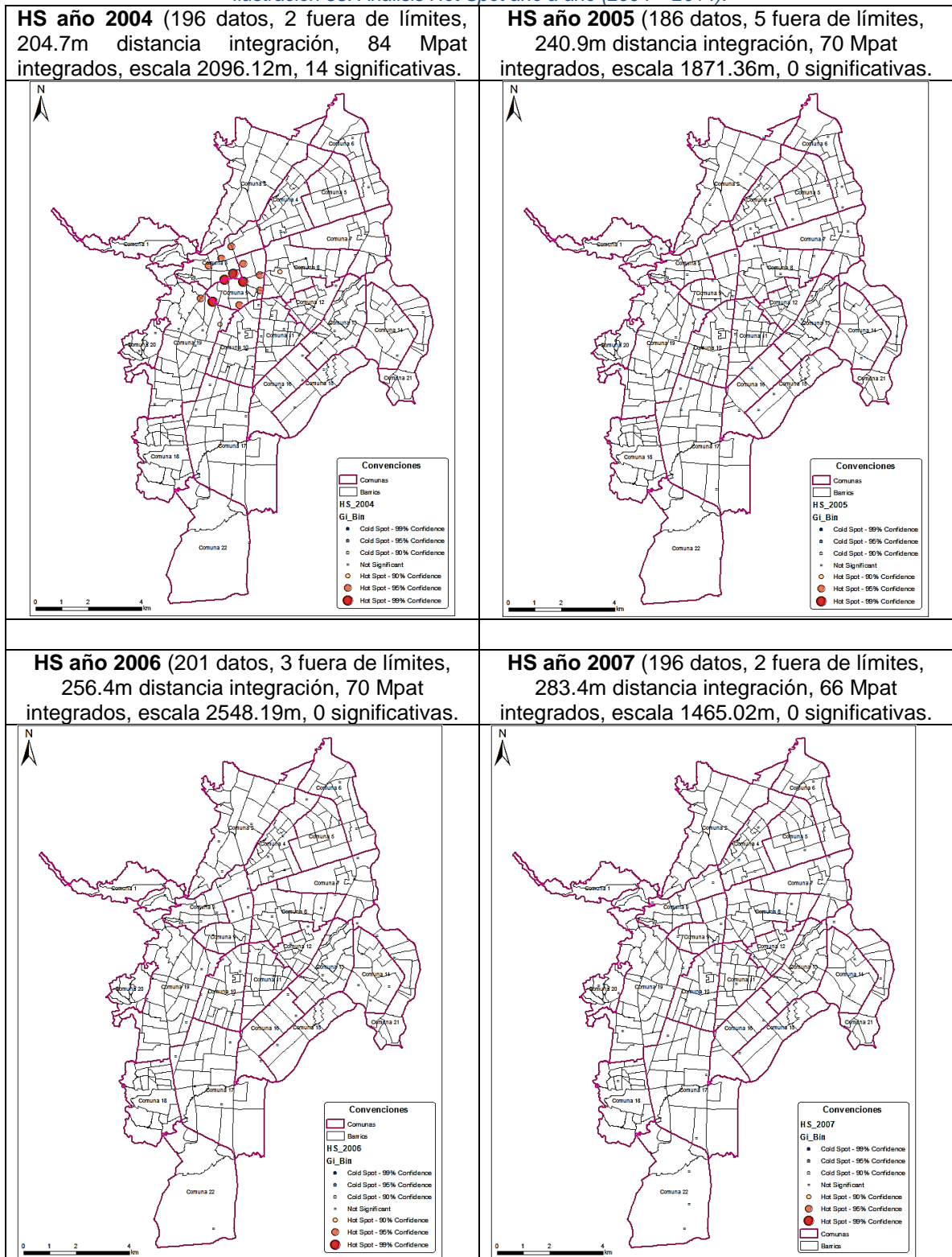
Fuente: Elaboración propia, 2015.

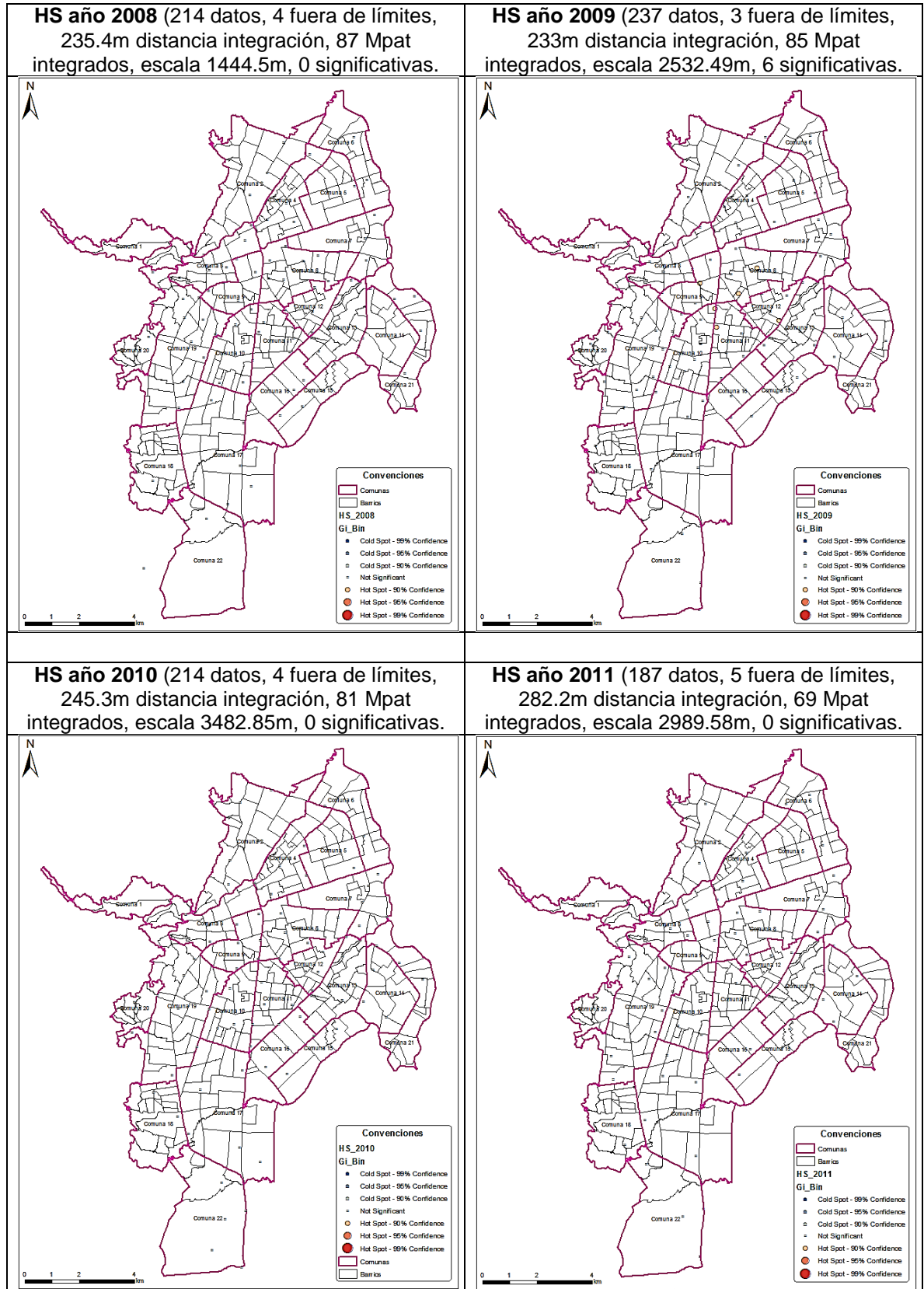
Todos los resultados arrojan un agrupamiento en los datos con un nivel de significancia del 0.1% de probabilidad de que se trate de una distribución aleatoria y una desviación estándar (z) menor a -2.58 Por lo tanto se puede rechazar la hipótesis nula.

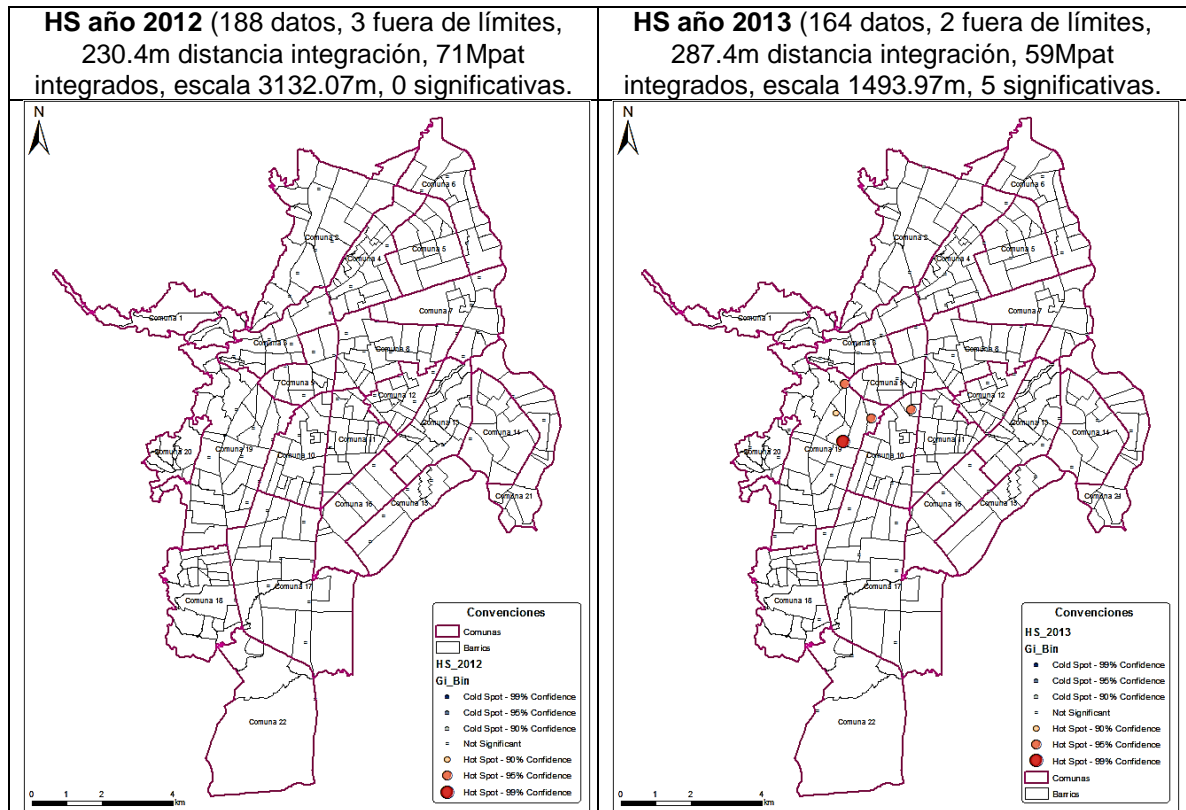


ANEXO 4. ANÁLISIS DE PUNTOS CALIENTES POR AÑO.

Ilustración 85. Análisis Hot Spot año a año (2004 – 2014).







Fuente: Elaboración propia, 2015.

El análisis de puntos calientes muestra poca significancia de agrupamientos de muertes por accidentes de tránsito cuando se estudian anualmente. Los únicos años que presentan significancia estadística son 2004, 2009 y 2013. El año 2014 no pudo ser calculado porque se requiere un mínimo de 60 puntos⁶ para realizar el análisis de puntos calientes.

⁶ Según el software Arcgis Desktop en su herramienta Hot Spot Analysis. Se cuenta con tan solo 29 puntos para el año 2014.

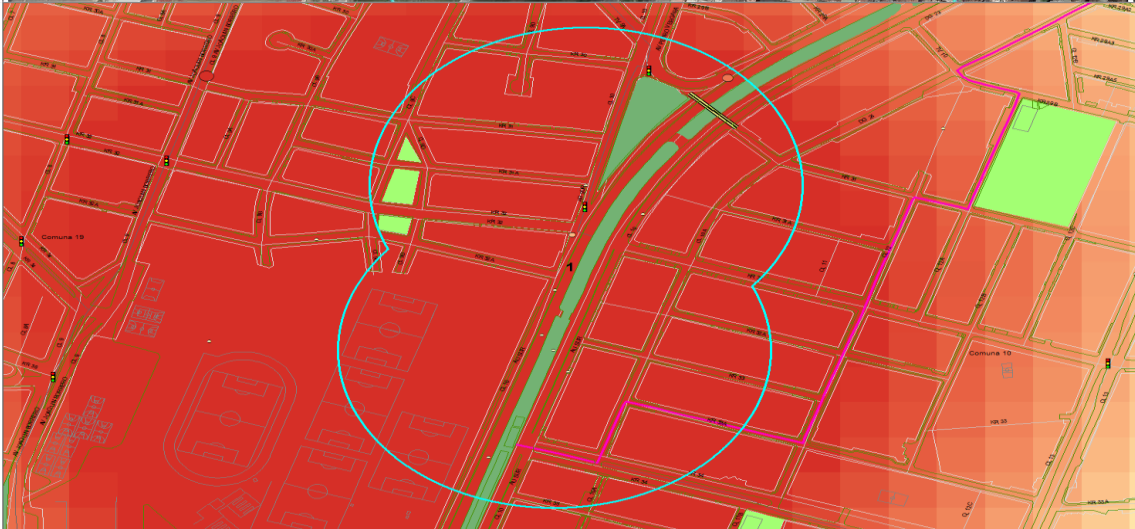
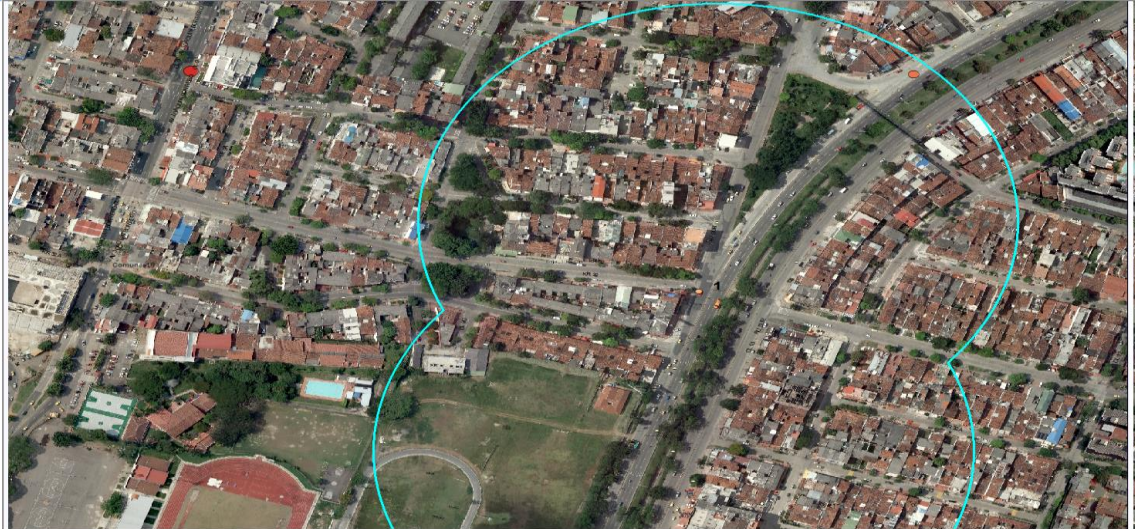


ANEXO 5. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CRÍTICAS DE MPAT.

Ilustración 86. Selección de zonas críticas de MPAT.

ZONA CRÍTICA #1

Champagnat, Colseguros (Au. Sur CL10 entre K30 y KR36)

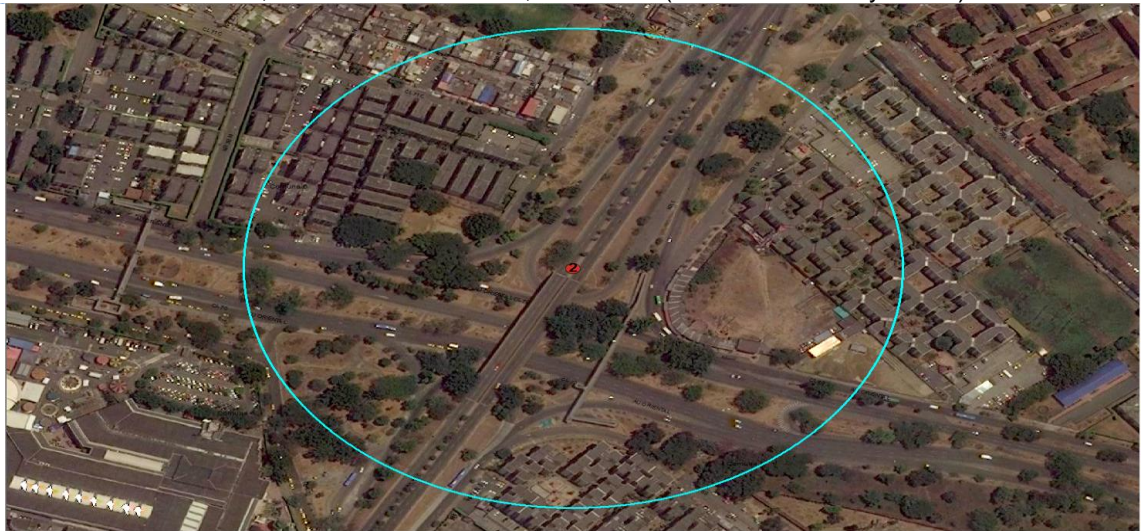


Esta zona cuenta con una carretera Arteria Principal de 36 metros de ancho (AUT. SUR) y velocidad promedio de 60km/h. Se registran 55 muertes sobre la vía, dos semáforos, 48 intersecciones viales y un puente peatonal. Pocos parques, zonas verdes y colegios cerca a la vía principal pero si cerca de vías colectoras



ZONA CRÍTICA #2

Calima, Puente del Comercio, Alcázares (CL 70 con KR 1 y KR 1ª)



En esta zona se encuentran dos carreteras tipo Arteria Principal (KR1-CL70) y una Interegional. Con anchos de aproximadamente 50m y velocidades promedio de 60 a 80 km/h (Cali-Palmira). Cuenta con aproximadamente 75 intersecciones viales, un puente vehicular y un puente peatonal. Pocos parques, colegios o sitios de interés cercano pero si mucha afluencia de personas (Terminalito). Se identificaron 36 muertes en el periodo, todas cerca del puente peatonal.



ZONA CRÍTICA #3

San Fernando Viejo, Nuevo (CI 5 con KR36)

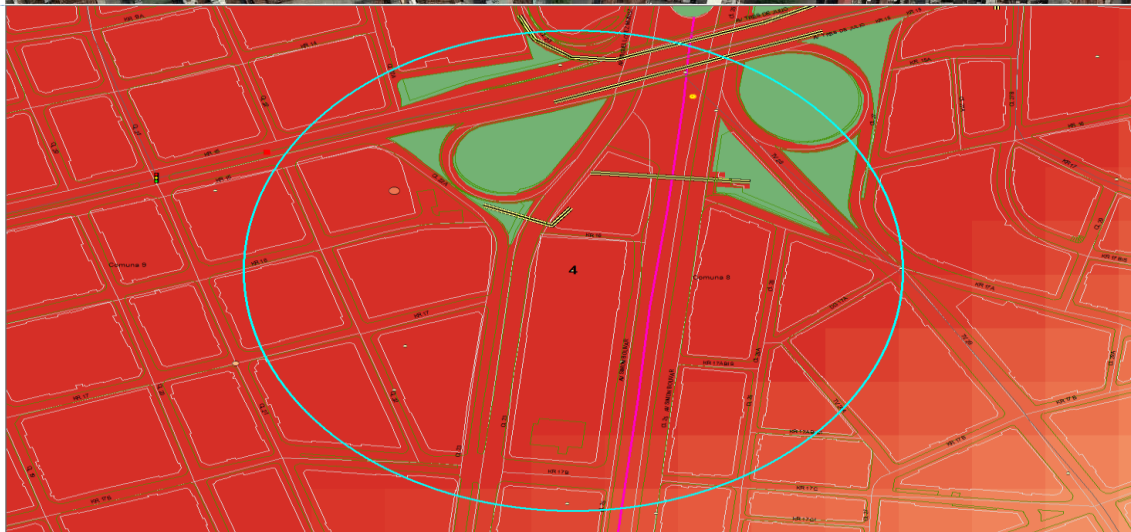


En esta zona se encuentra una carretera Arteria Principal (CL5) con un ancho aproximado de 25m y una colector principal (KR36). Convergen 14 cuces viales y en la zona se encuentra un parque (Las Banderas). Dos semáforos cerca y una cámara de seguridad. Se presentaron 44 muertes en el periodo, todas en la interseccion principal.



ZONA CRÍTICA #4

Obrero, Benjamín Herrera (CL 26 entre KR 10 y KR 15)

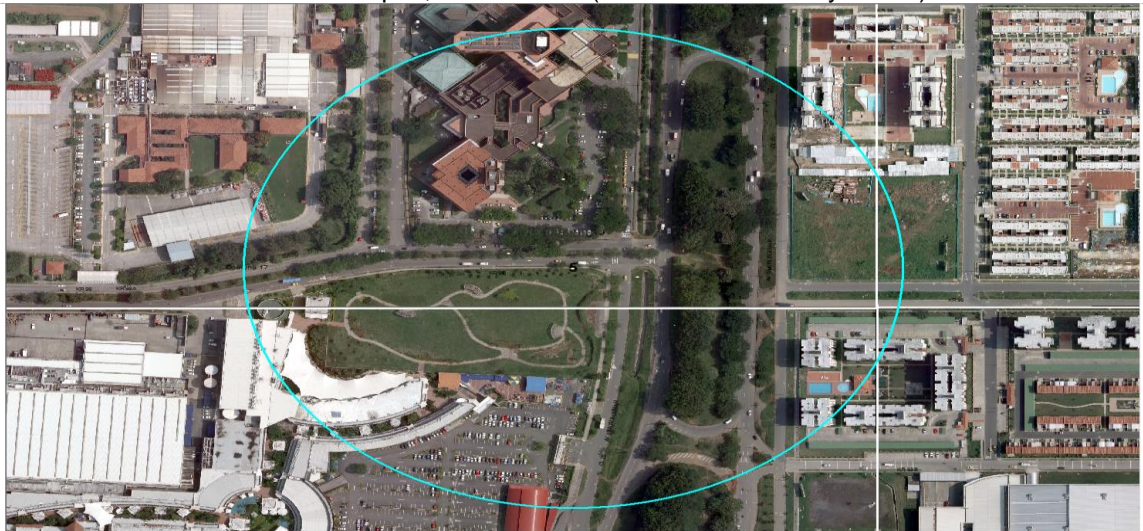


Se encuentran 5 carreteras tipo Arteria Principal de 21m de ancho aproximadamente. Las más importantes son la KR15 (3 de Julio) y la CL25 (Simón Bolívar). Se identifican 17 muertes cercanas, 77 intersecciones viales, 2 puentes vehiculares y 4 puentes peatonales, varias zonas verdes y ninguna escuela o institución educativa cerca.



ZONA CRÍTICA #5

Urb. San Joaquín, Valle del Lili (KR 98 entre CL 16 y CL 25)



Zona donde se encuentra una gran carretera Arteria Principal de doble sentido que conecta Norte-Sur (CL25 Simón Bolívar). Se presentaron 18 muertes cercanas aproximadamente. Existen 80 intersecciones viales en una vía de 60m de ancho (15m por carril). No hay semaforos ni puentes peatonales cerca, se encuentra afluencia de personas por sitios cercanos como la Clinica Valle del Lili, la Universidad Del Valle, Jardin Plaza, 14 Calima, Coca Cola entre otros.





ZONA CRÍTICA #7
PTAR, Alirio Mora (KR 26 entre CL 73 B y CL 74)

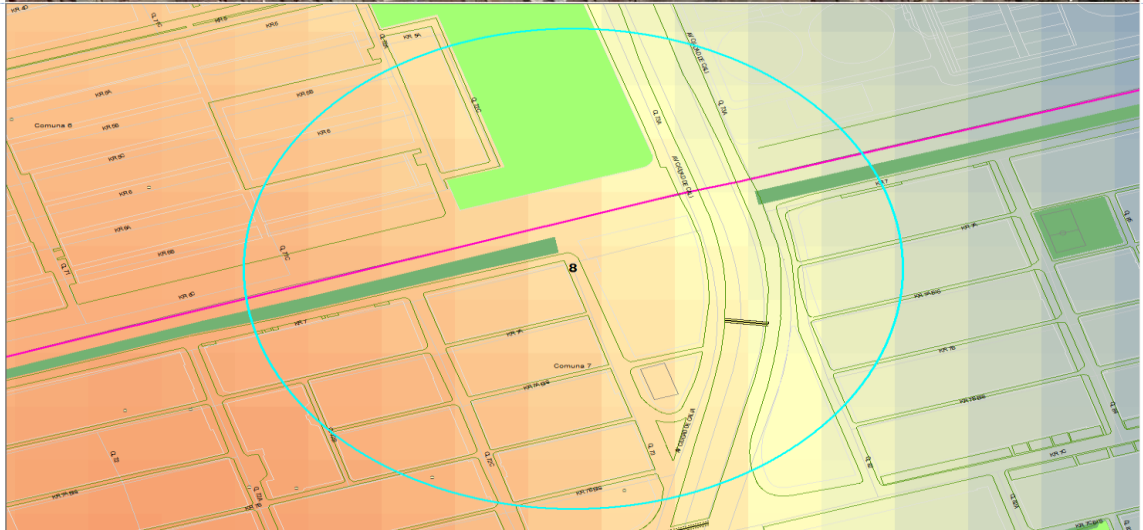


En esta zona se encuentran dos carreteras de tipo Arteria Secundaria (KR25-CL73) de 16 a 23m de ancho respectivamente. Se presentaron 15 muertes cerca a la zona, se encuentran dos instituciones educativas, 25 intersecciones viales y una glorieta, 3 puentes vehiculares y un gran parque además de la PTAR.



ZONA CRÍTICA #8

Alfonso López I, Jorge Eliecer Gaitán (KR7 con CL73A)



En esta zona se encuentran 3 carreteras tipo Arteria Principal, la KR7 (2 vías mas la Vía Férrea) y la CL73 (Ciudad de Cali) con aproximadamente 50m de ancho c/u. Se presentaron 11 muertes cercanas y se encuentran 17 intersecciones viales, un puente peatonal y un parque. No hay presencia de colegios cerca. Velocidades de 60km/h promedio.



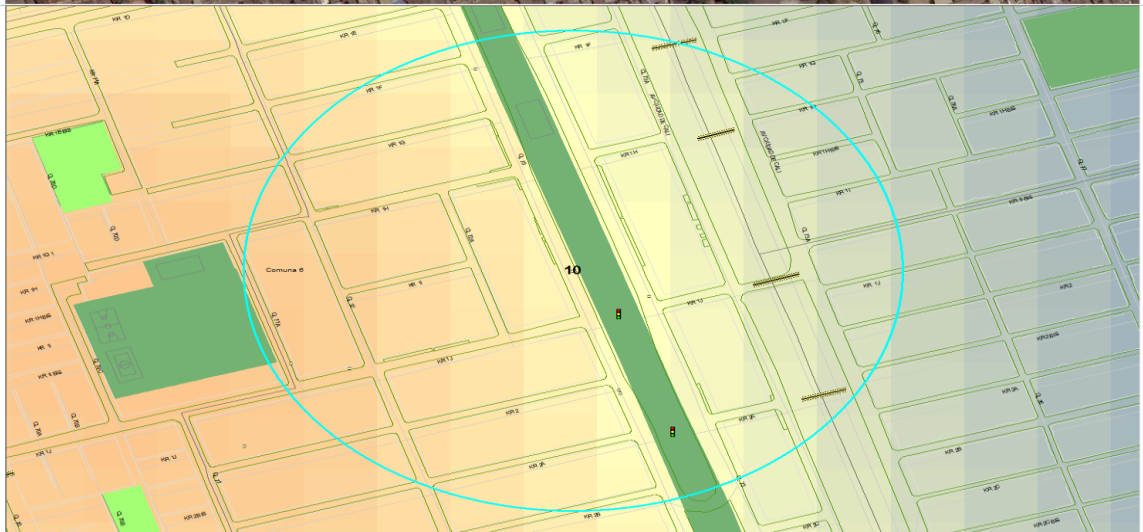
ZONA CRÍTICA #9
Alfonso Bonilla Aragón, Mojica (CL 73 con KR 28D)



En esta zona convergen don carreteras tipo Arteria Principal (KR28D y CL 37 Ciudad de Cali con 30-37m de ancho) y una colectora. Existe presencia de 7 clegios cercanos. Se presentaron 11 muertes del 2004-2014. Se encuentran 30 cruces viales, 3 puentes vehiculares y un semáforo.



ZONA CRÍTICA #10
Jorge Eliecer Gaitán (CL 73 con KR 1D)



En esta zona se encuentra la carretera arteria principal CL 73 – Ciudad de Cali con 50m de ancho. Se encuentran 4 colegios cercanos, dos semáforos, dos puentes peatonales y uno vehicularm pocas zonas verdes y sitios de interés. Se presentaron 10 muertes en el periodo y existen 22 intersecciones viales.

Fuente: Elaboración propia, 2015.