

Determinación de puntos con mayor concentración de Accidentes en Bogotá D.C., mediante el empleo de Métodos Geoestadísticos

Sergio Miguel González Palacios¹

sergiomgonzalez@usta.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-0955-4555>

Universidad Santo Tomás
Bogotá – Colombia

Angelica María Castro Roberto

angelicacastro@usantotomas.edu.co

<https://orcid.org/0009-0005-9966-1101>

Universidad Santo Tomás
Bogotá – Colombia

Wilson Ernesto Vargas Vargas

wevargasv@udistrital.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-3040-6661>

Universidad Santo Tomás
Bogotá – Colombia

Elkin Darío Cañón Buitrago

edcanonb@udistrital.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-7899-5093>

Universidad Santo Tomás
Bogotá – Colombia

RESUMEN

La accidentalidad vial se ha posicionado como una de las principales causas de mortalidad en todo el mundo, y Bogotá D.C. no ha sido la excepción en la ocurrencia de este tipo de eventos. Este documento presenta un análisis geoestadístico de la información de incidentes de tránsito suministrada por la Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá para el periodo comprendido entre los años 2012 y 2015. El empleo de métodos geoestadísticos permite realizar el análisis exploratorio de los datos espaciales, así mismo, identificar zonas de alta concentración de siniestros, patrones de distribución de los datos, tendencias y predicción de superficies. Esta investigación determina puntos calientes (Hotspots), exploración de datos espaciales (AEDE) y análisis determinístico por el método de predicción por distancias (IDW). A partir de información georreferenciada de siniestros viales y conforme a la concentración en rangos y los índices de Morans y Clustering alto/bajo, se pudo establecer aquellos eventos donde se registraron heridos y solo daños. Finalmente, con la técnica IDW, se pudo apreciar un modelo con mayor intensidad de colores en aquellos sitios de predicción. La combinación de estos procesos junto con el estado de la malla vial fueron la base para obtener la zonificación de la accidentalidad de la ciudad, cuyos resultados proveen información espacial útil y valiosa para futuras investigaciones.

Palabras clave: *análisis exploratorio, clustering alto/bajo, distribución, índice de Morans, predicción, puntos calientes, accidentalidad en Bogotá.*

¹ Autor principal

Determination of points with the highest concentration of accidents in Bogota D.C., through the use of geostatistical methods

ABSTRACT

Road accidents have positioned themselves as one of the main causes of mortality worldwide, and Bogotá D.C. It has not been the exception in the occurrence of this type of event. This document presents a geostatistical analysis of the information on traffic incidents provided by the Bogotá District Mobility Secretariat for the period between 2012 and 2015. The use of geostatistical methods allows for exploratory analysis of spatial data, as well as identifying areas of high concentration of claims, data distribution patterns, trends, and surface prediction. This research determines hot spots (Hotspots), spatial data exploration (AEDE) and deterministic analysis by the distance prediction method (IDW). Based on georeferenced information on road accidents and according to the concentration in ranges and the Morans indices and high/low Clustering, it was possible to establish those events where injuries and only damage were recorded. Finally, with the IDW technique, it was possible to appreciate a model with greater intensity of colors in those prediction sites. The combination of these processes and the state of the road network were the basis for obtaining the zoning of the city's accident rate, the results of which provide useful and valuable spatial information for future research.

Keywords: *exploratory analysis; high/low clustering; distribution; Morans index; prediction; hot spots; accident rate in Bogotá.*

Artículo recibido 15 febrero 2023

Aceptado para publicación: 15 marzo2023

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial uno de los principales problemas en los países en vía de desarrollo está asociado con la movilidad, la cual se manifiesta en tiempos de viaje altos y con tendencias a incrementar; y cuya consecuencia recae directamente en mayores niveles de congestión y accidentalidad. Este último de gran importancia dadas sus implicaciones de orden vital, por el elevado número de fallecidos, heridos y daños materiales, asociados a estos; ha sido un punto de preocupación tanto a nivel rural como urbano. Dado lo anterior, la geoestadística se ha convertido en una herramienta bastante útil para realizar el análisis espacial de fenómenos posicionados geográficamente, a través de la aplicación de sus diferentes métodos, los cuales permiten tener una acertada aproximación geográfica de puntos calientes (Hotspots), los cuales posteriormente pueden ser analizados con procesos de interpolación para establecer zonas con altos niveles de concentración de accidentalidad, concluyentes con el fin de crear acciones de prevención de eventos riesgosos y disminución de siniestros viales.

El presente estudio, busca mediante la aplicación de diversos métodos geoestadísticos establecer la forma de agrupación de los datos de accidentalidad en la ciudad de Bogotá D.C., para los años 2012 a 2015. La distribución, tendencias, identificación de áreas con alta concentración de eventos y la predicción de zonas de ocurrencia, permitirán determinar aquellos sectores con mayor concentración y riesgo de siniestros viales y así mismo obtener mediante el cruce de las capas resultantes la zonificación de la accidentalidad de la ciudad.

METODOLOGÍA

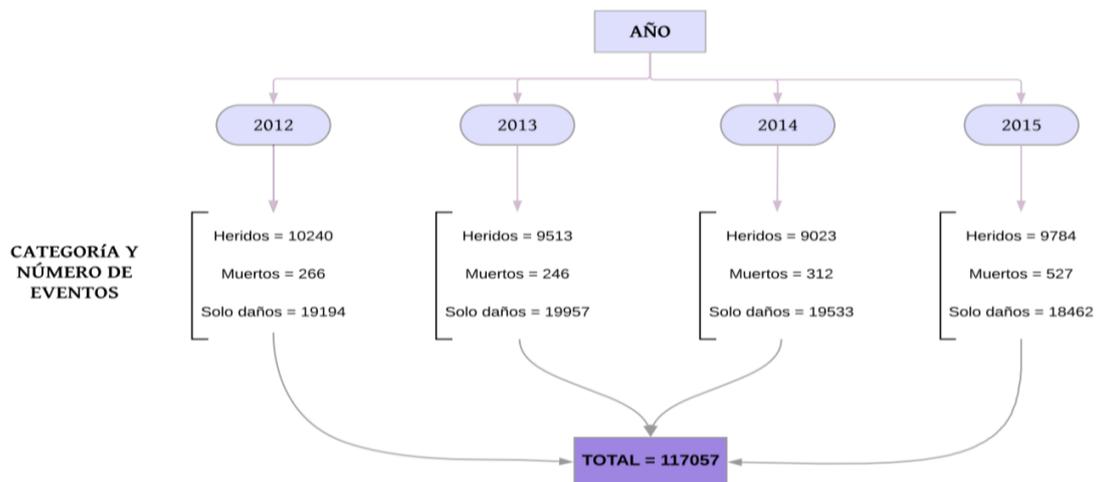
La operación de los diferentes modos de transporte tanto motorizados como no motorizados suelen estar asociados a un elevado número de siniestros viales; según Cerquera (2013), “El problema de la accidentalidad vial en Colombia se concentra predominantemente en el espacio urbano, pues el 85% de los accidentes de tránsito ocurre en áreas urbanas y el 15 % restante, en áreas rurales” (p.11). En la ciudad de Bogotá D.C, en el año 2019 se llevó a cabo un estudio de accidentalidad considerando variables espaciotemporales, con el propósito de definir patrones territoriales de alta concentración, mediante la manipulación de datos espaciales, análisis de información geográfica de forma descriptiva

y exploratoria, aplicación de geoestadística y modelamiento espacial para predecir eventos, de tal forma que se pudieron determinar indicadores de accidentalidad, según densidad poblacional y características de la malla vial; adicionalmente se estableció la distribución de los accidentes en el espacio geográfico, respecto a la organización y estructuración espacial, a usos del suelo, condiciones socioeconómicas, etc. Los análisis espaciales permiten reconocer puntos o corredores viales de alto riesgo, valiéndose de procesos de georreferenciación, frecuencia de ocurrencia de los eventos, clasificación según clase de accidente, ya sea en atropello, choque, volcamiento, caída del ocupante, incendio y otros (Ministerio de Transporte, 2009). Para el caso de atropellamiento a peatones, Graham y Glaister (2003), Graham, Glaister y Anderson (2005) (como se citó en Fuentes, 2008), exponen algunas hipótesis desarrolladas respecto a los factores que más influyen en su ocurrencia, y los define en seis factores locales: el primero, relaciona la concentración de personas en un área con mayor probabilidad de incidencia de accidentes. El segundo considera el volumen vehicular como elemento determinante en la ocurrencia de accidentes viales. El tercero incluye la naturaleza física del ambiente local, es decir, el tipo de uso del suelo y su densidad. El cuarto considera las características de la infraestructura del sistema vial local, en tanto que el volumen de infraestructura en cada área y la velocidad promedio afecta la ocurrencia de accidentes. El quinto tiene que ver con condiciones socioeconómicas, asociando zonas más pobres con mayores tasas de atropellamiento. Por último, se consideran condiciones más específicas como las climatológicas que podrían afectar la presencia de accidentes.

Caracterización de la accidentalidad

Como punto de partida para el análisis, se procedió a revisar y depurar la información obtenida en las bases de datos de accidentalidad de la Secretaría Distrital de Movilidad, para el período comprendido entre los años 2012 y 2015, los cuales se observan a continuación:

Figura 1. Número de accidentes de tránsito por año y por categoría

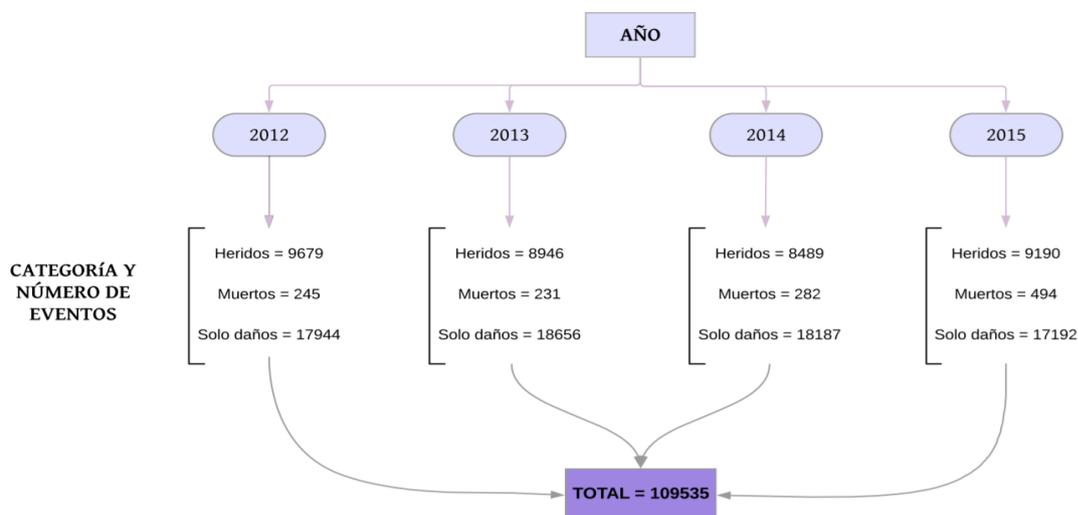


Fuente: Adaptado de base de datos Secretaría Distrital de Movilidad

A partir de lo mostrado en la Figura 1, se llevó a cabo la depuración de los datos. En primer lugar, se creó un buffer con el propósito de generar un área bajo la cual se tomarán los siniestros ubicados, de acuerdo con la georreferenciación de estos.

Este proceso se realizó cruzando la capa puntual de siniestros viales y la capa poligonal de la malla vial, la cual incluye la clasificación de las vías en arteriales, intermedias y locales; con este cruce de capas se creó un buffer de 30 metros, es decir, de un ancho del corredor equivalente a 60 metros, garantizando de esta forma el ancho de las vías arteriales y por ende de los otros dos tipos. Una vez culminado el proceso se obtuvo el siguiente resultado:

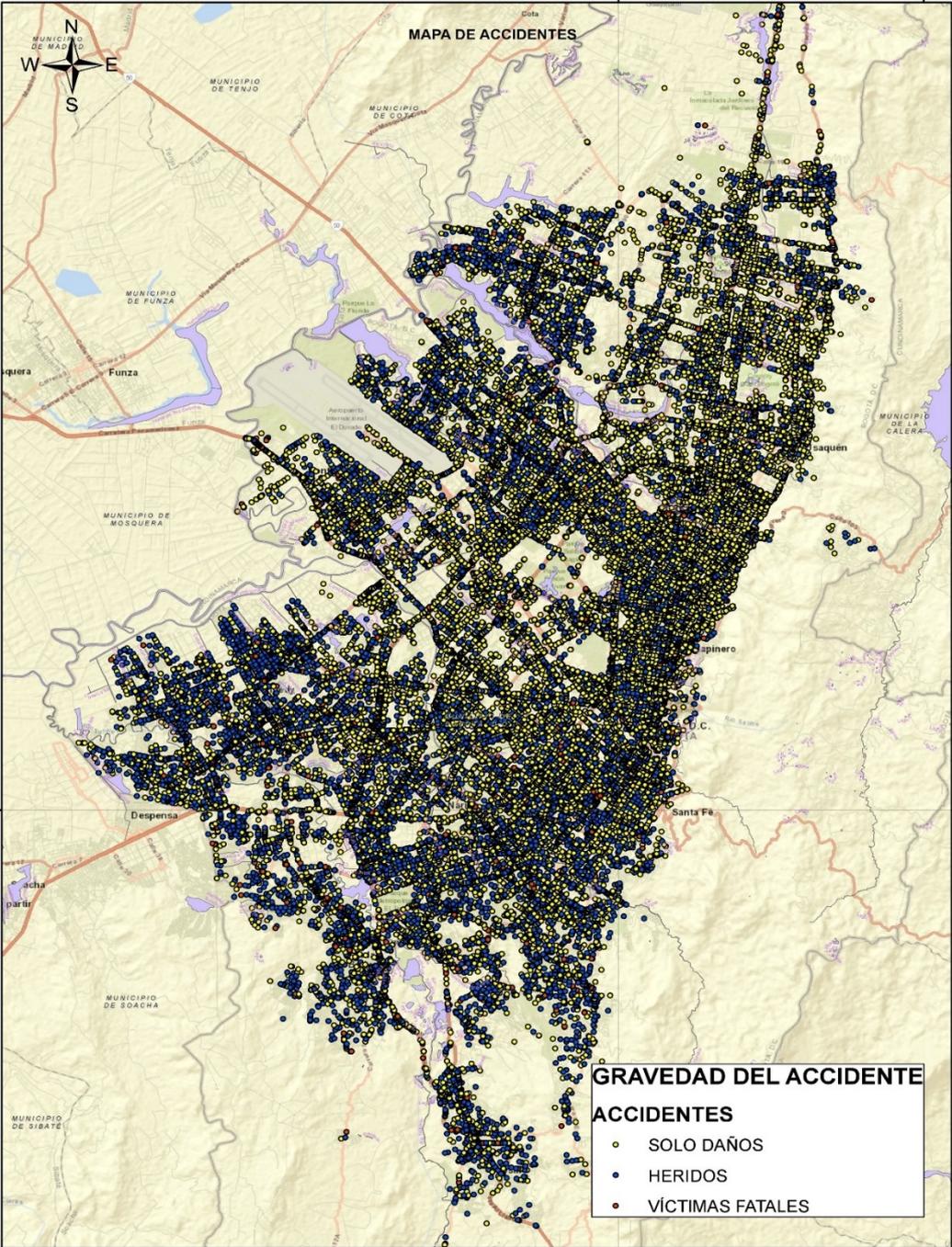
Figura 2. Número de accidentes de tránsito depurados por año y por categoría



Fuente: Adaptado de base de datos Secretaría Distrital de Movilidad

El objeto del buffer consistió en incluir únicamente los elementos georreferenciados que quedaron dentro de la vía (109535 siniestros), ya que se observó la existencia de puntos con un desfase en su posicionamiento (7522 siniestros), los cuales fueron eliminados con esta herramienta de análisis geográfico. A continuación, se presenta un mapa con la información de accidentalidad depurada.

Figura 3. Mapa de Accidentalidad en Bogotá 2012-2015



Fuente: propia con base en ArcGIS

Como se puede apreciar en la figura anterior, la mayoría de los siniestros viales se encontraron en la categoría de solo daños, representados por los círculos de color amarillo con un porcentaje de aproximadamente 65.7%, seguido por heridos (color azul) con un 33.1% y víctimas fatales (color rojo) con un 1.2%; esto para los cuatro periodos de análisis.

Análisis geoestadístico

Una vez depurados los datos y con el propósito de determinar las zonas con mayor concentración de eventos, se procedió a adelantar el análisis de puntos calientes (Hotspots), el análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE), y el análisis determinístico por el método de predicción por distancia inversa (IDW), valiéndose del software ArcGis 10.5. En los siguientes numerales, se describe el paso a paso para el desarrollo de cada uno de los procesos mencionados:

Hotspots

Con base en la capa de accidentes depurados, la cual contaba con un total 109535 registros, a los cuales se les asignaron pesos específicos según la categoría, es decir, solo daños con un valor de 1, heridos 2 y víctimas fatales 3, se procedió a determinar las zonas con alta concentración de eventos con ayuda del software ArcGIS. Como resultado, se obtuvo una capa con una serie de atributos, dentro de los cuales se destacan tres para realizar el análisis respectivo: GIZScore, GiPValue y Gi_Bin. El campo Gi_Bin muestra puntos calientes y puntos fríos estadísticamente significativos, a los cuales se les asignó unos pesos que están relacionados con el nivel de confianza, tal y como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 1 . Valores de campo GI_BIN

Gi_Bin	Nivel de confianza
0	No significativo
+/- 1	90%
+/- 2	95%
+/- 3	99%

Fuente: adaptado de ArcGis 2015

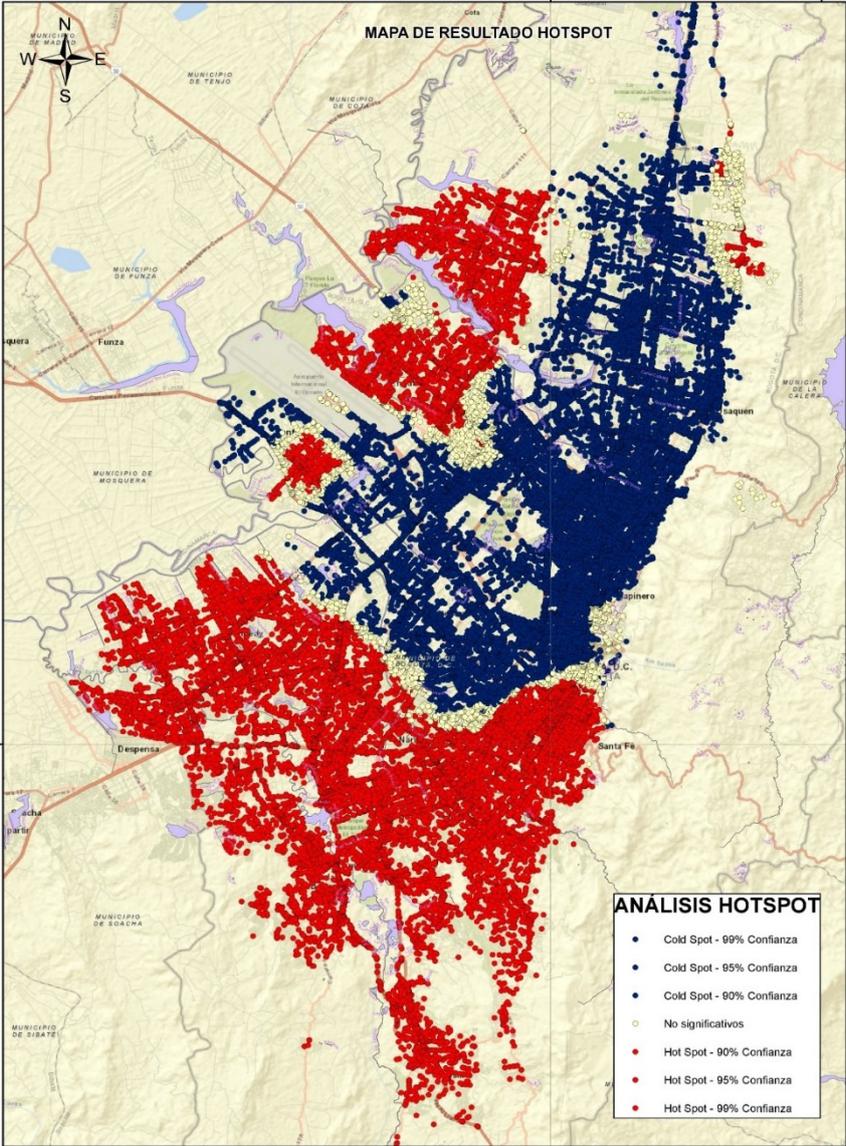
El campo **GiPValue** indica la probabilidad de los datos; cuando este valor es muy pequeño, es decir, que es muy poco probable que el patrón espacial presente, sea resultado de procesos aleatorios, por lo tanto, se puede rechazar la hipótesis nula. Finalmente, el campo **GIZScore** corresponde a la desviación estándar. Para efectos de este estudio, se determinó excluir los registros de la columna Gi_Bin cuyos

valores estuviesen entre 0 y -3, debido a que se desean analizar los puntos que tienen mayor peso o puntos calientes (Hotspots). Una vez realizado el ajuste, se excluyeron en total 67754 datos característicos de puntos no significativos y de puntos fríos (Cold Spots), quedando 41781 datos significativos para realizar el análisis.

A continuación, se presentan las Figuras 4 y 5, con la representación de los mapas de Hotspots, con los resultados para toda la muestra de siniestros viales, y con los registros de los puntos significativos

Figura 4.

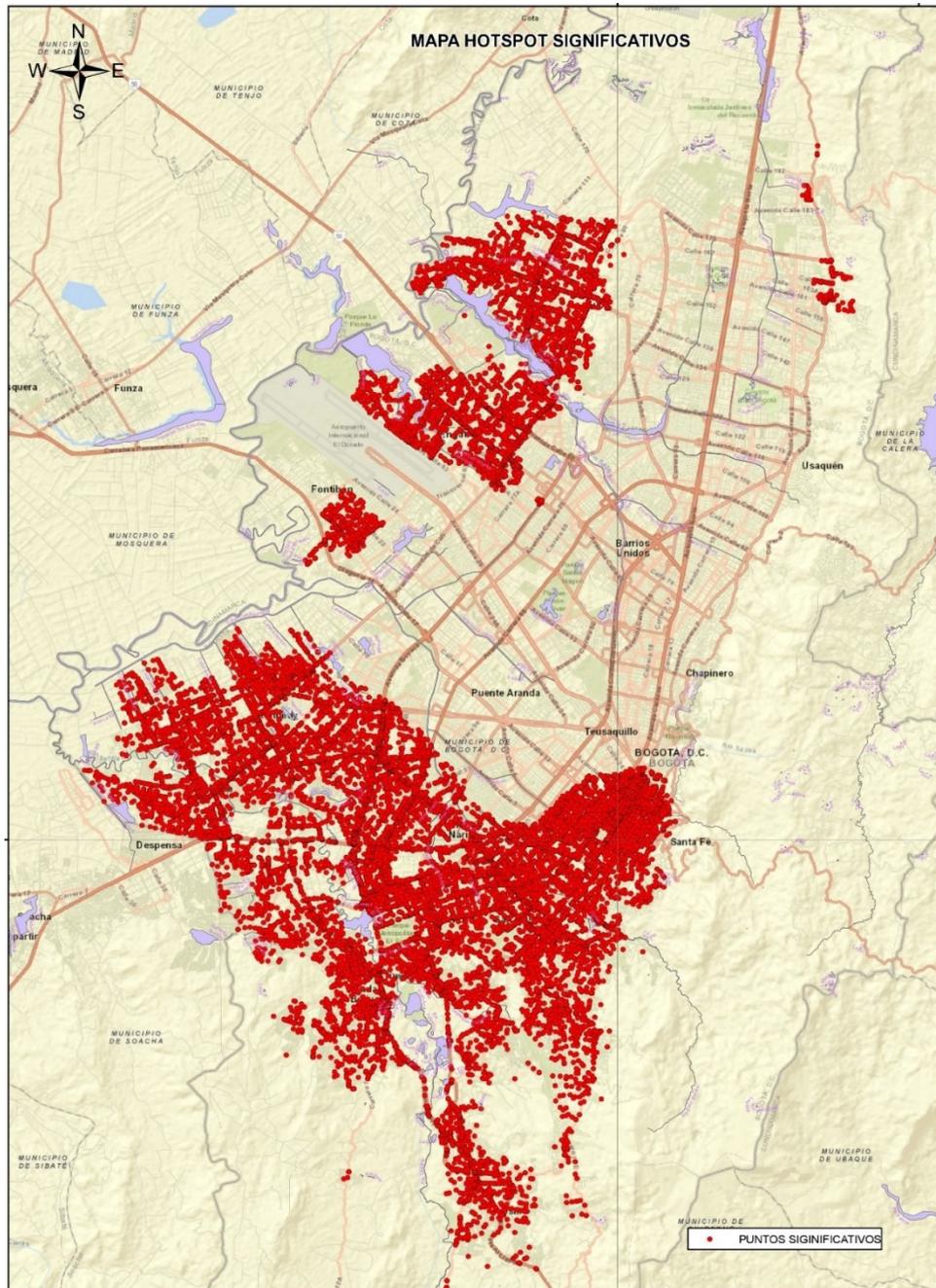
Hotspots para toda la muestra



Fuente: propia con base en ArcGIS

Figura 5.

Hotspots para puntos significativos



Fuente: propia con base en ArcGIS

En la tabla de atributos de los 41781 puntos calientes, se observó que la columna GIZScore contenía valores entre 0 y 22, por lo cual se determinó hacer una clasificación de la información en 5 categorías para mostrar a nivel gráfico la agrupación de los puntos. Lo anterior, teniendo en cuenta que los valores

más altos del campo GIZScore son los que presentan las mayores concentraciones, tal y como se aprecia a continuación:

Tabla 2 .

Clasificación de campo GIZScore

Rangos gizscore	Clasificación	Nº de registros
0 - 4.5	Muy bajo	6190
> 4.5 - 9	Bajo	10203
> 9 - 12.5	Moderado	10976
> 12.5 - 17	Alto	11899
> 17	Muy alto	2513
	Total	41781

Fuente: adaptado de ArcGis 2015

La Tabla 2 muestra la forma en que se realizó la agrupación de los datos, clasificándolos en un rango de muy bajo a muy alto, de tal forma que los datos con valores de $Z > 17$ presentan la mayor concentración de siniestros y los de 0 a 4.5, la menor. En la Figura 6 y en la Tabla 3, se pueden observar gráficamente la clasificación realizada por rangos con su respectiva escala de colores.

Tabla 3 .

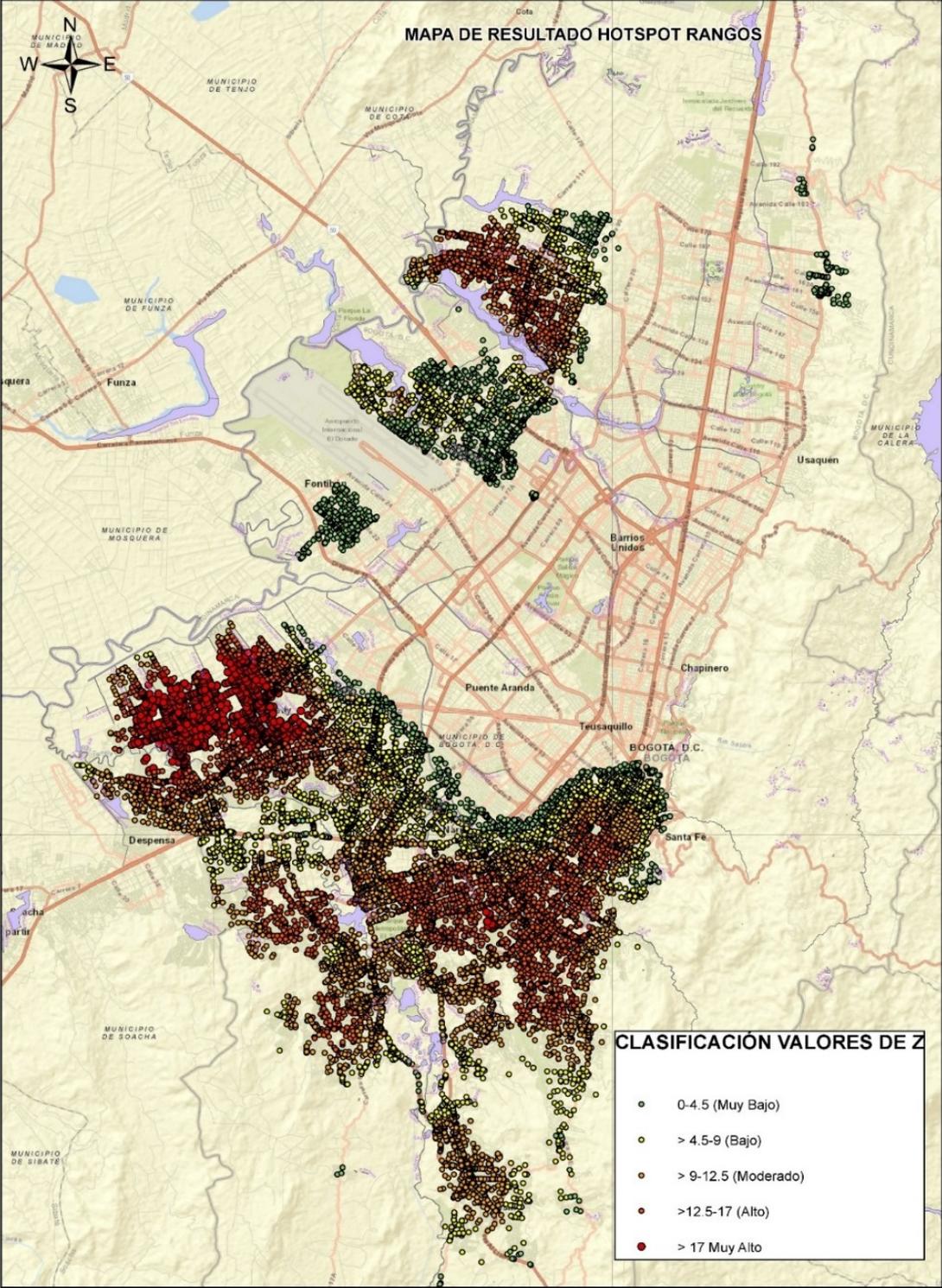
Rango de valores GIZScore

Rangos gizscore	Clasificación	Escala de colores
0 - 4.5	Muy bajo	
> 4.5 - 9	Bajo	
> 9 - 12.5	Moderado	
> 12.5 - 17	Alto	
> 17	Muy alto	

Fuente: adaptado de ArcGis 2015

Figura 6.

Hotspots puntos significativos por rangos



Fuente: propia con base en ArcGIS

Análisis Exploratorio de Datos Espaciales

En cuanto al Análisis Exploratorio De Datos Espaciales, se llevaron a cabo los procesos sobre los puntos significativos obtenidos del análisis Hotspots, ya que estos representan los sectores donde se tiene mayor concentración de eventos; para así, examinar los patrones de distribución espacial de los datos, por medio de las siguientes herramientas estadísticas:

Índice de Morans

El índice de Morans analiza el patrón de distribución de los datos, partiendo de una hipótesis nula, en la que establece que los valores de las Entidades se distribuyen de manera aleatoria; para esto, se tienen los parámetros Z y P, los cuales van a indicar si la hipótesis se cumple o no.

El parámetro P simboliza una probabilidad, si este valor es muy pequeño, se puede rechazar la hipótesis nula, mientras que Z, representa las desviaciones estándar, si este valor es muy pequeño, no se tendrá la suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Es por esta razón, que Z toma valores muy altos, ya sean positivos o negativos cuando P es muy pequeño.

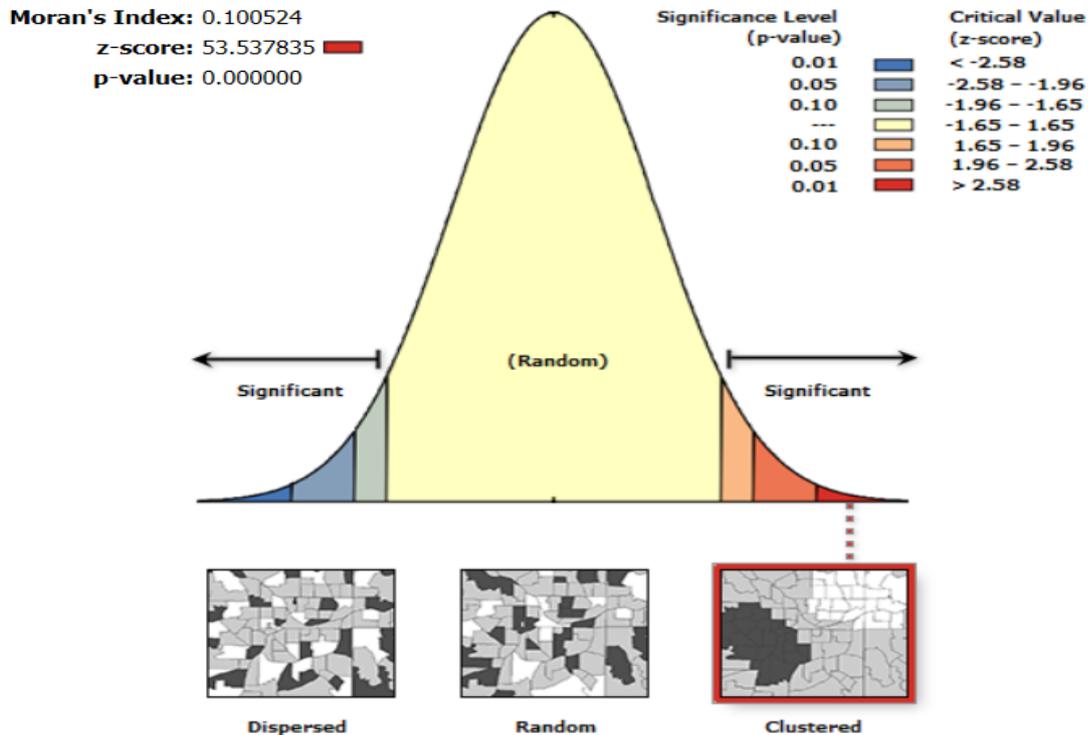
El índice de Morans muestra la forma en la que los datos se agrupan espacialmente, tal y como se indica a continuación:

- Índice de Morans > 0 = agregación de los datos
- Índice de Morans < 0 = dispersión de los datos

En la siguiente Figura, se observan los resultados una vez aplicado el índice de Morans:

Figura 7.

Reporte índice de Morans



Fuente: propia con base en ArcGIS

De acuerdo con los resultados de los valores de Z y P, se sostiene que la hipótesis nula es rechazada, por lo que es muy poco probable que el patrón espacial observado sea resultado de procesos aleatorios; así mismo, el índice de Morans dio superior a cero, lo que representa una agregación de los datos, o mejor aún, muestra que los valores altos se agrupan cerca de valores altos o los valores bajos cerca de los valores bajos.

Análisis Clustering alto/bajo.

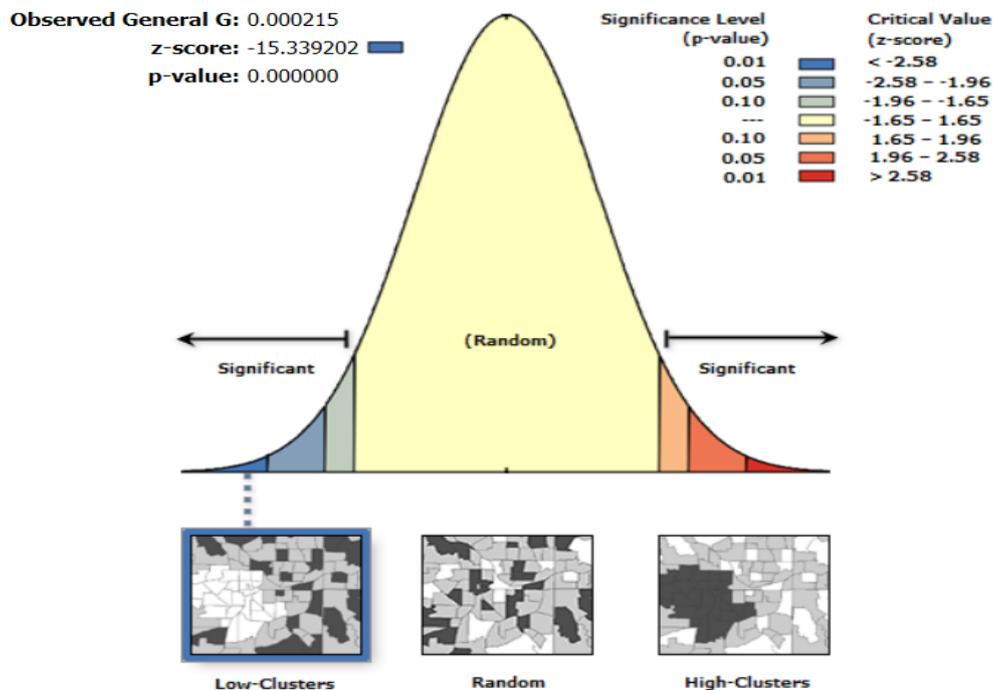
Este tipo de análisis permite conocer cómo se configura la concentración de puntos, es decir, si se produce por valores altos o bajos, a continuación, se observa el criterio para determinar lo mencionado anteriormente:

- $Z > 0$ = agregación de valores altos.
- $Z < 0$ = dispersión de valores bajos.

Para el caso de este estudio, se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 8.

Reporte clustering Alto/Bajos



Fuente: propia con base en ArcGIS

Como se pudo apreciar en la figura anterior, el valor obtenido de Z es menor a 0, lo que indica que la concentración de los puntos se está dando especialmente por los valores bajos, correspondientes a los eventos de heridos y solo daños.

Técnica de interpolación por distancia inversa ponderada (IDW)

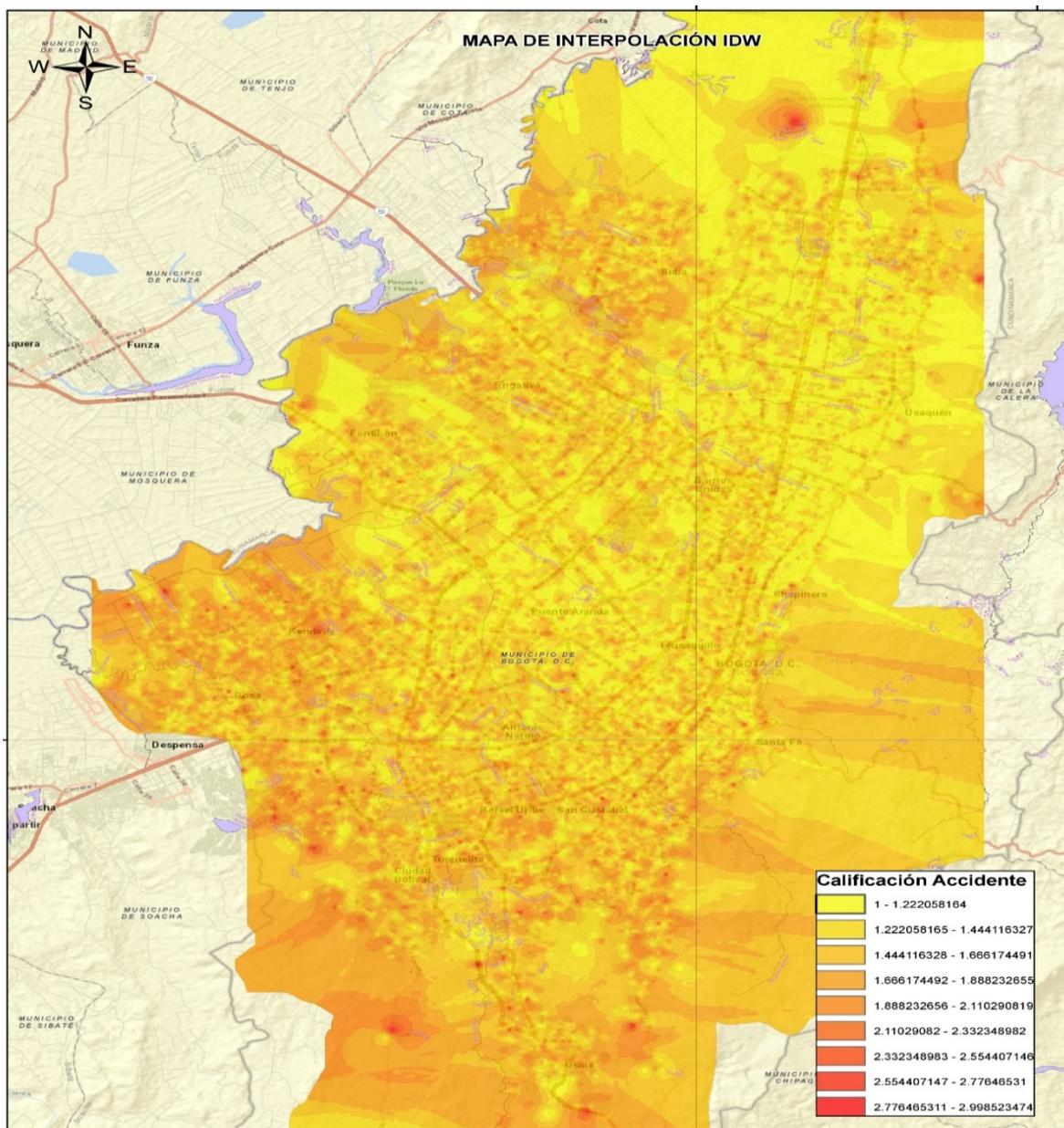
Esta técnica se ejecutó para el total de la muestra, es decir, para los 109535 datos. Al correr el proceso en el programa ArcGis 10.5, se generó una capa con una gama de tonalidades en la que denota sectores con mayor intensidad en su coloración, indicando de esta manera un modelo de predicción de los sitios donde se pueden llegar a presentar los tres tipos de eventos contemplados en este estudio (solo daños, heridos y víctimas fatales). En la Figura 9, se observan los resultados obtenidos una vez realizado el proceso de Interpolación por Distancia Inversa Ponderada (IDW). Finalmente, para la selección de los puntos a estudiar se realizó el cruce de las capas de Hotspots e IDW, con el fin de buscar aquellos

sectores donde coincidieron las áreas con mayor concentración de eventos, es decir, con los registros tomados de los rangos de Hotspots alto y muy alto con los lugares donde se tenían las predicciones.

Del proceso mencionado anteriormente, se obtuvieron como resultado cuatro intersecciones, las cuales se mencionan a continuación y se pueden apreciar en la Figura 10.

- Avenida Cali con Avenida Villavicencio (AK 86 con CL 43 Sur).
- Avenida Primero de Mayo con Avenida Carrera 3 Este (AC 20 Sur con KR 3 Este).
- Avenida Villavicencio con Avenida Carrera 51 (AC 68 Sur con KR 51).
- Avenida Carrera 80 con Avenida Primero de Mayo (AK 80 con AC 55 Sur).

Figura 9. Mapa de interpolación por Distancia Inversa Ponderada IDW



Zonificación de la Accidentalidad

Según la identificación realizada sobre los puntos de accidentalidad vial presentes en la zona urbana de la ciudad de Bogotá D.C., y de la información temática obtenida (mapas de Hotspots, IDW y estado de la malla vial), a continuación, se presentan las variables y sus correspondientes atributos, los cuales fueron necesarios para realizar el cruce algebraico mediante la superposición de capas, y evaluar de esta manera el proceso de zonificación:

Tabla 4 . Identificación de variables y atributos para la zonificación

Variables	Atributos
Estado de la Malla Vial	Malo
	Regular
	Bueno
Hotspots	Gravedad 3 - Muerto
	Gravedad 2 - Herido
	Gravedad 1 - Solo daño
Interpolación por Distancia Inversa Ponderada (IDW)	Rango 2.7 - 3.0
	Rango 2.3 - 2.7
	Rango 1.8 - 2.3
	Rango 1.2 - 1.8
	Rango 1.0 - 1.2

Fuente: propia

En la tabla anterior, se pueden observar las variables seleccionadas para realizar la zonificación de la accidentalidad, con sus correspondientes atributos, los cuales hacen referencia a características propias de cada variable. Según la evaluación de sensibilidad realizada sobre cada uno de los atributos que se relacionan con las tres variables propuestas para analizar la accidentalidad, se obtuvo lo siguiente:

Tabla 5 . Análisis de Sensibilidad de las Variables

VARIABLES	ATRIBUTOS	CALIFICACIÓN	SENSIBILIDAD
Estado de la Malla Vial	Malo	5	Alta
	Regular	3	Media
	Bueno	1	Baja
Hotspots	Gravedad 3 - Muerto	5	Alta
	Gravedad 2 - Herido	3	Media
	Gravedad 1 - Solo daños	1	Baja
Interpolación por Distancia Inversa Ponderada (IDW)	Rango 2.7 - 3.0	5	Muy Alta
	Rango 2.3 - 2.7	4	Alta
	Rango 1.8 - 2.3	3	Media
	Rango 1.2 - 1.8	2	Baja
	Rango 1.0 - 1.2	1	Muy Baja

Fuente: propia

A continuación, se describen los resultados de la evaluación realizada para cada una de estas variables y sus correspondientes atributos.

Estado de la malla vial: Esta variable, tiene en cuenta la condición de la estructura de pavimento de las vías que conforman la malla vial de la ciudad, a partir de información reportada por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), y de las bases de datos de la Secretaría Distrital de Movilidad, esta última asocia el estado de la vía a cada siniestro.

De acuerdo, con el diagnóstico realizado por el IDU, el estado de condición de las vías fue obtenido a través del Índice de Condición del Pavimento (PCI por sus siglas en inglés), parámetro que califica la condición superficial de la estructura, como se describe a continuación:

- $PCI \leq 25$ - Vías en mal estado.
- $26 \leq PCI \leq 55$ - Vías en regular estado.
- $PCI \geq 56$ - Vías en buen estado.

En el análisis sobre esta variable se identifica los siguientes niveles de sensibilidad:

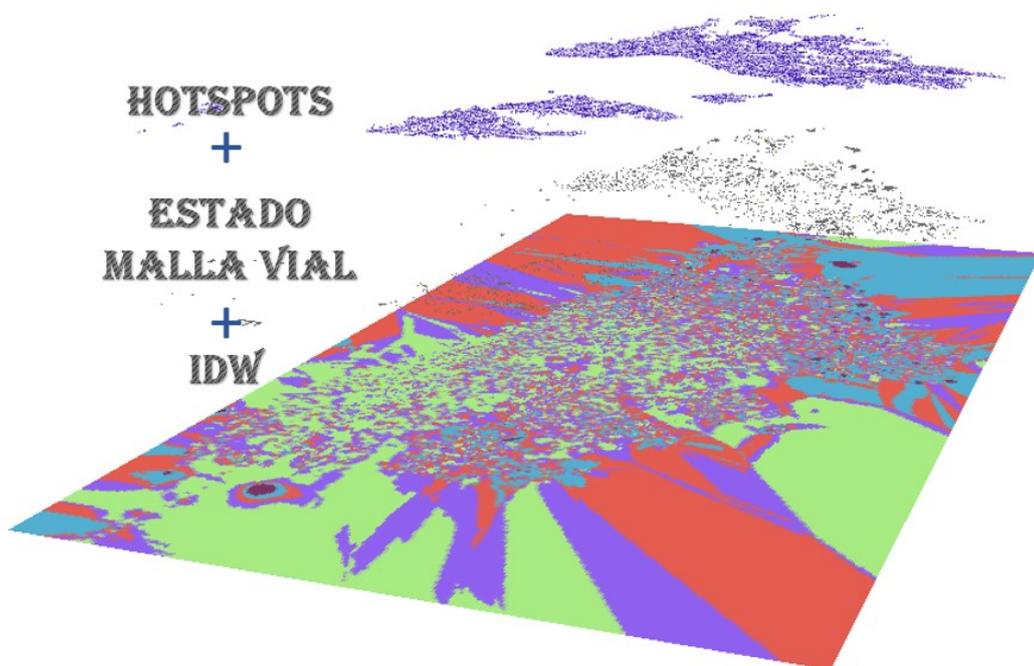
- Sensibilidad Baja: Vías en buen estado.
- Sensibilidad Media: Vías en regular estado.
- Sensibilidad Alta: Vías en mal estado.

Hotspots: Para el caso de esta variable, se tiene en cuenta la concentración de los puntos, a los cuales se les da una calificación de la sensibilidad alta en caso de tener víctimas fatales, media para heridos y baja para solo daños.

Interpolación por Distancia Inversa Ponderada (IDW): Esta variable se estructuró a partir de cinco rangos entre 1.0 y 3.0, para los cuales se manejaron niveles de sensibilidad de muy baja a muy alta respectivamente, representando de esta manera sectores de predicción de accidentes. Ya con las capas estructuradas, se realizó un cruce algebraico para obtener la calificación final y así poder dar una simbología al resultado cuantitativo. Lo anterior, se presenta en la Figura 11 y en Tabla 6.

Figura 11.

Análisis de Superposición de capas



Fuente: propia con base en ArcGIS

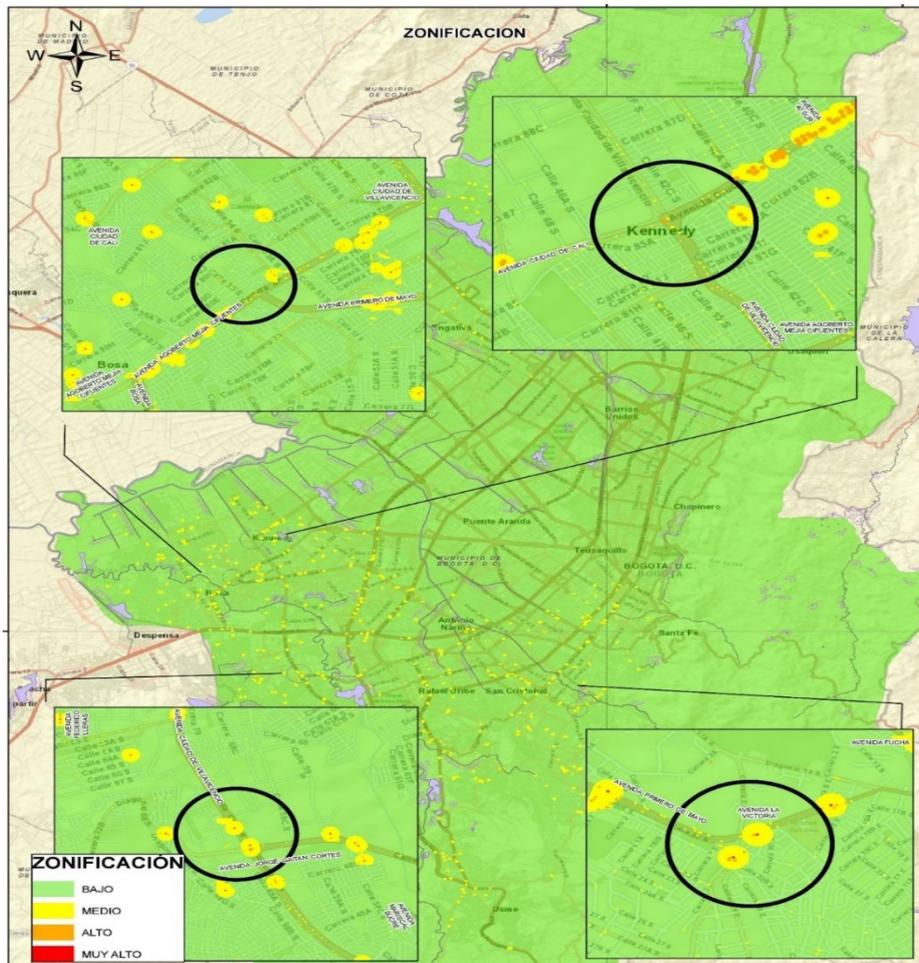
Tabla 6 . Resultados Zonificación

Calificación final	Zonificación
1	MUY BAJO
2	BAJO
3	MEDIO
4	ALTO
5	MUY ALTO

Fuente: propia

Finalmente, se elaboró el mapa de la zonificación de la accidentalidad, como se puede apreciar en la Figura 12, donde se generaron zonas con susceptibilidad de accidentalidad, con potencial muy bajo y bajo para lugares de color verde, medio en color amarillo, alto en color naranja y muy alto en color rojo. Para las intersecciones seleccionadas, es notable el riesgo alto de accidentalidad, especialmente se destaca el tramo de la Avenida Ciudad de Cali entre Avenida Villavicencio y Calle 40 Sur.

Figura 12. Zonificación de la accidentalidad



Fuente: propia con base en ArcGIS

Análisis

De acuerdo con (Cerquera Escobar, 2015), en un estudio donde se utilizó como herramienta de apoyo los sistemas de información geográfica (SIG), donde se realizó un análisis espacial para evaluar la accidentalidad vial en áreas urbanas de Bogotá, por medio de métodos tales como: Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE), hotspots, coldspots e Índice de Morans se obtuvo que la ocurrencia de accidentes no se da de manera aleatoria, pudiendo realizar una predicción espacio temporal, asociada a factores socioeconómicos y físicos del área espacial analizada, para finalmente hacer la identificación de zonas de riesgo con alta ocurrencia de eventos en la infraestructura vial. Aunque en esta investigación se analizaron diferentes variables, es evidente la consistencia de los resultados, ya que los puntos seleccionados efectivamente cuentan con una accidentalidad alta, además que se puede establecer que este fenómeno es repetitivo sin producirse de manera aleatoria.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- A partir del empleo de diferentes métodos geoestadísticos, fue posible procesar la información de la base de accidentalidad, suministrada por la Secretaría Distrital de Movilidad para el periodo comprendido entre los años 2012 y 2015, donde se identificaron patrones espaciales de los datos, en los que se estableció que estos, no fueron producto de procesos aleatorios, obteniendo una mayor agrupación de los registros de accidentalidad de valores bajos, correspondientes a eventos de heridos y solo daño. Lo anterior como resultado del denominado índice de Morans y del análisis Clustering Alto/Bajo. Adicionalmente, para la selección de los puntos a estudiar, fue fundamental la revisión simultánea del análisis Hotspots, el cual permitió reconocer la concentración de puntos calientes estadísticamente significativos, y la técnica de interpolación por distancia inversa ponderada (IDW), de la cual se generó un modelo de predicción de eventos.
- Como resultado del análisis de los métodos geoestadísticos de Hotspots e IDW, se determinaron las intersecciones de la Avenida Ciudad de Cali con Avenida Villavicencio, la Avenida Primero de Mayo con Avenida Carrera 3 Este, la Avenida Villavicencio con Avenida Carrera 51 y la Avenida Carrera 80 con Avenida Primero de Mayo, las cuales se caracterizaron por tener una alta concentración de eventos y porque el modelo de interpolación arrojó una alta predicción en ese mismo lugar.

- El proceso de zonificación de la accidentalidad permitió a partir del análisis de diferentes variables y de la superposición de capas, identificar sitios con susceptibilidad de ocurrencia de siniestros viales.
- Debido a la gran cantidad de información, es recomendable para este tipo de estudios que los análisis se realicen a nivel de localidad o de Unidad de Planeamiento Zonal, esto para tener un mejor manejo de los procesos geoestadísticos y un mayor detalle en los resultados y así mismo en los análisis.
- El mapa de la zonificación de la accidentalidad de la ciudad provee información espacial útil y valiosa para que las autoridades locales puedan tomar medidas a favor de la reducción y prevención de siniestros viales.

LISTA DE REFERENCIAS

- Alcántara, E. (2011). Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad. <https://doi.org/10.7432010202974>.
- Boada, R. A. (2016). Métodos Determinísticos Adaptación del libro: Análisis exploratorio de datos espaciales Capítulo 10.
- Brinckerhoff, P. (2013). Transit Capacity and Quality of Service Manual, Third Edition. <https://doi.org/10.17226/24766>.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2010). Ingeniería de Tránsito: Fundamentos y Aplicaciones. Retrieved from <https://www.scribd.com/doc/137583737/Cal-y-Mayor-Ingenieria-de-Transito>.
- Camacho, P. (2010). Caracterización espaciotemporal y determinación de los patrones territoriales de alta concentración de la accidentalidad en la vía Tunja-Moniquirá, 15, 225–238.
- Cerquera Escobar, F. Á. (2013). Análisis espacial de los accidentes de tráfico en Bogotá D.C. Fundamentos de investigación. Perspectiva Geográfica, 18(1), 9. <https://doi.org/10.19053/01233769.2248>.
- Cerquera Escobar, F. Á. (2015). Modelo patrón de evaluación de la accidentalidad vial en áreas urbanas de Bogotá D.C. (Colombia). Carreteras, 4(202), 16–32.
- Chasco Y., C. (2008). Métodos gráficos del análisis exploratorio de datos espaciales. Universidad Autónoma de Madrid, 1–25. Retrieved from <http://www.asepelt.org/ficheros/File/Anales/2003 - Almeria/asepeltPDF/93.PDF>.

- Giraldo, R. (2011). Estadística Espacial - Notas de Clase. Universidad Nacional de Colombia, 136.
- Giraldo, R. (2011). Introducción a la geoestadística. Universidad Nacional de Colombia, 94.
<https://doi.org/10.1007/s10113-014-0627-7>.
- Hernández, V. H. (2012). Análisis exploratorio espacial de los accidentes de tránsito en Ciudad Juárez, México, 31(5), 396–402.
- Olaya, R. A. (2015). Modelo Espacial De Muertes Por Accidentes De Tránsito En La Zona Urbana De Cali, Colombia Durante El Periodo 2004-2014.
- AGENCIA NACIONAL DE SEGURIDAD VIAL-ANSV. (2019). Sistemas de información. Observatorio Nacional de Seguridad Vial, ONSV. Mintransporte, Colombia. En <https://ansv.gov.co/observatorio/indexb31b.htm-l?op=Documentacion&id=49>.
- Cerquera-Escobar, F.A. (2015^a). Análisis espacial de la accidentalidad vial urbana: método de investigación con SIG. Colección Investig. Uptc. ISBN: 9789586602099. Tunja. Colombia.
- DNP. (2018). Documento Compes 3918. Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia. Departamento Nacional de Planeación.
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf>
- Johnsson, C.; Lareshyn, A. & DeCeunynck, T. (2018). In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators. Transport Reviews; pp.1-21.
<https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1442888>.