

**DIAGNÓSTICO DE PUNTOS CRÍTICOS DE SINIESTRALIDAD VIAL EN SANTIAGO
DE CALI DURANTE EL PERIODO DE 2016 AL 2018 MEDIANTE HERRAMIENTAS
SIG**

Ing. Darlyn Alejandra Dávila García



**UNIVERSIDAD DE
MANIZALES**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
ENERO 2020**

DIAGNÓSTICO DE PUNTOS CRÍTICOS DE SINIESTRALIDAD VIAL EN SANTIAGO DE CALI DURANTE EL PERIODO DE 2016 AL 2018 MEDIANTE HERRAMIENTAS SIG

Ing. Darlyn Alejandra Dávila García

Proyecto presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica



UNIVERSIDAD DE
MANIZALES

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
ENERO 2020**

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Movilidad de Cali por permitir hacer uso de sus bases datos para generar este proyecto de grado que me otorgó un crecimiento profesional.

A mis padres, mi padrino, mi hermana y mi pareja sentimental por el ánimo, el apoyo incondicional y los consejos para culminar este proceso de postgrado.

A todos mis familiares, amigos y compañeros de trabajo que me brindaron buenas energías para seguir mejorando mi formación académica.

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 10 |
| 1. ÁREA PROBLEMÁTICA | 11 |
| 2. OBJETIVOS..... | 13 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL | 13 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 3. JUSTIFICACIÓN..... | 14 |
| 4. MARCO CONCEPTUAL | 15 |
| 4.1. SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)..... | 15 |
| 4.2. ARCGIS | 15 |
| 4.3. GEODATABASE | 15 |
| 4.4. SEMÁFOROS | 15 |
| 4.5. ACCIDENTE DE TRÁNSITO | 15 |
| 4.6. SINIESTROS VIALES | 15 |
| 4.7. MORTALIDAD POR TRÁNSITO | 16 |
| 4.8. LESIONADOS | 16 |
| 4.9. FALLECIMIENTOS | 16 |
| 4.10. CONGESTIONAMIENTO VIAL..... | 16 |
| 4.11. CORRELACIÓN ESPACIAL | 16 |
| 4.12. GEOCODIFICACIÓN..... | 16 |
| 4.13. SHAPEFILE | 17 |
| 4.14. DENSIDAD DE KERNEL | 17 |
| 5. MARCO REFERENCIAL | 18 |
| 6. METODOLOGÍA | 23 |
| 6.1 IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO | 23 |
| 6.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA | 26 |
| 6.3 NORMALIZACIÓN DE LAS DIRECCIONES DE LOS EVENTOS DE TRÁNSITO DEL AÑO 2016 AL 2018..... | 26 |
| 6.4 GEOCODIFICACIÓN DE LOS EVENTOS DE TRÁNSITO | 27 |
| 6.5 IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS Y PUNTOS CRÍTICOS DE LA SINIESTRALIDAD VIAL MEDIANTE HERRAMIENTAS SIG..... | 28 |
| 6.6 PROYECCIÓN DE RESULTADOS EN ARCGIS ONLINE MEDIANTE LA CREACIÓN DE UNA APP | 29 |
| 7 ANÁLISIS Y RESULTADOS | 30 |
| 7.1 RESULTADOS Y DISCUSIONES | 30 |

| | | |
|---------|---|----|
| 7.1.1 | RESULTADO DE LA GEOCODIFICACIÓN DE LOS EVENTOS DE TRÁNSITO REPORTADOS EN LA CIUDAD DE CALI DURANTE LOS AÑOS 2016 AL 2018 | 30 |
| 7.1.2 | RESULTADO DE IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS Y ZONAS DE MAYOR REPORTE DE SINIESTRALIDAD VIAL EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI DURANTE EL PERIODO DE 2016 AL 2018 | 31 |
| 7.1.3 | RESULTADO DE ANÁLISIS ESPACIAL Y ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES QUE PARTICIPAN EN LOS EVENTOS DE TRÁNSITO. | 39 |
| 7.1.3.1 | RESULTADO DEL ANÁLISIS GENERAL ESTADÍSTICO Y ESPACIAL | 39 |
| 7.1.3.2 | RESULTADO DEL ANÁLISIS ESPACIAL Y ESTADÍSTICO DE LOS PUNTOS CRÍTICOS..... | 46 |
| 7.1.4 | APLICACIÓN WEB DE LOS EVENTOS DE TRÁNSITO DE LA CIUDAD DE CALI..... | 50 |
| 8 | CONCLUSIONES | 51 |
| 9 | RECOMENDACIONES..... | 52 |
| 10 | BIBLIOGRAFÍA..... | 53 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Siniestralidad y mortalidad por tránsito de enero a diciembre (2015 a 2018)... | 11 |
| Figura 2 Siniestralidad y mortalidad por tránsito de enero a junio (2016 a 2019)..... | 12 |
| Figura 3 Ubicación Geográfica del Municipio de Santiago de Cali..... | 24 |
| Figura 4 Perímetro urbano del Municipio de Santiago de Cali y sus intersecciones controladas por semáforos..... | 25 |
| Figura 5 Proceso de geocodificación de los eventos de tránsito del año 2016 al 2018 | 27 |
| Figura 6 Montaje de la aplicación web de los eventos de tránsito de Cali de los años 2016 al 2018..... | 29 |
| Figura 7 Geocodificación de los eventos de tránsito de los años 2016, 2017 y 2018. .. | 30 |
| Figura 8 Zonas críticas de siniestralidad y mortalidad por tránsito en la ciudad de Cali para el año 2016 | 34 |
| Figura 9 Zonas críticas de siniestralidad y mortalidad por tránsito en la ciudad de Cali para el año 2017 | 36 |
| Figura 10 Zonas críticas de siniestralidad y mortalidad por tránsito en la ciudad de Cali para el año 2018 | 37 |
| Figura 11 Zonas críticas de siniestralidad y mortalidad por tránsito en la ciudad de Cali para el año 2016 al año 2018..... | 38 |
| Figura 12 Eventos de tránsito según tipo de gravedad | 39 |
| Figura 13 Eventos de tránsito según mes | 40 |
| Figura 14 Eventos de tránsito según día de semana | 40 |
| Figura 15 Eventos de tránsito según hora de los hechos..... | 41 |
| Figura 16 Mortalidad por tránsito según hora de los hechos..... | 41 |
| Figura 17 Comunas según la cantidad de eventos de tránsito..... | 42 |
| Figura 18 Cantidad de eventos de tránsito por comuna según año | 43 |
| Figura 19 Cantidad de eventos de tránsito por comuna de la acumulación de los años 2016 al 2018..... | 44 |
| Figura 20 Comunas según la cantidad de eventos de tránsito de los años 2016 al 2018 | 45 |
| Figura 21 Eventos de tránsito reportados por punto crítico según mes del año..... | 46 |
| Figura 22 Eventos de tránsito reportados por dirección según día de la semana | 47 |
| Figura 23 Casos con lesionados y fatales por tránsito reportados por dirección según día de la semana..... | 48 |
| Figura 24 Eventos de tránsito reportados por dirección según condición de la víctima | 49 |
| Figura 25 Montaje de la aplicación web de los eventos de tránsito de Cali de los años 2016 al 2018..... | 50 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Depuración de datos | 27 |
| Tabla 2 Ponderación de los eventos de tránsito..... | 28 |

RESUMEN

En este proyecto se puede evidenciar un diagnóstico de los puntos críticos de siniestralidad vial en la ciudad de Santiago de Cali, Colombia, durante el periodo de los años 2016 al 2018 mediante herramientas de sistemas de información geográfica. Las bases de datos utilizadas fueron los eventos de tránsito reportados en la Secretaría de Movilidad, las vías, perímetro urbano, comunas, barrios y nomenclatura en formato shapefile por el Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM). El trabajo realizado consistió en crear un geocodificador para la ciudad con capas espaciales actualizadas y ubicar geográficamente cada uno de los eventos de tránsito; después se generaron análisis espaciales mediante la herramienta “Densidad de Kernel” de Arcgis y se obtuvieron puntos y zonas calientes o “Hotspot”, se analizó cuáles eran los patrones espaciales para cada uno de los años y así identificar las localizaciones más críticas, que fueron caracterizadas para evaluar las circunstancias en las que ocurrieron los siniestros. Finalmente, mediante un aplicativo web se plasmó la información con los resultados obtenidos.

PALABRAS CLAVES: Geocodificación, siniestralidad vial o por tránsito, shapefile, densidad de Kernel, Puntos calientes o Hotspot.

ABSTRACT

In this project a diagnosis was made of the critical points of road accidents in the city of Santiago de Cali, Colombia, during the period from 2016 to 2018 using tools of geographic information systems. The databases used were the traffic events reported in the Secretaría de Movilidad, roads, urban perimeter, communes, neighborhoods and nomenclature in shapefile format by the Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM). The work done is to create a geocoder for the city with updated spatial layers and geographically locate each of the transit events; After they generated spatial analyzes using the "Kernel Density" tool of Arcgis and we obtained hot spots and zones or "Hotspot", we analyzed the texts that were very specific for each of the years and thus identify the most critical locations, which were characterized to evaluate the circumstances in which the accidents occurred. Finally, through a web application the information was captured with the results obtained.

KEY WORDS: Geocoding, road or traffic accidents, shapefile, Kernel density, Hot spots.

INTRODUCCIÓN

Los siniestros por tránsito son la mayor causa de muerte en el mundo, para todos los grupos etarios, por ello es considerado por la Organización Mundial de la Salud como un problema de salud pública. Debido a ello, diferentes países se han dedicado a analizar las múltiples causas por los cuales son generados, con el fin de generar sistemas de seguridad vial al transporte público y particular. Se han enfocado en mejorar la protección para los conductores de vehículos, motociclistas, carriles exclusivos para ciclistas y dispositivos viales entorno al peatón. Para ninguno ha sido un secreto que los usuarios más vulnerables son los peatones, seguido de los bici usuarios y motociclistas, y que de igual forma, este último actor es el que más genera traumatismos debido a su mal comportamiento vial.

Durante toda la historia, se han practicado estrategias para la seguridad vial como controlar la velocidad para reducir los siniestros por tránsito o su nivel de gravedad. En la ciudad de Cali, se instalaron desde el año 2015, cámaras de fotodetección que infraccionan vehículos que superen los 60 kilómetros por hora, en tramos viales y en intersecciones, permitiéndoles alcanzar esta velocidad en intersecciones semaforizadas donde las fases peatonales son con tiempos cortos, especialmente para personas con movilidad reducida. Para el año 2019, el Programa de Servicios de Tránsito PST cuenta con 40 cámaras de fotodetección móviles y fijas en el perímetro urbano de la ciudad.

De acuerdo con la Secretaría de Movilidad de Cali, para el año 2011 se tenían matriculados 449.517 vehículos, mientras que para el año 2018 hubo 698.735 vehículos, es decir, un crecimiento del 36% del parque automotor, pero las motocicletas han pasado de 118.680 motos en el 2016 a 222.114 en el 2018, presentándose un incremento del 47%; estas cifras tan significativas generan polémica sobre el control que las entidades públicas han tenido para la adquisición de un vehículo y para fortalecer el Sistema de Transporte Masivo. Este es un tema para evaluar, ya que los motociclistas son los usuarios que más participan en eventos de tránsito.

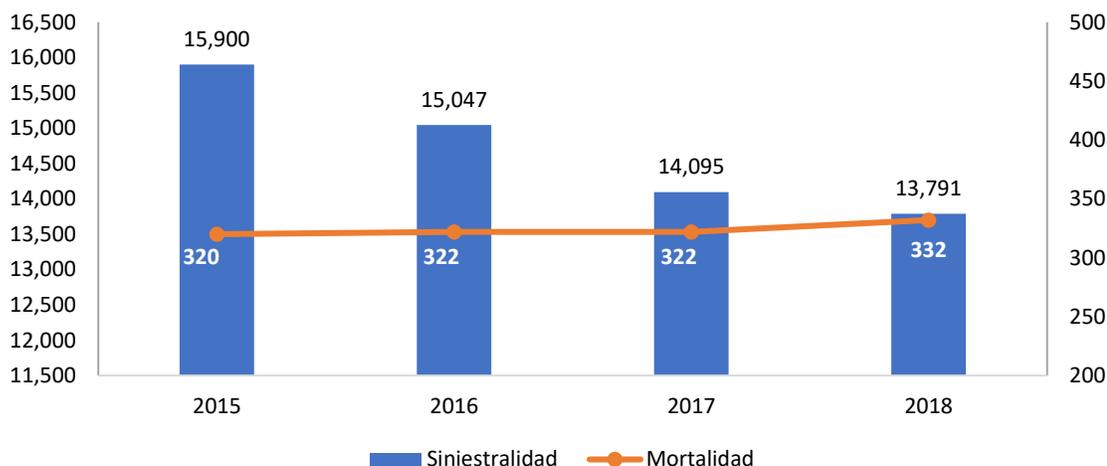
La gran mayoría de problemas se han podido solucionar teniendo como base los Sistemas de Información Geográfica SIG, ya que los datos que se pueden espacializar permiten generar enfoques de estrategias con direccionamiento puntual. Por ello, este trabajo se realizará bajo las herramientas SIG para identificar y diagnosticar los sectores que concentran mayor cantidad de eventos de tránsito según su nivel de gravedad para los años 2016 al 2018 en la ciudad de Cali, Colombia.

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Según la Organización Mundial de la Salud OMS, los siniestros de tráfico matan cada vez más personas en todo el mundo, con 1,35 millones de decesos al año. En el Informe Mundial sobre Seguridad Vial, la OMS afirma que los siniestros de tráfico son actualmente la principal causa de muerte entre niños y jóvenes de 5 a 29 años. Los usuarios más vulnerables son los peatones, motociclistas y ciclistas, convirtiéndolos de esta manera en las principales víctimas fatales por siniestros de tránsito en la mayoría de los países del continente; por ello, los eventos de tránsito constituyen uno de los principales problemas de salud pública.

A nivel local en la ciudad de Santiago de Cali, las cifras del Observatorio de Movilidad Sostenible y Seguridad Vial de la Secretaría de Movilidad, evidencian que la mortalidad por tránsito en el año 2018 registró un aumento de 10 casos comparado con el mismo periodo del 2017; al comparar con el año 2015 y 2016, se evidencia un aumento de 12 y 10 casos respectivamente. (Figura 1).

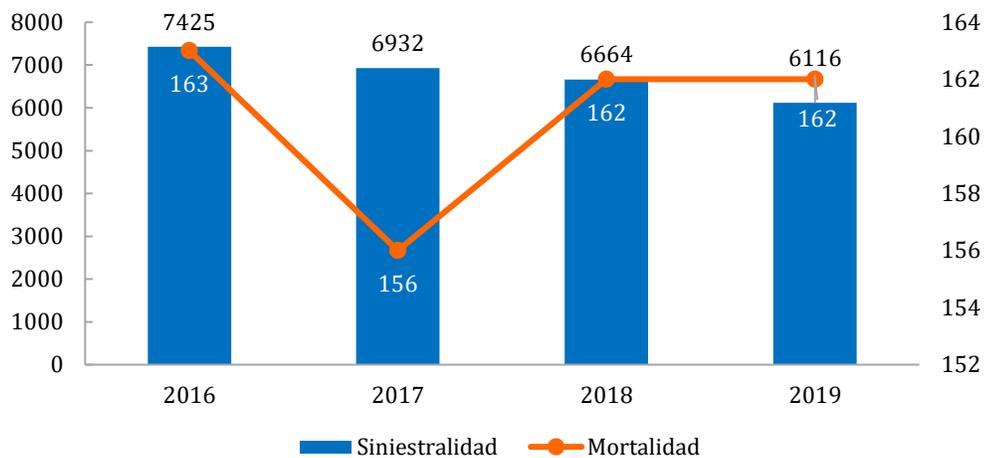
Figura 1 Siniestralidad y mortalidad por tránsito de enero a diciembre (2015 a 2018)



Fuente: Observatorio de Movilidad Sostenible y Seguridad Vial de la Secretaría de Movilidad

Al analizar la comparación del periodo de enero a junio del año 2019 con los años anteriores, se evidencia que la mortalidad por tránsito se ha mantenido con la misma cantidad de eventos fatales que el año 2018, mientras que respecto al año 2017 tuvo un aumento de 6 casos. En cuanto a la siniestralidad, para el primer semestre del año 2019, se identifica que existe una reducción de 548 casos respecto al año 2018, y de 816 casos respecto al año 2017, como se evidencia en la figura 2.

Figura 2 Siniestralidad y mortalidad por tránsito de enero a junio (2016 a 2019)



Fuente: Observatorio de Movilidad Sostenible y Seguridad Vial de la Secretaría de Movilidad

De acuerdo con lo anterior y con el propósito de disminuir la siniestralidad vial, es necesario diagnosticar los sitios o zonas donde se conglera los eventos de tránsito para caracterizarlos y así direccionar las estrategias de seguridad vial y de movilidad segura a nivel puntual.

Con el transcurso de los años, ha sido necesario realizar una representación gráfica a los problemas y soluciones que contienen una variable de tiempo y ubicación. Es así que, los Sistemas de Información Geográfica se desarrollan, como una tecnología que permite la manipulación y el análisis de los datos geográficos (Gantz, 1990; Lang & Speed, 1990), siendo de interés no sólo para los organismos administrativos y para científicos e investigadores sino también para empresas comerciales de software y/o hardware (Cebrián y Mark, 1986).

Mediante una herramienta SIG se permite visualizar y planificar acciones para optimizar la toma de decisiones de manera sistémica, contribuyendo a la disminución de la siniestralidad por tránsito, y a su vez mejorando la movilidad y aportando a la seguridad vial de la ciudad.

De tal forma que, en este trabajo se responderá a la siguiente pregunta: ¿Cuál es la caracterización de los puntos críticos de siniestralidad vial en la ciudad de Santiago de Cali durante el periodo del 2016 al 2018 mediante el uso de herramientas SIG?

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un diagnóstico de los puntos críticos de siniestralidad por tránsito en la ciudad de Santiago de Cali en el periodo de 2016 al 2018 mediante herramientas SIG.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar geocodificación de los eventos de tránsito reportados en la ciudad de Cali durante los años 2016 al 2018.
- Determinar los puntos y zonas de mayor reporte de siniestralidad vial en la ciudad de Santiago de Cali durante el periodo de 2016 al 2018 por medio de herramientas de SIG
- Analizar espacial y estadísticamente las variables que participan en los eventos de tránsito.
- Realizar un aplicativo web mediante la herramienta de ArcGIS online con los resultados obtenidos.

3. JUSTIFICACIÓN

Los accidentes de tránsito en los corredores viales le cuestan al país aproximadamente \$3,6 billones de pesos, de acuerdo con el informe elaborado por la Federación de Aseguradores de Colombia (Fasecolda), adicional a ello, al régimen contributivo en salud le cuesta las atenciones médicas y las incapacidades de los eventos de tránsito por lo menos \$82.000 millones de pesos cada año y al sistema general de pensiones, el costo anual de la accidentalidad vial es aproximadamente de \$500.000 millones de pesos. El estudio enfatiza que sí se valora el costo de la pérdida de la calidad de vida por la invalidez y fallecimientos, la accidentalidad vial le cuesta al país un monto cercano a los \$2 billones por año, convirtiendo los siniestros en tránsito como uno de los principales problemas de salud pública tanto a nivel nacional como local, siendo esta una de las principales causas de muertes en el país.

Para lograr una reducción en el número de víctimas fatales por accidentes de tránsito, el ministerio de transporte mediante la Resolución No. 2273 DE 2014, adoptó el Plan Nacional de Seguridad Vial (PNSV) 2011-2021, en el cual se establecen cinco pilares, los cuales son: gestión institucional, comportamiento humano, vehículos seguros, infraestructura segura y atención a víctimas, que contribuyen a la generación de una cultura de prevención y autocuidado de todos los actores de tránsito (peatones, ciclistas, conductores, etc.)

Las bases de datos relacionadas en este proyecto contienen el componente espacial, los cuales deben ser clasificados, codificados, unificados en Cali, almacenados y procesados en un SIG, permitiendo generar cuantificaciones de posibles impactos y riesgos, soluciones y respuesta integradas con diferentes variables geográficas para caracterizar el territorio. De igual manera, compilar y analizar la información desde un SIG posibilita a otros usuarios ubicados en diferentes lugares de procedencia, visualizar los procesamientos y resultados de las intersecciones semaforizadas y congestión vial de la ciudad.

En consecuencia, es necesario que la ciudad de Cali tenga control y administración de una herramienta que le permita planificar efectivamente las estrategias direccionadas al enfoque de la seguridad vial y una movilidad sostenible, teniendo como base un diagnóstico y caracterización de los sectores críticos en siniestralidad por tránsito plasmados en un aplicativo web, para generar una planificación total, teniendo en cuenta diferentes variables que puedan causar los eventos de tránsito. Además, es oportuno señalar, que este proyecto tiene un impacto social para la administración municipal.

4. MARCO CONCEPTUAL

En el presente capítulo, se definen los conceptos técnicos más relevantes para el desarrollo de este proyecto, como lo son:

4.1. SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)

Un SIG es un sistema integrado por equipos, programas, métodos, personas y aspectos institucionales para recolectar, almacenar, analizar datos geográficos y generar información de apoyo a la toma de decisiones.

4.2. ARCGIS

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. La mayoría de los usuarios lo emplean dado que por medio de este sistema logran resolver problemas espaciales y alfanuméricos permitiendo de esta manera tomar decisiones y planificar adecuadamente el territorio.

4.3. GEODATABASE

Una geodatabase GDB de ArcGIS es una colección de datasets geográficos de varios tipos, contenida en una carpeta de sistema de archivos común, una base de datos de Microsoft Access o una base de datos relacional multiusuario DBMS, la GDB pueden tener diversos tamaños y varios usuarios.

4.4. SEMÁFOROS

Los semáforos son dispositivos de señalización mediante los cuales se regula la circulación de vehículos motorizados y no motorizados (bicicletas y/o peatones) en las vías, asignando el derecho de paso o prelación de vehículos y peatones secuencialmente, por las indicaciones de luces de color rojo, amarillo y verde, operadas por una unidad electrónica de control.

4.5. ACCIDENTE DE TRÁNSITO

Un 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 el e igualmente afecta la normal circulación de los vehículos que se movilizan por la vía o las vías comprendidas en el lugar o dentro de la zona de influencia del hecho.

4.6. SINIESTROS VIALES

Los siniestros viales es un evento que puede ser aleatorio, evitable o imprevisible de una colisión o volcamiento de uno o más actores viales generado por una o más causas que

ocurren en vías, o lugares destinados al uso público o privado ocasionando muertes, lesiones de gravedad y daños materiales de vehículos, vías o infraestructura.

4.7. MORTALIDAD POR TRÁNSITO

La mortalidad por tránsito en un evento que ocurre en una vía, en el cual una persona fallece a causa de las lesiones a corto o largo plazo.

4.8. LESIONADOS

Se refiere a las personas heridas en eventos de tránsito.

4.9. FALLECIMIENTOS

Se refiere a personas fallecidas en eventos de tránsito (pérdidas de vidas humanas).

4.10. CONGESTIONAMIENTO VIAL

Según Cal y Mayor (2004), en los periodos de máxima demanda, el flujo vehicular se va tornando deficiente con pérdidas de velocidad, lo que ocasiona una saturación en el sistema, hasta llegar a funcionar a niveles de congestionamiento trayendo como consecuencia demoras y colas.

Las demoras pueden causarlas muchos factores como los dispositivos para el control del tránsito al interrumpir el flujo, y las ocasionadas por la misma corriente vehicular en situaciones de flujo continuo. En el primer caso, todos los tipos de semáforos, así como las señales de alto y ceda el paso producen detenciones en un viaje normal. En el segundo caso, se tienen demoras periódicas que ocurren en el lugar del embotellamiento durante las mismas horas del día (horas pico), y las demoras no periódicas producto de incidentes (accidentes o vehículos descompuestos) o cierres eventuales de un carril o calzada.

4.11. CORRELACIÓN ESPACIAL:

La correlación espacial mide la cantidad de objetos cercanos en comparación con otros objetos cercanos y ayuda a entender el grado en que un objeto es similar a otros objetos cercanos.

4.12. GEOCODIFICACIÓN:

La geocodificación es un proceso de transformar una descripción de una localización, por ejemplo, una dirección un lugar o una coordenada) en una ubicación de la superficie de la Tierra. Se puede geocodificar introduciendo una descripción de una ubicación a la vez o proporcionando muchas de ellas al mismo tiempo en una tabla.

4.13. SHAPEFILE:

Un shapefile es un formato sencillo y no topológico que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas. Las entidades geográficas de un shapefile se pueden representar por medio de puntos, líneas o polígonos

4.14. DENSIDAD DE KERNEL:

El método de Densidad de Kernel calcula una magnitud por unidad de área a partir de entidades de punto o polilínea mediante una función kernel para adaptar una superficie suavemente estrechada a cada punto

5. MARCO REFERENCIAL

En este capítulo, se hace una descripción de las investigaciones o desarrollos que se han desarrollado a nivel nacional e internacional sobre el análisis espacial de los siniestros de tránsito.

Teniendo en cuenta que las principales causas de muerte a nivel mundial son las ocasionadas por: las infecciones de las vías respiratorias, las enfermedades pulmonares, el cáncer de pulmón y los traumatismos causados por el tránsito; se hace necesario la creación de nuevos proyectos que relacionados con temas de movilidad, transporte y de expansión de sus diferentes ciudades, que mediante la aplicación de ellos permitan una gestión más eficiente y sostenible, de acuerdo a lo establecido en el Libro Verde de la Movilidad Urbana (Europeas, 2007). Para ello el Plan Nacional de Seguridad Vial (Ministerio de Transporte, 2015) estableció cinco pilares, donde la infraestructura segura juega un papel fundamental, por lo tanto, la planificación de la infraestructura se hace necesario que logre garantizar que se cubran las necesidades de los habitantes respecto a su movilidad, en entornos urbanos con altos índices de motorización y de congestión. (García, 2008).

A nivel mundial se esta tomando cada día conciencia de la problemática y se ha ido iniciando con proyectos relacionados con seguridad vial, en países como Suiza, han logrado investigar un poco más a detalle los vehículos semiautónomos los cuales serán cada vez más frecuentes en el en las próximas décadas y la relación con los accidentes de tráfico dado que se percibe como un problema central.

Según (Benjamin Ryder, 2018), otro propósito de analizar los eventos de tránsito y el comportamiento de los vehículos es con el fin de incorporar medidas preventivas en los vehículos logrando que los conductores adopten un comportamiento más responsable en los lugares potencialmente peligrosos. Es importante que, en los vehículos semiautónomos se logre la incorporación de una tecnología segura, eficiente y que logre disminuir los problemas de accidentalidad en las carreteras, donde se pueda realizar la predicción de lugares con una alta probabilidad de siniestros de tráfico y de esta manera se detecte los accidentes, la manera brusca de frenar y las maniobras evasivas, lo cual se conoce como Critical Driving Events – CDE – (Benjamin Ryder, 2018).

Las ubicaciones de los CDE podrían identificar zonas con mayor número de accidentalidad vial y con ello poder implementar proyectos relacionados con el fortalecimiento de señalización vial e instalación de dispositivos para la pacificación del tránsito, y proporcionar carreteras seguras a los diferentes usuarios.

Para la realización de la investigación, se desarrollaron estudios de campo en las carreteras de Suiza, donde se podía analizar la forma de conducir de las personas de 39 años de edad, durante un periodo de 18 semanas en 72 vehículos (Chevrolet Captiva de marca y modelo similares), todos condujeron una cubriendo más de 690,000 km. (Benjamin Ryder, 2018).

Los datos del vehículo se recopilaron mediante la aplicación Bus CAN del Chevrolet Captiva a través de un dongle OBD-II conectándolo también a teléfonos inteligentes a través de Bluetooth. El teléfono inteligente transmitió varias señales de bus CAN en tiempo real a un servidor, aumentado con la ubicación GPS y marca de tiempo desde el propio teléfono. Dado que la adquisición de datos de ubicación se basa en la posición GPS del teléfono inteligente, en áreas donde no había señal GPS, como en Túneles, no se capturaron datos de ubicación. Por lo tanto, estas ubicaciones no se incluyen en el análisis.

En la ciudad de Phnom Penh, capital de la ciudad del Reino de Camboya, se presentan congestiones viales, debido al ineficiente sistema de señales y la falta de disciplina en el tráfico, (Matsuoka, 2018) de tal forma que, implementaron un proyecto integral de gestión de tráfico. Para la realización de ello, utilizaron videos y muestreos en la vía con el objetivo de medir el volumen del tráfico y las longitudes de cola, y de esta manera lograr determinar el control adaptativo y local de cada intersección semaforizada. Además, establecieron estándares para el diseño de la señalización horizontal teniendo en cuenta el ancho del carril, la ubicación de los pasos peatonales, la longitud de la vía y la señalización vertical.

Según (Matsuoka, 2018), el objetivo principal del proyecto era lograr mejorar las condiciones del tráfico en la ciudad, mediante la introducción de un sistema de control y obras de gestión de tráfico asociadas, como señalización horizontal, vertical y dispositivos de regulación de tránsito que permitan transferir información en tiempo real las problemáticas existentes en los corredores y mediante la tecnología que se emplea localmente, se logre una respuesta efectiva en el corto tiempo; con ello los trabajos relacionados con el proyecto continúen mostrando beneficios.

En los resultados obtenidos lograron evidenciar el control más eficiente del tráfico en la ciudad, y se presentó reducciones en colisiones de tránsito, fluidez en el tráfico y mejoras de la velocidad de operación y reducción de emisiones. (Matsuoka, 2018).

Por otro lado, en América del Sur y más precisamente en Ecuador que se encuentra dividido en 24 provincias y 221 cantones, realizaron un análisis preliminar (Alfonso F. Algora Buenafé, 2017), donde seleccionaron como zona de estudio los cantones de la Provincia de Pichincha y el año 2016, por ser uno de los sitios y el año con mayor densidad de siniestros, lesionados y fallecidos por accidentes de tránsito.

Para la realización del análisis espacial de tipo exploratorio de los siniestros, lesionados y fallecidos por accidentes de tránsito, emplearon información secundaria como lo fueron las bases de datos de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y el censo poblacional del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (Alfonso F. Algora Buenafé, 2017), mediante la cual calcularon lo siguiente: Tasa de Mortalidad Bruta ($\times 100.000$ habitantes) y Ajustada ($\times 10.000$ habitantes) por Cantón, Tasas de Lesividad; (N° de lesionados en Accidente de Tránsito) $\times (100) / (N^{\circ}$ de total de Accidente de Tránsito) y las Tasas de Letalidad; (N° de fallecidos en Accidente de Tránsito) $\times (100) / (N^{\circ}$ de total de Accidente de Tránsito) por Cantón en la Provincia de Pichincha.

Posteriormente, mediante el uso de herramientas SIG, se geo-codificaron los accidentes de acuerdo a la lesividad, letalidad y las tasas brutas y ajustadas por cantón, logrando con ello visualizar aquellos Cantones de mayor accidentabilidad, facilitando a los gobiernos cantonales plantear estrategias y acciones en materia de seguridad vial con el objetivo de disminuir la cifra de accidentes viales.

Teniendo en cuenta que en algunas ciudades de Colombia presentan un rezago en su malla vial, la solución no solo puede darse desde la perspectiva de la oferta vial (Flórez, 2011), sino que también es necesario orientar esfuerzos hacia todos los recursos que proveen la Secretarías de Movilidad, particularmente para esta investigación el de la red semafórica, de ahí deriva la importancia del mantenimiento para optimizar, organizar y hacer viable dicha movilidad urbana en los próximos años, como medio que reconoce esa realidad para prestar un servicio acorde con sus capacidades y requerimientos técnicos, así como eléctricos, articulados con el sistema de movilidad general. (Jose Ignacio Rodriguez Molano, 2015)

Por lo tanto, en Bogotá le han apuntado a priorizar las problemáticas que tienen en la infraestructura urbana, como es el caso de las intersecciones semaforizadas, que son dispositivo que regulan el tráfico de vehículos y peatones en las intersecciones de las calles. (Jose Ignacio Rodriguez Molano, 2015)

Para ello mediante el uso de información secundaria lograron caracterizar, identificar y evaluar los diferentes contratos interadministrativos que se ejecutan en la ciudad, y a partir de visitas de campo, lograron valorar el estado actual del sistema semafórico. (Jose Ignacio Rodriguez Molano, 2015)

Teniendo el “catastro de las intersecciones semaforizadas”, lograron identificar los problemas con mayor incidencia, importancia y nivel de criticidad en la red, como, por ejemplo: problemas relacionados con la fabricación, instalación y mantenimiento de los postes, con la construcciones, reconstrucción y mantenimiento de las obras civiles, incluyendo el diseño de las intersecciones para la implementación de nuevos cruces, etc. A partir de la identificación de dichos problemas lograron plantear alternativas de mejora desde la parte eléctrica, equipos de control, interconexión, postes y obras civiles, para reforzar la conformación del sistema de movilidad.

Por otro lado, (Lomakin, Fabrichnyi, & Novikov, 2018) describe que la evaluación del nivel de calidad del tráfico es un componente importante de la gestión operativa de los flujos de tráfico. Él cita a Siliyanov, debido a su desarrollo de los modelos considerando el impacto de las carreteras y las condiciones de las carreteras en los parámetros de flujo de tráfico. Stolyarov y Shchegoleva (Novikov et al., 2014) crearon el modelo de flujo de tráfico que permite la determinación secuencial, dependiendo de las condiciones de la carretera, la composición del tráfico y el riesgo permisible de accidentes, la velocidad y la densidad del flujo de tráfico, así como la tasa y densidad de reabsorción de la congestión del tráfico. De esta forma, para la planificación vial, Lomakin propuso aplicar y construir un modelo de regresión para analizar correlación, y evaluar el tráfico,

determinando el nivel de dependencia de los factores relevantes. Se construyó un diagrama de dispersión, que permite rastrear la relación entre los valores analizados. De igual forma, evaluó el tamaño de las longitudes de cola de un tramo de vía, permitiendo determinar la velocidad del flujo de tráfico y el tamaño de la cola en un momento determinado del día.

Anteriormente, (Thong & Wong, 1997) describieron el desarrollo de un prototipo de sistema de información geográfica (GIS) para la planificación del transporte urbano en un distrito de un área de reurbanización del sureste de Kowloon. Su base de datos GIS se desarrolla teniendo en cuenta el proceso eficiente de ingreso y recuperación de datos de una manera que es más útil para los planificadores de transporte con fines de proyección y evaluación de la demanda de viajes de la red. La base de datos GIS fue diseñada para simulaciones realistas de la red en formas bidimensionales y tridimensionales, manipular diversos tipos de información relacionada con el transporte en una base de datos consistente, y herramientas de apoyo para la comparación de escenarios entre el cambio de flujo de red existente y futuro en un área de estudio predefinida. Los modelos utilizados fueron matrices origen y destino, un modelo de distribución de viajes, y para investigar el rendimiento de la red de carreteras analizaron su flujo.

El SIG fue usado para combinar datos en diferentes niveles de agregación, que van desde el número de carriles en un enlace de carretera particular a nivel de calle hasta las cifras de población en la zona administrativa a un nivel agregado más alto.

A su vez, (Shafabakhsh, Famili, & Bahadori, 2017) utilizó los siniestros de tráfico de la ciudad de Mashhad como estudio de caso, en el cual aplicó la combinación de la tecnología de información geográfica y el análisis estadístico para resaltar la influencia de los factores espaciales. Para ello, realizó análisis de agrupamiento para comprender mejor los patrones de accidentes de tráfico en redes urbanas complejas. Uno de sus análisis aplicados fue mediante la estimación de densidad de Kernel, la función K y la interpolación por el vecino más cercano, además, introdujo clasificaciones mediante la desviación estándar. Utilizando GIS como un sistema de gestión para el análisis de accidentes mediante la combinación de métodos estadísticos espaciales. Finalmente, determinó las zonas críticas de siniestralidad, combinó el análisis del vecino más cercano y la función K para investigar la distribución de choques urbanos, estimó el patrón del riesgo espacial de accidentes y dichos lugares fueron denunciados al departamento de policía de tránsito y al departamento de transporte urbano para tratamiento.

Los resultados mostraron que las zonas propensas a choques se concentran en las cercanías de la ciudad de Mashhad (plaza Fajr en la carretera Hemmat). Esto es intuitivo ya que el mayor nivel de interacciones de tráfico genera más problemas de seguridad. A medida que las carreteras se extienden hacia afuera desde las áreas urbanas centrales, el nivel de riesgo está disminuyendo. La implementación de los resultados de esta investigación resultará en beneficios económicos a largo plazo y mejorará el flujo de tráfico y la seguridad.

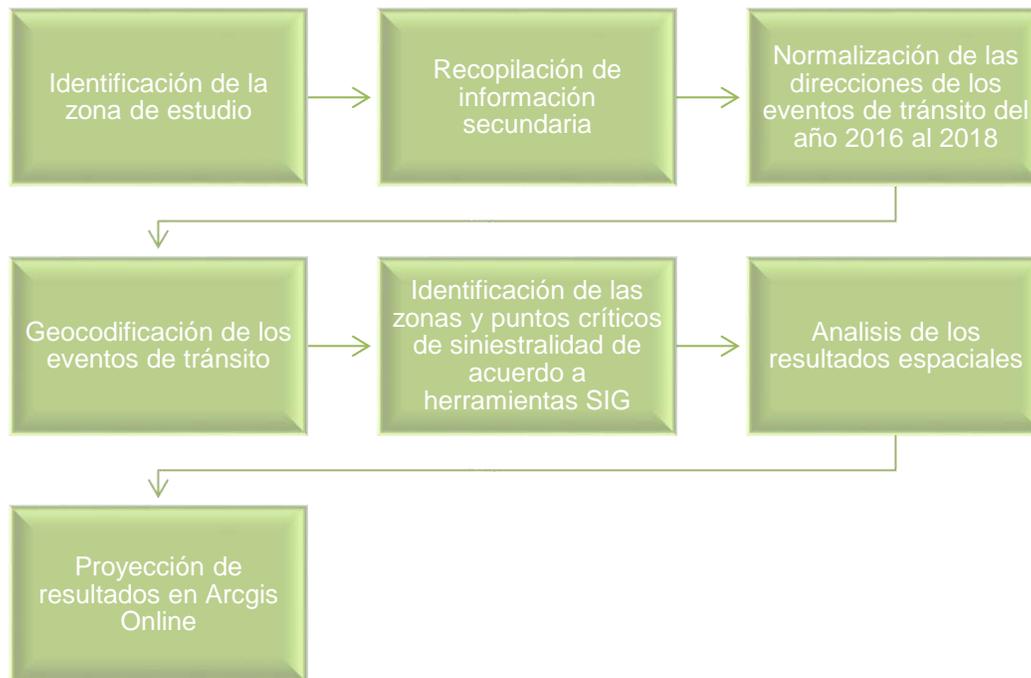
Finalmente, (Dereli & Erdogan, 2017) obtuvo un modelo descriptivo para determinar los puntos negros de accidentes de tráfico utilizando métodos estadísticos espaciales

basados en modelos. Estos métodos son la regresión de Poisson, la regresión binomial negativa y el método bayesiano empírico. El objetivo final de este estudio fue construir un modelo que permitiera evaluar todos los métodos en conjunto en los Sistemas de Información Geográfica (SIG). El área de estudio fue en Turquía con datos de siniestros viales del año 2005 al 2013. Según la comparación de los métodos utilizados, el método bayesiano empírico proporcionó los mejores resultados en términos de precisión y consistencia. Como resultado, lograron determinar que, si hay una dispersión excesiva en los datos, se utiliza el método Binomial negativo, debido a que el método bayesiano empírico da más precisión cuando se evalúa junto con los métodos Poisson y Binomial negativo.

Los SIG es uno de los sistemas a los que han recurrido los mecanismos de apoyo para la toma de decisiones, fortalecido las instituciones y organizaciones relacionadas con la provisión de seguridad vial.

6. METODOLOGÍA

Las fases metodológicas planteadas para obtener los resultados esperados son los siguientes:



6.1 IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Santiago de Cali, capital del departamento del Valle del Cauca, el cual está localizado en la región Andina y suroccidente de Colombia.

El municipio tiene un área de 564 km², una altitud de 995 msnm y una longitud de 17 km de Sur a Norte y 12 km de Oriente a Occidente; al norte limita con los municipios de Yumbo y La Cumbre, al nororiente con el municipio de Palmira, al oriente con Candelaria, al sur con Jamundí, al suroccidente con Buenaventura y con el municipio de Dagua al noroccidente.

Santiago de Cali está conformado por veintidós (22) comunas en la zona urbana y quince (15) corregimientos en la zona rural.

El área objeto de estudio se encuentra localizada en la zona urbana, en la cual hay instalados cuatrocientos ochenta (480) intersecciones controladas por semáforos, como se puede observar en las siguientes figuras.

Figura 3 Ubicación Geográfica del Municipio de Santiago de Cali.



Fuente: Elaboración Propia.

6.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Esta primera fase del desarrollo del proyecto consistió en la recopilación de la información de las entidades que manejan información para la elaboración del SIG, tales como: el Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM) y la Secretaría de Movilidad lo anterior con el propósito de recolectar la siguiente información:

- Bases de datos de los eventos de tránsito reportados en el municipio de Santiago de Cali en los años 2016 al 2018 en formato excel. Fueron entregados 43.278 registros de los siniestros viales por parte de la Secretaría de Movilidad.
- Cartografía básica de la ciudad en archivos tipo shapefile como: vías, comunas, semaforización y nomenclatura actualizada, proveniente del DAPM.

6.3 NORMALIZACIÓN DE LAS DIRECCIONES DE LOS EVENTOS DE TRÁNSITO DEL AÑO 2016 AL 2018

El proceso de normalización se realizó a partir del atributo de dirección del hecho del evento de tránsito, con el fin de que todos los campos quedaran con un solo estilo, de acuerdo con los requerimientos de los geocodificadores, permitiendo geolocalizar cada dirección en el lugar correspondiente y con facilidad; por lo cual se fijó la siguiente secuencia para la tarea de codificación geográfica: el análisis, la normalización y geocodificación (Xu, Flexner, & Carvalho, 2012). De esta forma, los tipos de vía fueron modificados así:

- CL (Calle)
- KR (Carrera)
- DG (Diagonal)
- AV (Avenida)
- TV (Transversal)
- N (Norte)
- O (Oeste)

Se eliminó las palabras incrustadas en la dirección como lo fueron: “con”, “y”, “entre”, “hasta” o “guiones”. De igual forma, se dividió el atributo en columnas para concatenar el texto de forma jerárquica, en el cual iniciara por calle, seguido de carrera, y transversales, como se observa en el siguiente ejemplo:

- Caso 1: Cl 70 Kr 1
- Caso 2: Cl 21 Av 2 N
- Caso 3: Kr 23 Tr 25
- Caso 4: Tr 103 Dg 26

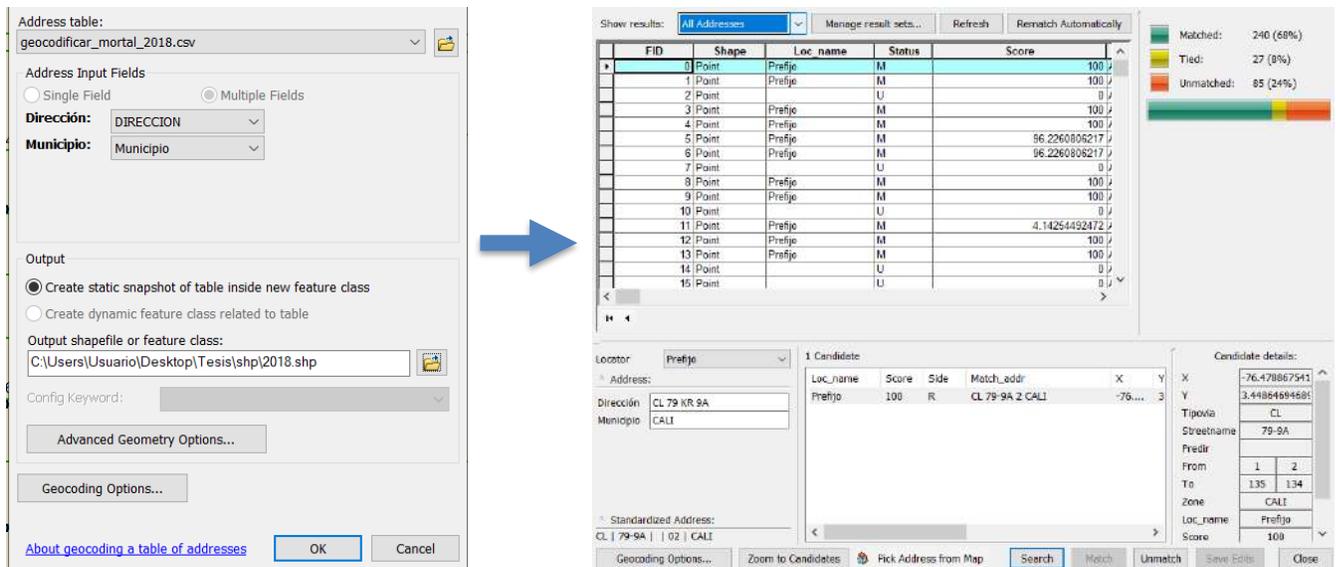
En la depuración de la información se hallaron registros incompletos; sin dato, en el cual en la base fueron nombrados como “SD”; o fuera del área urbana de la ciudad, llamados “Rural”.

6.4 GEOCODIFICACIÓN DE LOS EVENTOS DE TRÁNSITO

En la realización del proceso de la geocodificación fue necesario crear un localizador de direcciones debido a que se contaba con 43.278 registros de siniestros viales reportados en la ciudad de Cali para los años 2016 al 2018. Para ello, se creó mediante la herramienta de ArcGIS, en una geodatabase. Inicialmente, en la herramienta “geocoding tools – Create address locator” se creó el localizador y se adicionó los datos de referencia en formato shapefile, como lo fueron las vías, la nomenclatura, el perímetro urbano, las comunas y los barrios. Finalmente, se ingresó el estilo de las direcciones a geocodificar.

Se continuó con la geocodificación correspondiente de los eventos de tránsito, se supervisó y validó cada uno de los registros, debido a que se encontró inconsistencias en direcciones ubicadas en el oeste de la ciudad y en el sur, cerca de los límites perimetrales. Los únicos registros que no fueron localizados fueron los sin dato “SD” y los rurales.

Figura 5 Proceso de geocodificación de los eventos de tránsito del año 2016 al 2018



Fuente: Elaboración Propia

Se geocodificaron correctamente 42.079 registros, ya que hubo 1.199 casos sin dato o rurales, es decir que se geocodificó el 97% de los datos, como se muestra a continuación:

Tabla 1 Depuración de datos

| Año | Datos entregados | Datos geocodificados | Porcentaje de datos trabajados |
|--------------|------------------|----------------------|--------------------------------|
| 2016 | 14,756 | 14,534 | 98% |
| 2017 | 14,410 | 13,959 | 97% |
| 2018 | 14,112 | 13,586 | 96% |
| Total | 43,278 | 42,079 | 97% |

Fuente: Elaboración Propia

6.5 IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS Y PUNTOS CRÍTICOS DE LA SINIESTRALIDAD VIAL MEDIANTE HERRAMIENTAS SIG

Los eventos de tránsito trabajados son de diferente tipo de gravedad: casos fatales, con lesionados y solo daños. Para ello, fue necesario ponderar cada uno de los eventos para poderlos combinar y generar análisis acordes al nivel de gravedad, mediante los factores de equivalencia del Fondo de Prevención Vial, en la cual se asigna un peso a los tipos de eventos, así:

Tabla 2 Ponderación de los eventos de tránsito

| Tipo de Evento | Factor de Equivalencia |
|----------------|------------------------|
| Solo Daños | 1,0 |
| Heridos | 1,5 |
| Muertes | 12,2 |

Fuente: Elaboración Propia

La información fue analizada por cada año y también en la unión de todos los eventos de tránsito. Así que, para identificar zonas y puntos críticos o Hotspots, se requirió usar la herramienta de ArcGIS de “Spatial analyst tools”, la cual permitió representar los casos por tránsito con densidades geográficas, y consiste en generar áreas en donde se presenta conglomeración de puntos de tránsito y su magnitud dependerá de la sumatoria de la cantidad de peso que arrojé cada evento geocodificado. En dicha herramienta, se hizo uso de la estimación del modelo de “densidad de kernel”, el cual según la plataforma oficial de ArcGIS “calcula la densidad de las entidades en la vecindad de esas entidades”. El algoritmo de radio de búsqueda funciona así:

- Calcula el centro medio de cada caso de los eventos de tránsito y se pondera con los pesos asignados según su tipo de gravedad.
- Calcula la distancia desde el centro medio ponderado para todos los puntos, de acuerdo con la máscara de entrada, para este caso se le asignó la capa de las comunas.
- Calcula de la distancia media ponderada de esas distancias (DM)
- Calcula el valor de la distancia estándar ponderada (SD)

$$\text{Ancho de banda} = 0.9 * \min \left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)} * DM} \right) * n^{-0.2}$$

Donde:

SD = es la distancia estándar

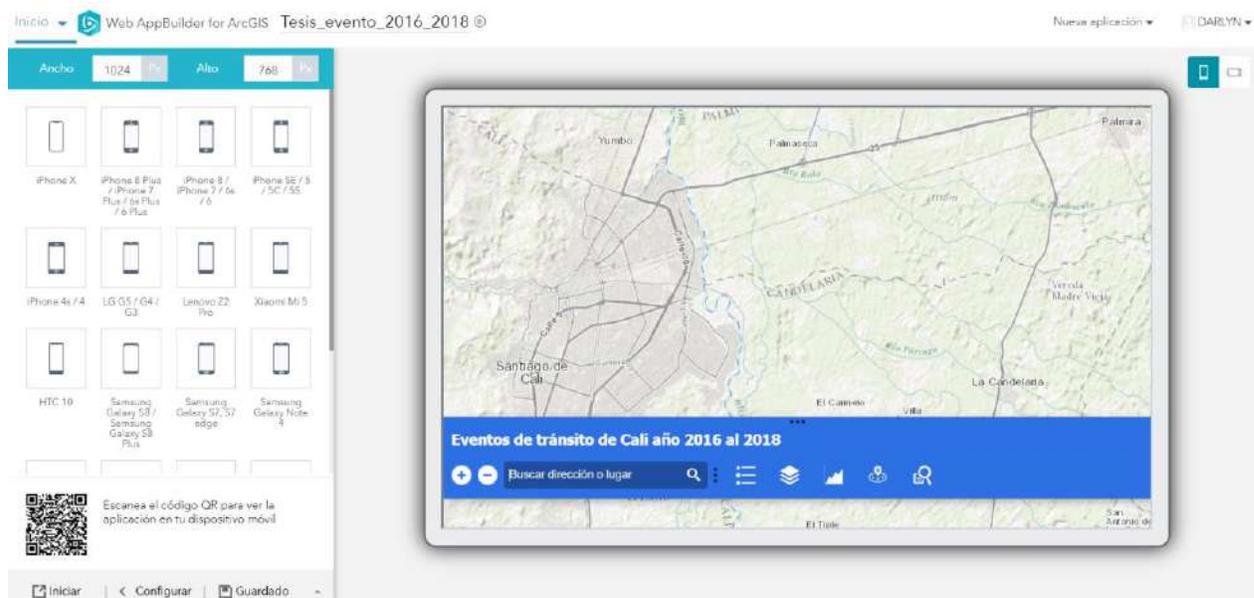
DM= es la mediana de la distancia

n = es el número de puntos adicionalmente de su ponderación.

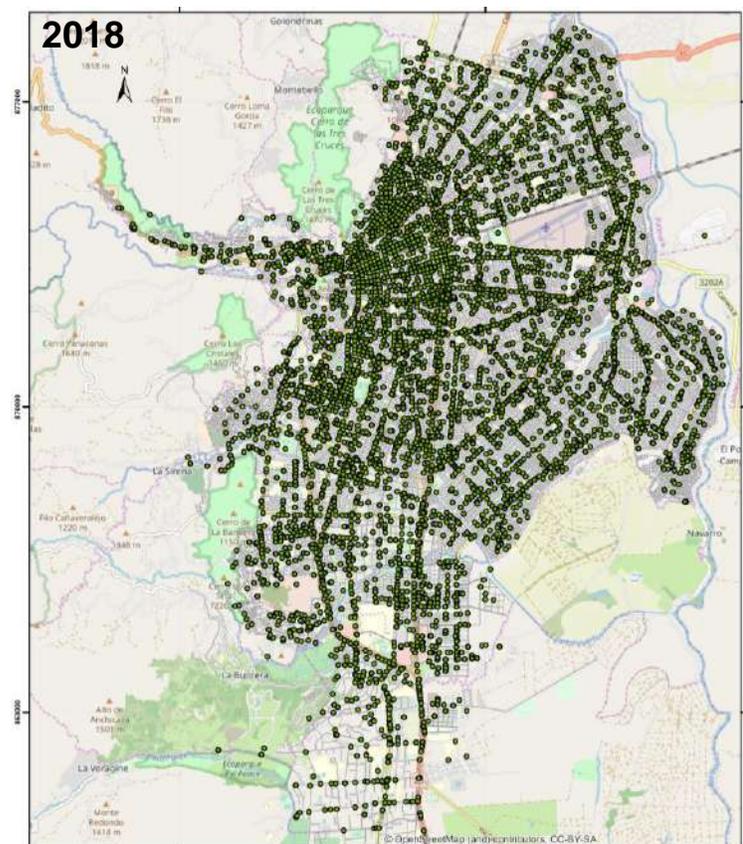
6.6 PROYECCIÓN DE RESULTADOS EN ARCGIS ONLINE MEDIANTE LA CREACIÓN DE UNA APP

Para la culminación de este procedimiento fue necesario en ArcGIS online, mediante la opción de Map Viewer se subió la capa espacial de los eventos de tránsito del año 2016 al 2018 reportados en la ciudad de Cali, y se creó una aplicación web por la opción Web AppBuilder. El proyecto fue nombrado “tesis_eventos_2016_2018”. Se modificó los estilos y se agregaron Widgets para mejorar la visualización de los resultados obtenidos en este trabajo.

Figura 6 Montaje de la aplicación web de los eventos de tránsito de Cali de los años 2016 al 2018



Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

7.1.2 Resultado de identificación de los puntos y zonas de mayor reporte de siniestralidad vial en la ciudad de Santiago de Cali durante el periodo de 2016 al 2018

Mediante la agrupación de los casos por tránsito de los años 2016 al 2018, se hizo uso de la herramienta “densidad de kernel” para identificar las zonas y los puntos con mayor cantidad de reporte según su tipo de gravedad. El análisis del comportamiento espaciotemporal se realizó por año y la unión de los tres años.

El análisis de hotspot define las áreas de alta ocurrencia de los eventos de tránsito frente a áreas de baja ocurrencia, permitiendo realizar análisis puntuales y predicciones para la toma de decisiones a nivel de intersección, barrio, comuna o vía.

A nivel general, los niveles de siniestralidad en las salidas gráficas se clasifican en: sin color es porque no reporta eventos, color verde es presencia de eventos de tránsito de solo daños o un solo choque con lesionados, color amarillo es nivel medio de cantidad de eventos reportados, color naranja es niveles altos de siniestralidad y color rojo representa niveles muy altos de siniestralidad y mortalidad por tránsito. De igual forma, se puede evidenciar tres cuadros en cada uno de los mapas, una tabla con los puntos más críticos de siniestralidad obtenidos con la consideración de la ponderación, y las otras dos tablas son de las zonas de mayor ocurrencia de reportes. Para este caso en común, la zona Centro y la zona de Versalles reportó la mayor conglomeración de casos

fatales, con heridos y de solo daños. Para identificar las condiciones sociales, viales y de diseño de los puntos críticos, se realizaron visitas de campo y se generaron auditorias de seguridad vial.

Para el año 2016, los puntos críticos fueron la calle 70 con carrera 8, Barrio Alfonso López, zona oriente de la ciudad, con 5 casos fatales, 48 casos que dejaron lesionados en las vías y 24 eventos de solo daños entre el transporte motorizado; este punto crítico tiene un tramo de vía sobre un puente vehicular que cuenta con una cámara de fotodetección midiendo velocidad máxima permitida de 60km/h y con paradero del Sistema Integrado del Transporte Masivo MIO, el cual no cuenta con paradero exclusivo, ni zona de ascenso o descenso de pasajeros, por lo cual, los pasajeros deben hacer uso del sistema en medio de una zona sin pavimentar y con pastizal. En esta zona se evidencia afluencia de vehículos que prestan servicio de transporte de manera informal. En la siguiente sección, se analizó cual es el rol vial de las víctimas fatales y los lesionados. Cabe resaltar que esta vía también tiene un paradero de transporte intermunicipal por debajo del puente vehicular, indicando un gran flujo de personas por la variedad de transporte que ofrece la zona.

El segundo punto más crítico para este año fue la calle 70 con carrera 1, Barrio Paso del Comercio, zona norte de la ciudad, también conocido como El Terminalito, reportó 43 eventos con lesionados y 28 casos de solo daños. En particular, este punto no es una intersección, al igual que el anterior punto crítico, este es un tramo de vía que cuenta con un puente vehicular y diferentes sentidos viales por debajo de él. A pocos metros, está ubicado el centro comercial la 14 de Calima, representando un gran generador de viaje y también es un centro de salida y llegada del transporte intermunicipal que se dirige a las ciudades dormitorio del norte del departamento. Para el año 2019, este lugar tuvo instalación de diferentes tipos de dispositivos viales para evitar movimientos riesgosos; y cuenta con una cámara de fotodetección móvil en el sentido norte – sur.

El tercer punto, la calle 7 con carrera 34 es una intersección que, a pocos metros se encuentra semaforizada, pero el semáforo se ubica en la calle 6, conocida también como la Avenida Roosevelt. Se localiza en el barrio Eucarístico, en la zona deportiva de la ciudad, con el Estadio Pascual Guerrero y Las canchas Panamericanas. Por su ubicación y diseño de vía se han presentado siniestros de múltiples causas.

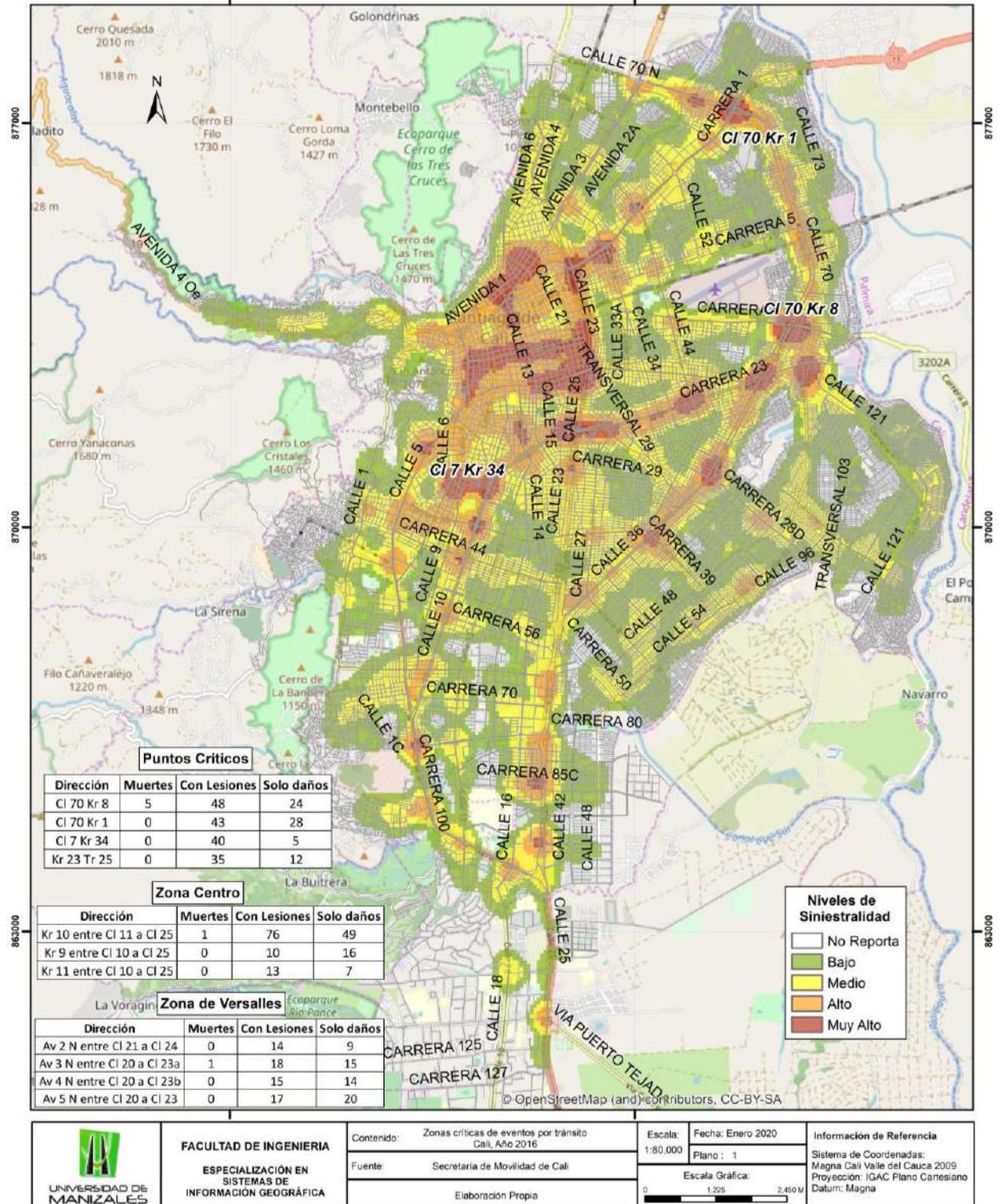
Por último, la carrera 23 con transversal 25, barrio El Prado, nororiente de la ciudad, reportó 35 casos que dejaron lesionados y 12 eventos de solo daños. Es una intersección semaforizada y presenta un puente vehicular. Cuenta con un Comfandi El Prado, que presta servicios de salud, educación, vivienda, cultura, recreación, subsidios, supermercado y droguería, por tanto, es considerado un centro generador de viajes. Esta intersección se dirige en un sentido hacia la zona oriente de la ciudad, con mayor precisión hacia el Centro Carcelario Villahermosa, y el diseño de la vía permite un carril exclusivo para el Sistema Integrado de Transporte Masivo y otro carril para el transporte motorizado con una sola calzada, generando largas longitudes de colas, por tanto, el mal comportamiento vial de todos los usuarios de la vía es relevante ya que no respetan el carril exclusivo ni los andenes, además de que en la actualidad se cuenta con una

ciclorruta sobre el andén compartiéndolo con los peatones, pero en horas pico, no existe prelación para el transporte no motorizado ni siquiera en los andenes.

En la zona centro, para el año 2016, se evidenció que la mayor cantidad de eventos ocurrieron sobre la carrera 10 entre calle 11 hasta la calle 25 con un evento fatal, 76 casos con lesionados, y 49 eventos de solo daños, involucrando barrios como Santa Rosa, El Calvario, Sucre y El Obrero. Para la ciudadanía de manera permanente suele ser este sector un destino frecuente, pues allí se encuentra una de las zonas comerciales más populares de la ciudad, sumándole a esto, la presencia de un alto flujo de movilidad, producto de la zona de despacho de transporte intermunicipal que va dirigido hacia el oeste y sur del municipio.

En la zona Versalles, la mayor cantidad de eventos se reporta en la avenida 3 norte entre calle 20 hasta la calle 23A con un evento fatal, 18 casos con lesionados y 15 eventos de daños entre el transporte motorizado, comprometiendo los barrios San Vicente, Versalles y Granada. Este sector es un generador de viajes debido a la localización de los servicios de salud, educación, recreación y de trabajo, puesto que se encuentra ubicado la Secretaria de Vivienda Social del Municipio, la Contraloría, la Empresa municipal de renovación urbana, El Dagma, entre otros. En la actualidad, esta zona fue intervenida mediante pacificación vial por parte de la Secretaria de Movilidad.

Figura 8 Zonas críticas de siniestralidad y mortalidad por tránsito en la ciudad de Cali para el año 2016



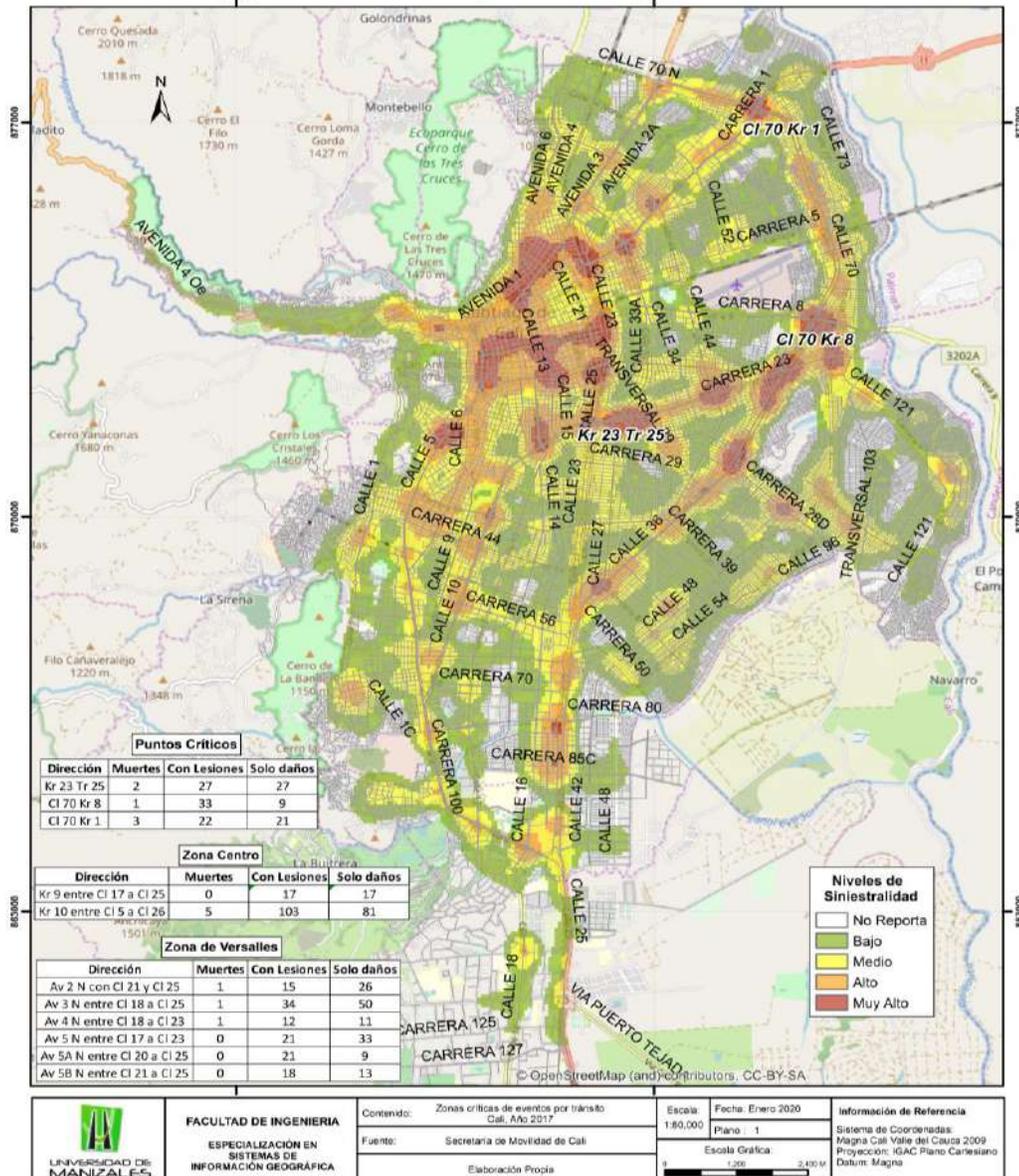
Fuente: Elaboración Propia

Al analizar las zonas críticas de siniestralidad y mortalidad por tránsito del año 2017, se identificó que los tres puntos más críticos corresponden a los puntos críticos del año 2016, pero ahora la carrera 23 con transversal 25, Comfandi El Prado, ocupó el primer puesto con dos eventos fatales, 27 casos que dejaron personas lesionadas y 27 eventos de solo daños. A pesar de que reportó menor cantidad de casos que en el año 2016, en este periodo estudiado reportó dos víctimas fatales, representando un sitio peligroso para los usuarios viales. Por otro lado, la calle 70 con carrera 8, Alfonso López, para este año bajo un puesto respecto al anterior, en el cual reportó un evento fatal, 33 casos con heridos y 9 casos de solo daños. No hubo una disminución considerable de eventos, pero las muertes pasaron de ser cinco a un caso, de igual forma, los casos con lesionados fueron 48 y hubo una reducción de 15 casos para el 2017. El otro punto crítico, fue la calle 70 con carrera 1, El Terminalito, el cual reportó tres eventos fatales, 22 casos con lesionados y 21 casos de solo daños; es evidente que, en este periodo, hubo un incremento de tres víctimas fatales respecto al año anterior con cero casos.

Al analizar los casos a nivel de zona, el sector del Centro, sobre la carrera 10 entre calle 5 hasta la calle 26 reportó cinco casos fatales, 103 eventos que dejaron personas lesionadas y 81 casos de solo daños, presentándose un aumento drástico respecto al año 2016; pasando de una víctima fatal a cinco víctimas fatales, y los eventos con lesionados aumentaron un 26% respecto al año 2016. En cambio, la carrera 9 entre calle 10 hasta la calle 25 tuvo un comportamiento similar respecto al año 2017 con 17 casos con lesiones versus 10 eventos para el 2016.

La zona de Versalles tuvo un mayor crecimiento de siniestralidad durante el año 2017 respecto al 2016, iniciando con la avenida 2 norte entre calle 21 hasta la calle 24, más conocida como la Avenida del Rio, reportó un evento fatal (para el 2016 no hubo fatalidades), 15 casos con lesionados (un caso más que en el 2016) y 26 eventos de solo daños (un aumento de 17 casos respecto al año anterior). La avenida 3 norte entre calle 18 hasta la calle 25, tramo de vía con mayor cantidad de reportes del sector, presentó un evento fatal, 34 casos con heridos, y 50 eventos de daños entre el transporte motorizado; es preciso señalar que esta vía cuenta con un carril exclusivo del Sistema Integrado de Transporte Masivo, está debidamente señalizada y semaforizada con fases peatonales controladas con dispositivo; es regularmente transitada por conducir hacia el Terminal Intermunicipal de Transportes de la Ciudad y servicios de salud prioritaria y especializada. Por último, la avenida 5 norte entre calle 17 hasta la calle 23, tuvo un comportamiento diferente respecto al año anterior, debido al incremento de eventos de tránsito, reportando 21 casos con lesionados y 33 eventos de solo daños; desde el crecimiento del parque automotor que circula por la ciudad, esta avenida se convirtió en una de las rutas que más eligen las personas para desplazarse hasta el Centro Administrativo Municipal CAM, reemplazándola por la congestionada Avenida 3 norte.

Figura 9 Zonas críticas de siniestralidad y mortalidad por tránsito en la ciudad de Cali para el año 2017



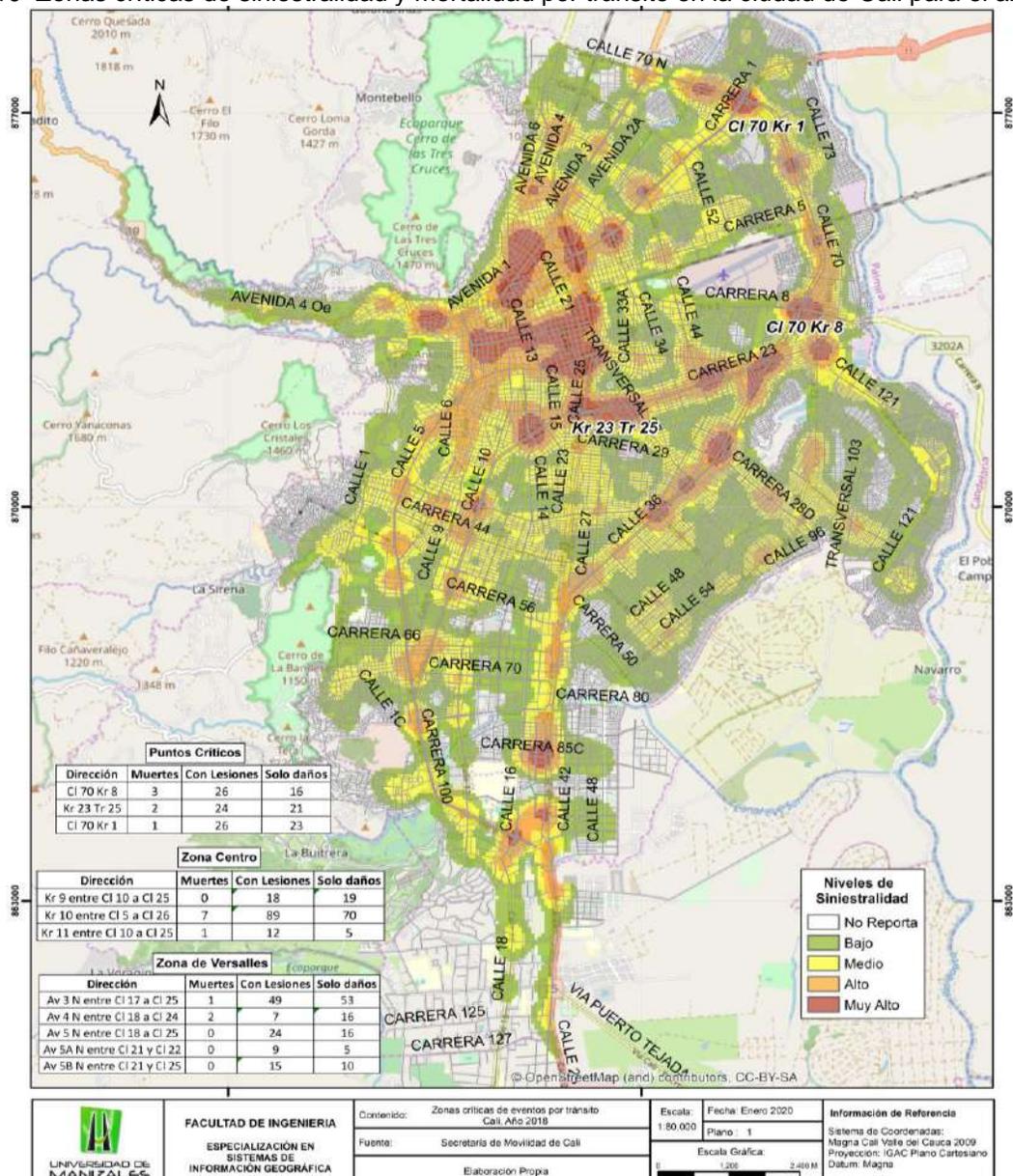
Fuente: Elaboración Propia

Al analizar el mapa de las zonas críticas de siniestralidad y mortalidad por tránsito del año 2018, se evidenció los patrones espaciales presentados en los años pasados, los mismos puntos críticos estuvieron representados para este periodo. La calle 70 con carrera 8, Alfonso López, reportó tres fatalidades, 26 casos con heridos y 16 eventos de solo daños, teniendo un aumento dos de casos fatales respecto al año 2017 y una disminución de dos eventos fatales respecto al año 2016, indicando que no hubo mejoría en este sector. El siguiente punto crítico fue la calle 70 con carrera 1, El Terminalito, con una víctima fatal, con 26 casos con lesionados y 23 eventos de daños entre el transporte motorizado, evidenciándose que los esfuerzos en materia política y administrativa no están siendo suficientes o con buen direccionamiento para mitigar los siniestros de tránsito. Finalmente, la carrera 23 con transversal 25, Comfandi El Prado, reportó dos

víctimas fatales, 24 casos que dejaron lesionados y 21 casos de solo daños, teniendo un comportamiento similar que los dos años anteriores.

A nivel de zonas, el sector del centro, de igual forma, no presentó una reducción de siniestralidad puesto que sobre el tramo vial de la carrera 10 entre calle 5 hasta la calle 26 reportó siete víctimas fatales, 89 casos con lesionados y 70 eventos de solo daños; Solo hubo una disminución de casos con heridos respecto al año anterior pero los eventos fatales aumentaron. Del mismo modo, la zona de Versalles presentó un incremento en sus eventos viales, en la avenida 3 norte con calle 17 hasta la calle 25 reportó un evento fatal (igual que el periodo anterior), 49 casos con lesionados (15 casos por encima del año 2017) y 53 eventos de solo daños (tres casos más que en el 2017).

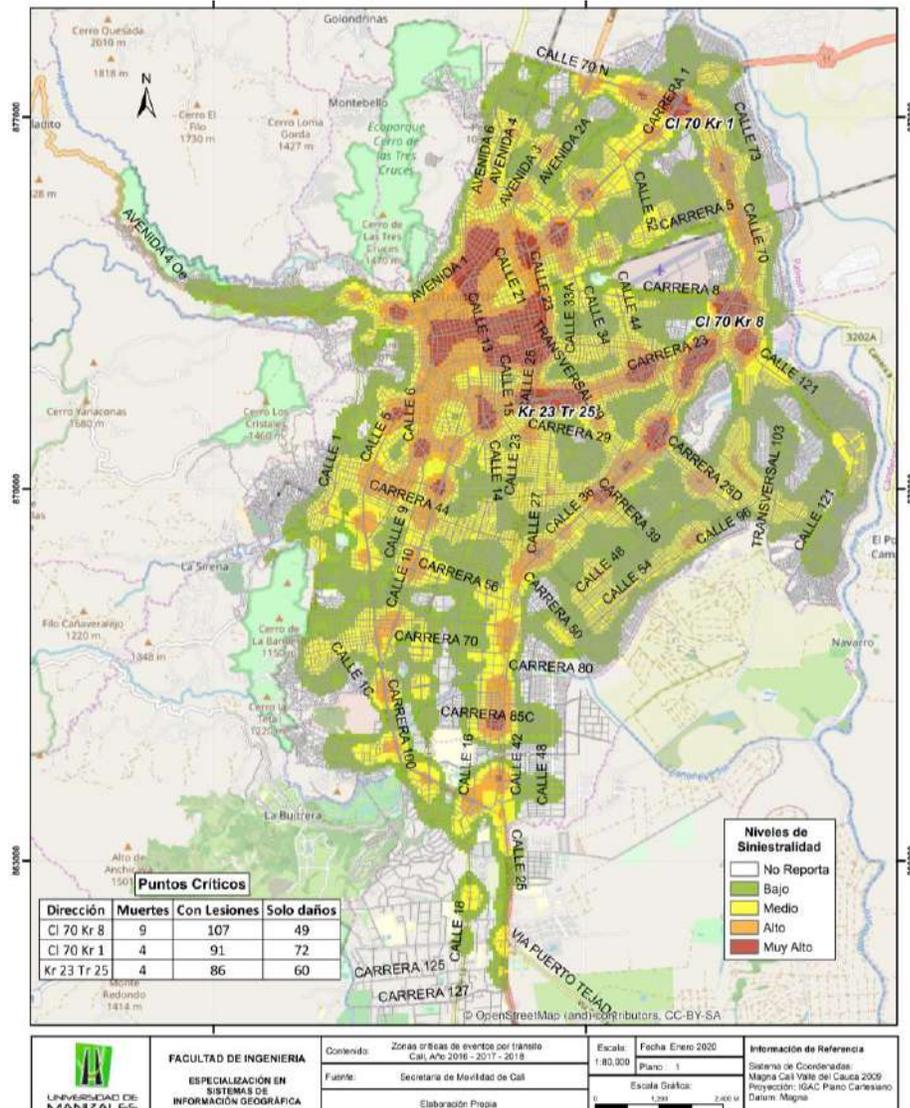
Figura 10 Zonas críticas de siniestralidad y mortalidad por tránsito en la ciudad de Cali para el año 2018



Fuente: Elaboración Propia

Se realizó la unión de los eventos de tránsito reportados en el año 2016, 2017 y 2018, y se evidenció que finalmente, los tres puntos críticos evaluados con anterioridad y la zona de Versalles y el Centro, deberán ser un foco para las autoridades de la ciudad, ya que son los sitios en donde se han reportado mayor cantidad de fatales y heridos. La sumatoria de los tres años arrojó que la calle 70 con carrera 8, presentó 9 casos fatales, 107 casos con lesionados y 49 eventos de solo daños; mientras que, la calle 70 con carrera 1, reportó cuatro casos de muertes, 91 eventos con heridos y 72 casos de solo daños; y la carrera 23 con transversal 25, presentó cuatro casos fatales, 86 eventos que dejaron lesionados y 60 casos de daños entre el transporte motorizado. De tal forma que, el diagnóstico realizado año por año arroja que el comportamiento de los eventos de tránsito no ha cambiado, tampoco se ha desplazado y en las zonas críticas no se ha reportado disminución de casos fatales o con heridos, al contrario, las cifras se han mantenido.

Figura 11 Zonas críticas de siniestralidad y mortalidad por tránsito en la ciudad de Cali para el año 2016 al año 2018



Fuente: Elaboración Propia

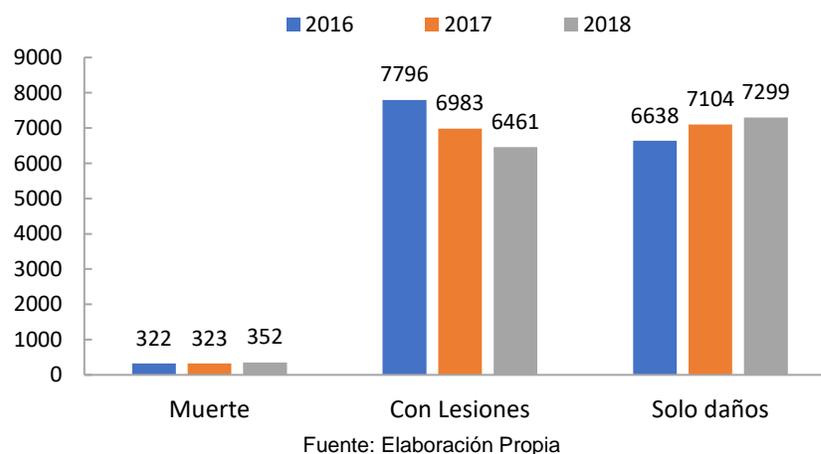
7.1.3 Resultado de análisis espacial y estadístico de las variables que participan en los eventos de tránsito.

A continuación, se realizó una caracterización de los eventos de tránsito reportados en la ciudad de Cali durante el periodo del 2016 al 2018 y analizar los puntos críticos identificados.

7.1.3.1 Resultado del análisis general estadístico y espacial

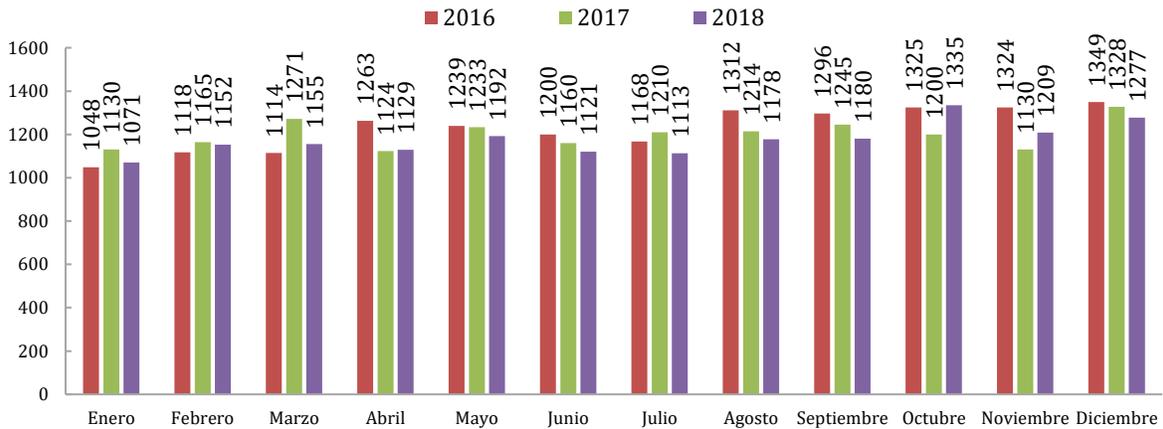
Se elaboró un análisis estadístico de los eventos de tránsito reportados en la ciudad de Cali. A Nivel de mortalidad los casos aumentaron, al contrario de los eventos con lesiones, en donde en general, hubo una reducción, sin embargo, es preciso señalar que, los en los puntos críticos este comportamiento fue diferente. En la siguiente tabla, se puede evidenciar que para el año 2018 hubo una reducción del -7% de lesionados respecto al año 2017 y del -17% respecto al 2016. Al contrario, los casos de solo daños se aumentaron consecutivamente cada año, pasando de un incremento del 3% del año 2018 respecto al 2017 y del 10% frente al año 2016.

Figura 12 Eventos de tránsito según tipo de gravedad



Al analizar los eventos de tránsito según mes de los hechos, se evidencia que para el año 2018 el mes de marzo reportó la mayor disminución de casos respecto al año 2017 con -116 eventos y respecto al año 2016 hubo un aumento de 41 casos; esta disminución se puede atribuir, debido a que, para ese año durante el mes de marzo fue la celebración de la semana santa. El mes con mayor aumento de siniestralidad fue octubre con 135 casos más respecto al 2017 y 10 eventos más respecto al año 2016; para este mes fue la inauguración del puente de la Avenida Ciudad de Cali con carrera 50, uniendo la zona sur con el oriente de la ciudad, por lo cual, se tenía como hipótesis que la Avenida Simón Bolívar, paralela a la Avenida Ciudad de Cali, debería disminuir sus longitudes de cola.

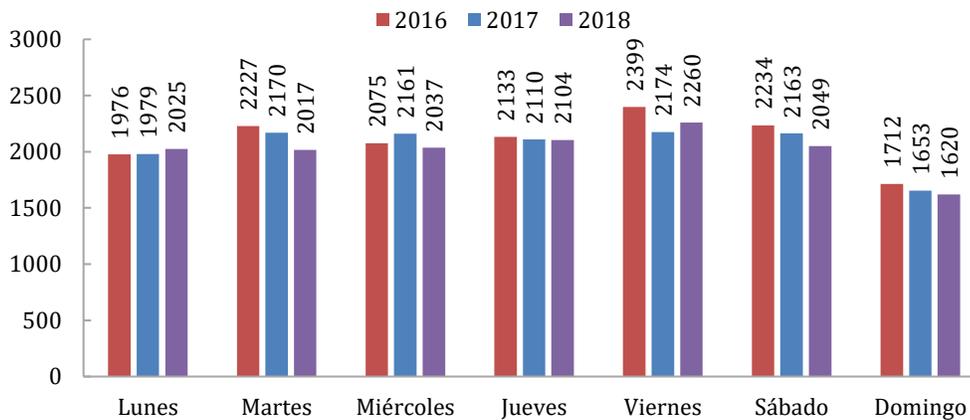
Figura 13 Eventos de tránsito según mes



Fuente: Elaboración Propia

En el análisis de los eventos de tránsito según día de semana, se evidenció que, para todos los años, el día viernes representó el día con mayor cantidad de eventos de tránsito, y el día con menor cantidad de eventos fue el domingo. Para el año 2018, el día martes tuvo una reducción del -7% de casos respecto al año 2017 y del -9% respecto al 2016.

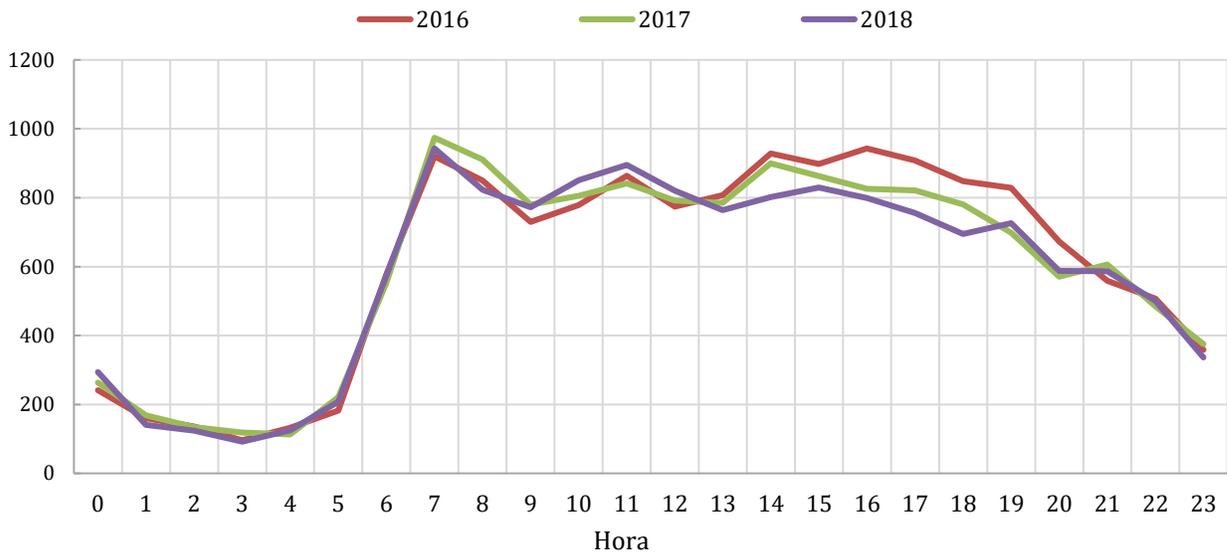
Figura 14 Eventos de tránsito según día de semana



Fuente: Elaboración Propia

Al analizar los eventos de tránsito según hora de los hechos de los años 2016 al 2018, se logró evidenciar que la tendencia de los horarios para cada año es similar, indicando que en el rango horario de las 7 de la mañana es donde se reporta la mayor cantidad de eventos; para el año 2018 y 2017, las 7 am tuvo el mayor pico horario, mientras que para el año 2016 fue en los horarios de las 4 pm, 2 pm y 7am. La menor cantidad de reportes fueron a las 6 pm para el año 2018 y 2017, en cambio para el 2016 fue a la 1 pm.

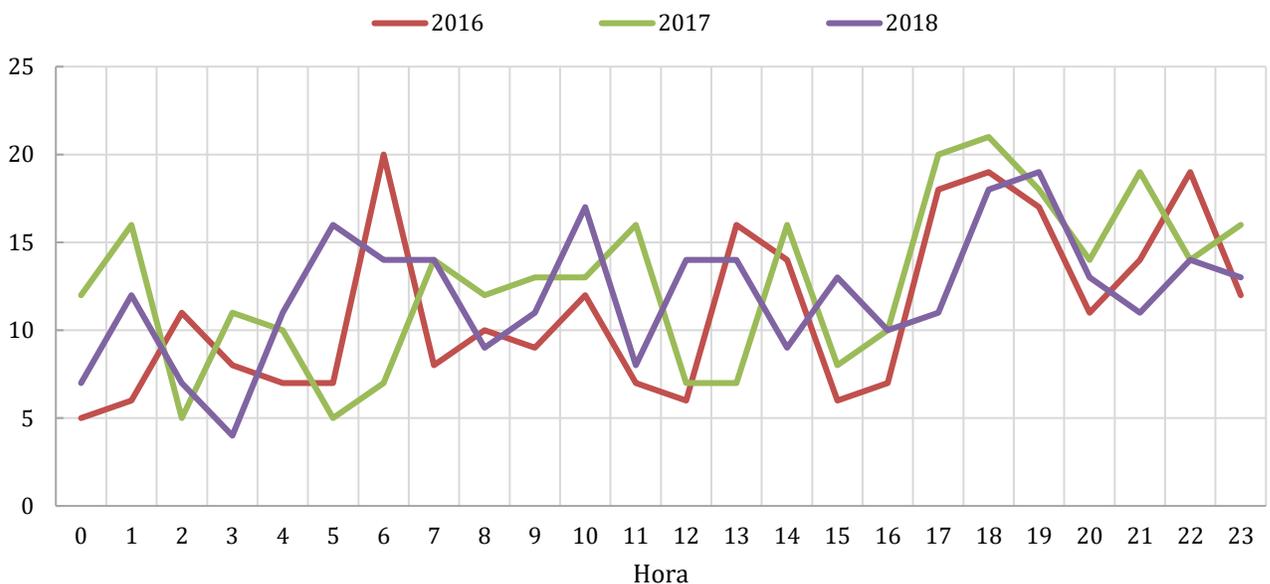
Figura 15 Eventos de tránsito según hora de los hechos



Fuente: Elaboración Propia

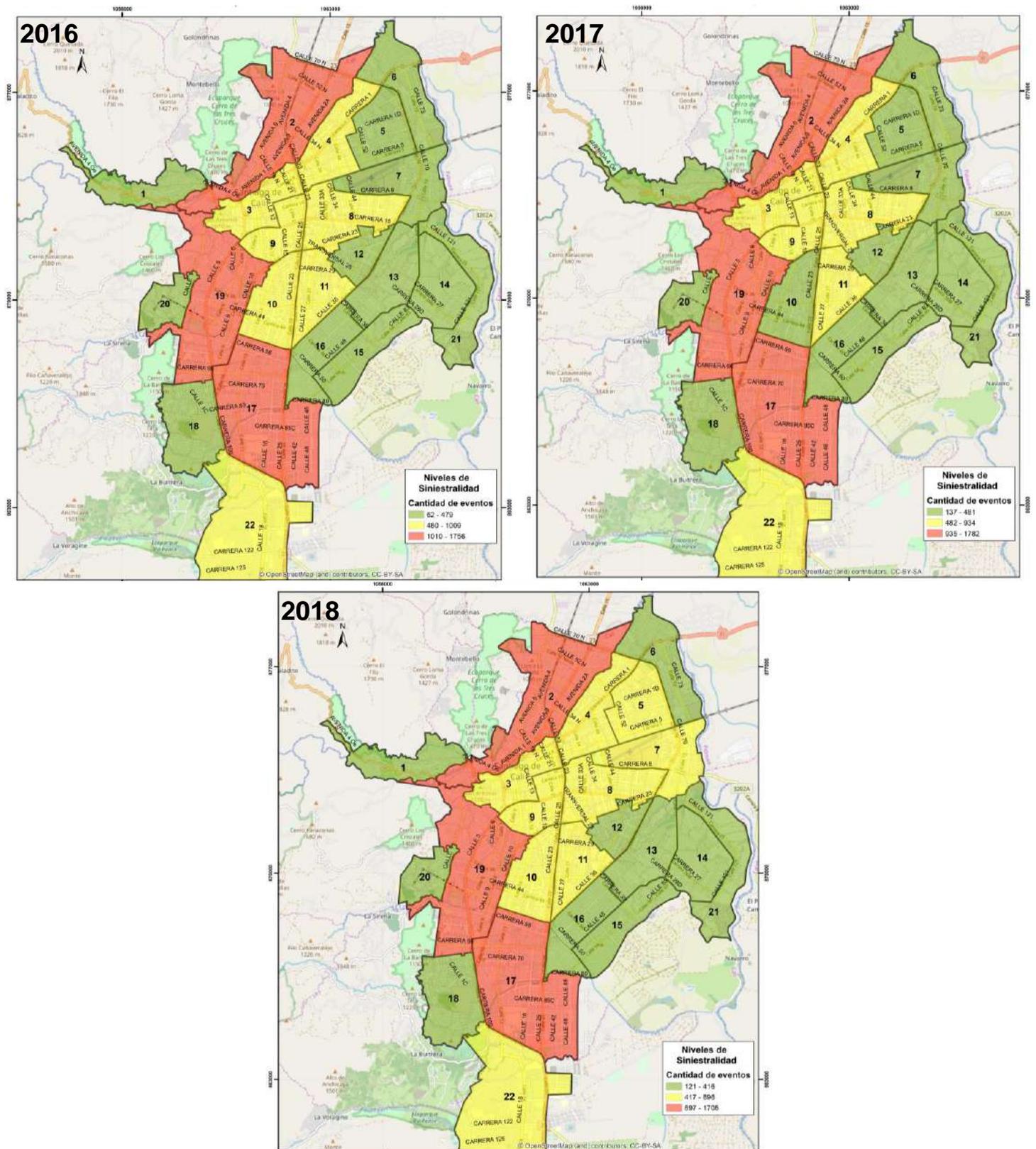
Se analizó los eventos fatales de tránsito según la hora de los hechos, en el cual se identificó que el comportamiento no es igual, como sucede en la figura general anterior que integra los casos fatales, eventos con lesionados y solo daños. Cabe resaltar que, 136 registros de mortalidad no contienen información de la hora de los hechos, es decir, que está figura fue elaborada con el 86% de los eventos fatales. Para el año 2018 y 2017, a las 6 pm se reportó la mayor cantidad de eventos fatales y para el año 2016 fue en los horarios de las 6 am, 6 pm y 10 pm. Los horarios con menor cantidad de reportes fueron, a las 3 am para el 2018, a las 5 am para el 2017 y a las 0 horas para el 2016.

Figura 16 Mortalidad por tránsito según hora de los hechos



Fuente: Elaboración Propia

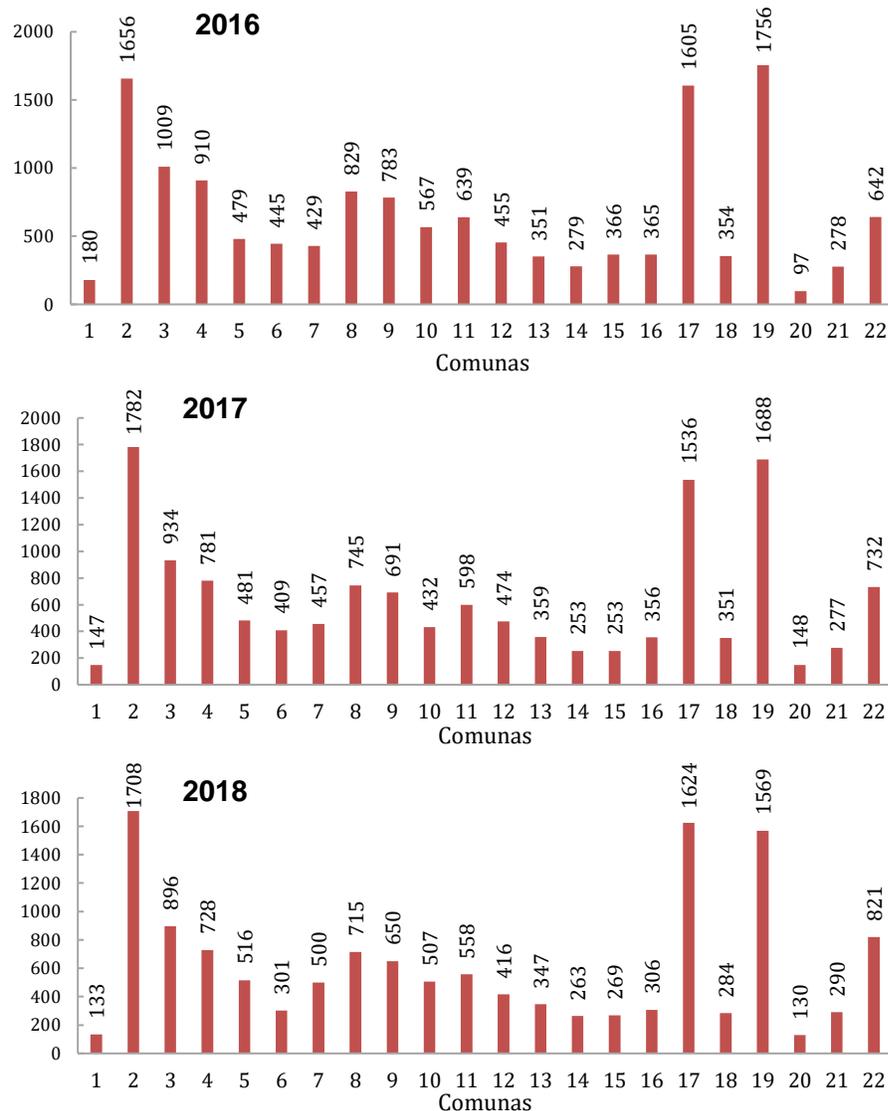
Figura 17 Comunas según la cantidad de eventos de tránsito



Fuente: Elaboración Propia

Al analizar cuales son las comunas con mayor cantidad de eventos de tránsito, se identificó que para cada año las mismas comunas fueron las más críticas: Comuna 2, zona norte de la ciudad involucrando barrios como Santa Rita, Arboleda, Santa Teresita, Normandia, Juananbu, Centenario, Granada, Versalles, San Vicente, Santa Mónica residencial, Prados del Norte, La Flora, Chipichape, Brisas de los Alamos, Vipasa, Altos de Menga, la Paz, entre otros; La comuna 19, que incluye barrios como El Refugio, La Cascada, El Lido, Tequendama, San Fernando nuevo y viejo, Nueva Granada, Santa Isabel, Bellavista, Miraflores, 3 de Julio, El Cedro, Champagnat, Colseguros, Los Cábulos, El Mortiñal, Cuarto de legua, entre otros; y la comuna 17 en la cual le pertenecen los siguientes barrios: La Playa, Primero de Mayo, Ciudadela Comfandi, Ciudad Universitaria, Caney, Lilí, Santa Anita, El Ingenio, Las Vegas, Ciudad Capri, La hacienda, El limonar, entre otros.

Figura 18 Cantidad de eventos de tránsito por comuna según año

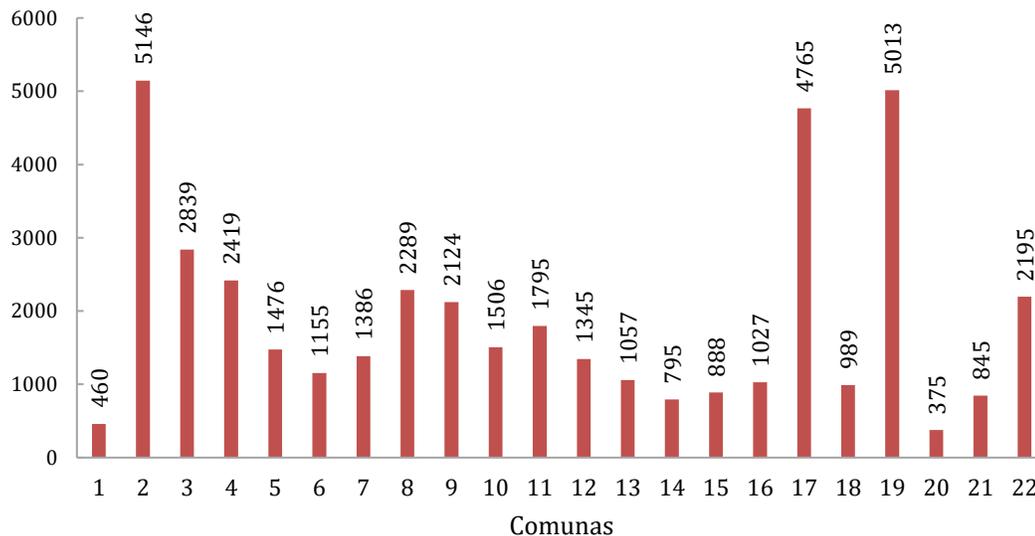


Fuente: Elaboración Propia

Para el año 2016, la comuna 19 reportó el 12% de los eventos de tránsito de la ciudad, mientras que la comuna 20, zona oeste, reporte la menor cantidad de casos con 97. En el año 2017, la comuna 2 reportó el mayor porcentaje de eventos con el 13% de los datos y la comuna 1 reportó la menor cantidad con 147 casos. Durante el año 2018, el 13% de los eventos se reportó en la comuna 2 y la comuna 20 reportó la menor cantidad de casos con 130 datos.

Al unir los eventos de tránsito, la comuna con mayor cantidad de reportes fue la comuna 2, zona norte, con 5.146 registros, aportando el 12% de los datos, seguido de la comuna 19, sector sur, con 5.013 registros y la comuna 17, zona sur, con 4.765 eventos, y la comuna con menor cantidad de reportes fue la comuna 20 con 375 casos, representando el 1% de los datos.

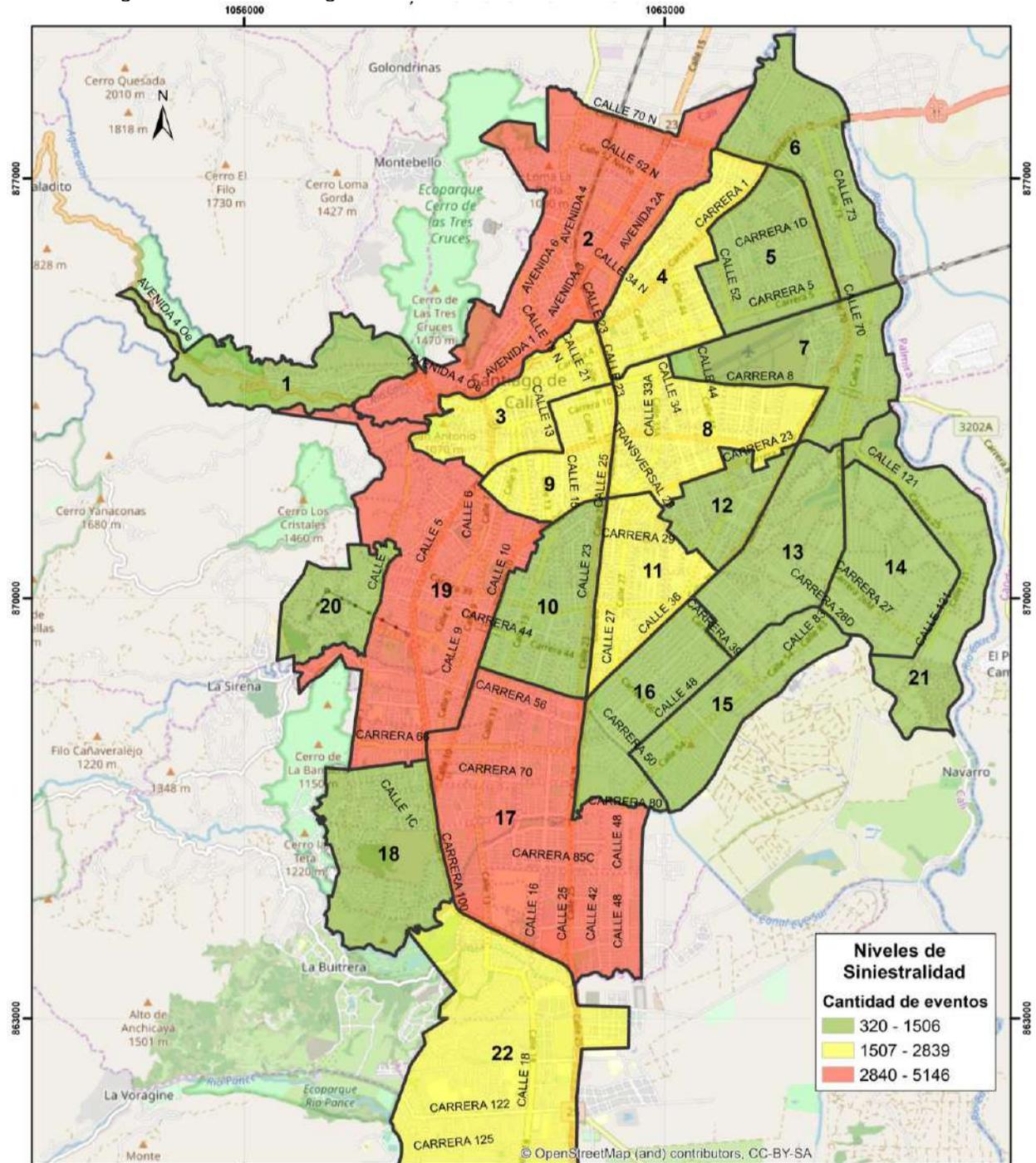
Figura 19 Cantidad de eventos de tránsito por comuna de la acumulación de los años 2016 al 2018



Fuente: Elaboración Propia

De igual forma, se realizó la unión espacial de los datos, para evidenciar gráficamente el comportamiento por comunas de los eventos de tránsito a nivel general. Fue evidente que los resultados estuviesen semejantes al análisis individual por año de los eventos, en el cual arrojó que la comuna 2, 17 y 19 reportaron la mayor cantidad de eventos fatales en el municipio.

Figura 20 Comunas según la cantidad de eventos de tránsito de los años 2016 al 2018



| | | | | |
|---|---|---|--|--|
|  | FACULTAD DE INGENIERIA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA | Contenido: Comunas según la cantidad de eventos por tránsito Cali, Año 2016 - 2017 - 2018 | Escala: 1:80.000 Fecha: Enero 2020 | Información de Referencia Sistema de Coordenadas: Magna Cali Valle del Cauca 2009 Proyección: IGAC Plano Cartesiano Datum: Magna |
| | | Fuente: Secretaría de Movilidad de Cali | Plano: 1 | |
| | | Elaboración Propia | Escala Gráfica:  | |

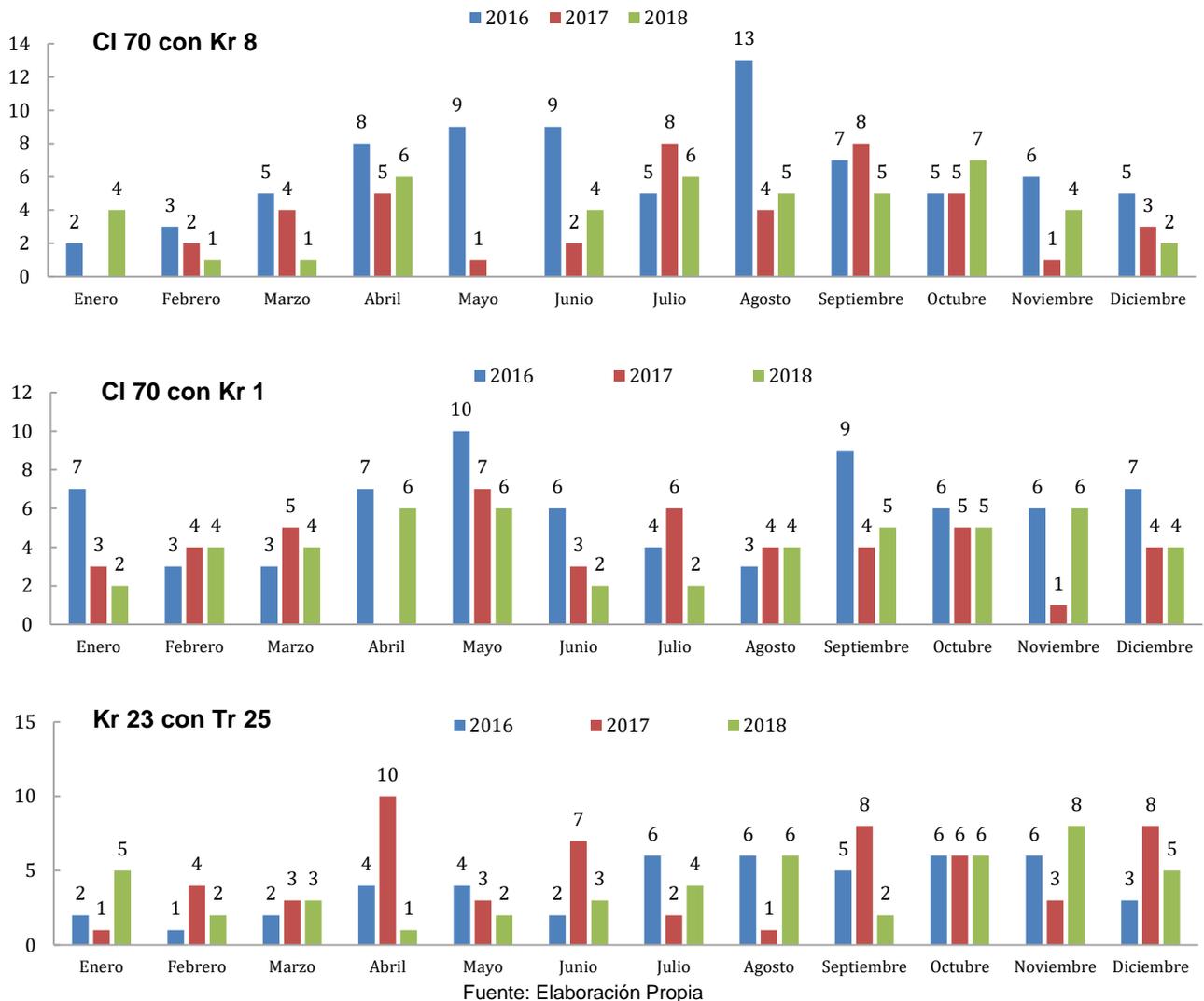
Fuente: Elaboración Propia

7.1.3.2 Resultado del análisis espacial y estadístico de los puntos críticos

Se realizó un análisis específico de cada uno de los puntos críticos identificados en los análisis espaciales por densidad de Kernel para caracterizar y encontrar patrones entre la calle 70 con carrera 8 (punto 1), la calle 70 con carrera 1 (punto 2), y la carrera 23 con transversal 25 (punto 3), así:

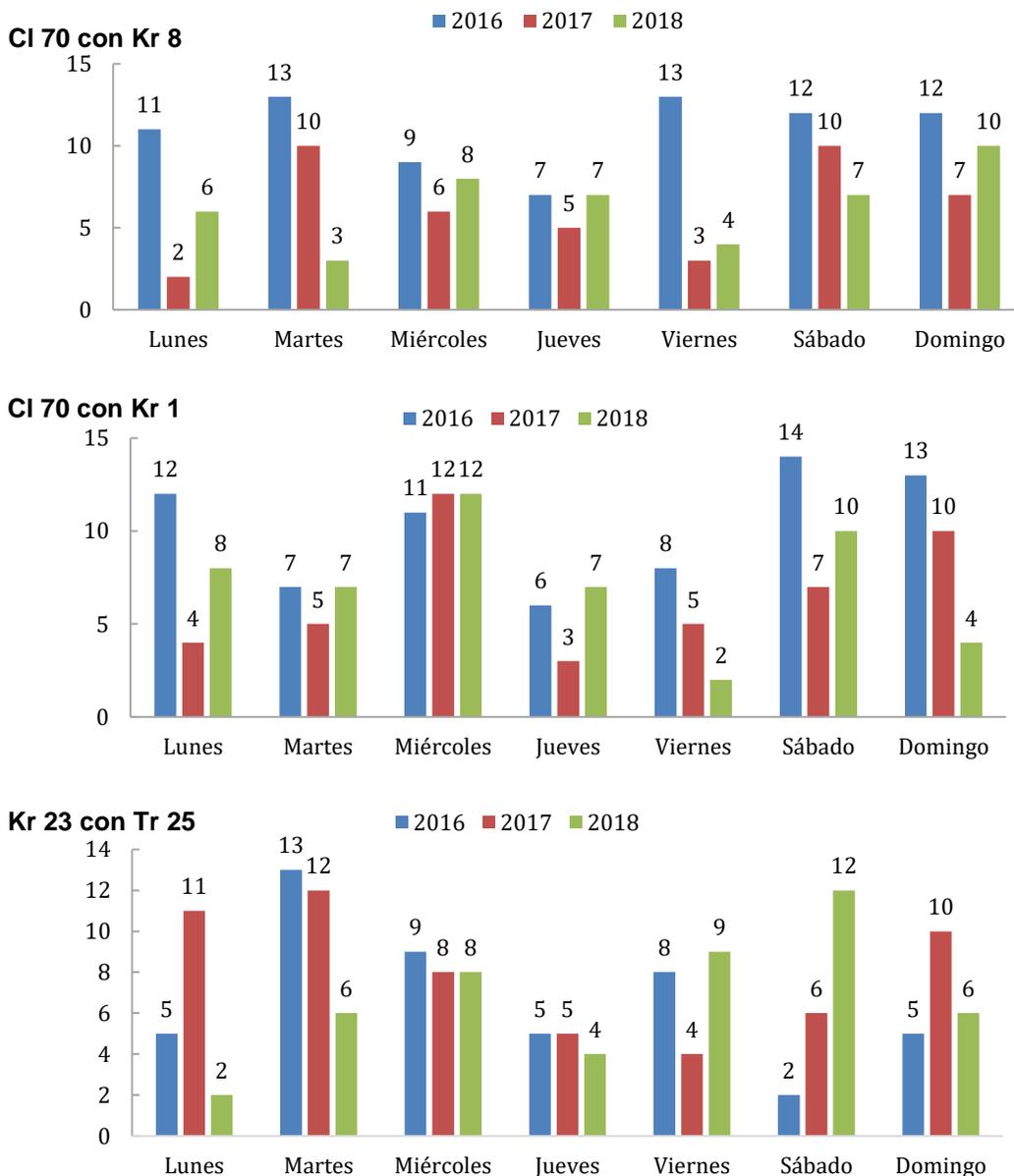
En el primer análisis que evidencia los eventos de tránsito por punto crítico según mes, se identificó que para la calle 70 con carrera 8 y para la calle 70 con carrera 1, en la sumatoria de los tres se reportó que el mes más crítico fue septiembre, y para la carrera 23 con transversal 25 fue octubre y noviembre; aunque a nivel puntual, en agosto hubo la mayor cantidad de eventos para la calle 70 con carrera 8, con 13 casos en el año 2016; para el segundo punto fue el mes de mayo con 10 casos en el 2016; y para el tercer punto fue el mes de abril con 10 casos en el año 2017. Para estas variables no existe una tendencia predominante a que se pueda originar un patrón según el mes.

Figura 21 Eventos de tránsito reportados por punto crítico según mes del año



Al analizar los eventos de tránsito según día de semana, se identificó que la mayor cantidad de eventos en la calle 70 con carrera 8 ocurren los fines de semana con 29 casos para el sábado y 29 casos para el domingo; para la calle 70 con carrera 1 se reportó el miércoles con 35 casos como el día con mayor cantidad de reportes; y para la carrera 23 con transversal 25, fue el martes con 31 casos. A nivel de año, en el 2016 para el primer punto crítico los martes y viernes presentaron la mayor cantidad de eventos con 13 siniestros; mientras que, para el segundo punto crítico, en el año 2016, los sábados y domingos fueron días con gran cantidad de siniestros; Para la carrera 23 con transversal 25, el martes reportó 13 eventos. Para estas variables, no hay una relación causal ya que para el primer punto los días más críticos son los fines de semana mientras que para los otros puntos son durante la semana.

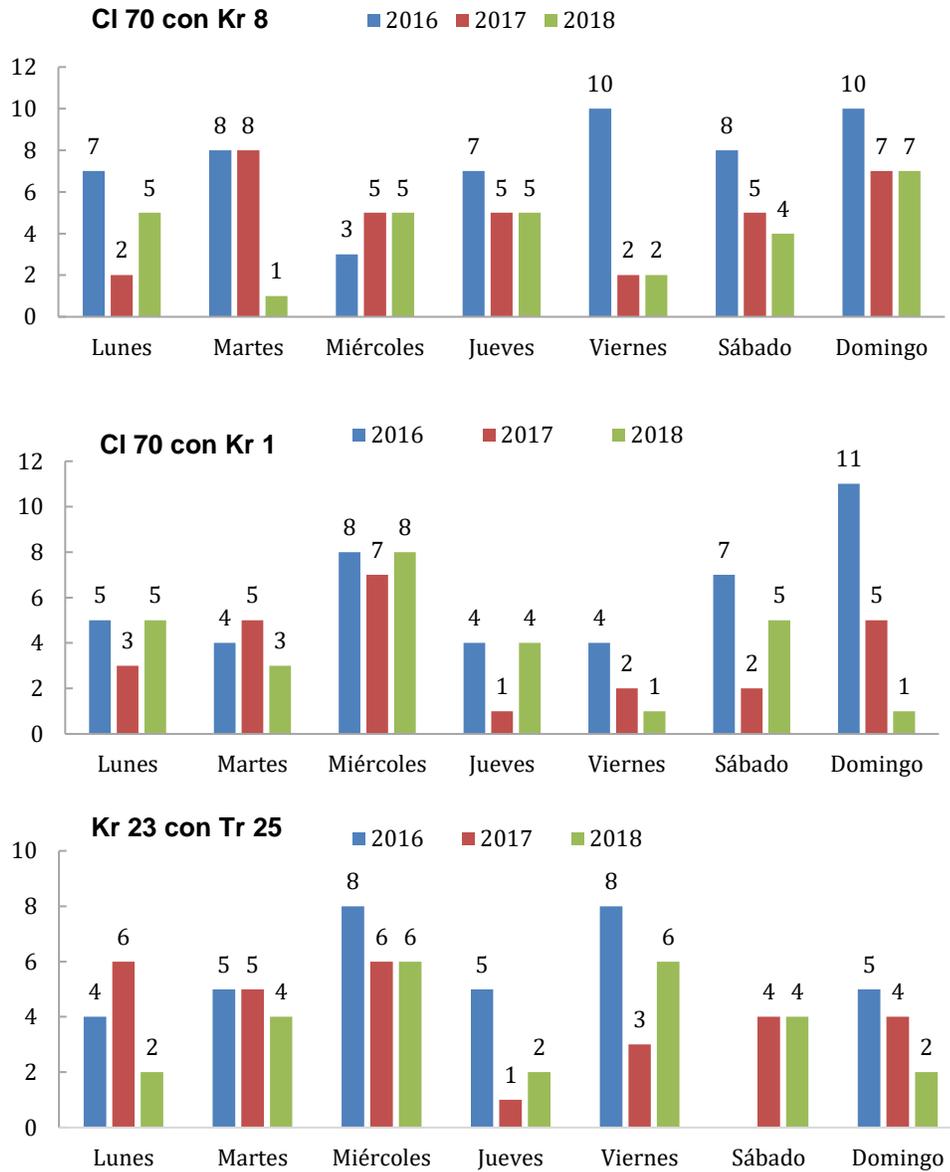
Figura 22 Eventos de tránsito reportados por dirección según día de la semana



Fuente: Elaboración Propia

Al análisis los casos con heridos y fatales por tránsito según día de la semana, se evidenció que, para el primer punto crítico, el Domingo reporta la mayor cantidad de reportes, mientras que, para los otros dos puntos críticos, se reporta el miércoles con 23 y 20 casos respectivamente. Para el año 2016, el domingo fue crítico en la calle 70 con carrera 8 y con carrera 1.

Figura 23 Casos con lesionados y fatales por tránsito reportados por dirección según día de la semana



Fuente: Elaboración Propia

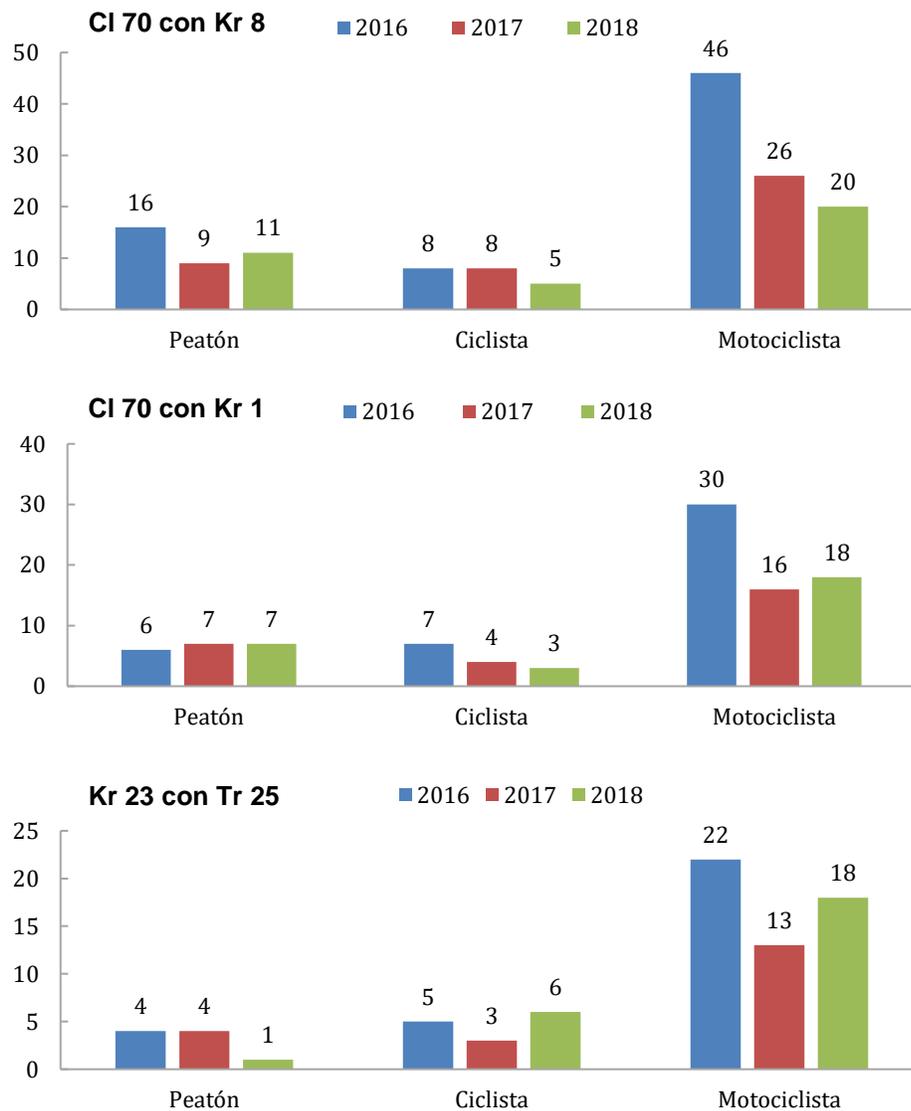
Se evaluó la participación de los usuarios de las vías mas vulnerables en los eventos de tránsito de estos puntos críticos, por lo cual, solo se tuvo en cuenta los eventos con lesionados y los casos fatales. Se evidencia que, para todos los puntos críticos, el motociclista en uno de los usuarios que mayor participación tiene. Sin embargo, se estudió que, en la calle 70 con carrera 8, fallecieron 9 personas, 7 de ellos fueron

peatones (tres casos en el 2016, un caso en el 2017 y tres casos en el 2018), un motociclista y un pasajero de moto. En esta ubicación, el 62% de los siniestrados fueron motociclistas y el 19% fueron peatones.

Para la calle 70 con carrera 1, fallecieron cuatro personas, dos de ellas fueron peatones, un motociclista y un ciclista; en el año 2017 hubo 3 casos fatales y en el 2018 un evento (un peatón). El 65% de los usuarios fueron motociclistas y el 20% fueron peatones.

En la carrera 23 con transversal 25, se reportó cuatro casos fatales para el año 2017 y 2018, y su condición era: un peatón, un motociclista, un ciclista y un caso sin dato. El 70% de los usuarios que participaron en los eventos de tránsito con lesionados o fatales fueron motociclistas y el 12% fueron peatones.

Figura 24 Eventos de tránsito reportados por dirección según condición de la víctima



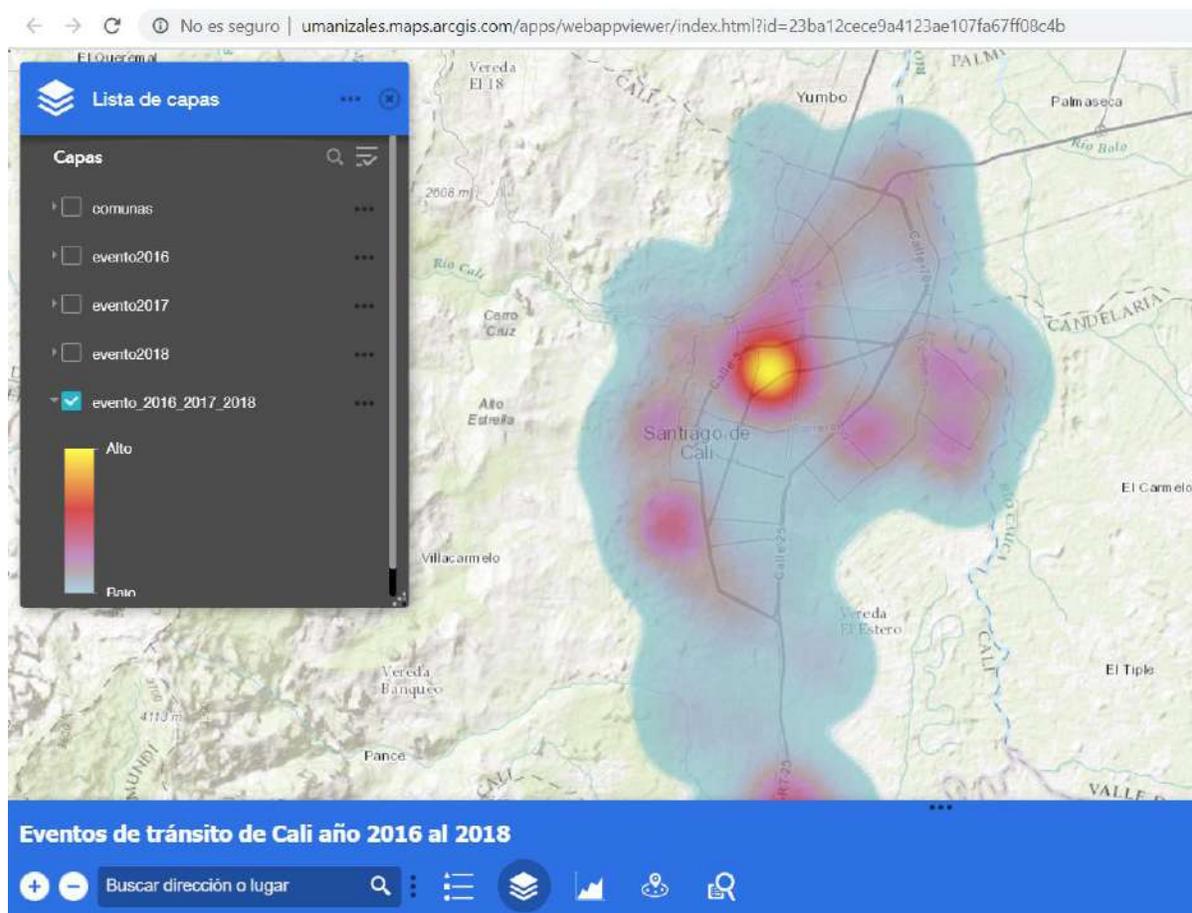
Fuente: Elaboración Propia

7.1.4 Aplicación web de los eventos de tránsito de la ciudad de cali.

Con la herramienta de Arcgis Online se ingresó los shapefile de los eventos de tránsito y los resultados. Este aplicativo permite mostrar a la comunidad y a las entidades públicas el trabajo realizado con el fin de permitir un mejor direccionamiento de las estrategias que se deben tomar a nivel de seguridad vial y de movilidad.

En el aplicativo se puede buscar direcciones puntuales, desplegar gráficos de barras respecto a las variables estudiadas y hacer consultas espaciales.

Figura 25 Montaje de la aplicación web de los eventos de tránsito de Cali de los años 2016 al 2018



Fuente: Elaboración Propia

8 CONCLUSIONES

- En la realización del geocodificador es necesario contar con capas espaciales actualizadas y normalizadas para permitir una correcta localización de los eventos de tránsito. De igual forma, validar la información geocodificada es un procedimiento esencial para posicionar cada elemento en sus respectivas coordenadas, sin importar lo extenso que pueda llegar a ser el proceso.
- Para una identificación precisa de los puntos y zonas de mayor siniestralidad vial es imprescindible realizar la ponderación de los tipos de eventos de tránsito según su gravedad, debido a que no podrá aplicarse decisiones iguales en una intersección que contenga solo casos de daños entre el transporte motorizado a una que reporte casos con heridos o fatales.
- Dos de los puntos críticos (Calle 70 con carrera 1 y carrera 8) están ubicados en tramos viales que cuentan con un sistema de cámaras de fotodección permitiendo alcanzar velocidades hasta de 60 km por hora y cuentan con una gran variedad de flota del sistema de transporte público, intermunicipal e informal. El otro punto crítico, la carrera 23 con transversal 25, es una intersección semaforizada, con carril exclusivo para el Sistema de Transporte Masivo en uno de sus carriles. Los tres sitios en la actualidad se encuentran con una adecuada señalización vertical y horizontal pero no cuenta con una zona segura para el tránsito peatonal.
- La caracterización de los puntos críticos permite detallar con precisión las circunstancias en las cuales ocurre un evento de tránsito y de esta forma, tomar medidas adecuadas para reducir los siniestros con heridos y fatales. De igual forma, se logró comparar que, analizar los datos a nivel general no revela, ni son semejantes a las condiciones puntuales de cada uno de los sitios con mayor cantidad de reportes.
- Una plataforma web permite a la comunidad y a las entidades interesadas visualizar la información de manera espacial, con caracterizaciones precisas, que puede llegar a ser alimentada con otras variables espaciales para el direccionamiento de las estrategias de seguridad vial y de movilidad.
- Este proyecto es muy útil para la Secretaría de Movilidad, ya que permite realizar planificaciones puntuales y direccionadas a los diferentes tipos usuarios de la vía, mediante instalación de señalización vertical, demarcación, semaforización, control de los agentes de tránsito y programas pedagógicos de sensibilización.
- De igual forma, el proyecto beneficia a la comunidad, para generar conciencia sobre la importancia de las buenas conductas en la vía y evidenciar que todos los usuarios son vulnerables ante un siniestro de tránsito.

9 RECOMENDACIONES

- Para la identificación de las zonas críticas se pueden usar otras metodologías, ecuaciones o modelos matemáticos para identificar exhaustivamente las zonas o puntos críticos, abarcando variables que hagan parte de las posibles causas que ocasionen un evento de tránsito.
- Existen otros lenguajes de programación y licencias a bajo costo que permiten el uso web para crear un aplicativo en una instancia diferente a Arcgis.
- Se puede generar correlaciones espaciales con la siniestralidad vial entre otras variables como lo son longitudes de cola, semaforización, capacidad de la vía, señalización horizontal y vertical, operativos e infracciones por tránsito, puentes peatonales y vehiculares, postes de electricidad y arborización.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Alfonso F. Algora Buenafé, O. M. (2017). Análisis espacial de los accidentes de tránsito en los Cantones de la Provincia de Pichincha, 2016. *CienciAmérica - ISSN 1390-9592*, Vol. 6.
- Benjamin Ryder, A. D. (2018). Spatial prediction of traffic accidents with critical driving events – Insights from a nationwide field study. *Transportation Research Part A*.
- Dereli, M. A., & Erdogan, S. (2017). A new model for determining the traffic accident black spots using GIS-aided spatial statistical methods. *Transportation Research Part A: Policy and practice*, 106-117.
- Europeas, C. d. (2007). *Libro Verde. Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana*. Bruselas: 2007.
- Flórez, C. (2011). *Revista Javeriana: Medio ambiente universal y desarrollo sostenible*. Retrieved from <http://pujportal.javeriana.edu.co/portal/.../portal/.../ARTICULO%20MOVILIDAD>
- García, D. A. (2008). *Instrumento y metodología de planes de movilidad y transporte en las ciudades medias Colombianas*. España: PhD Tesis, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Jose Ignacio Rodriguez Molano, M. Á. (2015). Diagnóstico y propuesta de gestión de las actividades de mantenimiento del sistema semafórico de Bogotá, D.C. *Redes de Ingeniería*.
- Lomakin, D., Fabrichnyi, E., & Novikov, A. (2018). Improving the system of traffic management at crossings. *Science Direct*, 446-452.
- Martinez Gonzalez, R., & Olivares Bareño, E. R. (2012). Metodología para la atención de puntos críticos para garantizar la seguridad vial en carreteras. *Repositorio Universidad Militar*.
- Matsuoka, S. (2018). Traffic management project in Phnom Penh. *International Association of Traffic and Safety Sciences IATSS Research*, Vol. 42.
- Ministerio de Transporte. (2015). *Manual de señalización vial, dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia*. Bogotá: Copyright © Ministerio de Transporte. 2015.
- Ministerio de Transporte. (2015). *Plan Nacional de Seguridad Vial - Colombia 2011 - 2021*. Bogotá: Copyright © Ministerio de Transporte.
- Shafabakhsh, G. A., Famili, A., & Bahadori, M. S. (2017). GIS-based spatial analysis of urban traffic accidents: Case study in Mashhad, Iran. *Science Direct*, 290-299.
- Thong, C., & Wong, W. (1997). USING GIS TO DESIGN A TRAFFIC INFORMATION. *Comput, Environ and Urban Systems*, 425-443.
- Xu, S., Flexner, S., & Carvalho, V. (2012). Geocoding billions of addresses: toward a spatial record linkage system with big data. *Escience*.